

Université Batna 1

Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques



# THÈSE

*EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT 3<sup>EME</sup> CYCLE*

EN SCIENCES AGRONOMIQUES

SPECIALITE

PROTECTION DES VEGETAUX

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

*Thème*

**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).**

Présenté et soutenu par :

**TIFFRENT Abdelkader**

**Jury :**

|                 |                     |            |                         |                     |
|-----------------|---------------------|------------|-------------------------|---------------------|
| M <sup>r</sup>  | LAAMARI MALIK       | Professeur | Univ. Batna 1           | Président           |
| M <sup>me</sup> | LOMBARKIA NADIA     | Professeur | Univ. Batna 1           | Directrice de thèse |
| M <sup>r</sup>  | BENSACI OUSSAMA ALI | MC.A.      | Univ. Batna 1           | Examineur           |
| M <sup>me</sup> | RAZI SABAH          | MC.A.      | Univ. Med Khider Biskra | Examinatrice        |
| M <sup>r</sup>  | MERADSI FOUAD       | MC.A.      | Univ. Batna 2           | Examineur           |

Année universitaire : 2022 – 2023

## *Remerciements*

*Je remercie avant tout dieu tout puissant, de m'avoir guidé tout au long de ma vie et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.*

*Au terme de cette thèse, je tiens à remercier infiniment ma directrice de thèse Madame LOMBARZIA N., une grande reconnaissance, et remerciement de nous proposer ce thème, et d'avoir acceptée de m'encadrer, merci pour vos conseils qui m'ont été un support pour pouvoir accomplir cette recherche.*

*Je remercie également Monsieur Laamari Malik, professeur au département d'agronomie à l'université de Batna 1, pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury.*

*Je remercie vivement Monsieur Bensaci Oussama Ali, maître de conférences 'A' au département d'agronomie à l'université de Batna 1, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger cette thèse.*

*Mes remerciements vont pareillement à Madame Razi Sabah, maître de conférences 'A' à l'université de Mohammed Khider Biskra et monsieur Meradsi Fouad, maître de conférences 'A' à l'université de Batna 2 pour avoir accepté d'évaluer et juger mon travail.*

*Je remercie également monsieur le Professeur Abdeslam Salah (responsable du CFD).*

*De même, Je voudrais saluer, la directrice du laboratoire Horizon Annaba M<sup>me</sup> Mohamdi Nadia, pour sa grande gentillesse, sa générosité et son aide lors de mes analyses biochimiques des sucres et des cations et Mr Meradsi Fouad pour la formation en analyses statistiques. Enfin, Je me dois de remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de cette thèse.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce simple travail à mes parents  
qui sont l'idéal pour moi, d'affection, de tendresse, de sacrifices ...*

*À mes chères frères et sœurs.*

*À toute la famille petit et grand et spécialement ma petite fille.*

*À mes amies Dr Boudjellel T., Dr Lebaal Salim, Dr Dlenda Bachir, Dr  
Haboul Youcef, Dr Akakba N. et les doctorants Mourad Yazid,  
Smaili Abdelmadjid et Mekentichi Sami.*

*À toute ma promotion et l'équipe active de la SRPV Ain Toua et de  
l'INPV*

*Abdelkader*

| <b>TABLE DES MATIERES</b>   | Pages    |
|---|----------|
| Liste des tableaux.....   | i        |
| Liste des figures.....  | ii       |
| <b>INTRODUCTION.....</b>  | <b>1</b> |
| <b>PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>   |          |
| <b>CHAPITRE I: GENERALITES SUR LE POMMIER ET LE CARPOCAPSE DES POMMES ET DES<br/>POIRES (<i>Cydia pomonella</i> L.)</b> |          |
| I-1- Présentation de l'hôte à protéger, le Pommier ( <i>Malus domestica</i> Borkh.).....                                | 3        |
| I-1-1- Origine et répartition.....  | 3        |
| I-1-2- Caractères botaniques.....   | 3        |
| I-1-3- Importance économique.....   | 3        |
| I-1-4- Principaux ravageurs et maladies de pommier.....   | 4        |
| I-2- Généralités sur le carpocapse <i>Cydia pomonella</i> L.....  | 4        |
| I-2-1- Origine et aire de répartition.....  | 5        |
| I-2-2- Taxonomie et synonymie.....  | 5        |
| I-2-3- Classification.....  | 5        |
| I-2-4- Plantes-hôtes.....   | 5        |
| I-2-5- Description et Biologie.....   | 5        |
| I-2-5-1-Description.....  | 5        |
| I-2-5-2- Biologie.....  | 7        |
| I-2-6- Dégâts.....  | 8        |
| I-2-7- Les difficultés de contrôle du carpocapse.....   | 8        |
| <b>CHAPITRE II : SELECTION DE LA PLANTE-HOTE CHEZ UN LEPIDOPTERE PHYTOPHAGE</b>   |          |
| II-1- Mécanisme de fonctionnement.....  | 10       |
| II-2-Processus comportementale aboutissant à la ponte.....  | 11       |
| II-2-1- Phase de recherche à distance.....  | 11       |
| II-2-2- Phase d'évaluation par contact.....   | 12       |
| II-3- Les signaux de reconnaissance d'un site de ponte.....   | 12       |
| II-3-1- facteurs physiques.....   | 12       |
| II-3-1-1- Stimuli visuels.....  | 12       |
| II-3-1-2- Stimuli physique de contact.....  | 12       |
| II-3-2- Les facteurs chimiques.....   | 12       |

|  |    |
|--|----|
| II-3-2-1- Les substances volatiles.....  | 13 |
| II-3-2-2- Les substances de contact non-volatiles.....   | 14 |
| <b>CHAPITRE III : UTILISATION DES SUCRES COMME INDUCTEURS DE RESISTANCE DES<br/>PLANTES AUX PHYTO-AGRESSEURS</b>   |    |
| III-1- Généralités.....  | 16 |
| III-2- Aperçu sur le phylloplan et l'ultrastructure de la cuticule d'une plante.....   | 16 |
| III-3- Effet des pulvérisations foliaires d'infra-doses de sucres, sur la pyrale du maïs, les<br>nématodes et sur la contamination foliaire de la tomate par <i>Botrytis cinerea</i> ..... | 19 |
| III-4- L'utilisation des sucres comme des signaux pour l'insecte et la plante et leurs<br>applications dans les vergers du pommier pour réduire les dommages de <i>C.<br/>pomone</i> ..... | 19 |
| III-5- Effet des sucres et des cations, lors de la reconnaissance et la sélection de la plante-<br>hôte chez la pyrale du maïs et le carpocapse sur pommier.....                           | 20 |
| <b>PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE</b>   |    |
| <b>CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES</b>   |    |
| I-1- Matériel expérimental.....  | 21 |
| I-1-1- Matériel végétal.....   | 21 |
| I-1-1-1- Golden Delicious.....   | 21 |
| I-1-1-2- Royal Gala.....   | 21 |
| I-1-2- Matériel de piégeage.....   | 22 |
| I-1-2-1- Piège à phéromones.....   | 22 |
| I-1-2-2- Bandes-pièges.....  | 23 |
| I-1-3- Produits de traitement.....   | 24 |
| I-1-3-1- Sucres.....   | 24 |
| I-1-3-2- Insecticide chimique.....   | 24 |
| I-1-4- Matériel de traitement.....   | 25 |
| I-1-5- Autres matériel.....  | 25 |
| I-2- Méthode.....  | 25 |
| I-2-1- Choix des sites d'étude.....  | 25 |
| I-2-2- Présentation des parcelles d'étude.....   | 30 |
| I-2-3- Déroulement des expérimentations.....   | 31 |
| I-2-3-1- Installation des rubans autour des arbres .....   | 31 |

|   |    |
|---|----|
| I-2-3-2- Installation des pièges à phéromones.....  | 31 |
| I-2-3-3- Installation des bandes pièges.....  | 32 |
| I-2-3-4- Application des différents produits.....   | 32 |
| I-2-4- Effet des traitements par les sucres sur les attaques larvaires de <i>C. pomonella</i> sur les deux variétés de pommier..... | 33 |
| I-2-4-1- Dénombrement des fruits attaqués à la récolte.....   | 33 |
| I-2-4-2- Estimation de l'efficacité des traitements Abbott à la récolte.....  | 34 |
| I-2-4-3- Dénombrement de fruits attaqués et tombés au sol.....  | 34 |
| I-2-4-4- Estimation de l'efficacité des traitements Abbott (fruits attaqués et tombés au sol).....                                  | 34 |
| I-2-4-5- Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur fruits à la récolte .....   | 35 |
| I-2-5- Effet des traitements par les sucres sur les larves hivernantes.....   | 35 |
| I-2-5-1- Dénombrement des larves capturées dans les bandes pièges.....  | 35 |
| I-2-6- Effets des traitements par les sucres sur la ponte de <i>C. pomonella</i> sur les deux variétés de pommier.....              | 36 |
| I-2-7- Prélèvements des échantillons des feuilles après traitements pour les analyses biochimiques.....                             | 37 |
| I-2-7-1- Analyses biochimiques des sucres, anions et cations.....   | 38 |
| I-3- Analyses statistiques.....   | 39 |
| <b>CHAPITRE II: RESULTATS ET DISCUSSION</b>   |    |
| II-1- Résultats.....  | 40 |
| II-1-1- Activité de Vol de <i>C. pomonella</i> .....  | 40 |
| II-1-2- Estimation des dégâts.....  | 43 |
| II-1-2-1- Dénombrement des fruits attaqués à la récolte.....  | 43 |
| II-1-2-2- Efficacité des traitements Abbott à la récolte.....   | 44 |
| II-1-2-3- Dénombrement de fruits attaqués et tombés au sol.....   | 45 |
| II-1-2-4- Efficacité des traitements Abbott (fruits attaqués et tombés au sol).....   | 47 |
| II-1-2-5- Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur fruits à la récolte.....   | 48 |
| II-1-3- Dénombrement des larves capturées dans les bandes pièges .....  | 49 |
| II-1-4- Nombre de larves mâles, femelles diapausantes et chrysalides dans les bandes pièges.....                                    | 50 |

|  |    |
|--|----|
| II-1-5- Etude du comportement de ponte dans les vergers sur les deux variétés durant la campagne 2019.....   | 52 |
| II-1-5-1- Effet des traitements par les sucres sur le nombre d'œufs pondus de <i>C. pomonella</i> .....  | 52 |
| II-1-5-2- Répartition d'œufs par organes sur les deux variétés.....  | 53 |
| II-1-5-3- Répartition d'œufs par direction sur les deux variétés.....  | 55 |
| II-1-5-4- Répartition d'œufs par zone sur les deux variétés.....   | 56 |
| II-1-6- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des cations et anions dans les feuilles de pommier, variété R. Gala durant la campagne 2021..... | 57 |
| II-1-6-1- Effet des traitements par les sucres sur la concentration du NPK.....  | 57 |
| II-1-6-2- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des éléments (chlorure, sulfate et sodium).....  | 58 |
| II-1-6-3- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des cations (calcium, magnésium, manganèse et bore).....                                       | 60 |
| II-1-6-4- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des cations (fer, cuivre et zinc).....   | 61 |
| II-1-7- Analyse des sucres solubles des feuilles du corymbe par la méthode de Bertrand.....  | 63 |
| II-1-7-1- Analyse des sucres réducteurs et totaux.....   | 63 |
| II-1-7-2- Analyse du glucose, sucres intervertis et saccharose.....  | 64 |
| II-1-8- Analyse des sucres solubles des feuilles du corymbe par la méthode dubois.....   | 65 |
| II-2- Discussions.....   | 66 |
| <b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b> .....  | 79 |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....   | 82 |
| <b>RESUMES</b> .....   | 93 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1:</b> Calendrier des relevés des papillons capturés dans les pièges à phéromones.....  | 32 |
| <b>Tableau 2:</b> Plan expérimental de l'essai pour le premier verger (Golden Delicious).....  | 32 |
| <b>Tableau 3:</b> Plan expérimental de l'essai pour le deuxième verger (Royal Gala).....   | 33 |
| <b>Tableau 4:</b> Calendrier des différents traitements .....  | 33 |
| <b>Tableau 5:</b> Méthodes d'analyses des éléments minéraux.....   | 38 |
| <b>Tableau 6:</b> Développement des générations durant les différentes campagnes.....  | 42 |
| <b>Tableau 7:</b> Pourcentage des œufs pondus par site de ponte dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> vol dans le bloc témoin non traité.....   | 54 |
| <b>Tableau 8:</b> Nombre moyen des œufs pondus par site de ponte dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> vol dans les quatre modalités.....       | 55 |
| <b>Tableau 9:</b> Pourcentage des œufs pondus par direction dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> vol dans le bloc témoin non traité.....       | 55 |
| <b>Tableau 10:</b> Nombre moyen des œufs pondus par direction de ponte dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> vol dans les quatre modalités..... | 56 |
| <b>Tableau 11:</b> Pourcentage des œufs pondus par zone dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> vol dans le bloc témoin non traité.....           | 56 |
| <b>Tableau 12:</b> Nombre moyen des œufs pondus par zone de ponte dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> vol dans les quatre modalités.....      | 57 |
| <b>Tableau 13:</b> Comparaison des paramètres des études effectuées avec différents doses de sucres sur les deux variétés.....   | 68 |



## LISTES DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1:</b> L'adulte (A, GX 4) et l'œuf (B, GX 10) de <i>C. pomonella</i> sous loupe binoculaire..           | 6  |
| <b>Figure 2:</b> La larve (C, GX10) et la chrysalide (D, GX 4) de <i>C. pomonella</i> sous loupe binoculaire..... | 6  |
| <b>Figure 3:</b> Cycle de vie de <i>C. pomonella</i> .....  | 7  |
| <b>Figure 4:</b> Dégât actif (A), stoppé (B), cicatrisé (C) d'une larve de <i>C. pomonella</i> .....              | 8  |
| <b>Figure 5:</b> Les différentes étapes de la sélection de la plante-hôte par les insectes.....                   | 11 |
| <b>Figure 6:</b> Les différents types des composés sémiochimiques.....  | 13 |
| <b>Figure 7:</b> Présentation des différents niveaux de la feuille chez le laurier cerise et le maïs...           | 17 |
| <b>Figure 8:</b> Structure cuticulaire des plantes supérieures, exemple d'une feuille (A et B).....               | 18 |
| <b>Figure 09:</b> Fruits de la variété Golden Delicious .....   | 21 |
| <b>Figure 10:</b> Fruits de la variété Royal Gala .....   | 22 |
| <b>Figure 11:</b> Piège à phéromone pour le carpocapse .....  | 23 |
| <b>Figure 12:</b> Bande piège installée au niveau du verger d'étude .....   | 23 |
| <b>Figure 13:</b> Sucres utilisés .....   | 24 |
| <b>Figure 14:</b> L'insecticide chimique utilisé, le Décis .....  | 24 |
| <b>Figure 15:</b> Pulvérisateur à dos électrique .....  | 25 |
| <b>Figure 16:</b> Plan des deux vergers d'étude .....   | 27 |
| <b>Figure 17:</b> Plan du verger d'étude de la variété Golden Delicious .....                                     | 28 |
| <b>Figure 18:</b> Vue générale de la parcelle d'étude (Golden Delicious).....                                     | 28 |
| <b>Figure 19:</b> Plan du verger d'étude de la variété Royal Gala .....   | 29 |
| <b>Figure 20:</b> Vue générale de la parcelle d'étude (variété Royal Gala) .....                                  | 29 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 21:</b> Arbres du site d'étude marqués par des rubans adhésifs colorés .....                     | 31 |
| <b>Figure 22:</b> Bande piège (A), larve mâle (B), Larve femelle (C), Chrysalide (D) .....                 | 36 |
| <b>Figure 23:</b> les échantillons prélevés (A), Œuf sur fruit (B), Œufs sur feuille (C).....              | 37 |
| <b>Figure 24:</b> Prélèvement et préparation des échantillons pour analyse (A, B et C) .....               | 38 |
| <b>Figure 25:</b> Déroulement du vol du carpocapse pour la variété G. Delicious.....                       | 41 |
| <b>Figure 26:</b> Déroulement du vol du carpocapse pour la variété R. Gala.....                            | 41 |
| <b>Figure 27:</b> Pourcentage de fruits attaqués par arbre à la récolte.....                               | 43 |
| <b>Figure 28:</b> Efficacités des traitements Abbott à la récolte.....                                     | 44 |
| <b>Figure 29:</b> Pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol.....                                     | 45 |
| <b>Figure 30:</b> Efficacités des traitements Abbott des fruits attaqués et tombés au sol.....             | 47 |
| <b>Figure 31:</b> Nombre de fruits attaqués (actifs, cicatrisés et stoppés) à la récolte.....              | 48 |
| <b>Figure 32:</b> Nombre total des larves diapausantes en fonction des modalités.....                      | 49 |
| <b>Figure 33:</b> Nombre de larves mâles, femelles et chrysalides dans les bandes pièges.....              | 50 |
| <b>Figure 34:</b> Nombre moyen d'œufs par arbre durant les vols pour la variété G. Delicious.....          | 52 |
| <b>Figure 35:</b> Nombre moyen d'œufs par arbre durant les vols pour la variété R. Gala.....               | 52 |
| <b>Figure 36:</b> Poids moyen des éléments NPK en fonction des modalités.....                              | 57 |
| <b>Figure 37:</b> Poids moyen des éléments Cl, SO <sub>4</sub> , Na en fonction des modalités.....         | 58 |
| <b>Figure 38:</b> Poids moyen des éléments Ca, Mg, Mn, B en fonction des modalités.....                    | 60 |
| <b>Figure 39:</b> Poids moyen des éléments Fe, Cu, Zn en fonction des modalités.....                       | 61 |
| <b>Figure 40:</b> Pourcentage moyen des sucres réducteurs et totaux en fonction des modalités...           | 63 |
| <b>Figure 41:</b> Poids moyen des sucres intervertis, glucose et saccharose en fonction des modalités..... | 64 |
| <b>Figure 42:</b> Poids moyen des sucres totaux en fonction des modalités.....                             | 65 |

## INTRODUCTION

La région de Batna est l'une des principales régions productrice de pommes en Algérie. La wilaya de Batna fournit une production d'environ de 1 207 214 Qx en 2019, soit 20,5 % de la production nationale, la superficie totale à Batna est de 3 973 ha, avec un rendement moyen de 303,8 Qx/ha. La production totale en Algérie est arrivée à 5 888 297 Qx avec un rendement moyen de 169,4 Qx/ha et une superficie totale de 32 989 ha (MADR, 2019).

Les producteurs sont confrontés à des problèmes liés aux attaques des bio-agresseurs et particulièrement le carpocapse des pommes et des poires, *Cydia pomonella* L. (*C. pomonella*). En effet, ce ravageur cause régulièrement des dommages considérables dans les vergers (Alston et Reding, 2011) allant jusqu'à 95 % de la production si les fruits ne sont pas protégés, ce qui conduit à une utilisation intensive des insecticides chimiques. En plus de leurs coûts élevés, leurs risques sanitaires que ce soit pour l'applicateur ou pour le consommateur via la présence potentielle de résidus dans les fruits ainsi que leurs importants impacts négatifs sur l'environnement, plusieurs chercheurs ont mentionné l'apparition de la résistance des populations du carpocapse aux insecticides (Bouvier *et al.*, 2001 ; Charmillot *et al.*, 2007 ; Pajac *et al.*, 2019 ; Rodríguez *et al.*, 2011 et 2012 ; Sauphanor *et al.*, 2006 ; Whalon *et al.*, 2008).

Pour faire face à cette situation critique, il devient donc indispensable de concevoir des méthodes alternatives compatibles avec les objectifs actuels de durabilité de la production agricole.

Le concept de pulvérisations foliaires de sucres tous les 20 jours dans les vergers de pommier pour réduire les dommages de *C. pomonella* ont été pratiqués en vergers commerciaux de plusieurs pays (France, Italie, Grèce et Algérie) et sur plusieurs années montrant des résultats très encourageants avec une efficacité de 40 à 59 % (Derridj *et al.*, 2011). Ces mêmes auteurs ont conclu que les sucres en infra-doses induisent des résistances systémiques vis-à-vis de différents phyto-agresseurs, par la modification des métabolites présents à la surface des feuilles dont certains sont des signaux pour l'insecte qui perturbent la reconnaissance de l'hôte et réduisent la ponte. Les études menées par Lombarkia (2002) et Lombarkia *et al.*, (2008 et 2013) ont testé le rôle de métabolites de surfaces des feuilles de pommier y compris le glucose, le fructose, le saccharose, le sorbitol, le quebrachitol et le *myo*-inositol sur le comportement de ponte de *C. pomonella*. Tarkowski *et al.* (2019) ont mentionné que le métabolisme des sucres et leur voie de signalisation influent les systèmes immunitaire des plantes, ceci présente le principe du concept de "Sweet Immunity". Selon

Rolland *et al.* (2006), les sucres non seulement sont des composés des carbones cellulaires et alimentent le métabolisme énergétique mais aussi ils jouent des rôles essentiels chez les plantes en tant que molécules de signalisation, ils sont responsables dans la régulation de la croissance, le développement et les réponses au stress.

Le Mécanisme d'action des sucres à la surface des feuilles est complexe, il semble se traduire par une action systémique sur la physiologie de la plante et probablement par une action sur l'expression de gènes impliqués dans la photosynthèse. Les modifications biochimiques ainsi induites à la surface ont une action sur le comportement de ponte de l'insecte. Cette résistance par « antixenose » est spécifique de l'espèce végétale, du sucre utilisé et de sa concentration apportée (Derridj *et al.*, 2011).

L'objectif de cette étude vise à tester, en deux vergers de pommier et sur deux variétés « Golden Delicious et Royal Gala », les effets de pulvérisations foliaires de deux sucres (glucose et fructose) à une dose de 100 ppm (= 100 parties par million = 10 g pour 100 L) sur:

- (i) le nombre et la distribution des pontes de *C. pomonella*,
- (ii) les attaques larvaires,
- (iii) le nombre de larves diapausantes et chrysalides dans les bandes pièges,
- et également sur (iv) les teneurs des macronutriments primaires (NPK), des macronutriments secondaires (Ca, Mg, Sulfate), les micronutriments (chlorure, bore, fer, manganèse, cuivre, zinc et sodium) ainsi que les sucres réducteurs et totaux présents dans les feuilles des deux variétés étudiées.

*PARTIE I*  
*ETUDE BIBLIOGRAPHIQUES*

# *CHAPITRE I*

*Généralités sur le pommier et le  
carpocapse des pommes et des poires*

*(Cydia pomonella L.)*

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE POMMIER ET LE CARPOCAPSE DES POMMES ET DES POIRES (*Cydia pomonella* L.)

### I-1- Présentation de l'hôte à protéger, le pommier (*Malus domestica* Borkh.)

#### I-1-1- Origine et répartition

Le berceau du pommier se situe très certainement dans le Caucase et sur les bords de la mer Caspienne. De ces régions, sa culture s'est étendue à l'Europe orientale, à la Russie, puis à l'Europe occidentale (Bretaudeau et Faure, 1991).

Les variétés du pommier de l'une à l'autre se développent partout dans le monde, mais elles sont concentrées principalement dans l'hémisphère nord, environ 95 % de toutes les pommes cultivées (à quelque exception dues à des microclimats isolés) se trouvent entre les latitudes nord 30°N et 50°N et entre les latitudes sud 30°S et 45°S (Barret *et al.*, 2005).

#### I-1-2- Caractères botaniques

Les rameaux du pommier portent des bourgeons qui peuvent être végétatifs ou inflorescentiels. Sur ces rameaux, les feuilles sont caduques, alternes, simples, entières et dentées sur les bords. Elles portent deux stipules à la base du pétiole. Les fleurs du pommier sont hermaphrodites, et la reproduction de l'espèce est assurée avec une allogamie prédominante (Massonnet, 2004).

Le fruit ou pomme est une drupe à mésocarpe charnu entourant 5 loges cartilagineuses ; l'épiderme de ce fruit toujours glabre peut être lisse ou rugueux ; la chair est plutôt croquante que fondante, de teinte blanchâtre parfois teintée de jaune ou de rosé. Ce sont les loges cartilagineuses qui renferment les graines ou pépins, leur teinte brune caractérise le fruit mûr (Bretaudeau et Faure, 1991).

Les variétés cultivées dans le monde restent dominées par les variétés unicolores jaunes, rouges et vertes de type Golden Delicious, Delicious Rouges, Granny Smith, mais une montée en puissance des variétés bicolores de types Gala, Fuji, Braeburn, Jonagold et Cripps Pink est observée, ces variétés étant très appréciées par les consommateurs (Massonnet, 2004).

#### I-1-3- Importance économique

La production de pomme s'est adaptée à de nombreux environnements à travers le monde. La pomme aussi réagit bien au stockage à froid à long terme et peut résister aux rigueurs du transport sur de longues distances. En conséquence, il est devenu l'un des principaux fruits

consommés dans de nombreuses sociétés. Dans les pays les plus développés, la pomme est le premier ou deuxième fruit frais le plus consommé (Korbon, 2021).

Les pays de l'hémisphère nord, en particulier la Chine, les Etats-Unis, la Turquie, l'Italie et la Pologne dominent le marché mondial (Barret *et al.*, 2005).

Les espèces de *Malus* ont une importance critique dans le monde de l'agriculture, des approches génomiques sont utilisées pour évaluer la diversité des espèces sauvages, ainsi que celles des cultivars importants et désirables. Ces espèces sauvages et les cultivars ciblés sont essentiels pour les efforts de sélection actuels et futurs pour améliorer le contenu nutritionnel, la productivité, la résistance aux divers stress biotiques et abiotiques, ainsi que la production durable de pomme pour les générations futures (Korbon, 2021).

#### **I-1-4- Principaux ravageurs et maladies de pommier**

Les informations recueillies par le diagnostic phytosanitaire de proximité et règlementaire de la station régionale de la protection des végétaux Ain -Touta, a révélé que particulièrement au niveau de la wilaya de Batna, les maladies et ravageurs signalés sont principalement par ordre d'importance : Les Lépidoptères particulièrement le carpocapse *C. pomonella* L., les cochenilles (principalement le Pou de San José). Les pucerons (Hémiptères, Aphididae) notamment le puceron vert *Aphis pomi*, le puceron cendré *Dysaphis plantaginea*, et le puceron lanigère *Eriosoma lanigerum*, les Acariens, (Tetranychidae), l'acarien rouge *Panonychus ulmi* et l'acarien jaune *Tetranychus urticae*, la cératite *Ceratitis capitata*. La tavelure et l'oïdium sont les maladies les plus importantes qui atteignent le pommier et depuis 2013 on a assisté, l'apparition de quelques foyers du Feu bactérien *Erwinia amylovora*, confirmé par analyse bactériologique par l'INPV et les plants atteints ont été arrachés et incinérés (SRPV, 2020). Comme cet organisme est de quarantaine les services phytosanitaires renforcent tout un encadrement phytosanitaire rigoureux et judicieux pour détruire tout foyer et pour éviter son propagation.

#### **I-2- Généralités sur le carpocapse *Cydia pomonella* L.**

Le carpocapse, *Cydia pomonella* L. (*C. pomonella*) est le ravageur le plus important des pommes et des poires dans le monde et peut endommager jusqu'à 95 % de la production si les fruits ne sont pas protégés (Alston et Reding, 2011).



### **I-2-1- Origine et aire de répartition**

Le ravageur est originaire de l'Eurasie, depuis les deux derniers siècle, il s'est dispersé autour du monde avec l'extension de la culture des pommes et poires (Franck *et al.*, 2007). Il est présent pratiquement dans toutes les régions de la culture de pommier.

### **I-2-2- Taxonomie et synonymie**

Selon Wearing *et al.* (2001) la nomenclature de ce ravageur a une histoire longue et complexe, les synonymes les plus connus sont : *Laspeyresia pomonella*, *Carpocapsa pomonella* et *Cydia pomonella*.

### **I-2-3- Classification**

Selon Pajač *et al.* (2011) la classification du carpocapse des pommes et des poires est la suivante:

Ordre: Lepidoptera Linnaeus, 1758

Sous ordre: Microlepidoptera

Famille: Tortricidae Latreille, 1803

Sous famille: Olethreutinae

Tribu: Grapholitini

Genre: *Cydia* Hubner, 1825

Espèce: *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758)

### **I-2-4- Plantes-hôtes**

Les espèces hôtes sont principalement le pommier, le poirier et secondairement le cognassier, le pêcher, le noyer et *Prunus* spp. (Hill, 2008).

### **I-2-5- Description et Biologie**

#### **I-2-5-1- Description**

L'adulte du carpocapse est un petit lépidoptère de la famille des Tortricidae qui mesure environ 20 mm d'envergure. Ses ailes antérieures d'un gris cendré sont striées de fines lignes brunes, avec une tache brune caractéristique à leur extrémité bordée de deux lisérés bronzés à reflets métalliques en forme de parenthèse (**Figure 1A**). Les deux sexes ne se distinguent que par la forme de l'extrémité de l'abdomen (Charmillot et Höhn, 2004). Les œufs sont d'environ 1 mm de diamètre, en forme de disque transparent et blanc lors des premiers stades, ensuite

deviennent blanches opaques et développent un anneau rouge (Pajač *et al.*, 2011) (**Figure 1B**). La larve est blanchâtre, avec une tête noire, elle mesure 2,54 mm à l'éclosion. Elle atteint à la fin de son développement 1,27 à 1,9 cm de long, de couleur brune claire à rose avec une tête brune, elle pénètre dans le fruit 24 heures après l'éclosion et passe cinq stades larvaires en 2 à 3 semaines, ensuite elle quitte le fruit (**Figure 2C**) (Murray et Alston, 2020). Il hiverne au dernier stade larvaire, enfermé dans un cocon tissé dans les anfractuosités du tronc et des grosses branches ou dans divers abris sur et dans le sol (Charmillot et Höhn, 2004) (**Figure 2D**). Le cocon est de 8-10 mm de long, de couleur jaune-brun à brune foncé (Pajač *et al.*, 2011).



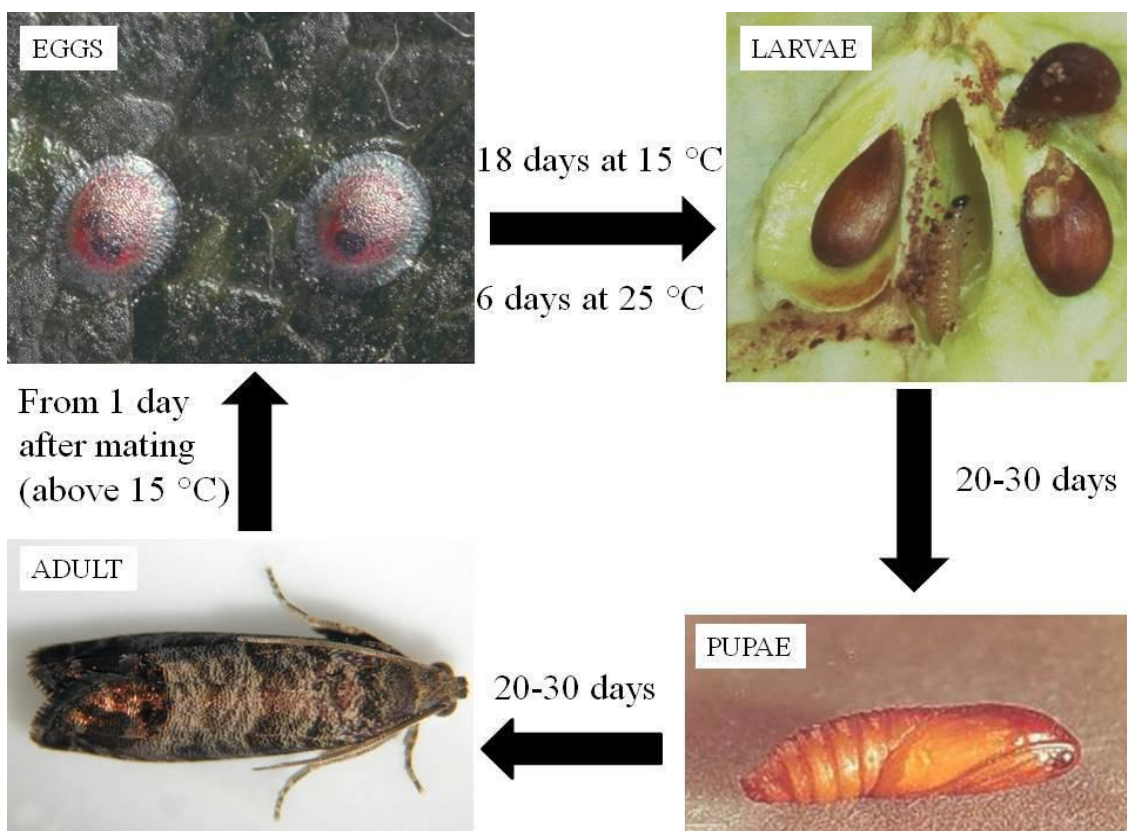
**Figure 1.** L'adulte (A, GX 4) et l'œuf (B, GX 10) de *C. pomonella* sous loupe binoculaire (Photos personnelles).



**Figure 2.** La larve (C, GX 10) et la chrysalide (D, GX 4) de *C. pomonella* sous loupe binoculaire (Photos personnelles).

### I-2-5-2- Biologie

Le carpocapse passe l'hiver sous forme d'une larve diapausante installée dans des anfractuosités de l'écorce du tronc, ou dans le sol au pied des arbres. Cet adulte vit une quinzaine de jours, période durant laquelle il se reproduit. C'est à ce stade que le carpocapse peut potentiellement se déplacer au sein d'un verger, ou entre vergers (Recci, 2009). La femelle dépose les œufs généralement de manière isolée, plus rarement par paquets de 2 ou 3, sur les feuilles à proximité d'un fruit ou plus rarement sur les fruits ou les rameaux. Après une à trois semaines d'incubation, selon la température, les œufs éclosent. Les larves cheminent alors vers les fruits et cherchent un point de pénétration durant une phase nommée « stade baladeur » qui dure de 2 à 5 jours (Marliac, 2015). C'est la seule période durant laquelle la larve est directement exposée aux insecticides, le reste de la vie larvaire se déroulant à l'intérieur du fruit. Cette vie larvaire dure de 20 à 30 jours avec 5 stades successifs ; ensuite, la larve quitte le fruit et cherche un abri pour tisser son cocon. En fonction des conditions climatiques, elle pourra alors soit entrer directement en nymphose, conduisant à une nouvelle génération dans la même saison, soit entrer en diapause au dernier stade pour passer l'hiver (Recci, 2009). En dépendant des conditions climatiques, le carpocapse se développe en une à quatre générations par an (Resh et Cardé, 2009) (**Figure 3**).



**Figure 3.** Cycle de vie de *C. pomonella* (Chidawanyika, 2010).

### I-2-6- Dégâts

Les pommes attaquées se reconnaissent au trou dont la bordure est rongée, la larve creusant une galerie en spirale. Son point de pénétration se situe souvent au contact de deux fruits. Elle se dirige ensuite à l'aide d'une galerie linéaire vers le cœur du fruit et s'attaque aux pépins provoquant fréquemment la chute du fruit (Demestihis, 2018).

Selon Charmillot et Höhn (2004), Hmimina (2007) il existe différents types d'attaques:

**Attaques actives:** entrées des larves avec défécations visibles de l'extérieur causant souvent la chute des fruits. Les galeries en spirales sous l'épiderme évoluant profondément jusqu'aux pépins (**Figure 4 A**).

**Attaques stoppées:** tâches brunâtres de 2 à 3 mm recouvrant une zone subérisée, pas de galerie interne (**Figure 4 B**).

**Attaques cicatrisées:** formation d'un tissu cicatriciel quelquefois proéminent à l'endroit d'une ancienne attaque arrêtée (**Figure 4 C**).



**Figure 4.** Dégâts actifs (A), stoppés (B) et cicatrisés (C) provoqués par *C. pomonella* (Photos personnelles).

### I-2-7- Les difficultés de contrôle du carpocapse

Sur l'ensemble de l'aire de répartition mondiale du pommier cultivé, l'adaptation de *C. pomonella*, à la phénologie de son hôte résulte en une pression parasitaire exercée de la nouaison jusqu'à la récolte, constituant ainsi une contrainte majeure à la production de pommes. Le carpocapse est donc depuis longtemps la cible de traitements chimiques intensifs durant la majorité de sa période de présence en vergers. Boutin (2001) et Picard (2007) cités par Boreau de roincé (2012) ont considéré le nombre des traitements jusqu'à 18 à 20 dans la saison uniquement contre le carpocapse. En conséquence, de nombreuses populations ont développé des résistances aux matières actives les plus fréquemment utilisées, mettant en

échec de façon récurrente les stratégies de protection dans le monde entier (Boivin et Sauphanor, 2007). Plusieurs auteurs ont mentionné cette résistance, Rodríguez *et al.* (2012) a indiqué que l'utilisation intensive des insecticides a conduit à la sélection des populations résistantes et l'échec de lutte. De plus, Charmillot *et al.* (2007), Reyes *et al.* (2007) ont conclu que la lutte chimique est le principal moyen utilisé pour contrôler le carpocapse et les fortes fréquences de traitements ont conduit à l'apparition de résistances à de nombreux insecticides. Ces résistances et le manque de compréhension de la biologie du carpocapse et de son écologie rendent difficile son contrôle par les insecticides. Aussi, Selon Benoit (2010), le réchauffement climatique allonge la durée des conditions favorables à l'émergence des adultes, dans le sud de la France, on observe de 2 à 3 générations annuelles et depuis quelques années, on observe de plus en plus de larves de troisième génération sous l'effet des changements climatiques d'une part et d'autre part serait lié à la plantation de nouvelles variétés de pommes récoltées plus tardivement ce qui prolonge la présence de fruits dans les vergers.

Donc, pour une lutte efficace, contre ce ravageur, les traitements insecticides doivent cibler les stades sensibles qui sont l'œuf et la larve fraîchement écloses (néonates), avant sa pénétration dans le fruit. Le raisonnement de la protection passe par la connaissance précise de la période d'occurrence de ces stades (Boivin et Sauphanor, 2007). Par exemple, dans le sud de la France, sur les 8 à 15 traitements appliqués annuellement sur cette espèce, le nombre d'applications annuelles de ces insecticides est limité à 2 ou 3, soulignant l'importance d'une définition des périodes de risque la plus précise possible. L'application judicieuse de ces méthodes de prévision du risque et de gestion des résistances, associée à des implantations et conduites de vergers moins favorables aux bioagresseurs, assurera le maintien du revenu des producteurs (Boivin et Sauphanor, 2007).

## *CHAPITRE II*

*Sélection de la plante-hôte chez un  
lépidoptère phytophage.*

**CHAPITRE II : SELECTION DE LA PLANTE-HOTE CHEZ UN LEPIDOPTERE PHYTOPHAGE.****II-1- Mécanisme de fonctionnement**

Une plante-hôte désigne une espèce végétale qui permet, en condition naturelles, à un insecte de se développer de l'œuf à l'adulte (accepté à la fois par la femelle adulte pour pondre et par la larve pour s'alimenter) (Maher, 2002). Le cycle reproducteur de l'insecte doit donc, d'une part, coïncider avec le développement de la plante-hôte et d'autre part, l'insecte doit disposer de mécanismes efficaces pour la localiser et l'identifier. Généralement, chez les lépidoptères le choix "correct" de la plante-hôte se fait par la femelle adulte. Cette dernière choisit la source d'alimentation pour sa descendance (Renwick et Chew, 1994).

La sélection de la plante-hôte par un insecte (pour se nourrir, déposer ses œufs, abri ou refuge) est basée sur les caractéristiques physiques (couleur, odeur, texture ...) et les caractéristiques chimiques (l'état nutritionnel, présence ou absence des métabolites toxiques ...) de la plante-hôte (Mookiah *et al.*, 2021).

Grâce à un équipement sensoriel spécifiquement adapté, l'insecte détecte par olfaction et vision à distance et par gustation et mécano réception au contact de la plante des signaux chimiques et physiques produits par celle-ci. L'intégration par ces différents signaux au niveau du système nerveux central (SNC) forme l'image sensorielle, qui va être comparée avec celle stockée et fixée génétiquement chez l'insecte, qui peut se modifier par l'expérience (Schoonhoven *et al.*, 1998).

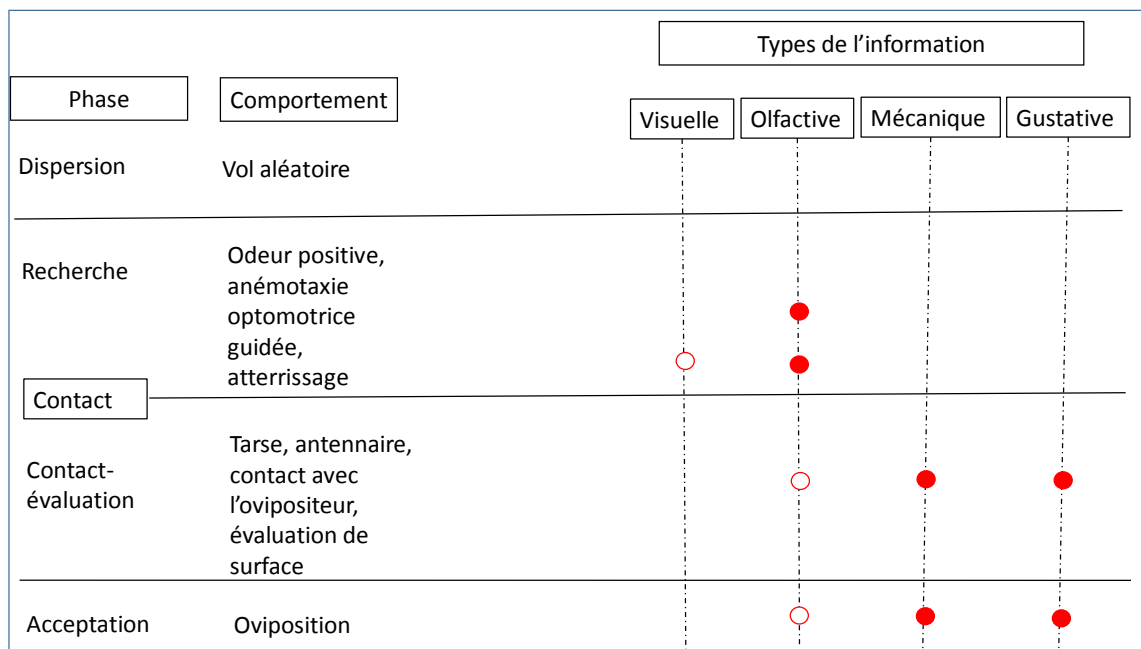
A partir des informations qu'elle perçoit, la femelle serait capable de déterminer l'acceptabilité d'une plante (Schoonhoven *et al.*, 1998). Maher (2002) a indiqué que la femelle détermine cette acceptabilité basant sur l'équilibre des stimuli produits par la plante et perçus par l'insecte, sur une plante acceptable, les stimuli positifs (facteurs chimiques et physiques stimulants) domineraient les stimuli négatifs (barrières physiques, facteurs chimiques et physiques dissuadants), alors que sur une plante faiblement acceptable ou rejetée par l'insecte, les stimuli négatifs auraient plus d'importance ou domineraient. La balance entre stimuli positifs et négatifs s'établirait au niveau du système nerveux central SNC en fonction de facteurs internes qui peuvent moduler cet équilibre.

Par ailleurs, Dethier (1982) a résumé dans son travail que la reconnaissance et le choix de la plante-hôte impliquent l'intégration d'un ensemble d'évènements neuraux et métaboliques. Ceux-ci comprennent : les caractéristiques de perception et de codage des organes sensoriels, les mécanismes de décodage du système nerveux central, la prise en

compte de "Tacrass-fiber pattern" et l'évaluation des rapports entre substances dissuadantes et stimulantes, de facteurs pré et post ingestion telle que satiété, équilibre nutritionnel et de facteurs expérimentés tels que l'induction et l'apprentissage de l'évitement.

## II-2 -Processus comportemental aboutissant à la ponte

Les insectes possèdent différentes facultés sensorielles qui leur permettent d'échanger des informations intra et interspécifiques via différents modes de communication. Ce processus (illustré en **Figure 5**) est divisé en deux grandes phases comportementales consécutives, séparées par l'atterrissage : (1) la phase de recherche de la plante-hôte à distance menant l'insecte à se rapprocher et à trouver celle-ci et (2) la phase d'évaluation par contact de la plante au bout duquel l'insecte décide de l'accepter ou de la rejeter (Maher, 2002).



**Figure 5.** Les différentes étapes de la sélection de la plante-hôte par les insectes phytophages (Schoonhoven *et al.*, 1998).

### II-2-1-Phase de recherche à distance

Tant qu'elle ne perçoit pas la plante, la femelle réalise des mouvements aléatoires qui vont l'amener à rencontrer à distance un signal visuel ou olfactif provenant de l'hôte (Maher, 2002). Renwick et Chew (1994) ont dénoté que les caractéristiques olfactives et visuelles sont les modalités sensorielles principalement impliquées dans l'orientation à distance des papillons vers leur plante-hôte.



## II-2-2- Phase d'évaluation par contact

Par des contacts répétés de ses pattes, antennes, ovipositeur et pièces buccales avec la surface de la plante, l'insecte tente de percevoir des signaux physiques et chimiques lui indiquant l'acceptabilité du site (Maher, 2002). Chez les insectes qui pondent dans les tissus de la plante, une étape d'évaluation est nécessaire où l'insecte va tester un échantillon des tissus internes (composition chimique, dureté, épaisseur,...) en effectuant des blessures à la surface du végétale (Schoonhoven *et al.*, 1998).

## II-3- Les signaux de reconnaissance d'un site de ponte

### II-3-1- facteurs physiques

#### II-3-1-1- Stimuli visuels

\* **La couleur et la forme:** La sélection d'une plante par un insecte phytophage peut être expliquée en partie par les caractéristiques physiques du site de ponte comme la texture, la couleur, la forme de la plante ou de l'organe sélectionné. Ceux-ci participeraient à la formation de l'image sensorielle recherchée par la femelle, caractéristique de la plante-hôte. Par exemple Blomfield *et al.* (1997), et Jackson (1979) ont montré une corrélation positive entre la taille des grappes florales et le nombre d'œufs déposés.

Les stimuli visuels et olfactifs jouent un rôle important dans la découverte de l'hôte et le processus de ponte (Kalaisekar et Patil, 2017).

#### II-3-1-2- Stimuli physique de contact

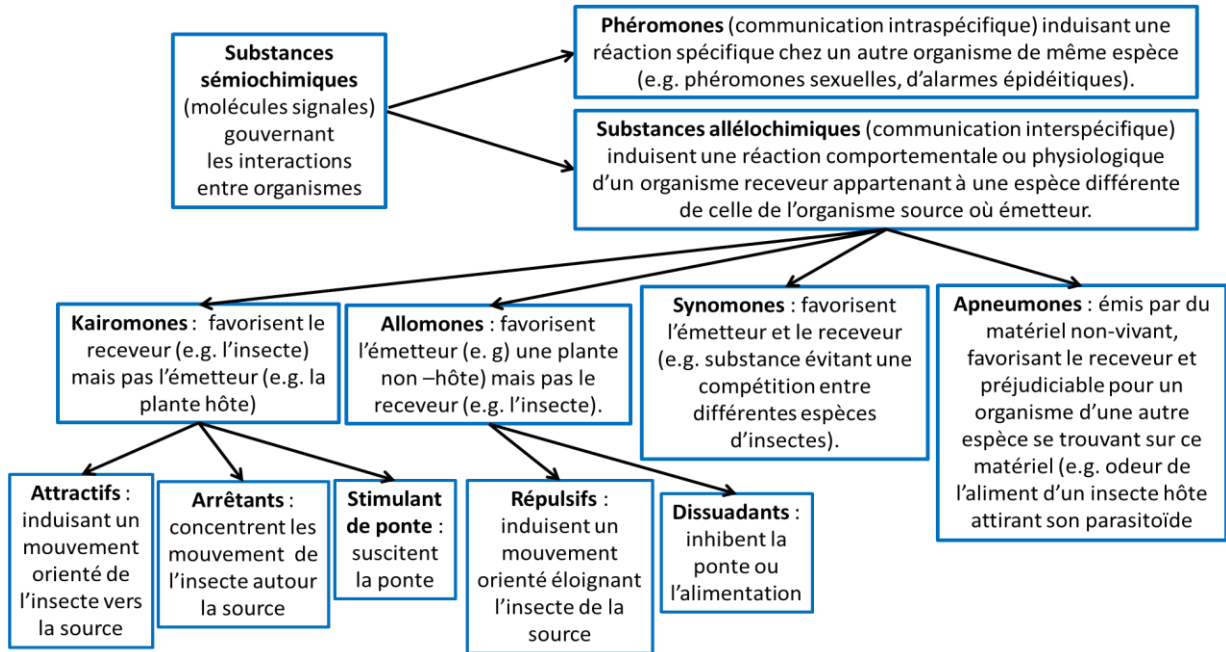
\* **Les cires:** La morphologie, la texture et la structure des cires épicuticulaires de la surface des plantes sont les principaux facteurs constituant l'image sensorielle (Schoonhoven *et al.*, 1998).

\* **La texture:** Pour détacher les œufs des surfaces des feuilles inférieures couvertes de trichomes il faut des forces d'arrachement 2 à 3 fois plus fortes que les forces d'arrachement de celles des surfaces supérieures des feuilles et ces forces sont différentes selon les cultivars (Al Bitar *et al.*, 2012).

### II-3-2- Les facteurs chimiques

Le choix d'un site de ponte par un insecte phytophage est basé sur les signaux chimiques. Les composés chimiques communiqués d'un individu à l'autre sont appelés composés sémiochimiques, ils peuvent être émis par des plantes ou des animaux, dans le cadre d'interactions interspécifiques (composés allélochimiques) et intraspécifiques (phéromones). Bakthatvatsalam *et al.* (2022) définissent les composés sémiochimiques comme des

composants organiques utilisés par les insectes pour transmettre un message chimique spécifique qui modifient leurs comportements ou leurs physiologies. Les composés sémiouchimiques complètent l'information physique pour former l'image sensorielle d'une plante-hôte recherchée par l'insecte. La classification et la définition de ces composés sémiouchimiques sont résumées par Maher (2002) dans la **Figure 6**.



**Figure 6.** Les différents types des composés sémiouchimiques (Maher, 2002).

Ces deux catégories des sémiouchimiques avec les hormones (par définition sont d'origine endocrinienne ou tissulaire, elles agissent au sein des individus sans l'intervention d'organes sensoriels) sont les trois catégories qui composent les médiateurs chimiques.

### II-3-2-1- Les substances volatiles

Smaghe et Diaz (2012) ont défini les substances volatiles comme des composés organiques volatils (VOCs) ou odeur émit par la plante, via son système végétatif (feuilles, fleur, racines) ces composés sont produits et libérés dans son environnement (air et sol), ils sont d'origine métabolique divers et la majorité appartient aux terpénoïdes, (C6-aldehydes) (appelé C6 volatiles ou aromates) les fonctions des volatils semblent souvent liés aux défenses des plantes ou d'autres sont attractives et ont un effet stimulant la prise de nourriture. Alors que Subaharan *et al.*, (2021) ont défini les composés volatils organiques comme des composés qui sont produits par tous les organismes vivants y compris les plantes et ces dernières les emploient pour se défendre contre les insectes nuisibles.

Chez le carpocapse, selon Wearing et Hutchins (1973), l'olfaction joue un rôle important dans la localisation des fruits par les femelles adultes et les larves du premier stade dans le verger. De plus, Yan *et al.* (2003), à préciser le rôle important d'alpha-farnesene dans le comportement des femelles. Ansebo *et al.* (2004) montrent l'activité antennaire et comportementale des composés volatils synthétiques de pomme engendrant des réponses de *C. pomonella*. Il s'agit du, (Z) 3-hexenyl benzoate, (Z)3-hexenyl hexanoate, (±)-linalool et E,E-a-farnésène, (Z)-3-hexenol, ethyl (E,Z)-2,4-decadienoate et l'aldehyde, E,E-2,4-decadienal.

### II-3-2-2- Les substances de contact non-volatiles

\* **Les métabolites primaires:** Elles présentent un rôle comme des signaux de reconnaissance pour les femelles, Lombarkia et Derridj (2002) ont révélé dans leur étude que les métabolites primaires présents dans la surface des feuilles jouent le rôle des Kairomones. Certains métabolites primaires comme le fructose, le sorbitol et le *myo*-inositol ont une action sur l'acceptation et la stimulation de ponte de *C. pomonella* (Lombarkia et Derridj, 2002).

Derridj *et al.* (1999) ont mis en évidence l'effet des sucres (glucose, fructose, saccharose) et sucres-alcools (sorbitol, québrachitol et *myo*-inositol) sur le comportement de ponte des femelles et des chenilles néonates de *C. pomonella*. Les métabolites primaires stimulent également la prise alimentaire. En effet, Schoonhoven *et al.* (1998) ont mis le point sur les glucides et les acides aminés produits par toutes les plantes, résultant de leur activités photosynthétique, la plupart des insectes herbivores utilisent surtout les glucides comme des stimulants de l'alimentation, pour la plupart des espèces étudiées le saccharose, le glucose et le fructose sont les stimulants les plus puissants et présents de 2 à 10 % de leurs poids sec.

\* **Les métabolites secondaires:** Les substances du métabolisme secondaire sont les meilleures candidates pour représenter une plante, car elles peuvent être caractéristiques de genres ou de familles de plantes soit par leur dominance quantitative (le cas de nombreux composés phénoliques et flavonoïdes), soit par leur particularité, pour ce cas, les métabolites secondaires sont spécifiques à un taxon particulier, ils agissent comme des stimulants de l'alimentation ou de la ponte des espèces monophages ou oligophages (Schoonhoven *et al.*, 1998).

Une grande majorité des femelles pondeuses des insectes semblent utiliser les métabolites secondaires des plantes comme des signaux pour localiser et sélectionner les plantes, (Städler *et al.*, 2002). Les métabolites primaires comme les sucres activent très souvent des cellules

phagostimulatrices et sont par conséquent connus pour avoir un fort effet stimulant, donc favorable à l'acceptation de l'hôte (Schoonhoven, 1987 ; Chapman, 2003 in Menacer, 2023).

La majorité des composés identifiés actifs sur la ponte d'un insecte phytophage sont caractéristiques de la famille de la plante étudiée et proviennent le plus souvent du métabolisme secondaire (Ex. : glucosinolates, phénols, flavonoïdes, quinones, coumarines, di-, tri- et sesquiterpènes, stéroïdes, saponines, alcaloïdes) (Städler *et al.*, 2002).

## *CHAPITRE III*

*Utilisation des sucres comme  
inducteurs de résistance des plantes  
aux phyto-agresseurs*

### CHAPITRE III : UTILISATION DES SUCRES COMME INDUCTEURS DE RESISTANCE DES PLANTES AUX PHYTO-AGRESSEURS

#### III-1- Généralités

Les sucres sont une source importante utilisée pour la biosynthèse des composants cellulaires tels que l'ADN et des acides aminés et pour les réactions biochimiques. En fait, les sucres non seulement alimentent les composants cellulaires en carbone cellulaire et le métabolisme énergétique, mais jouent également un rôle central en tant que molécules de signalisation. Plusieurs recherches ont montré leurs rôles pour moduler la croissance, le développement et les réponses des plantes au stress (Rolland *et al.*, 2006).

Gibson (2004), dans son étude a résumé que certains processus des plantes: le développement, la physiologie et le métabolisme sont régulés par la disponibilité des nutriments en particulier les sucres solubles (glucose et saccharose), aussi les sucres aident à réguler d'autres processus par interaction avec les phytohormones, par exemple ils aident à réguler la synthèse, la conjugaison et/ou le transport des Gibbérelline et l'acide abscissique.

Derridj *et al.* (2011), ont montré que les femelles de deux lépidoptères: la pyrale du maïs et le carpocapse du pommier, ont un comportement de sélection de la plante-hôte pour pondre, qui est influencé par la perception de ces sucres à la surface des feuilles. Les femelles détectent les sucres grâce à des récepteurs sensoriels qu'elles ont sur leurs antennes, tarse des pattes et ovipositeur. Par ce dernier elles examinent la surface du site sur lequel elles ont atterri et déposent les œufs en plus ou moins grand nombre, selon les stimuli biochimiques rencontrés. Les insectes lépidoptères comme la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis* et le carpocapse des pommes et des poires *C. pomonella* perçoivent par contact les sucres solubles à la surface des plantes comme des signaux influençant la reconnaissance de la plante et le dépôt de leurs œufs (Derridj *et al.*, 1989 ; Lombarkia et Derridj, 2002 et 2008).

Tarkowski *et al.* (2019) ont affirmé que le concept de « Sweet immunity » a comme principe que les sucres du métabolisme (molécules de signalisation) influencent l'immunité des plantes.

#### III-2- Aperçu sur le phylloplan et l'ultrastructure de la cuticule d'une plante

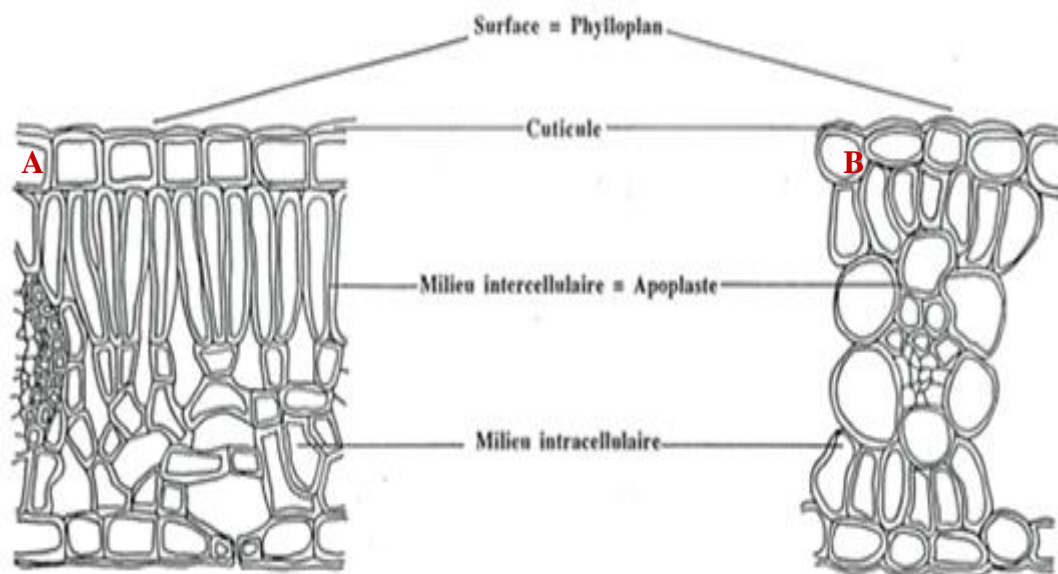
Le phylloplan (surface de la feuille) est le siège d'interactions entre la plante et son environnement (Fiala *et al.*, 1993). Le phylloplan représente un écosystème à part entière. Il est le trait d'union entre la plante et son milieu biotique et abiotique, il est à la fois plante et

milieu ambiant. Il constitue la dernière étape au cours de laquelle l'insecte sélectionne son site de ponte ou de prise de nourriture (Stammitti, 1995).

Les composés du phylloplan peuvent être stimulants pour les insectes ou les micro-organismes tels que: des sucres solubles, des acides aminés, des acides organiques, des éléments minéraux (Derridj *et al.*, 1989).

La topographie du phylloplan à l'échelle microscopique est faite de vallons, de dépressions, de collines et de pics que constituent les nervures, les stomates, les jonctions des cellules épidermiques, les hydathodes, les trichomes... La matière première de cette surface foliaire est formée par la cuticule, qui elle-même présente des topographies différentes, selon la structure de ses cires épicuticulaires qui peuvent être amorphes ou cristallines, sous forme de rubans, tubes, tortillons... (Jeffree, 1986 in Riederer et Muller, 2006).

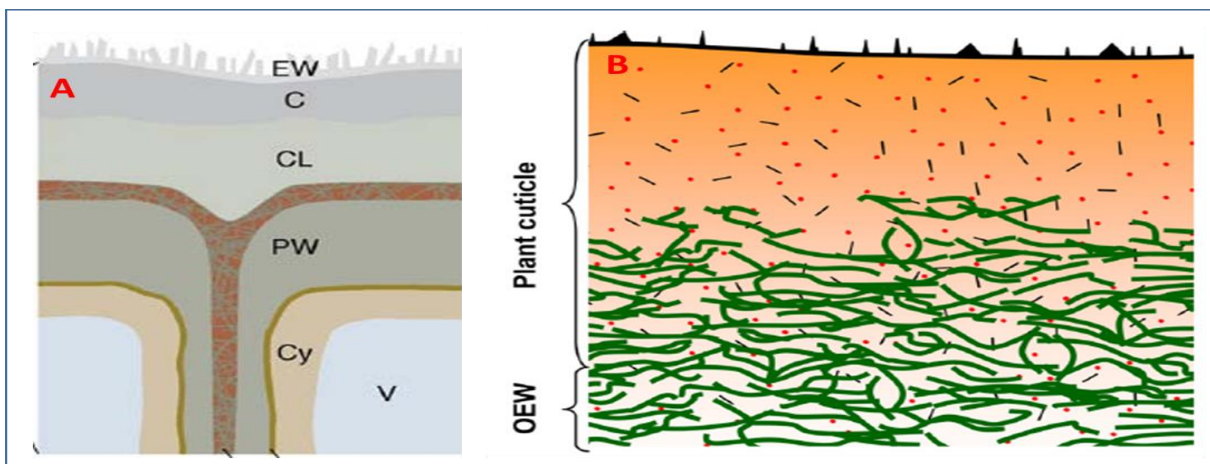
Le milieu intracellulaire, reflet de l'usine productrice des métabolites primaires, qui vont ensuite circuler pour partie dans la feuille et vers d'autres parties de la plante par le milieu intercellulaire ou apoplaste (**Figure 7**).



**Figure 7.** Présentation des différents niveaux de la feuille chez le laurier cerise (A) et le maïs (B) (Stammitti, 1995).

La qualité de métabolites primaires dans le phylloplan dépend principalement de leur source (métabolisme de la plante), et des différentes barrières successives qu'ils doivent franchir pour atteindre la surface, dont l'ultime est représentée par la cuticule. La détermination de l'information biochimique donnée par le phylloplan sur le contenu foliaire pourra donc être élucidée (Stammitti, 1995).

La cuticule, du latin *cuticula*, signifiant « peau fine », désigne un film lipidique translucide situé à l'interface entre la plante et son environnement aérien. Il ne s'agit pas d'une couche cellulaire, mais bien d'une matrice extracellulaire continue. La cuticule est présente au niveau de la face extérieure des cellules épidermiques des organes aériens de toutes les plantes vasculaires et seules les cellules épidermiques ont la capacité de synthétiser les composés lipidiques nécessaires à son élaboration. La cuticule joue un rôle majeur dans l'adaptation des plantes, dans la réponse aux stress (Petit, 2014). La cuticule varie largement dans sa composition, son épaisseur (de 0,02 à 200  $\mu\text{m}$ ) et sa structure en fonction de l'espèce végétale, de l'organe de la plante et du stade de développement (Jeffree, 1996 in Riederer et Muller, 2006). Chez la majorité des plantes, elle est formée par un bio polymère flexible appelé cutine et par un mélange complexe de cires. Des observations en microscopie électroniques montrent qu'il existe un niveau de complexité supplémentaire entre les parois cellulaires et la cuticule, permettant de discriminer différents niveaux d'organisation. Ainsi, la couche contigüe à la paroi est appelée « cuticle layer » et se compose de cires intracuticulaires, de cutine et de polysaccharides, semblant ponter la cuticule et la paroi. La couche plus externe est appelée « cuticle proper » et n'est composée que de cutine et de cires intra et épicuticulaires (Petit, 2014) (**Figure 8 A et B**).



**Figure 8 (A et B).** Structure cuticulaire des plantes supérieures, exemple d'une feuille (Petit, 2014).

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| EW: Cire épicuticulaire        | ┆ Cire épicuticulaire   |
| C: Cuticule proprement dit     | ┆ Cire intracuticulaire |
| CL: Couche cuticulaire         | ● Phénols               |
| PW: Paroi cellulaire primaire  | ~ Polysaccharides       |
| Cy: Cytoplasme                 | ■ Cutine                |
| V: Vacuole                     |                         |
| OEW: Paroi épidermique externe |                         |



### **III-3- Effet des pulvérisations foliaires d'infra-doses de sucres, sur la pyrale du maïs, les nématodes et sur la contamination foliaire de la tomate par *Botrytis cinerea***

La pulvérisation foliaire de sucres en infra-doses sur des plantes fruitières et légumières induit des résistances systémiques vis-à-vis de différents phyto-agresseurs. Par la modification des métabolites présents à la surface des feuilles dont certains sont des signaux pour l'insecte qui perturbent la reconnaissance de l'hôte et réduisent la ponte (Derridj *et al.*, 2011).

L'usage de saccharose 10 ppm ou de fructose 0,1 ppm réduit la ponte de la pyrale aux stades végétatifs du maïs. La pulvérisation de saccharose ou fructose (100 ppm) tous les 20 jours peuvent induire une résistance de la tomate à un nématode phytophage (*Meloidogyne javanica*) ou à *Botrytis*. Des variations sont enregistrées, selon le sucre, l'espèce végétale, la variété et le ravageur (Derridj *et al.*, 2011).

### **III-4- L'utilisation des sucres comme des signaux pour l'insecte et la plante et leurs applications dans les vergers du pommier pour réduire les dommages de *C. pomonella*.**

Peu d'études ont été menées sur les métabolites primaires à la surface de la feuille, qui agissent comme signaux sur les femelles de lépidoptères lors de la reconnaissance du site de ponte. Les études de Lombarkia (2002) ; Lombarkia et Derridj (2008) montrent le rôle important des sucres dans le choix du site préféré de ponte de *C. pomonella* sur pommier et sa stimulation de ponte liés à un mélange de saccharose, D-fructose, glucose, sorbitol, quebraquitol et *myo*-inositol présents à la surface des feuilles du pommier. L'application foliaire exogène de saccharose et de D-fructose peut induire une résistance par antixénose à la ponte de l'insecte (Lombarkia et Derridj, 2008). Des applications foliaires de sucres tous les 20 jours sur le pommier pour réduire les dommages de *C. pomonella* ont été pratiquées en vergers commerciaux de plusieurs pays (dans le sud de la France, en Italie, en Grèce et en Algérie) et sur plusieurs années montrent une efficacité de 40 à 59 % (Derridj *et al.* 2011). Sur la variété Starkrimson et en forte pression du carpocapse, le saccharose et le fructose (à 100 et 50 ppm), achetés en Commerce, appliqués seuls, au milieu de la journée (pic de photosynthèse), permettent de limiter les dégâts de façon relativement satisfaisante, dont le saccharose offre les meilleurs résultats, avec des efficacités des traitements engendrant des pourcentages significativement identiques allant jusqu'à  $65,48 \pm 19,10$  (Brahim et Lombarkia, 2018).

### III-5- Effet des sucres et des cations, lors de la reconnaissance et la sélection de la plante-hôte chez la pyrale du maïs et le carpocapse sur pommier

Des substances présentes à la surface des feuilles ayant un effet stimulant sur la ponte de la pyrale du maïs ont été identifiées. D'après Derridj et Wu (1996) les sucres (en non choix) stimulent la ponte de la pyrale de maïs et, en particulier le fructose. Le glucose ayant un effet plutôt dissuasif. En conditions de choix, l'insecte préfère pondre sur le support deux fois plus riche en sucres (fructose, glucose et saccharose), que la moyenne observée sur maïs cultivé en serre. Ils ajoutent aussi que les cations (Calcium, Sodium, Potassium) stimulent aussi la ponte d'*Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera, Crambidae) et lorsque l'on ajoute à ceux -ci, des sucres (fructoses, glucose et saccharose) en très faibles quantités (inactives sans les sels), l'effet des cations est augmenté. Il existe donc une synergie entre les sucres et les cations.

Les cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>), les acides organiques, les acides aminées, les esters, les alcanes, les composées secondaires tels que la phloridzine qui caractérise le genre *Malus* et particulièrement les métabolites primaires stimulent l'alimentation des adultes et des larves chez plusieurs insectes y compris le carpocapse (Vrieling et Derridj, 2003 ; Cabanat, 1999 in Brahim, 2010).

*PARTIE II*  
*ETUDE EXPERIMENTALE*

# *CHAPITRE I*

## *Matériel et méthodes*

## CHAPITRE I: MATERIEL ET METHODES

### I-1- Matériel expérimental

#### I-1-1- Matériel végétal

Notre travail a été déroulé sur deux variétés de pommier:

##### I-1-1-1- Golden Delicious

C'est une variété américaine, le fruit est gros, de bonne qualité et très apprécié sur les marchés. Se cultive sous les différentes formes libres. Le fruit résiste très bien aux transports et de très longue conservation, surtout en chambre froide (Bretaudeau et Faure, 1991). Sa maturité en Algérie est au courant du mois d'octobre (**Figure 09**).



**Figure 09.** Fruits de la variété Golden Delicious (photo personnelle).

##### II-1-1-2- Royal Gala

La mise à fruits est rapide. La production est bonne. Le fruit est de moyen calibre et de forme tronconique. La chair est blanc-crème, ferme, croquante, sucrée, acidulée assez parfumée (Bretaudeau et Faure, 1991). Sa cueillette en Algérie est au courant du mois d'août (**Figure 10**).



**Figure 10.** Fruits de la variété Royal Gala (photo personnelle).

### **I-1-2- Matériel de piégeage**

#### **I-1-2-1- Piège à phéromones**

Deux pièges à phéromones (**Figure 11**) ont été installés au niveau des deux vergers d'étude (variété : Golden Delicious et Royal Gala), pour le suivi du vol des mâles de carpocapse, précisément dans le milieu des parcelles et suspendu sur une hauteur d'homme pour faciliter les relevés. Les pièges donnent de bonnes indications sur l'époque d'apparition des papillons et l'importance de la population du ravageur. Les pièges sont de Type Russel IPM, composé d'une plaque engluée sur laquelle on dépose une capsule attractive de phéromone sexuelle de type ((E,E)-8,10-dodecadien-1-ol) attirant les mâles, en relevant les pièges à phéromones tous les 3 jours. Sur la variété Golden Delicious, nous avons effectué un suivi durant la campagne 2019, du 17 mars (date d'installation du piège à phéromones) au 25 septembre (date de fin de récolte), puis nous avons concentré nos observations sur la variété Royal Gala en trois années (2019, 2020 et 2021) du 17 mars au 04 septembre (date d'installation du piège et date de fin de récolte respectivement).



**Figure 11.** Piège à phéromones pour le carpocapse (photo personnelle).

### **I-1-2-2- Bandes-pièges**

Les bandes pièges sont des bandes cartonnées (20 cm de largeur) posées de façon à entourer le tronc de l'arbre (20 cm du rat du sol), comportent deux feuilles de carton ondulés superposées recouvertes des rubans adhésifs, les 3 couches sont rendues solidaires par un fil de fer et dans lesquelles les larves diapausantes s'installent préférentiellement à l'automne lorsqu'elles descendent le long du tronc. Installées au mois de juin (**Figure 12**).



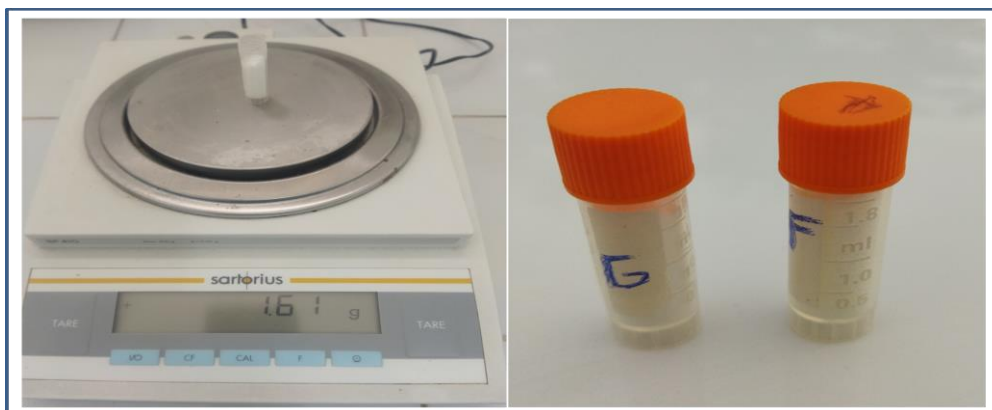
**Figure 12.** Bande piège installée au niveau du verger d'étude (photo personnelle).

### I-1-3- Produits de traitement

#### I-1-3-1- Sucres

Le Glucose et le Fructose utilisés proviennent de la société Fluka Biochemika (pureté  $\geq 99\%$ ) préalablement pesés et mis en tube pour la quantité d'eau pulvérisée, avec une dose de: 100 ppm = 10g / 100 L par tube de fructose, soit 1,6 g de fructose pour 16 litres.

-100 ppm = 10g / 100 L par tube de glucose, soit 1,6 g de glucose pour 16 litres (**Figure 13**).



**Figure 13.** Sucres utilisés (photos personnelles).

#### I-1-3-2- Insecticide chimique

L'insecticide utilisé est le Décis à base de Deltaméthrine qui s'applique à la dose de 0,5 l/ha ou 50 ml/hl d'eau, avec une formulation EC (concentrée émulsionnable) composée de 25 g/l Deltaméthrine, il est fourni par la société Bayer (**Figure 14**).

Selon Charbonnier et Pringard (2022), la Deltaméthrine agit par contact et ingestion sur un grand nombre d'insectes (polyvalent), à des doses très faibles. Sa persistance d'action est de l'ordre de 3 à 4 semaines.



**Figure 14.** L'insecticide chimique utilisé, le Décis (photo personnelle).



#### I-1-4- Matériel de traitement

Pour effectuer les différents traitements, nous avons utilisé un pulvérisateur à dos électrique (12 V-12Ah) à une capacité de 16 litres (**Figure 15**).



**Figure 15.** Pulvérisateur à dos électrique (photo personnelle).

#### I-1-5- Autres matériels

D'autre matériel a été également utilisé tels que :

Sécateur, sacs en papiers pour le transport des rameaux prélevés pour le dénombrement de ponte, loupe binoculaire, glacière pour le transport des échantillons vers le laboratoire, tubes de conservation des sucres pour les traitements, balance de précision (0,01g), boîtes en plastique pour la conservation des larves recueillies des cartons ondulés, kit de protection (combinaison de protection en plastique, gants en latex, gants en nitrile, Masque, lunette de protection et botte).

### I-2- Méthode

#### I-2-1- Choix des sites d'étude

Les deux vergers d'étude se situent à l'est du chef-lieu de la commune de Beni Foudhala El Hakania, l'un est espacé de l'autre de 200 m, et l'altitude est de 951m (**Figure 16**), le premier verger (se trouve aux coordonnées géographiques N: 35°21'12,4" et E: 06°01' 19,1") a une superficie de 1,5 ha (**Figures 17 et 18**), il comprend les arbres de pommier de la variété

Golden Delicious et d'autres arbres des variétés Starkrimson et Royal Gala, le pêcheur, le prunier, l'abricotier et l'olivier. Le deuxième verger (se trouve aux coordonnées géographiques N: 35°21'21,6" et E: 06°01' 16,5") a une superficie de 2,5 ha (**Figures 19 et 20**), comprenant les arbres de la variété Royal Gala et les arbres des variétés Starkrimson et Golden Delicious, le pêcheur, le grenadier, le noyer, la vigne, le prunier, l'abricotier et l'olivier. Les plantations des deux vergers sont distantes de 4m, l'installation de plants fruitiers a été faite en 2010 (plants greffés sur MM109), ils subissent les entretiens nécessaires comme la taille de formation et de fructification, les travaux du sol (désherbage mécanique par des labours superficiels avec un mini tracteur), la fertilisation et les traitements phytosanitaires (y compris le désherbage chimique). L'irrigation se fait par goutte à goutte, alimenté par un seul forage. Les principaux ravageurs et maladies fréquentés dans les deux vergers d'études sont les pucerons, les cochenilles, les acariens, le carpocapse, la cératite, l'oïdium et la maladie criblée.



**Figure 16.** Plan des deux vergers d'étude (Google Earth, 2022).



**Figure 17.** Plan du verger d'étude de la variété Golden Delicious (Google Earth, 2022).



**Figure 18.** Vue générale de la parcelle d'étude (Golden Delicious) (Photo personnelle).



**Figure 19.** Plan du verger d'étude de la variété Royal Gala (Google Earth, 2022).



**Figure 20.** Vue générale de la parcelle d'étude (variété Royal Gala) (Photo personnelle).

### **I-2-2- Présentation des parcelles d'étude**

La parcelle d'étude du premier verger comporte la variété Golden Delicious (avec un nombre total de 150 arbres), (**Figure 17**) et celle du deuxième verger comporte la variété Royal Gala (avec un nombre total de 450 arbres), (**Figure 19**). Le nombre total des plants retenus pour les études est 48 arbres (04 lignes de 12 arbres) par parcelle. A noter que durant notre étude, les deux parcelles n'ont subi aucun traitement phytosanitaire à l'exception du soufre micronisé 80%, qui est autorisé dans les programmes de lutte biologique, employé en sept applications pour la variété R. Gala et huit applications pour la variété G. Delicious à la dose de 750g/hl d'eau (les mêmes dates des traitements des sucres décalées par trois jours).

### I-2-3- Déroulement des expérimentations

#### I-2-3-1- Installation des rubans autour des arbres

Pour faciliter le repérage des arbres des différentes modalités, lors des pulvérisations foliaires, des rubans de différentes couleurs (**Figure 21**) ont été installés au mois d'avril comme suit:

- Modalité « Témoin »: le ruban utilisé est de couleur blanche.
- Modalité « Glucose » : le ruban utilisé est de couleur verte.
- Modalité « Fructose » : le ruban utilisé est de couleur bleu.
- Modalité « Insecticide»: le ruban utilisé est de couleur rouge.



**Figure 21.** Arbres du site d'étude marqués par des rubans adhésifs colorés (photos personnelles).

#### I-2-3-2- Installation des pièges à phéromones

Deux pièges à phéromones de type Russel IPM ont été placés sur les arbres au début de la floraison, dans les deux vergers d'études à partir de 17 Mars sur les deux variétés Golden Delicious et Royal Gala. Un calendrier d'observation est établi à partir du 3<sup>ème</sup> jour de la date d'installation de piège afin de faciliter les relevés durant les campagnes 2019, 2020 et 2021 (**Tableau 1**). Le changement des capsules à phéromones est également établi tous les 45 jours.

**Tableau 1.** Calendrier des relevés des papillons capturés dans les pièges à phéromones.

| Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre |
|------|-------|-----|------|---------|------|-----------|
| 20   | 01    | 01  | 03   | 03      | 02   | 01        |
| 23   | 04    | 04  | 06   | 06      | 05   | 04        |
| 26   | 07    | 07  | 09   | 09      | 08   | 07        |
| 29   | 10    | 10  | 12   | 12      | 11   | 10        |
|      | 13    | 13  | 15   | 15      | 14   | 13        |
|      | 16    | 16  | 18   | 18      | 17   | 16        |
|      | 19    | 19  | 21   | 21      | 20   | 19        |
|      | 22    | 22  | 24   | 24      | 23   | 22        |
|      | 25    | 25  | 27   | 27      | 26   | 25        |
|      | 28    | 28  | 30   | 30      | 29   |           |
|      |       | 31  |      |         |      |           |

**I-2-3-3- Installation des bandes pièges**

Afin de récupérer les larves diapausantes, des bandes pièges en cartons ondulés sont été installées autour des troncs d'arbres des deux vergers d'études des différentes modalités au mois de juin. La collecte des bandes pièges a été réalisée la mi-octobre de la campagne 2019 sur la variété G. Delicious et sur la variété Royal gala en deux campagnes (2019 et 2021).

**I-2-3-4- Application des différents produits**

Les essais sont basés sur un plan expérimental en carré latin randomisé à 4 répétitions. Toutes les modalités (4) sont ensuite réparties à l'intérieur de chacun des blocs (4) et chaque bloc comporte 3 arbres (**tableaux 2 et 3**). Les traitements ont été réalisés durant la campagne 2019 sur la variété Golden Delicious et sur la variété Royal Gala en deux campagnes (2019 et 2021).

**Tableau 2.** Plan expérimental de l'essai pour le premier verger (Golden Delicious).

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | D | D | G | G | G | T | T | T | F | F | F |
| G | G | G | T | T | T | F | F | F | D | D | D |
| T | T | T | D | D | D | G | G | G | F | F | F |
| F | F | F | G | G | G | D | D | D | T | T | T |

T: Témoin, G: Glucose, F: Fructose, D: Décis.



**Tableau 3.** Plan expérimental de l'essai pour le deuxième verger (Royal Gala).

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T | T | T | F | F | F | G | G | G | D | D | D |
| D | D | D | G | G | G | T | T | T | F | F | F |
| F | F | F | T | T | T | D | D | D | G | G | G |
| G | G | G | D | D | D | T | T | T | F | F | F |

T: Témoin, G: Glucose, F: Fructose, D: Décis.

L'application des sucres (glucose 100 ppm et fructose 100 ppm) a été réalisé tôt le matin, au moment où l'apoplaste (espace intercellulaire) et la surface foliaire sont pauvres en sucres, immédiatement après la préparation de la solution. L'insecticide (Décis) est également appliqué à la dose recommandée 8 ml/16 litres d'eau à l'aide du pulvérisateur à dos tous les 20 jours (**Tableau 4**). Selon Derridj *et al.* (2012), les sucres en infra-doses sont appliqués chaque 20 jour de la fin de la floraison à la récolte.

**Tableau 4.** Calendrier des différents traitements

| GD campagne 2019 |   |   | RG Campagne 2019 |   |   | RG Campagne 2021 |   |   |
|------------------|---|---|------------------|---|---|------------------|---|---|
| G                | F | D | G                | F | D | G                | F | D |
| 22 Avril         |   |   | 22 Avril         |   |   | 19 Avril         |   |   |
| 12 Mai           |   |   | 12 Mai           |   |   | 09 Mai           |   |   |
| 01 Juin          |   |   | 01 Juin          |   |   | 29 Mai           |   |   |
| 21 Juin          |   |   | 21 Juin          |   |   | 18 Juin          |   |   |
| 11 Juillet       |   |   | 11 Juillet       |   |   | 07 Juillet       |   |   |
| 31 Juillet       |   |   | 31 Juillet       |   |   | 27 Juillet       |   |   |
| 20 Août          |   |   | 20 Août          |   |   | 16 Août          |   |   |
| 09 Septembre     |   |   |                  |   |   |                  |   |   |

GD: Golden Delicious, RG: Royal Gala, G: Glucose, F: Fructose, D: Décis.

#### **I-2-4- Effet des traitements par les sucres sur les attaques larvaires de *C. pomonella* sur les deux variétés de pommier**

##### **I-2-4-1- Dénombrement des fruits attaqués à la récolte**

Pour notre étude, nous avons procédé à un contrôle visuel des fruits sur une période étalée sur cinq mois, du début du mois de mai jusqu'à la fin de la récolte, durant la campagne 2019 sur la variété Golden Delicious et sur la variété Royal Gala en deux campagnes 2019 et 2021. Le pourcentage de fruits attaqués par arbre à la récolte a concerné la totalité des fruits de chaque arbre de l'ensemble des quatre modalités, calculé par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage (\%)} \text{ de fruits attequés} = 100 * (\text{Nm}/\text{Nt})$$

Nm: nombre total des fruits attequés dans la modalité et Nt: nombre total des fruits à la récolte (attequés et sains).

#### **I-2-4-2- Estimation de l'efficacité des traitements Abbott à la récolte**

L'efficacité des différents traitements réalisés à la récolte est calculée grâce à la formule d'Abbott (1925) :

$$\text{Efficacité} = 100 \times ((\text{T0} - \text{Tt})/\text{T0}).$$

Dont **T0**: % total des fruits attequés dans la parcelle Témoin, **Tt** : % total des fruits attequés dans la parcelle traitée.

L'estimation de l'efficacité des traitements a été effectuée durant la campagne 2019 sur la variété Golden Delicious et sur la variété Royal Gala en deux campagnes 2019 et 2021.

#### **I-2-4-3- Dénombrement de fruits attequés et tombés au sol**

Nous avons calculé le pourcentage de fruits attequés et tombés au sol par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage (\%)} \text{ de fruits attequés} = 100 * (\text{Nm}/\text{Nt})$$

Nm: nombre total des fruits attequés et tombés au sol dans la modalité et Nt: nombre total des fruits produits par l'arbre.

Le comptage a été effectué chaque semaine de la nouaison à la récolte, réalisé durant la campagne 2019 sur la variété Golden Delicious et sur la variété Royal Gala en deux campagnes 2019 et 2021.

#### **I-2-4-4- Estimation de l'efficacité des traitements Abbott (fruits attequés et tombés au sol)**

L'efficacité des différents traitements réalisés est calculée grâce à la formule d'Abbott (1925):

$$\text{Efficacité} = 100 \times ((\text{T0} - \text{Tt}) / \text{T0}).$$

Dont **T0**: % total des fruits attequés et tombés au sol dans la parcelle Témoin, **Tt** : % total des fruits attequés et tombés au sol dans la parcelle traitée.

L'estimation de l'efficacité des traitements pour les fruits attaqués et tombés au sol a été effectuée durant la campagne 2019 sur la variété Golden Delicious et sur la variété Royal Gala en deux campagnes 2019 et 2021.

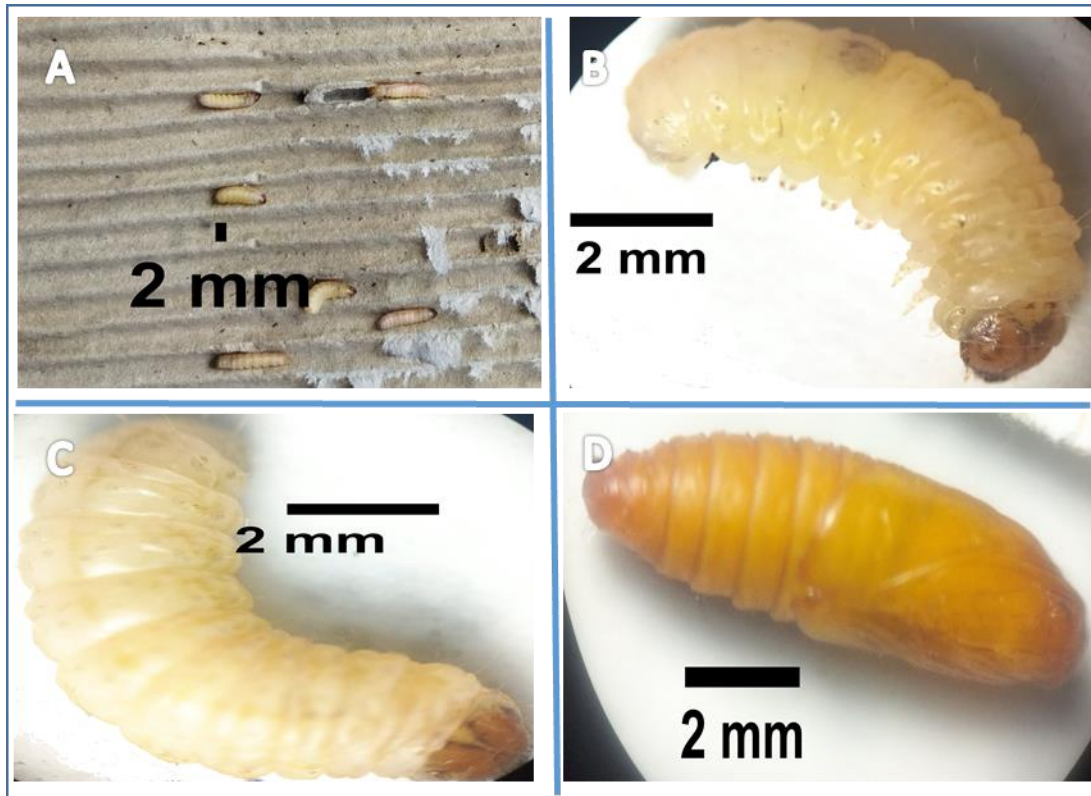
#### **I-2-4-5- Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur fruits à la récolte**

Nous avons effectué le contrôle de fruits récoltés, en distinguant entre les différents types d'attaques (cicatrisées, stoppées ou actives définies en chapitre 1), par arbre à la récolte, le comptage a concerné la totalité des fruits de chaque arbre de l'ensemble des quatre modalités durant la campagne 2019 sur la variété Royal Gala.

#### **I-2-5- Effet des traitements par les sucres sur les larves hivernantes**

##### **I-2-5-1- Dénombrement des larves capturées dans les bandes pièges**

Afin d'estimer la population du carpocapse, nous avons procédé au bandage des troncs d'arbres des différentes modalités au moyen de rubans en carton ondulé (**Figure 22 A**), pour capturer les larves diapausantes. Les bandes pièges ont été installées depuis la mi-juin et retirés après la récolte vers la mi-octobre. Les chenilles capturées ont été comptées en distinguant entre les mâles, les femelles et les chrysalides (**Figures 22 B, C, D**). Selon Kuyulu et Genç (2019) le cinquième stade larvaire est utilisé pour déterminer le sexe des larves, où les larves mâles ont deux tâches sombres près de l'extrémité de la face dorsale. Donc, la distinction se fait en se basant sur la présence ou l'absence de ces taches noires (appareil génital mâle), bien visibles sur la face dorsale du mâle.

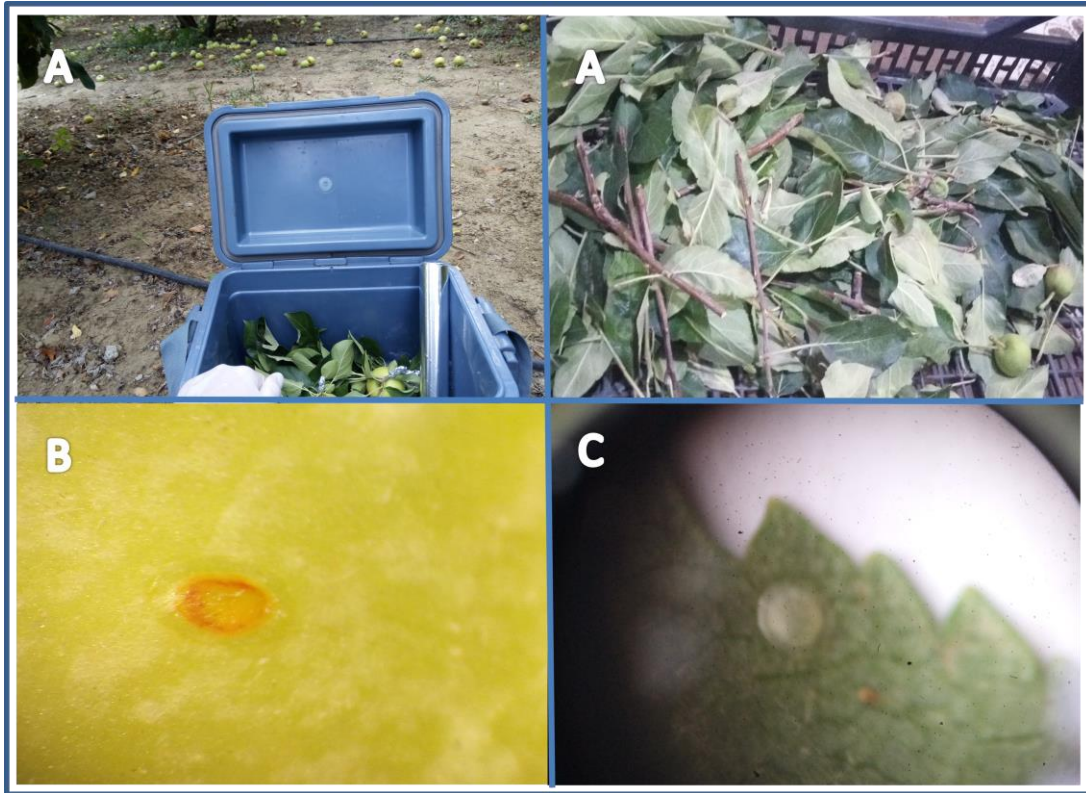


**Figure 22.** Bande piège (A), Larve mâle (B), Larve femelle (C), Chrysalide (D) (photos personnelles).

#### **I-2-6- Effets des traitements par les sucres sur la ponte de *C. pomonella* sur les deux variétés de pommier**

Les dénombrements des œufs, sur les arbres des deux vergers, ont été effectués en quatre dates qui correspondent aux périodes de maximum de ponte de la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> génération de l'insecte dans les zones d'étude, les pics de ces périodes ont été déterminés par les pièges à phéromones installés dans les parcelles d'étude.

Un arbre par variété, par traitement et par période de ponte, a été échantillonné. L'arbre a été divisé virtuellement en deux zones, moitié basse (Z1) et moitié haute (Z2). A chaque point d'échantillonnage, deux rameaux de 10 à 20 cm de long avec ou sans fruits ont été collectés par zone d'arbre de chacun des quatre points cardinaux; Nord, Sud, Est et Ouest (Blomefield *et al.*, 1997; Lombarkia *et al.*, 2013). Les sites ou les organes examinés, sont les deux faces supérieures et inférieures des feuilles du corymbe entourant le fruit (FSFC et FIFC), et les deux faces supérieures et inférieures des feuilles hors du corymbe (FSFHC et FIFHC), les fruits et les rameaux (**Figure 23**). Le dénombrement des œufs a été effectué au laboratoire sous une loupe binoculaire.



**Figure 23.** Les échantillons prélevés (A), Œuf sur fruit (B, GX 10), Œufs sur feuille (C, GX 10) (photos personnelles).

#### I-2-7- Prélèvements des échantillons des feuilles après traitements pour les analyses biochimiques

Les prélèvements des échantillons, de la variété Royal Gala, ont été effectués sur les arbres témoins et traités. La période de prélèvement correspond au maximum de ponte du 4<sup>ème</sup> vol de l'insecte. Nous considérons qu'un échantillon représente une répétition. Une répétition « feuille » est constituée de 4 feuilles couronnant les fruits du rameau (Lombarkia, 2002).

Les échantillons sont prélevés les mains protégées par des gants en latex non poudrés pour éviter toute contamination des échantillons par les substances (sucres) présentes sur les mains. Ils sont déposés dans un container en polystyrène après les avoir isolés les unes des autres des feuilles de papier Wattman. Pour éviter toute pollution par la sève, les parties coupées sont enveloppées immédiatement par un papier en aluminium (**Figure 24**).



**Figure 24.** Prélèvement et préparation des échantillons pour les analyses biochimiques (A, B et C) (photos personnelles).

#### I-2-7-1- Analyse des sucres, des anions et des cations.

Le dosage des cations (calcium, magnésium, manganèse, bore, fer, cuivre, zinc et sodium), des anions (chlorure et sulfate), du NPK (azote, phosphore et potassium) selon les méthodes mentionnées dans le **Tableau 5**, le dosage des sucres par les méthodes de Bertrand (sucres réducteurs et totaux, glucose, sucres intervertis et saccharose) et Dubois (analyse des sucres totaux) des feuilles de pommier, sur la variété Royal Gala prélevées après les applications des sucres et traitement insecticide a été effectué durant le mois d'août de la campagne 2021.

**Tableau 5.** Méthodes d'analyses des éléments minéraux.

| Élément minéral                             | Méthode  |
|---|--|
| Azote Total mg/kg                           | Digestion au peroxydisulfate<br>DIN EN ISO 11905-1 |
| Phosphore Total mg/kg                       | APHA4500-P-E DIN EN ISO 6878-D11                   |
| Potassium K <sup>+</sup> mg/kg              | Photomètre à flamme                                |
| Calcium Ca <sup>+2</sup> mg/kg              | Photomètre à flamme                                |
| Magnésium Mg <sup>+2</sup> mg/kg            | Titrimétrie NFT 90-005                             |
| Sodium Na <sup>+</sup> mg/kg                | Photomètre à flamme                                |
| Fer (Fe) mg/kg                              | méthode Triazine                                   |
| Cuivre (Cu <sup>+2</sup> ) mg/kg            | méthode Cuprizone                                  |
| Zinc (Zn <sup>+2</sup> ) mg/kg              | APHA 3500-Zn F                                     |
| Manganèse (Mn) mg/kg                        | Méthode P.A.NDIN 38406-E2                          |
| Bore (B <sup>+3</sup> ) mg/kg               | Méthode Carmin                                     |
| Chlorures Cl <sup>-</sup> mg/kg             | Méthode Nitrate d'argent NFT 90-014                |
| Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/kg | Méthode Turbidimétrie DIN 38405-D5-2               |

### I-3- Analyses statistiques

Les données des paramètres étudiés:

- le pourcentage des fruits attaqués et l'efficacité des traitements Abbott à la récolte,
- le pourcentage et l'efficacité des traitements Abbott des fruits attaqués et tombés au sol,
- le nombre total des larves diapausantes,
- le nombre de larves mâles, femelles et chrysalides dans les bandes pièges,
- le nombre d'œufs pondus par arbre durant les quatre vols pour les deux variétés,
- la comparaison des concentrations des cations et anions,
- la comparaison des pourcentages des sucres réducteurs et totaux, des sucres intervertis, glucose et saccharose en fonction des modalités (sucres analysés par la méthode Bertrand),
- aussi, le poids moyen des sucres totaux en fonction des modalités (sucres analysés par la méthode Dubois)

Ont été soumises à une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) suivi du test de Tukey ou le test de Kruskal-Wallis.

En outre, les données du nombre moyen de fruits attaqués actives, cicatrisées et stoppées sur les fruits à la récolte et le nombre d'œufs pondus « durant les quatre vols » en fonction des sites de pontes, le nombre d'œufs pondus « durant les quatre vols » en fonction des quatre directions, sont analysées par l'ANOVA à deux facteurs suivi du test de Scheffé.

Par ailleurs, le calcul des pourcentages d'œufs pondus « durant les quatre vols » en fonction des sites de pontes, les pourcentages des œufs pondus par direction dans le bloc témoin non traité et le pourcentage d'œufs pondus sur les deux zones (haute et basse) sont effectués par le test de  $\chi^2$ .

La comparaison des nombres d'œufs pondus durant les quatre vols des deux zones (haute et basse) et le total (somme zones haute et basse) est effectuée par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé.

Toutes les données ont été traitées à l'aide du logiciel statistique SPSS (version 2016).

# *CHAPITRE II*

## *Résultats et discussions*



## CHAPITRE II. RESULTATS ET DISCUSSION

### II-1- Résultats

#### II-1-1- Activité de Vol de *C. pomonella* L.

En 2019, 2020 et 2021, nous avons effectué un suivi sur l'ensemble de la période du vol du carpocapse dans chacun des vergers d'études. Les résultats de piégeage des mâles de *C. pomonella* dans les vergers d'études sont mentionnés dans les **figures 25 et 26**.

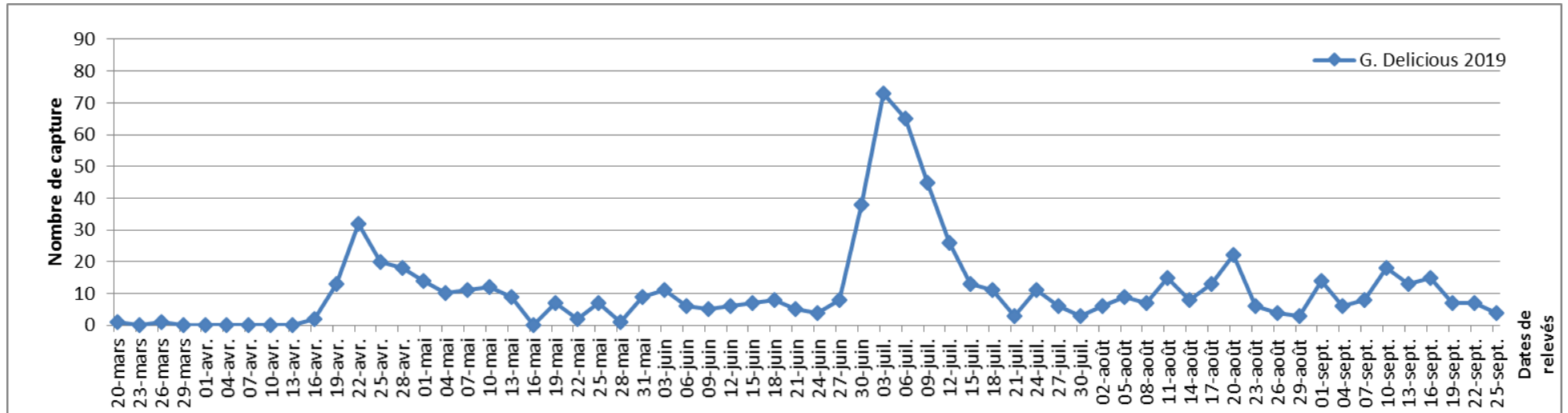


Figure 25. Déroulement du vol du carpocapse au niveau du verger d'étude pour la variété G. Delicious.

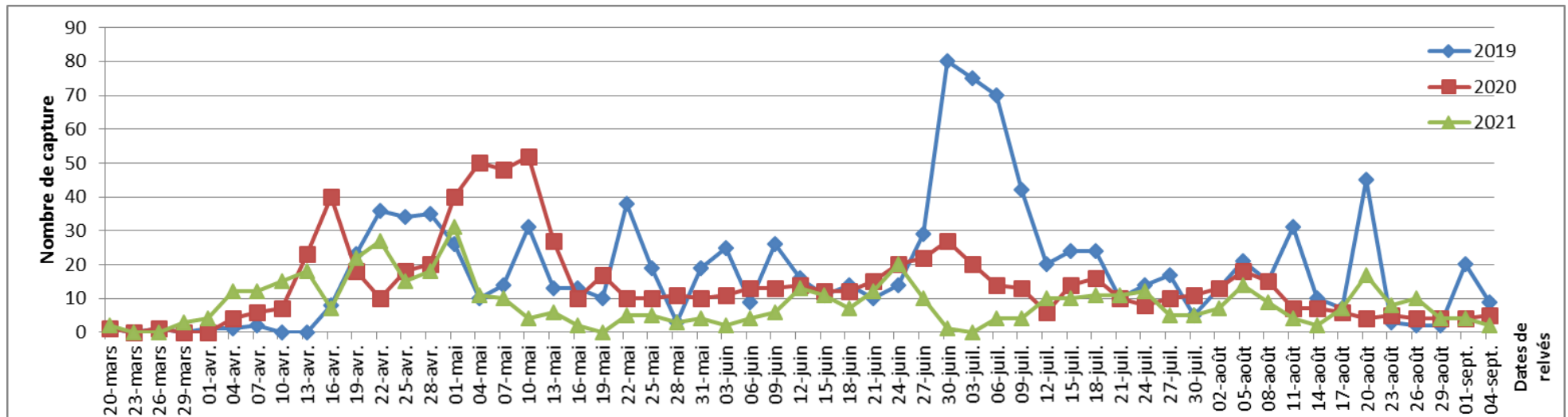


Figure 26. Déroulement du vol du carpocapse au niveau du verger d'étude pour la variété R. Gala.

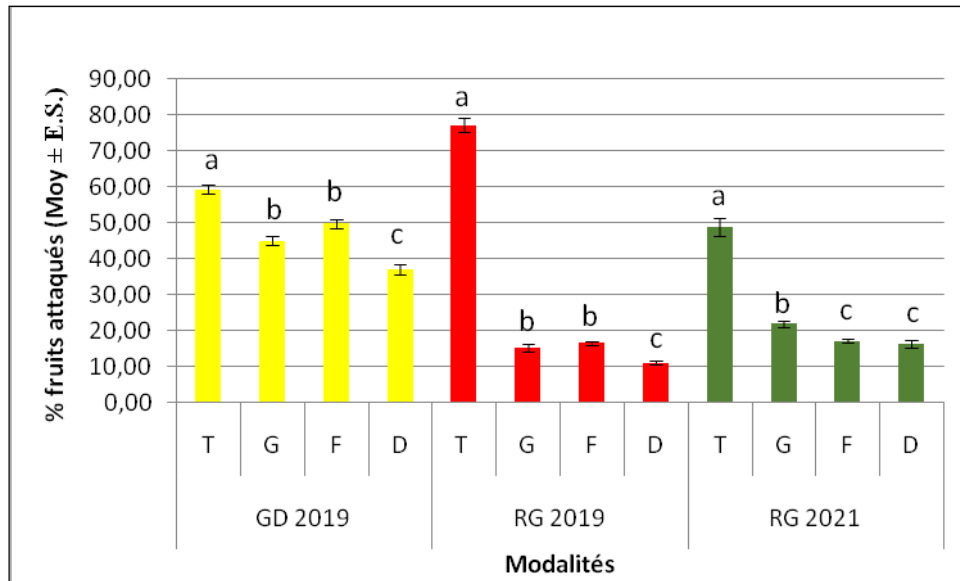
D'après les résultats mentionnés dans les **Figures 25** et **26**, nous notons que pour les deux variétés étudiées le carpocapse présente quatre générations, avec une variation d'une année à une autre dans le nombre des captures (**Tableau 6**).

**Tableau 6.** Développement des générations durant les différentes campagnes.

| Variétés et campagne | Génération | Date de début de la génération | Le pic du nombre de captures | Date du pic  | Date de la fin de la génération |
|----------------------|------------|--------------------------------|------------------------------|--------------|---------------------------------|
| G. Delicious 2019    | G1         | 01 avril                       | 32                           | 22 avril     | 01 mai                          |
|                      | G2         | 04 mai                         | 73                           | 03 juillet   | 18 juillet                      |
|                      | G3         | 21 juillet                     | 22                           | 22 août      | 26 août                         |
|                      | G4         | 29 août                        | 18                           | 10 septembre | 25 septembre                    |
| R. Gala 2019         | G1         | 01 avril                       | 36                           | 22 avril     | 01 mai                          |
|                      | G2         | début mai                      | 38                           | 22 mai       | fin mai                         |
|                      | G3         | début juin                     | 80                           | 30 juin      | 27 juillet                      |
|                      | G4         | 30 juillet                     | 45                           | 20 août      | 04 septembre                    |
| R. Gala 2020         | G1         | 01 avril                       | 40                           | 16 avril     | fin avril                       |
|                      | G2         | début mai                      | 52                           | 10 mai       | fin mai                         |
|                      | G3         | début juin                     | 27                           | 30 juin      | 09 juillet                      |
|                      | G4         | 12 juillet                     | 18                           | 05 août      | 04 septembre                    |
| R. Gala 2021         | G1         | 01 avril                       | 31                           | 01 mai       | début mai                       |
|                      | G2         | début mai                      | 05                           | 25 mai       | fin mai                         |
|                      | G3         | début juin                     | 20                           | 24 juin      | fin juin                        |
|                      | G4         | 03 juillet                     | 17                           | 20 août      | 04 septembre                    |

## II-1-2- Estimation des dégâts

### II-1-2-1- Dénombrement des fruits attequés à la récolte



**Figure 27.** Pourcentage de fruits attequés par arbre à la récolte.

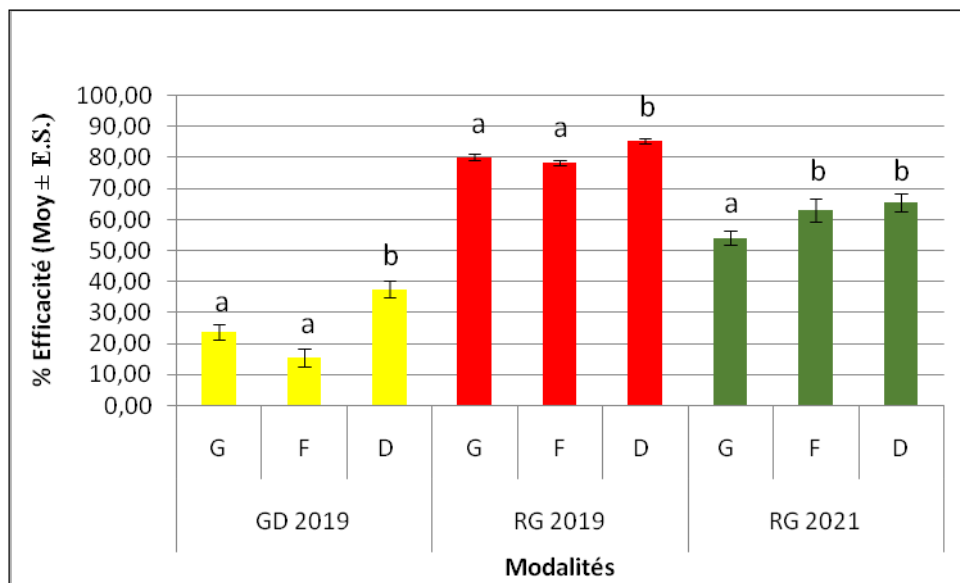
Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$ . (E.S. : Erreur Standard)

|  |                          |
|--|--------------------------|
| <span style="color: yellow;">■</span> Golden delicious 2019 (GD) | <b>T</b> : Témoin        |
| <span style="color: red;">■</span> Royal gala 2019 (RG).         | <b>G</b> : Glucose       |
| <span style="color: green;">■</span> Royal gala 2021 (RG).       | <b>F</b> : Fructose      |
|  | <b>D</b> : Deltaméthrine |

Pour la variété G. Delicious et durant la campagne 2019, la pulvérisation par le glucose et le fructose, à la dose 100 ppm, a permis de réduire significativement le pourcentage de fruits attequés à la récolte. La comparaison de ces pourcentages par l'analyse de la variance (ANOVA) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives ; la modalité témoin non traitée (59,19 %  $\pm$  1,15, groupe (a)), les modalités du glucose et fructose respectivement (44,96 %  $\pm$  1,34 et 49,70 %  $\pm$  1,20) appartiennent au groupe (b), et l'insecticide groupe (c), avec un pourcentage de 36,80 %  $\pm$  1,40. Notons pour la variété Royal Gala, durant la campagne 2019 une réduction très importante et significative dans le pourcentage de fruits attequés à la récolte obtenu par les traitements au glucose et fructose, la comparaison de ces pourcentages moyens par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur), suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité témoin non traitée (76,99 %  $\pm$  1,97, groupe (a)), les modalités du glucose et fructose respectivement (15,27%  $\pm$  1,06 et 16,45 %  $\pm$  0,59) appartiennent au groupe (b), et l'insecticide groupe (c) 10,97 %  $\pm$  0,56. Concernant la variété Royal Gala et durant la campagne 2021, le traitement au glucose a

permis une réduction significative dans le pourcentage de fruits attaqués à la récolte par rapport au témoin non traité, par contre le traitement au fructose engendre une diminution significative des pourcentages des fruits attaqués à la récolte semblable à celle de l'insecticide. En effet, la comparaison des pourcentages moyens des fruits attaqués à la récolte par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0.05$ ) a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité témoin non traitée ( $48,81 \% \pm 2,57$ , groupe (a)), la modalité glucose ( $21,81\% \pm 0,8$ , appartient au groupe (b)), quant au fructose et l'insecticide ( $17,08 \% \pm 0,52$ ,  $16,24 \% \pm 0,99$ ) appartiennent respectivement au groupe (c) (**Figure 27**).

### II-1-2-2- Efficacité des traitements Abbott à la récolte



**Figure 28.** Efficacités des traitements Abbott à la récolte.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$ . (E.S. : Erreur Standard)

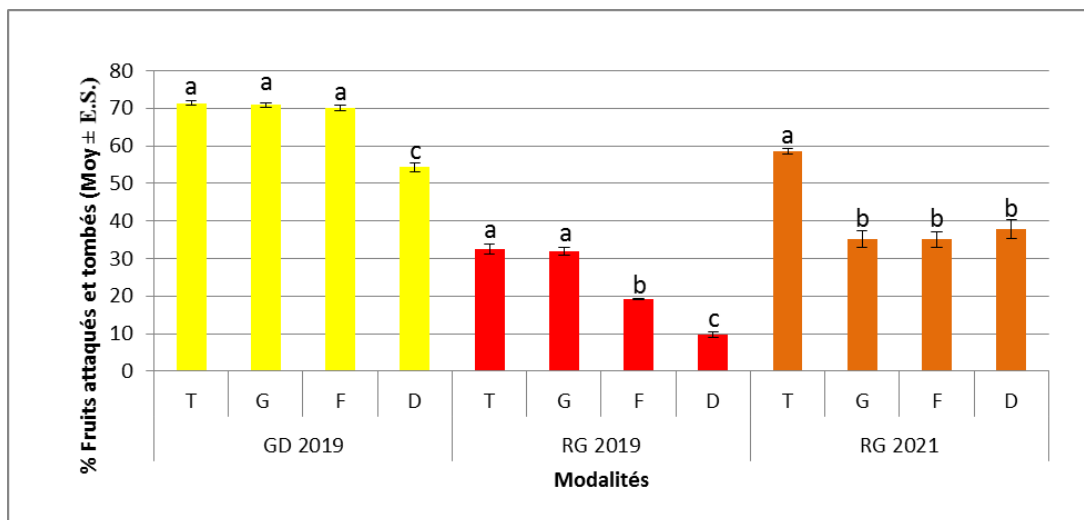
|   |                          |
|---|--------------------------|
| <span style="color: yellow;">■</span> Golden delicious (GD) 2019; | <b>T</b> : Témoin        |
| <span style="color: red;">■</span> Royal gala (RG) 2019.          | <b>G</b> : Glucose       |
| <span style="color: green;">■</span> Royal gala (RG) 2021.        | <b>F</b> : Fructose      |
|   | <b>D</b> : Deltaméthrine |

Pour la variété G. Delicious et durant la campagne 2019, les traitements aux glucose et fructose offrent une efficacité Abbott inférieure à celle engendrée par l'insecticide (Deltaméthrine), la comparaison de ces efficacités par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités glucose et fructose ( $23,75 \% \pm 2,6$ ,  $15,54 \% \pm 3,0$ ), appartiennent au groupe (a), alors que la modalité de l'insecticide appartient au groupe (b) ( $37,6 \% \pm 2,55$ ).

Notons pour la variété R. gala et durant la campagne 2019, les blocs pulvérisés par le glucose et le fructose offrent une efficacité Abbott légèrement inférieure à celle de l'insecticide, la comparaison de ces efficacités par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie par le test de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités glucose et fructose, ( $80,25 \% \pm 1,18$ ,  $78,58 \% \pm 0,86$  respectivement) appartiennent au groupe (a), alors que la modalité de l'insecticide appartient au groupe (b) avec une efficacité de l'ordre de  $85,64 \% \pm 0,85$ .

Concernant la variété R. Gala et durant la campagne 2021, l'efficacité des traitements au glucose est relativement inférieure à celle engendrée par l'insecticide et l'efficacité des traitements au fructose est meilleur (semblable à celle de l'insecticide), la comparaison de l'efficacité moyenne des traitements par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0.05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité glucose ( $54,18 \% \pm 2,21$ ) appartient au groupe (a), alors que les modalités fructose et insecticide appartiennent au groupe (b) avec des efficacités de  $63,02 \% \pm 3,77$ ,  $65,51 \% \pm 2,94$ ) (**Figure 28**).

### II-1-2-3- Dénombrement de fruits attaqués et tombés au sol.



**Figure 29.** Pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol.

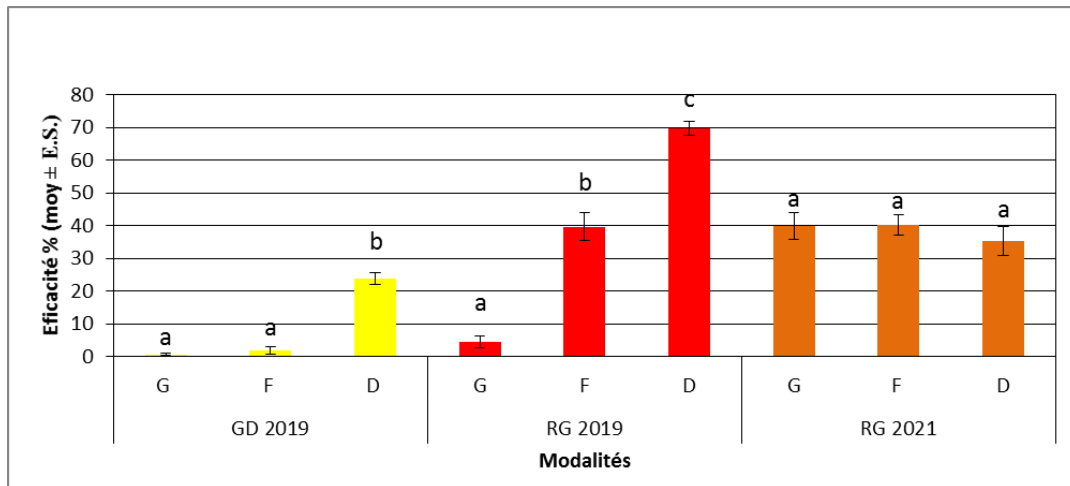
Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$ . (E.S. : Erreur Standard)

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <span style="color: yellow;">■</span> Golden delicious 2019 (GD). | <b>T</b> : Témoin;       |
| <span style="color: red;">■</span> Royal gala 2019 (RG).          | <b>G</b> : Glucose       |
| <span style="color: green;">■</span> Royal gala 2021 (RG).        | <b>F</b> : Fructose      |
|   | <b>D</b> : Deltaméthrine |

Durant la campagne 2019 et pour la variété G. Delicious, aucune différence significative n'a été enregistrée par les traitements par le fructose par rapport au témoin, pour le pourcentage moyen de fruits attaqués et tombés au sol, la comparaison de ces pourcentages par le test de

Kruskal-Wallis ( $P \leq 0.05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités témoin, glucose et fructose ( $71,36\% \pm 0,5$ ,  $70,87\% \pm 0,54$  et  $69,97 \pm 0,7$  respectivement appartiennent au groupe (a)), et la modalité de l'insecticide appartient au groupe (b) avec un pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol de l'ordre de  $54,3\% \pm 1,21$ . Alors que pour la variété R. Gala durant la campagne 2019, le traitement au fructose a permis une réduction significative dans le pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol, la comparaison de ces pourcentages par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités témoin et glucose ( $32,54\% \pm 1,25$ ,  $31,93\% \pm 1,16$  respectivement) appartiennent au groupe (a), la modalité fructose (groupe (b)), avec un pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol de l'ordre de  $19,16\% \pm 0,91$  et l'insecticide appartient au groupe (c) avec  $09,78\% \pm 0,8$ . Durant la campagne 2021 et pour la variété R. Gala, les traitements par les sucres (glucose et fructose) ont permis une réduction significative dans le pourcentage moyen de fruits attaqués et tombés au sol par rapport au témoin et semblable à celle engendrée par l'insecticide, la comparaison de ces pourcentages par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0.05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité témoin, ( $58,58\% \pm 0,79$ , groupe (a)), alors que les modalités glucose, fructose et l'insecticide appartiennent au groupe (b) avec des pourcentages de  $35,1\% \pm 2,24$ ,  $35,12\% \pm 2,04$  et  $37,78\% \pm 2,55$  respectivement (**Figure 29**).

### II-1-2-4- Efficacité des traitements Abbott (fruits attaqués et tombés au sol).



**Figure 30.** Efficacités des traitements Abbott des fruits attaqués et tombés au sol.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

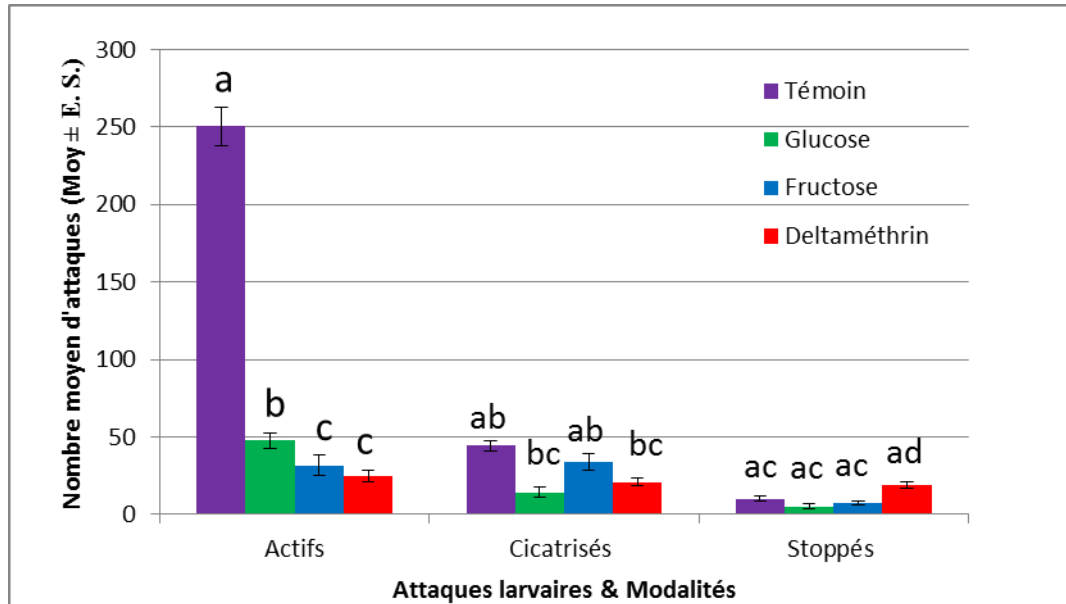
|   |                          |
|---|--------------------------|
| <span style="color: yellow;">■</span> Golden delicious (GD) 2019. | <b>T</b> : Témoin        |
| <span style="color: red;">■</span> Royal gala (RG) 2019.          | <b>G</b> : Glucose       |
| <span style="color: green;">■</span> Royal gala (RG) 2021.        | <b>F</b> : Fructose      |
|   | <b>D</b> : Deltaméthrine |

Pour la variété G. Delicious et durant la campagne 2019, les traitements au glucose et fructose offrent une efficacité Abbott inférieure à celle engendrée par l'insecticide (Deltaméthrine), la comparaison de ces pourcentages par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey, ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités glucose et fructose ( $0,69 \% \pm 0,2$  et  $1,9 \% \pm 1,07$  respectivement, groupe (a)), alors que la modalité de l'insecticide appartient au groupe (b) ( $23,83 \% \pm 1,93$ ). La même constatation est enregistrée pour la variété R. Gala et durant la campagne 2019, les traitements au glucose et fructose offrent une efficacité Abbott inférieure à celle engendrée par l'insecticide, la comparaison de ces efficacités par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité glucose ( $4,46 \% \pm 1,78$ , groupe (a)), la modalité fructose ( $39,64 \% \pm 4,3$ , groupe (b)), alors que la modalité de l'insecticide appartient au groupe (c), avec une efficacité de l'ordre de  $69,77 \% \pm 2,24$ . Par contre, durant la campagne 2021 pour la variété R. Gala, les traitements au glucose et fructose offrent une efficacité Abbott semblable à celle de l'insecticide (ne présentent pas de différence significative), la comparaison des pourcentages des efficacités par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey, ( $P \leq 0,05$ ) a mis en évidence que les trois modalités glucose, fructose et l'insecticide appartiennent au même



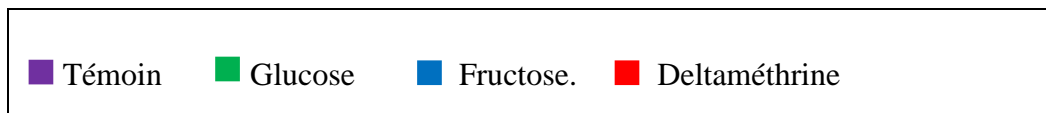
groupe (a), avec des efficacités de  $39,9 \% \pm 3,96$ ,  $40,16 \% \pm 3,1$  et  $35,38 \% \pm 4,5$  respectivement (Figure 30).

#### II-1-2-5- Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur fruits à la récolte, R. Gala 2019



**Figure 31.** Nombre moyen de fruits atteints (actifs, cicatrisés et stoppés) à la récolte.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

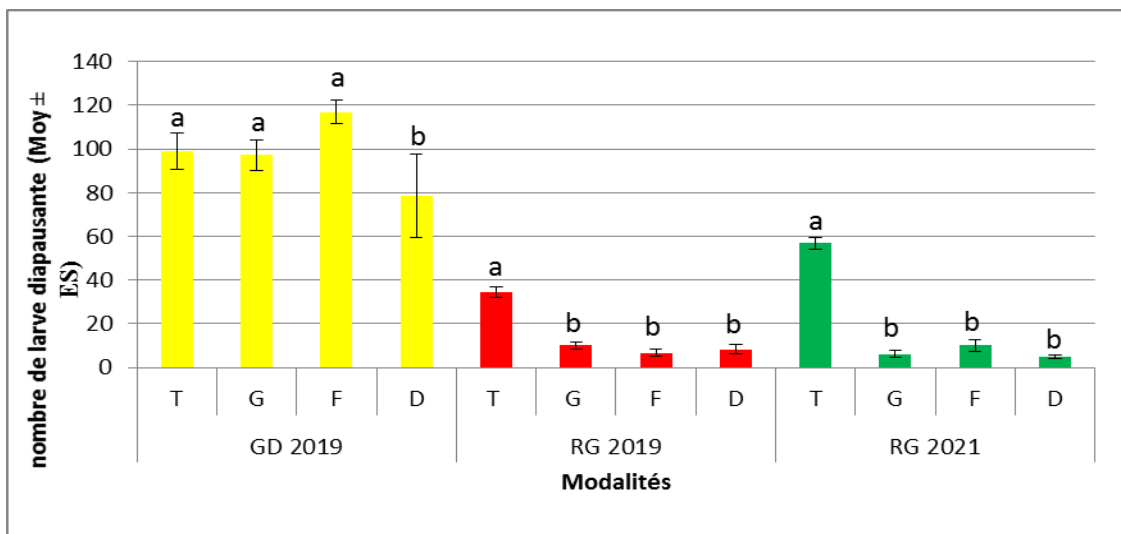


Le traitement au glucose a permis une réduction significative dans le nombre d'attaques actifs, par rapport au témoin non traité. Par contre, le traitement au fructose offre une meilleure réduction du nombre d'attaques actives, semblable à celle engendrée par l'insecticide, la comparaison des nombres moyens des attaques actives, cicatrisées et stoppées des fruits à la récolte, par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé ( $P \leq 0,05$ ) a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité témoin non traité ( $250,42 \pm 12,29$ , groupe (a)), les modalités glucose ( $47,67 \pm 5,14$ , groupe b), fructose et l'insecticide ( $31,58 \pm 6,44$ ,  $24,58 \pm 3,66$ ) appartiennent au groupe (c). Le traitement par le glucose engendre un nombre d'attaques cicatrisées significativement inférieures à ceux du témoin et semblable à ceux engendrés par l'insecticide, la comparaison des nombres moyens des attaques cicatrisées des fruits à la récolte par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives. Les

modalités témoin et fructose appartiennent au groupe (ab) ( $44,17 \pm 3,38$ ,  $34 \pm 5,37$  respectivement), les modalités glucose et l'insecticide ( $14,25 \pm 3,39$ ,  $20,83 \pm 2,37$  respectivement) appartiennent au groupe (bc)). Par contre, les nombres d'attaques stoppées engendrés par les traitements par les sucres (glucose et fructose) ne sont pas différents significativement par rapport au témoin, la comparaison de ces nombres par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé ( $P > 0,05$ ) a identifié deux groupes significativement différents ; le groupe (ac) (témoin, glucose et fructose); avec respectivement  $9,92 \pm 1,61$ ,  $4,92 \pm 1,58$ ,  $7,33 \pm 1,21$  et l'insecticide avec  $19 \pm 2,07$ , groupe (ad).

Par ailleurs, la comparaison des trois types d'attaques a enregistré des différences significatives entre elles. En effet, la comparaison des nombres moyens des attaques actives, cicatrisées et stoppées des fruits à la récolte par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé ( $P \leq 0,05$ ) a identifié trois types d'attaques présentant des différences significatives appartiennent aux trois groupes différents (**Figure 31**).

### II-1-3- Dénombrement des larves capturées dans les bandes pièges.



**Figure 32.** Nombre total des larves diapausantes en fonction des modalités.

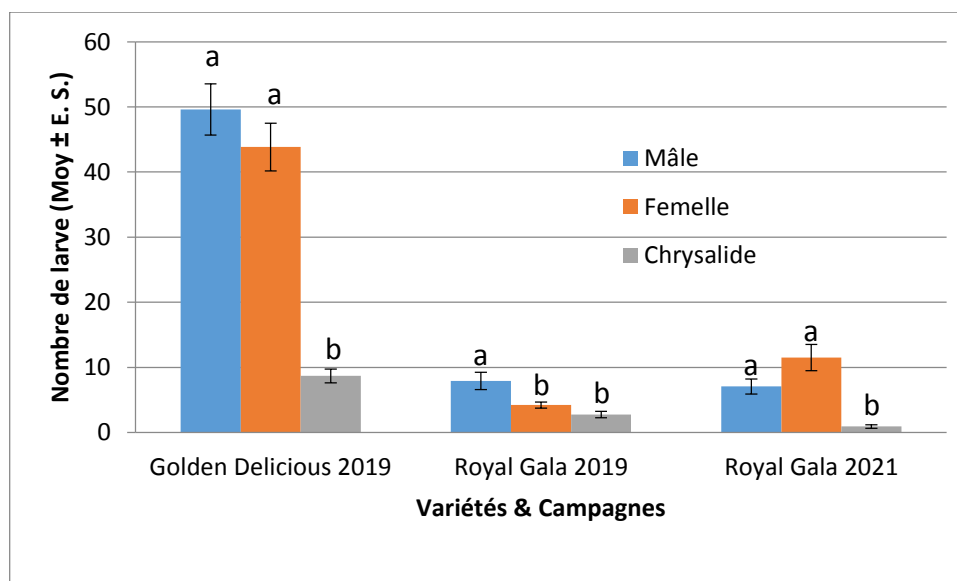
Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <span style="color: yellow;">■</span> Golden delicious (GD) 2019. | <b>T</b> : Témoin        |
| <span style="color: red;">■</span> Royal gala (RG) 2019.          | <b>G</b> : Glucose       |
| <span style="color: green;">■</span> Royal gala (RG) 2021.        | <b>F</b> : Fructose      |
|   | <b>D</b> : Deltaméthrine |

Durant la campagne 2019 et pour la variété G. Delicious, l'insecticide a permis une réduction significative du nombre des larves diapausantes par rapport au témoin, la comparaison de ces

nombre moyen par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités témoin, glucose et fructose ( $98,92 \pm 8,27$ ,  $97,33 \pm 6,95$  et  $116,83 \pm 5,44$  respectivement) appartiennent au groupe (a), la modalité insecticide ( $78,75 \pm 19,11$ ) appartient au groupe (b). Alors que pour la variété R. Gala et durant la campagne 2019, les traitements aux glucose, fructose et l'insecticide ont permis une réduction significative dans le nombre moyen des larves diapausantes, la comparaison de ces pourcentages, par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité du témoin ( $34,5 \pm 2,55$ ) appartient au groupe (a), et les modalités de glucose, fructose et l'insecticide appartiennent au groupe (b), ( $10,08 \pm 1,55$ ,  $6,67 \pm 1,67$  et  $8,25 \pm 2,22$  respectivement). Durant la campagne 2021 et pour la variété R. Gala, les traitements aux glucose, fructose et l'insecticide ont permis une réduction significative dans le nombre moyen des larves diapausantes par rapport au témoin, la comparaison de ces nombres moyens par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité témoin, ( $56,92 \pm 2,73$ , groupe (a)), alors que les modalités glucose, fructose et l'insecticide appartiennent au groupe (b) avec des nombres moyens de larves diapausantes de l'ordre de  $6,17 \pm 1,58$ ,  $10,08 \pm 2,85$  et  $4,75 \pm 0,82$  respectivement (**Figure 32**).

#### II-1-4- Nombre de larves mâles, femelles diapausantes et chrysalides dans les bandes pièges par campagne



**Figure 33.** Nombre de larves mâles, femelles et chrysalides dans les bandes pièges.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$ .

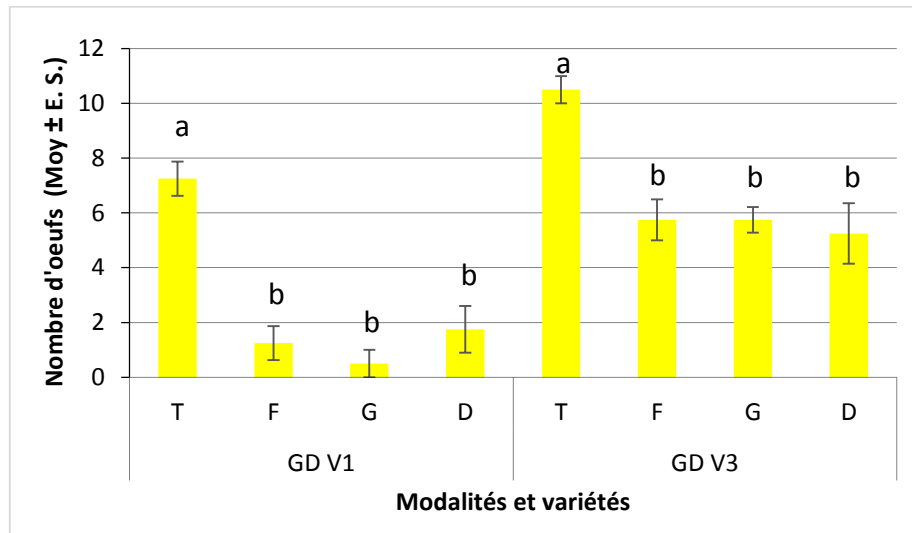
Durant la campagne 2019 et pour la variété G. Delicious, nous constatons que le nombre des larves mâles et femelles ne présente pas de différence significative et ils sont différents significativement du nombre des chrysalides, la comparaison des nombres des larves mâles, femelles et chrysalides par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes présentant des différences significatives, les nombres des larves mâles et femelles ( $49,6 \pm 3,95$  et  $43,83 \pm 3,68$  groupe (a)), le nombre des chrysalides ( $8,69 \pm 1,06$ , groupe b).

Durant la campagne 2019 et pour la variété R. Gala, le nombre des larves mâles est significativement différent du nombre des larves femelles, par contre le nombre des larves femelles est similaire à celui des chrysalides, la comparaison de ces nombres par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes présentant des différences significatives, le nombre de larves mâles  $7,92 \pm 1,32$ , groupe (a), le nombre de larves femelles et chrysalides enregistré est respectivement  $4,21 \pm 0,48$  et  $2,75 \pm 0,48$ , groupe (b).

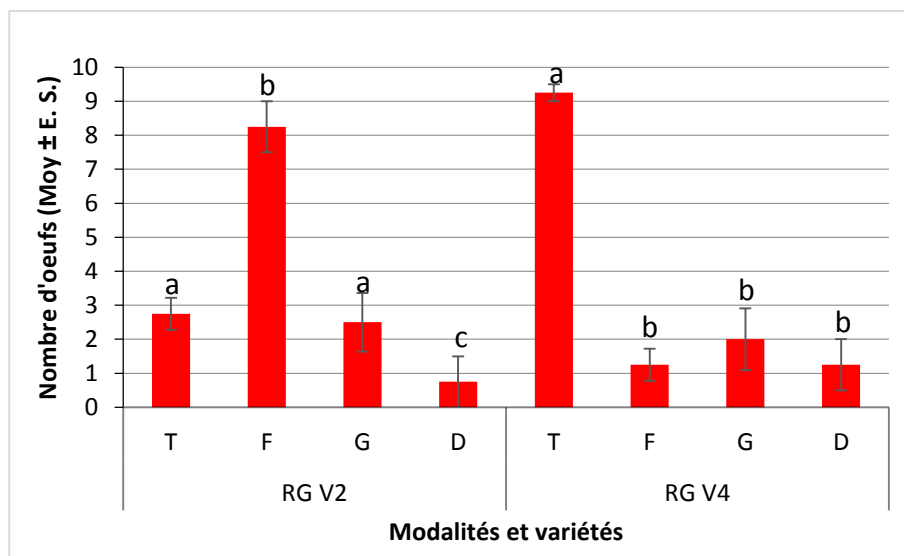
Durant la campagne 2021 et pour la variété R. Gala le nombre des larves mâles et femelles est similaire (pas de différence significative). Par contre, le nombre des chrysalides est significativement différent du nombre des mâles et femelles. Leurs comparaisons par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes présentant des différences significatives, les nombres de larves mâles et femelles  $7,06 \pm 1,15$  et  $11,5 \pm 2,02$  respectivement, appartiennent au groupe (a), le nombre des chrysalides  $0,92 \pm 0,27$ , groupe (b) (**Figure 33**).

### II-1-5- Etude du comportement de ponte dans les vergers sur les deux variétés durant la campagne 2019

#### II-1-5-1- Effet des traitements par les sucres sur le nombre d'œufs pondus de *C. pomonella*



**Figure 34.** Nombre moyen d'œufs par arbre durant les vols pour la variété G. Delicious. Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)



**Figure 35.** Nombre moyen d'œufs par arbre durant les vols pour la variété R. Gala. Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|   |  |
|---|--|
| <p>■ Golden delicious (GD).</p> <p>■ Royal gala (RG).</p> | <p><b>T</b> : Témoin</p> <p><b>G</b> : Glucose</p> <p><b>F</b> : Fructose</p> <p><b>D</b> : Deltaméthrine</p> <p><b>V1</b> : premier Vol</p> <p><b>V2</b> : deuxième Vol</p> <p><b>V3</b> : troisième Vol</p> <p><b>V4</b> : quatrième Vol</p> |
|---|--|

Les pulvérisations des arbres de la variété G. Delicious par le glucose et fructose ont permis de réduire significativement les nombres moyens d'œufs pondus durant le premier vol et semblable à ceux enregistrés par l'insecticide. La comparaison de ces nombres par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité témoin non traitée  $7,25 \pm 0,63$ , groupe (a), les modalités fructose, glucose et insecticide  $1,25 \pm 0,62$ ,  $0,5 \pm 0,5$ ,  $1,75 \pm 0,85$  respectivement appartiennent au groupe (b) (**Figure 34**).

Les mêmes constatations enregistrées durant le premier vol sont enregistrées durant le 3<sup>ème</sup> vol. En effet, les traitements aux glucose et fructose ont permis une réduction significative des nombres moyens d'œufs par rapport au témoin et semblable à ceux engendrés par l'insecticide. La comparaison de ces nombres par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives entre elles ; la modalité du témoin  $10,5 \pm 0,5$ , groupe (a), alors que les modalités fructose, glucose et insecticide appartiennent au groupe (b) avec des pourcentages de  $5,75 \pm 0,75$ ,  $5,75 \pm 0,47$  et  $5,25 \pm 1,1$  respectivement (**Figure 34**).

Concernant la variété R. Gala durant le vol de la deuxième génération, aucune différence significative n'a été enregistrée par rapport au témoin par les traitements au glucose, pour le nombre moyen d'œufs. La comparaison de ces moyennes par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités témoin et glucose  $2,75 \pm 0,47$  et  $2,5 \pm 0,86$  respectivement appartiennent au groupe (a), la modalité du fructose  $8,25 \pm 0,75$  appartient au groupe (b), et l'insecticide appartient au groupe (c) avec un nombre moyen de  $0,75 \pm 0,75$  (**Figure 35**).

Alors que durant le vol de la quatrième génération, les traitements aux glucose et fructose offrent un nombre moyen d'œufs significativement inférieur à celui du témoin et semblable à celui engendré par l'insecticide (Deltaméthrine). La comparaison de ces moyennes par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité du témoin  $9,25 \pm 0,25$ , groupe (a), alors que les modalités fructose, glucose et l'insecticide appartiennent au groupe (b), avec  $1,25 \pm 0,47$ ,  $2,0 \pm 0,91$  et  $1,25 \pm 0,97$  respectivement (**Figure 35**).

#### II-1-5-2-Répartition des œufs par organes sur les deux variétés

Pour les deux variétés étudiées ; G. Delicious et R. Gala des deux vergers d'étude, pour le bloc témoin non traité, quel que soit le vol de l'insecte le pourcentage moyen d'œufs pondus est localisé en grande partie sur la face supérieure des feuilles du corymbe (FSFC), par

rapport aux faces inférieures des feuilles du corymbe (FIFC), face supérieure des feuilles hors corymbe (FSFHC), face inférieure des feuilles hors corymbe (FIFHC) et fruits. Par contre, la ponte est nulle sur les rameaux. Le calcul de ces pourcentages est effectué par le test  $\chi^2$ , (Tableau 7).

**Tableau 7.** Pourcentage des œufs pondus par site de ponte dans les vergers sur les deux variétés G. delicious et R. gala durant le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol dans le bloc témoin non traité.

| Site de ponte | Pourcentage des œufs |       |       |       |         |
|---------------|----------------------|-------|-------|-------|---------|
|               | GD V1                | GD V3 | RG V2 | RG V4 | Moyenne |
| FSFC          | 51,7                 | 38,1  | 81,8  | 35,1  | 51,67   |
| FIFC          | 3,4                  | 21,4  | 00    | 32,4  | 14,3    |
| FSFHC         | 31,0                 | 14,3  | 9,1   | 21,6  | 19,0    |
| FIFHC         | 0,0                  | 7,1   | 9,1   | 10,8  | 18,9    |
| Fruit         | 13,8                 | 19,0  | 00    | 00    | 8,2     |

Pour les deux variétés étudiées ; G. Delicious et R. Gala des deux vergers d'étude, pour les quatre modalités, le pourcentage moyen d'œufs pondus, au 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol est différent d'un site de ponte à un autre. La comparaison des nombres d'œufs pondus sur les différents sites durant les quatre vols par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé ( $P \leq 0.05$ ) a identifié quatre groupes significativement différents (Tableau 8).

**Tableau 8.** Nombre moyen des œufs pondus par site de ponte dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol dans les quatre modalités.

| Site de ponte | Nombre d'œuf moyen |          |          |          |
|---------------|--------------------|----------|----------|----------|
|               | GD V1              | GD V3    | RG V2    | RG V4    |
| FSFC*         | 1,12 (a)           | 2,94 (a) | 1,31 (a) | 1,31 (a) |
| FIFC*         | 0,06 (b)           | 1,25 (b) | 00 (b)   | 1,00 (b) |
| FSFHC*        | 0,87 (a)           | 1,31 (b) | 1,12 (a) | 0,69 (b) |
| FIFHC*        | 0,31 (b)           | 0,44 (c) | 1,12 (a) | 0,44 (c) |
| Fruit*        | 0,31 (b)           | 0,87 (b) | 00 (b)   | 00 (d)   |

### II-1-5-3- Répartition d'œufs pondus par direction sur les deux variétés

Pour les deux variétés étudiées ; G. Delicious et R. Gala, pour le bloc témoin non traité, le pourcentage moyen d'œufs pondus, au 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol est globalement proche sur les quatre directions à l'exception de la variété RG au 2<sup>ème</sup> vol où nous enregistrons des pourcentages d'œufs nul sur les directions Est et Ouest.

Le calcul de ces pourcentages est effectué par le test de  $\chi^2$ , (**Tableau 9**).

La comparaison des nombres d'œufs pondus des quatre directions durant les quatre vols de pontes, par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé ( $P \leq 0.05$ ) a identifié un seul groupe (pas de différence significative entre les quatre directions), (**Tableau 10**).

**Tableau 9.** Pourcentage des œufs pondus par direction dans les vergers sur les deux variétés G. delicious et R. gala durant le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol dans le bloc témoin non traité.

| Direction de ponte | Pourcentage des œufs |       |       |       |         |
|--------------------|----------------------|-------|-------|-------|---------|
|                    | GD V1                | GD V3 | RG V2 | RG V4 | Moyenne |
| Nord               | 34,5                 | 31    | 45,5  | 7,9   | 29,72   |
| Sud                | 20,7                 | 11,9  | 54,5  | 28,9  | 29      |
| Est                | 27,6                 | 35,7  | 0     | 26,3  | 22,4    |
| Ouest              | 17,2                 | 21,4  | 0     | 36,8  | 18,85   |



**Tableau 10.** Nombre moyen des œufs pondus par direction de ponte dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol dans les quatre modalités.

| Site de ponte | Nombre d'œuf moyen |          |          |          |
|---------------|--------------------|----------|----------|----------|
|               | GD V1              | GD V3    | RG V2    | RG V4    |
| Nord          | 0,75 (a)           | 1,75 (a) | 0,56 (a) | 0,37 (a) |
| Sud           | 0,56 (a)           | 1,12(a)  | 1,12(a)  | 1(a)     |
| Est           | 0,75 (a)           | 2,12(a)  | 0,56 (a) | 1(a)     |
| Ouest         | 0,62 (a)           | 1,81(a)  | 0,31 (a) | 1,12(a)  |

#### II-1-5-4- Répartition des œufs par zone d'arbre sur les deux variétés

Dans les deux vergers des deux variétés G. Delicious et R. Gala pour le bloc témoin non traité, le pourcentage moyen d'œufs pondus, au 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol est globalement identique sur les deux zones (29, 72 % dans la zone haute et 29 % dans la zone basse). Le calcul de ces pourcentages est effectué par le test de  $\chi^2$  (**Tableau 11**).

Le nombre d'œufs pondus durant les quatre vols des deux zones (haute et basse) est significativement plus important dans la zone haute par rapport à la zone basse pour le premier vol de la variété G. Delicious et le deuxième vol de la variété R. Gala. La comparaison de ces nombres par l'analyse de la variance (ANOVA à deux facteurs) suivi du test de Scheffé ( $P \leq 0,05$ ) a identifié deux groupes significativement différents (**Tableau 12**).

**Tableau 11.** Pourcentage des œufs pondus par zone dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol dans le bloc témoin non traité.

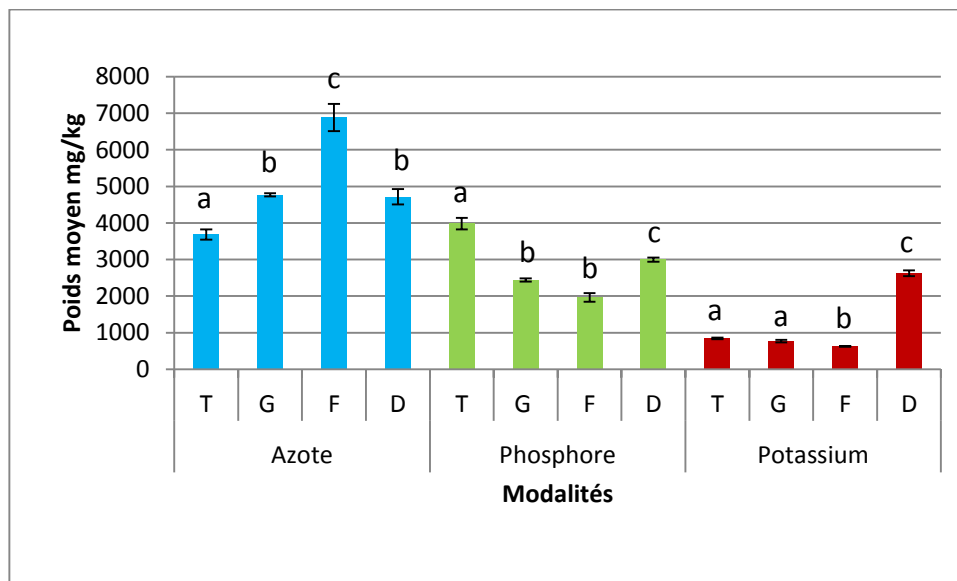
| Direction de ponte | Pourcentage des œufs |       |       |       |         |
|--------------------|----------------------|-------|-------|-------|---------|
|                    | GD V1                | GD V3 | RG V2 | RG V4 | Moyenne |
| Zone haute         | 34,5                 | 31    | 45,5  | 7,9   | 29,72   |
| Zone basse         | 20,7                 | 11,9  | 54,5  | 28,9  | 29      |

**Tableau 12.** Nombre moyen des œufs pondus par zone d'arbre dans les vergers sur les deux variétés G. Delicious et R. Gala durant le 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> vol dans les quatre modalités.

| Direction de ponte    | Nombre des œufs |          |          |          |
|-----------------------|-----------------|----------|----------|----------|
|                       | GD V1           | GD V3    | RG V2    | RG V4    |
| Zone haute            | 2 (a)           | 3,88 (a) | 1,94 (a) | 2,19 (a) |
| Zone basse            | 0,69 (b)        | 2,94 (a) | 0,63 (b) | 1,38 (a) |
| Zone totale (ZH + ZB) | 2,69 (a)        | 6,81 (b) | 2,56 (a) | 3,56 (b) |

## II-1-6- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des cations et anions dans les feuilles de pommier, variété R. Gala durant la campagne 2021

### II-1-6-1- Effet des traitements par les sucres sur la concentration du NPK



**Figure 36.** Poids moyen des éléments NPK en fonction des modalités.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| ■ Azote;     | <b>T</b> : Témoin        |
| ■ Phosphore. | <b>G</b> : Glucose       |
| ■ Potassium. | <b>F</b> : Fructose      |
|              | <b>D</b> : Deltaméthrine |

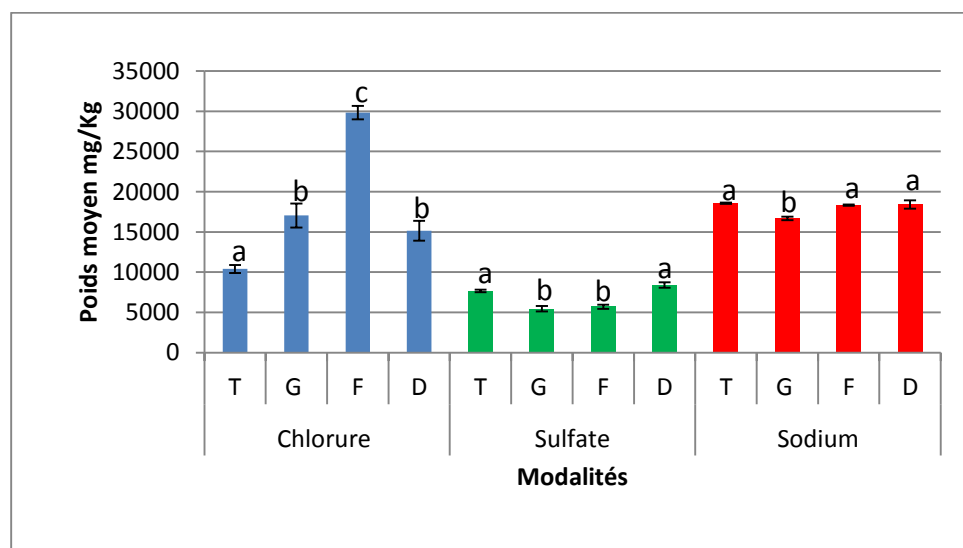
Les traitements aux glucose, fructose et l'insecticide ont permis une augmentation significative de la concentration de l'azote par rapport au témoin non traité. La comparaison de ces concentrations par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié trois groupes de

modalités présentant des différences significatives entre elles. Les modalités du témoin groupe (a), 3683,33 mg/Kg  $\pm$  142,4, glucose et l'insecticide 4766,67 mg/Kg  $\pm$  46,39, 4716,67 mg/Kg  $\pm$  208,83 respectivement appartiennent au groupe (b), la modalité du fructose 6883,33 mg/Kg  $\pm$  371,18 appartient au groupe (c).

La pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide, permet de réduire significativement la concentration du phosphore, la comparaison de ces concentrations par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives ; la modalité du témoin non traitée 3983,33 mg/Kg  $\pm$  158,99, groupe (a), les modalités du glucose et fructose respectivement 2441,67 mg/Kg  $\pm$  46,39 et 1966,67 mg/Kg  $\pm$  117,55 appartiennent au groupe (b), et l'insecticide groupe (c) avec une concentration de 3000 mg/Kg  $\pm$  57,73.

Le traitement au fructose a permis une diminution significative de la concentration du potassium par rapport au témoin non traité. La comparaison de ces concentrations par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives. Les modalités du témoin et du glucose appartiennent au groupe (a), avec 845 mg/Kg  $\pm$  24,66, 773,33 mg/Kg  $\pm$  35,27 respectivement, le fructose avec 623,33 mg/Kg  $\pm$  6,01 appartient au groupe (b) et la modalité de l'insecticide avec 2623,33 mg/Kg  $\pm$  78,01 appartient au groupe (c) (**Figure 36**).


### II-1-6-2- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des éléments (chlorure, sulfate et sodium)



**Figure 37.** Poids moyen des éléments Cl, SO<sub>4</sub>, Na en fonction des modalités.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|            |             |
|------------|-------------|
| ■ Chlorure | T : Témoin  |
| ■ Sulfate. | G : Glucose |

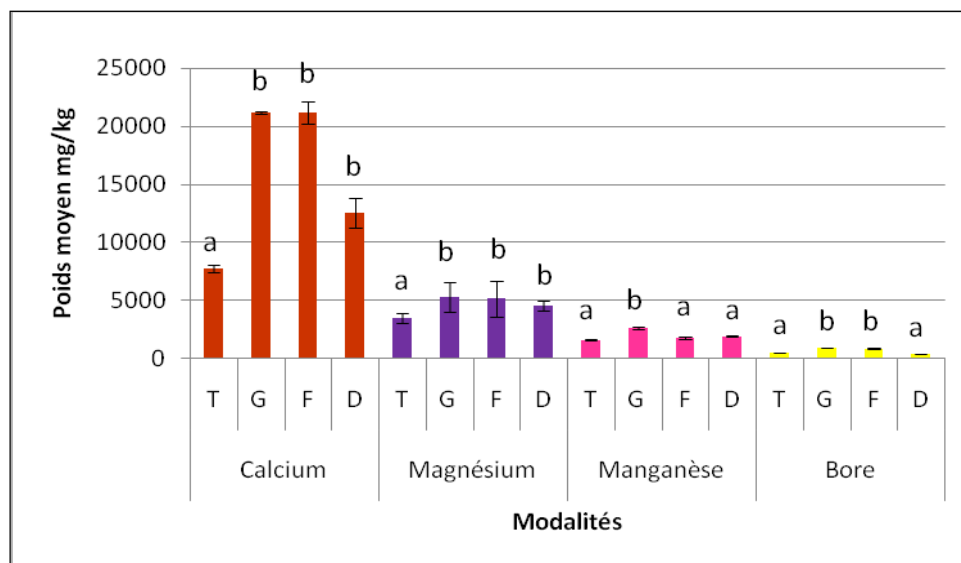
|   |   |
|---|---|
|  Sodium. | <b>F</b> : Fructose<br><b>D</b> : Deltaméthrine |
|---|---|

La pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide, permet d'augmenter significativement la concentration du chlorure. En effet, la comparaison de ces concentrations par l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), a identifié trois groupes de modalités présentant des différences significatives. La modalité du témoin non traité ( $10393,33 \text{ mg/Kg} \pm 483,64$ , groupe (a)), les modalités du glucose et l'insecticide avec  $17040 \text{ mg/Kg} \pm 1477,98$  et  $15146,67 \text{ mg/Kg} \pm 1252,32$  respectivement appartiennent au groupe (b), et la modalité du fructose groupe (c) avec une concentration de  $29826,67 \text{ mg/Kg} \pm 819,86$ .

Par ailleurs, la pulvérisation du glucose et fructose permet de réduire significativement la concentration du sulfate. La comparaison de ces concentrations par l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives. Les modalités du témoin et l'insecticide avec  $7666,67 \text{ mg/Kg} \pm 145,28$  et  $8400 \pm 351,19$  respectivement appartiennent au groupe (a), les modalités du glucose et fructose avec  $5450,33 \text{ mg/Kg} \pm 327,87$ ,  $5700 \text{ mg/Kg} \pm 251,66$  respectivement appartiennent au groupe (b).

En revanche, seule la pulvérisation du glucose permet de réduire significativement la concentration du sodium. En effet, la comparaison de ces concentrations par l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives. Les modalités du témoin, fructose et l'insecticide avec  $18566,67 \text{ mg/Kg} \pm 66,68$ ,  $18333,33 \text{ mg/Kg} \pm 92,80$  et  $18416,67 \text{ mg/Kg} \pm 508,54$ , respectivement appartiennent au groupe (a), la modalité glucose groupe (b) avec une concentration de  $16666,67 \text{ mg/Kg} \pm 218,58$  (**Figure 37**).

### II-1-6-3- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des cations (calcium, magnésium, manganèse et bore)



**Figure 38.** Poids moyen des éléments Ca, Mg, Mn, B en fonction des modalités.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|              |                   |
|--------------|-------------------|
| ■ Calcium;   | T : Témoin        |
| ■ Magnésium. | G : Glucose       |
| ■ Manganèse. | F : Fructose      |
| ■ Bore       | D : Deltaméthrine |

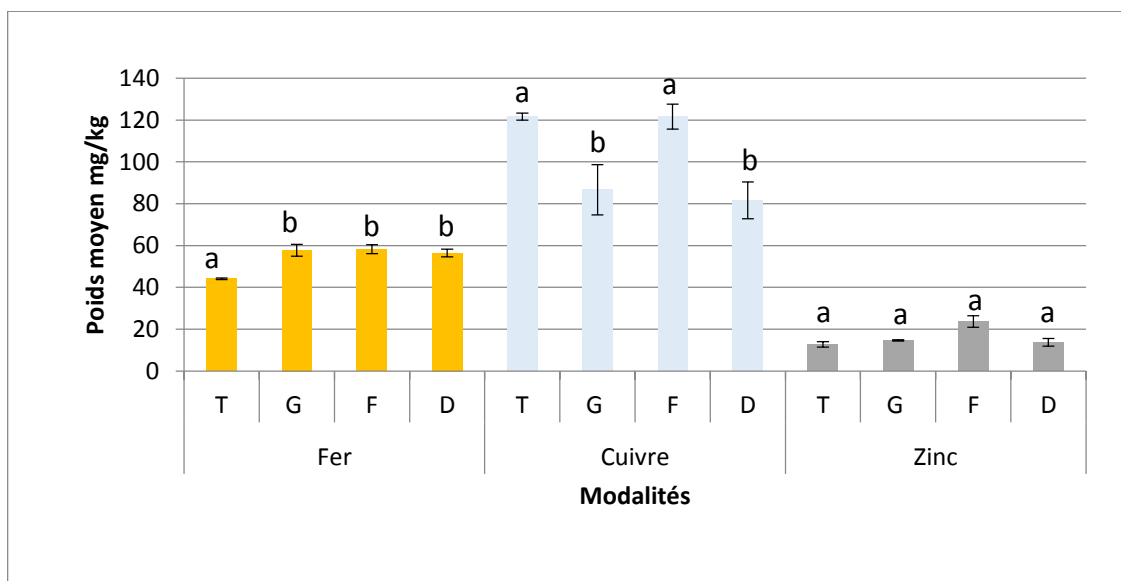
La pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide, a permis d'augmenter significativement la concentration du calcium. La comparaison des concentrations des quatre modalités par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives. La modalité du témoin non traité avec  $7767,76 \text{ mg/Kg} \pm 311,41$ , appartient au groupe (a), les modalités du glucose, du fructose et de l'insecticide avec  $21218,5 \text{ mg/Kg} \pm 112,65$ ,  $21175,23 \text{ mg/Kg} \pm 935,63$  et  $12565,46 \text{ mg/Kg} \pm 1305,29$  respectivement appartiennent au groupe (b).

De même, la pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide, a permis d'augmenter significativement la concentration du Magnésium. La comparaison des concentrations des quatre modalités par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives. La modalité du témoin non traitée avec  $7767,76 \text{ mg/Kg} \pm 311,41$ , appartient au groupe(a)), les modalités du glucose, fructose et l'insecticide avec des concentrations de l'ordre de  $21218,5 \text{ mg/Kg} \pm 112,65$ ,  $21175,23 \text{ mg/Kg} \pm 935,63$  et  $12565,46 \text{ mg/Kg} \pm 1305,29$  respectivement appartiennent au groupe (b).

En revanche, seule la pulvérisation du glucose a permis d'augmenter significativement la concentration du manganèse. La comparaison des concentrations des différentes modalités par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0.05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives. Les modalités du témoin, du fructose et de l'insecticide ont enregistrées des concentrations de manganèse de  $1633,33 \text{ mg/Kg} \pm 72,64$ ,  $1800 \text{ mg/Kg} \pm 76,37$  et  $1916,67 \text{ mg/Kg} \pm 44,09$ , respectivement et appartiennent au groupe (a)). La modalité du glucose avec  $2650 \text{ mg/Kg} \pm 76,37$  appartient au groupe (b).

La pulvérisation du glucose et fructose, permet d'augmenter significativement la concentration du bore. En effet, la comparaison des concentrations des quatre modalités par l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités du témoin et l'insecticide avec  $528 \text{ mg/Kg} \pm 39,71$  et  $438,67 \text{ mg/Kg} \pm 11,62$ , appartiennent au groupe (a)), les modalités du glucose, du fructose avec  $978 \text{ mg/Kg} \pm 7,57$ ,  $881,67 \text{ mg/Kg} \pm 39,19$  respectivement) appartiennent au groupe (b) (**Figure 38**).

#### II-1-6-4- Effet des traitements par les sucres sur la concentration des cations (fer, cuivre et zinc)



**Figure 39.** Poids moyen des éléments Fe, Cu, Zn en fonction des modalités.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| ■ Fer.    | <b>T</b> : Témoin        |
| ■ Cuivre. | <b>G</b> : Glucose       |
| ■ Zinc.   | <b>F</b> : Fructose      |
|           | <b>D</b> : Deltaméthrine |

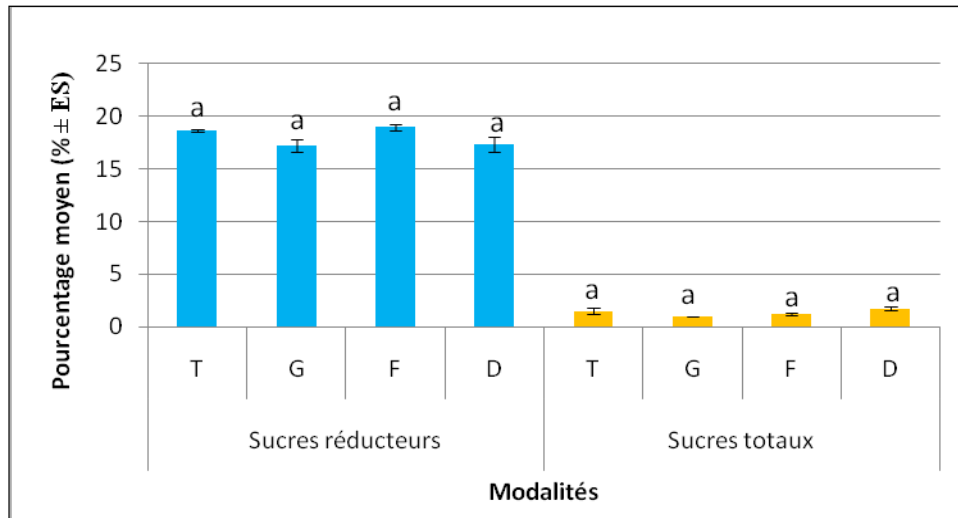
La pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide, permet d'augmenter significativement la concentration du fer. En effet, la comparaison des concentrations des quatre modalités par l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, la modalité du témoin non traité avec  $44,13 \text{ mg/Kg} \pm 0,35$ , appartient au groupe (a), les modalités du glucose, fructose et l'insecticide avec  $57,73 \text{ mg/Kg} \pm 2,88$ ,  $58,26 \text{ mg/Kg} \pm 2,14$  et  $56,4 \text{ mg/Kg} \pm 1,85$  respectivement appartiennent au groupe (b).

Par ailleurs, les traitements aux glucose et l'insecticide ont permis une diminution significative de la concentration du cuivre par rapport au témoin non traité. Par contre, le traitement au fructose a engendré une concentration semblable à celle du témoin. La comparaison de ces concentrations par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié deux groupes de modalités présentant des différences significatives, les modalités du témoin et fructose appartiennent au groupe (a) avec  $121,67 \text{ mg/Kg} \pm 1,66$ ,  $121,67 \text{ mg/Kg} \pm 06,01$  respectivement, les modalités du glucose et de l'insecticide avec  $86,67 \text{ mg/Kg} \pm 12,01$ ,  $81,67 \text{ mg/Kg} \pm 8,81$  respectivement appartiennent au groupe (b).

Aucune différence significative n'a été enregistrée par la pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide sur la concentration du zinc. En effet, la comparaison des concentrations des différentes modalités par le test de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0,05$ ), a identifié un seul groupe de modalité, les modalités du témoin, du glucose, du fructose et de l'insecticide avec  $12,67 \text{ mg/Kg} \pm 1,33$ ,  $14,67 \text{ mg/Kg} \pm 0,33$ ,  $23,67 \text{ mg/Kg} \pm 2,72$  et  $13,67 \text{ mg/Kg} \pm 1,85$ , respectivement appartiennent au groupe (a) (**Figure 39**).

## II-1-7- Analyse des sucres solubles des feuilles du corymbe par la méthode de Bertrand

### II-1-7-1-Analyse des sucres réducteurs et totaux



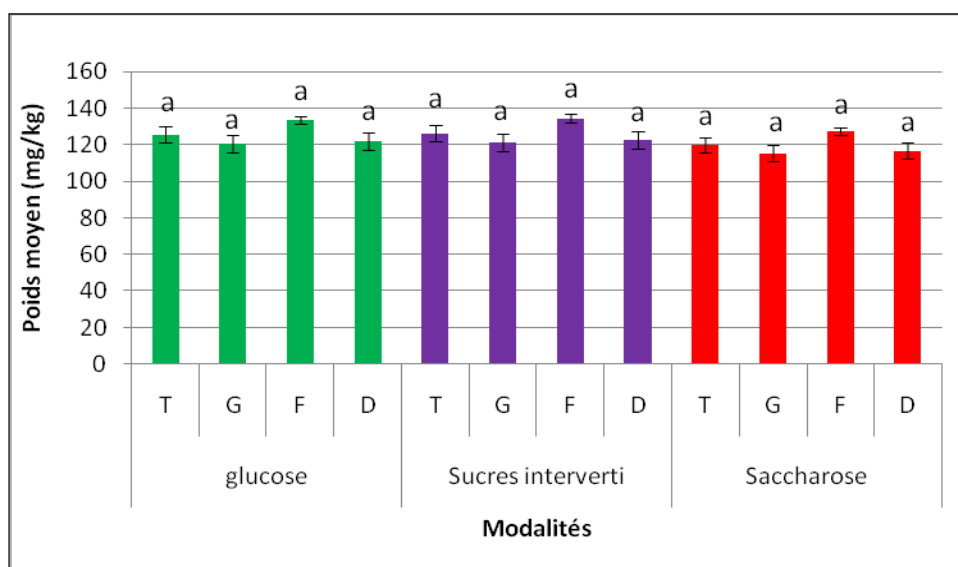
**Figure 40.** Pourcentage moyen des sucres réducteurs et totaux en fonction des modalités. Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| ■ Sucres réducteurs | <b>T</b> : Témoin        |
| ■ Sucres totaux.    | <b>G</b> : Glucose       |
|                     | <b>F</b> : Fructose      |
|                     | <b>D</b> : Deltaméthrine |

La comparaison des pourcentages moyens des sucres réducteurs et totaux, quantifiés par la méthode de Bertrand, par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey ( $P > 0,05$ ) a identifié un seul groupe : le groupe (a) pour les quatre modalités (témoin, glucose, fructose et l'insecticide) qui ne présentent pas de différences significatives entre elles avec 18,68 % ± 0,13, 17,18 % ± 0,62, 18,98 % ± 0,3 et 17,3 % ± 0,69 respectivement pour les sucres réducteurs et 1,5 % ± 0,29, 1 % ± 0, 1,25 % ± 0,14 et 1,75 % ± 0,14) respectivement pour les sucres totaux (**Figure 40**).



## II-1-7-2- Analyse du glucose, sucres intervertis et saccharose



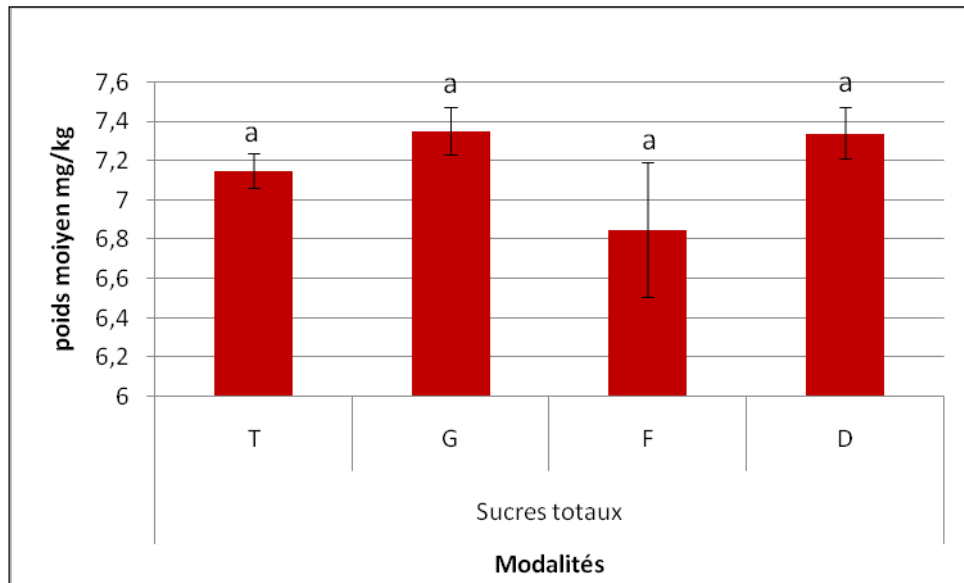
**Figure 41.** Poids moyen des sucres intervertis, glucose et saccharose en fonction des modalités.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| ■ Glucose             | <b>T</b> : Témoin        |
| ■ Sucres intervertis. | <b>G</b> : Glucose       |
| ■ Saccharose.         | <b>F</b> : Fructose      |
|                       | <b>D</b> : Deltaméthrine |

La comparaison des poids moyens du glucose, sucres intervertis et saccharose, quantifiés par la méthode de Bertrand, par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) a identifié un seul groupe : le groupe (a) pour les modalités témoin, glucose, fructose et l'insecticide qui ne présentent pas de différence significative entre elles avec 125,41 mg/kg  $\pm$  4,36, 120,49 mg/kg  $\pm$  4,57, 133,5 mg/kg  $\pm$  2,13 et 121,72 mg/kg  $\pm$  4,87 respectivement pour le glucose. 126,27 mg/kg  $\pm$  4,4, 121,27 mg/kg  $\pm$  4,6, 134,42 mg/kg  $\pm$  2,14 et 122,54 mg/kg  $\pm$  4,9 respectivement pour les sucres intervertis et pour le saccharose les poids enregistrés sont respectivement 119,87 mg/kg  $\pm$  4,17, 115,17 mg/kg  $\pm$  4,37, 127,6 mg/kg  $\pm$  2,04 et 116,6 mg/kg  $\pm$  4,51 (**Figure 41**).

### II-1-8- Analyse des sucres solubles des feuilles du corymbe par la méthode Dubois



**Figure 42.** Poids moyen des sucres totaux en fonction des modalités.

Les valeurs suivies des lettres différentes sont significativement différentes à  $P \leq 0,05$  (E.S. : Erreur Standard)

|                  |  |
|------------------|--|
| ■ Sucres totaux. | <b>T</b> : Témoin<br><b>G</b> : Glucose<br><b>F</b> : Fructose<br><b>D</b> : Deltaméthrine |
|------------------|--|

La comparaison des poids moyens des sucres totaux, quantifiés par la méthode de Dubois, par l'analyse de la variance (ANOVA à un facteur) suivie du test de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) a identifié un seul groupe : le groupe (a) pour les modalités témoin, glucose, fructose et l'insecticide qui ne présentent pas de différence significative entre elles avec  $7,15 \text{ mg/kg} \pm 0,09$ ,  $7,35 \text{ mg/kg} \pm 0,12$ ,  $6,85 \text{ mg/kg} \pm 0,34$  et  $7,34 \text{ mg/kg} \pm 0,13$  respectivement pour les sucres totaux (**Figure 42**).

## II-2- Discussions

Cette étude soulève le point sur la possibilité d'induire une résistance, en stimulant les défenses naturelles du pommier par l'apport exogène des sucres pour la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires, pour voir l'importance de cette méthode dans l'optimisation de la lutte anti-carpocapse et réduire les traitements phytosanitaires et par conséquent respecter l'environnement et la santé humaine.

Le piégeage sexuel est l'une des techniques à mettre nécessairement en œuvre afin de mieux comprendre les périodes de vol de l'insecte, le suivi des captures ainsi que de bien positionner les traitements et diriger la lutte anti-carpocapse. Le suivi de l'activité de vol de *C. pomonella*, par l'installation des pièges à phéromones dans les sites d'étude, a révélé pour la variété R. Gala durant trois campagnes 2019, 2020 et 2021 et pour la variété G. Delicious durant la campagne 2019, la présence de quatre générations du carpocapse. La durée d'une génération varie selon les conditions environnementales, arbitrairement, une hausse significative et stable des captures, suivie d'un inter-vol suffisamment long ( $\pm 30$  jours) avec peu de captures, indique un vol naissant ou finissant assimilable au démarrage ou à la fin d'une génération, sachant que les hausses et les chutes plus au moins spontanés et brutales dans les prises sont fréquentes en raison du situations régionale, conditions climatiques, les traitements ..., aussi on tenant compte les chevauchements des générations, ces facteurs ne permet qu'une approximation grossières de la masse des populations (Hmimina et Iraqui, 2015), aussi durant notre étude nous avons remarqué la présence des oiseaux prédateurs de papillons trouvés collés dans les pièges pour certaines reprises. Le carpocapse présente 1 à 4 générations selon les régions et les conditions climatiques (Pajač *et al.*, 2011). En Algérie, le nombre de génération de *C. pomonella* varie de 1 à 4 selon le climat et la région. Soltani *et al.* (1986) rapportent que, dans la région d'Annaba, le carpocapse présente quatre générations sur cognassier. Alors que sur pommier, trois générations ont été notées sur la variété Starkrimson par Meradi (2015) dans la région d'Oued Chaaba; aussi Brahim (2010) a révélé trois générations dans son travail sur deux variétés Starkrimson et G. Delicious dans deux régions Tazoult et Lambiridi.

Dans le monde, nous pouvons citer les exemples suivants :

- En Konya (Turquie) 2 à 3 générations par an (Aydogan et Unlu, 2019).
- Au Chili, 2 générations par an (Basoalto *et al.*, 2010).
- En Utah (Etats unis) 2 à 3 générations par an (Murray et Alston, 2020).
- En Pologne, 3 générations par an (Juszczak *et al.*, 2013).

- En Bulgarie, 2 générations par an (Kutinkova *et al.*, 2009).
- En Macédoine, 2 générations par an (Lazarevska *et al.*, 2017).
- En Roumanie, 2 générations par an (Paraschiv *et al.*, 2019).
- En Krasnodar (Russie), 3 générations par an (Yakovuk *et al.*, 2020).
- En France, 2 à 3 générations par an (Ricci, 2009).
- En Chine, 2 à 3 générations par an (Chen *et al.*, 2017).
- En Australie, 3 générations par an (Geier, 1963).

Nos résultats ont révélé une capture cumulative de 708 papillons en 2019 sur la variété G. Delicious avec un pic maximal de capture de 73 papillons en date du 03/07/2019, en comparaison avec la variété R. Gala pour la même année, les captures cumulatives sont de 1051 papillons avec un pic maximal de capture de 80 papillons en date du 30/06/2019, cette augmentation dans les nombres du cumul des captures et le pic maximal de capture pourrait être expliquée par la superficie des vergers (la superficie du verger de la variété R. Gala est 2,5 ha, plus importante de celle de la variété G. Delicious). En comparant les trois campagnes 2019, 2020 et 2021 pour la variété R. Gala, les nombres des captures cumulatives sont respectivement 1051, 806 et 482 papillons, avec des pics maximaux de captures de 80, 52 et 31 papillons durant les dates 30/06/2019, 10/05/2020 et 01/05/2021 respectivement. Cette diminution dans le nombre des captures probablement due aux fluctuations des populations d'une année à une autre, influés par les conditions climatiques et la quantité de fruits produite (charge de fruits par arbres), dans le verger qui est marqué surtout par le phénomène de l'alternance de la production fréquent dans cette région, par la suite cette diminution dans le nombre des captures influe le pourcentage de fruits attaqués par arbre à la récolte d'une année à une autre.

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont meilleurs sur la variété R. Gala avec le fructose et le glucose à la dose 100 ppm, durant les deux campagnes 2019 et 2021, pour les deux paramètres suivants ; pourcentage de fruits attaqués à la récolte et l'efficacité Abbott à la récolte ; cette dernière qui est surprenante avec le fructose en 2021 et semblable à celle du traitement chimique de référence), par rapport aux autres travaux qui ont été réalisés par Meradi (2015) avec le fructose à 100 ppm sur la variété Starkrimson, Abdesselam (2016) qui a testé l'application du fructose à 100 ppm sur la variété G. Delicious, et Nasri (2015) qui a travaillé sur le glucose à 10 ppm sur la variété R. Gala (**Tableau 13**). Par ailleurs, Derridj *et al.* (1999) a mis en évidence que le glucose à une activité dissuasive vis-à-vis des femelles et des chenilles de *C. pomonella* dans une étude effectuée au laboratoire. Nos résultats

confirment cette activité dissuasive du glucose au verger par rapport au témoin, en diminuant significativement le pourcentage d'attaques actives durant la campagne 2019 sur la variété R. Gala. Le fructose quant à lui, est meilleur, en réduisant le pourcentage d'attaques actives à un niveau semblable à celui de l'insecticide, donc le glucose et le fructose affectent les chenilles de *C. pomonella*.

**Tableau 13.** Comparaison des paramètres des études effectuées avec différentes doses de sucres sur différentes variétés.

| Auteur             | Modalités testées   | % de fruits attequés à la récolte | efficacité Abbott à la récolte (%) | % de fruits attequés et tombés au sol | efficacité Abbott fruits attequés et tombés au sol (%) | Types d'attaques (nombre moyen de fruits attequés) |            |         | Variété          |
|--------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|--|------------|---------|------------------|
|                    |                     |                                   |                                    |                                       |  | active   | cicatrisée | stoppée |                  |
| Meradi (2015)      | Fructose 100 ppm    | 22,01 (b)                         | 31,71                              | 56,0 (a)                              | 11,88  | 19,70  | 48,73      | 31,57   | Starkrimson      |
|                    | Témoin              | 32,40 a                           | /                                  | 64,0 (b)                              | /  | 66,75  | 09,42      | 23,83   |                  |
| Abdeslam (2016)    | Glucose 10 ppm      | 16,22 (a)                         | 8,28 (b)                           | 67,47 (a)                             | 26,22 (a)  | 3,30   | 4,29       | 8,63    | Golden Delicious |
|                    | Fructose 100 ppm    | 05,40 (b)                         | 69,06 (a)                          | 37,29 (b)                             | 58,79 (b)  | 0,88   | 0,80       | 3,73    |                  |
|                    | Témoin              | 17,73 a                           | /                                  | 92,28 (a)                             | /  | 4,01   | 5,19       | 8,52    |                  |
| Notre étude (2019) | Fructose 100 ppm    | 49,70 (b)                         | 15,54 (a)                          | 69,97 (a)                             | 1,90(a)  |  |            |         | Golden Delicious |
|                    | Glucose 100 ppm     | 44,96 (b)                         | 23,75 (a)                          | 70,87(a)                              | 0,69(a)  |  |            |         |                  |
|                    | Insecticide (Decis) | 36,80 (c)                         | 37,6 (b)                           | 54,30 (b)                             | 23,83 (b)  |  |            |         |                  |
|                    | Témoin              | 59,19 a                           | /                                  | 71,36 a                               | /  |  |            |         |                  |
| Nasri (2015)       | Glucose 10 ppm      | 22,61 (a)                         | 11,86                              | 24,77 (b)                             | 49,11  | 61,07  | 31,02      | 08,92   | Royal Gala       |
|                    | Témoin              | 26,50 (a)                         | /                                  | 54,19 (a)                             | /  | 58,80  | 18,23      | 22,97   |                  |
| Notre étude (2019) | Glucose 100 ppm     | 15,27 (b)                         | 80,25 (a)                          | 31,93 (a)                             | 4,46(a)  | 47,67(b)   | 14,25 bc   | 4,92 ac | Royal Gala       |
|                    | Fructose 100 ppm    | 16,45 (b)                         | 78,58 (a)                          | 19,16 (b)                             | 39,64 (b)  | 31,58(c)   | 34(ab)     | 7,33 ac |                  |
|                    | Insecticide (Decis) | 10,97 (c)                         | 85,64 (b)                          | 09,78 (c)                             | 69,77 (c)  | 24,58(c)   | 20,83 bc   | 19 (ad) |                  |
|                    | Témoin              | 76,99 (a)                         | /                                  | 32,54 (a)                             | /  | 250,42 a   | 44,17 ab   | 9,92 ac |                  |
| Notre étude (2021) | Glucose 100 ppm     | 21,81 (b)                         | 54,18 (a)                          | 35,10 (b)                             | 39,90 (a)  |  |            |         | Royal Gala       |
|                    | Fructose 100 ppm    | 17,08 c                           | 63,02 (b)                          | 35,12 (b)                             | 40,16 (a)  |  |            |         |                  |
|                    | Insecticide (Decis) | 16,24 (c)                         | 65,51 (b)                          | 37,78 (b)                             | 35,38 (a)  |  |            |         |                  |
|                    | Témoin              | 48,81 (a)                         | /                                  | 58,58 (a)                             | /  |  |            |         |                  |

D'autres auteurs ont étudié l'effet de l'utilisation du fructose et glucose en ppm sur les dégâts du carpocapse, en citant par exemple Arnault *et al.* (2015) qui ont montré en protection fruitière intégrée, les pulvérisations de fructose à 100 ppm ajoutées aux Organo Phosphorés et aux Régulateurs de Croissance des Insectes (OP et RCI), ont permis de diminuer le nombre de fruits piqués à la récolte par rapport aux OP et RCI seuls (6,5%, 10% respectivement) et ont prouvé que l'efficacité est améliorée de 35%. Les mêmes auteurs ont révélé que les pulvérisations de fructose à 100 ppm ont également pu réduire les dégâts de carpocapse de 55%, en agriculture biologique. Aussi les études de Derridj (2009) montrent que la pulvérisation du sucre seul vis-à-vis du carpocapse peut avoir une efficacité équivalente à certaines modalités de référence étudiées : imidan 50 WP à 100g pour 100L (organophosphoré) et le granulovirus contre les larves (CARPOVIRUSINE®).

Pour les autres paramètres ; le pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol, l'efficacité Abbott des fruits attaqués et tombés au sol et le nombre d'attaques cicatrisées et stoppées, nos résultats sur la variété R. Gala avec le fructose à 100 ppm, durant les deux campagnes (2019 et 2021) confirment ceux enregistrés par les études effectuées auparavant résumées dans le **Tableau 13**.

D'après cette étude, une faible efficacité conjuguée par le pourcentage élevé de fruits attaqués à la récolte dans les modalités traitées par le glucose, fructose et l'insecticide sur la variété G. Delicious par rapport à celle enregistrée sur la variété R. Gala durant la même campagne (2019) a été démontrée. De même, une différence notable dans le pourcentage de fruits attaqués à la récolte et l'efficacité Abbott à la récolte trouvée dans l'étude de Abdesselam (2016) à Inoughissen suite aux pulvérisations du fructose à 100 ppm sur la même variété a été observée. En outre, nos résultats qui montrent une absence de différences significatives par les traitements au glucose et fructose par rapport au témoin pour les autres paramètres ; le pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol et l'efficacité Abbott des fruits attaqués et tombés au sol sur la variété G. Delicious, pourrait être expliquée d'une part par la sensibilité variétale, la tardivité de la variété G. Delicious par rapport à la variété R. Gala ce qui fait qu'elle est plus exposée aux attaques du carpocapse, et d'autre part par la forte pression parasitaire du carpocapse (quatre générations dans notre étude par rapport à deux générations pour l'étude de Abdesselam (2016) justifié par l'altitude de la région d'étude (951 m de la région d'étude « Beni Foudhala » par rapport à Inoughissen 1316 m). D'après Arnault *et al.* (2015), lorsque les pressions parasitaires sont très importantes dans les systèmes culturaux (le cas des cultures maraichères), l'ensemble des tests réalisés par les applications foliaires d'infra-doses de sucres sur les plantes pour renforcer et accélérer le processus de

« Sweet Immunity » sur différents couples de plante bio-agresseur n'a pas permis de dégager de pistes encourageantes où même les traitements de référence apportent une protection partielle, par contre un intérêt des applications de solutions de saccharose et de fructose pour le contrôle de différents bio-agresseurs, lors de pressions parasitaires faibles à modérées et sur des cultures pérennes (vigne, arboriculture) a été soulevé. Notons que, les dégâts de carpocapse ont été réduits de 55% en arboriculture biologique avec le saccharose et le fructose.

Les traitements au glucose et fructose, sur la variété R. Gala en 2019, ont diminué significativement le nombre des larves diapausantes et des chrysalides capturées dans les bandes pièges par rapport au témoin non traité et semblable à ceux engendrés par l'insecticide. Ces résultats ont été confirmés en 2021 sur la même variété. Ce qui indique que la stratégie de lutte par les sucres en infra-dose (glucose et fructose) a permis de réduire significativement la population du carpocapse, ces résultats sont identiques à ceux obtenus par Meradi (2015), qui a testé le fructose 100 ppm sur la variété Starkrimson. D'après Nasri (2015), l'application du glucose (10 ppm) sur la variété R. Gala a diminué le nombre des larves diapausantes et les chrysalides par rapport au témoin. Par contre, aucun résultat significatif n'a été obtenu, dans notre étude, suite à l'utilisation du glucose et fructose à 100 ppm sur la variété G. Delicious. Egalement le travail mené par Abdesselam, (2016) a démontré que sur cette variété le nombre moyen des larves diapausantes et des chrysalides trouvées dans les parcelles témoin est identique à celui enregistré dans les parcelles traitées par le glucose 10 ppm et le fructose 100 ppm, cette différence peut être expliquée par la sensibilité variétale, en plus de la tardivité de la variété G. Delicious exposée aux attaques du carpocapse. Selon Derridj (2010) l'induction de la résistance d'une plante à un bio-agresseur peut varier selon le sucre et sa concentration, ainsi la perméabilité cuticulaire des sucres peut varier selon l'espèce végétale, l'organe et l'âge de la plante, soit à des caractères abiotiques comme l'hygrométrie ou la température.

Les modalités traitées par le fructose et glucose, sont globalement dominées par un nombre des larves mâles élevés par rapport aux nombres des larves femelles suivi par le nombre des chrysalides sur la variété R. Gala en 2019. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par Meradi (2015). Alors que le nombre des mâles est identique à celui des femelles suivi par le nombre des chrysalides dans notre étude sur la même variété (R. Gala) en 2021. Donc, le sexe dominant est variable d'une campagne à une autre, par contre le nombre des chrysalides est toujours le plus faible. Walters *et al.* (2013) ont expliqué que la résistance induite est une réponse de l'hôte, son expression dans les conditions de terrain est susceptible

d'être influencée par un certain nombre de facteurs, notamment l'environnement, le génotype et la nutrition de la culture.

Des études sur l'effet des métabolites primaires (sucres et polyols) en mélange sur l'acceptation et la stimulation de ponte de *C. pomonella* en conditions contrôlées sur un substrat inerte ont été menées pour vérifier les observations faites en conditions naturelles (Lombarkia et Derridj, 2008 ; Lombarkia et Derridj, 2013).

Au cours de notre étude nous avons testé l'effet des traitements des arbres par les sucres en infra-dose (fructose et glucose à la dose de 100 ppm) sur le nombre d'œufs pondus de *C. pomonella* en conditions naturelles. Les traitements par ces sucres ont permis de réduire significativement le nombre d'œufs pondus et semblable à ceux enregistrés par l'insecticide durant les vols de la première et la troisième génération sur la variété G. Delicious et durant le quatrième vol sur la variété R. Gala. Ces résultats corroborent à ceux trouvés par Derridj *et al.* (1999) qui ont montré que les sucres solubles présents à la surface des feuilles (le fructose, le sorbitol et le *myo*-inositol) stimulent la ponte de *C. pomonella*. De même Lombarkia et Derridj (2013) ont révélé que l'application du Madex® (granulovirus) sur des arbres de pommier en verger réduit la ponte du carpocapse et ont démontré l'effet des substances présentes à la surface des feuilles (sucres et polyols) sur l'acceptation et la stimulation de ponte de *C. pomonella*.

Dans notre étude, effectuée en 2019, sur les deux variétés (G. Delicious et R. Gala), le pourcentage d'œufs pondus sur les arbres témoins non traités était plus élevé sur la face supérieure des feuilles du corymbe (FSFC) (51,67 %) par rapport aux faces inférieures des feuilles du corymbe (FIFC), faces supérieures des feuilles hors corymbe (FSFHC), faces inférieures des feuilles hors corymbe (FIFHC) et fruits (8,2 %), par contre la ponte est absente sur les rameaux. Plusieurs travaux ont étudié le comportement de ponte du carpocapse sur le pommier. En effet, Lombarkia et Derridj (2013), ont démontré que l'effet du Madex® à réduire la ponte est dû au changement biochimique des compositions des métabolites des surfaces des feuilles, aussi ils ont confirmé que la variété G. Delicious est préférée à la ponte du carpocapse par rapport à Red Chief. Wearing (2016) a résumé que le pourcentage le plus important des œufs est pondus sur les feuilles éloignées à 10-15 cm du fruit, ainsi que le site préféré pour la ponte parmi les faces supérieures et inférieures des feuilles et le fruit est variable selon le cultivar. Selon Blomfield *et al.* (1997), l'oviposition des œufs par site sur les variétés Granny Smith et G. Delicious par ordre de préférence sont les feuilles, les fruits et les branches. Cependant, Brahim (2010), en conditions de non-choix, a confirmé que Golden Delicious est préférée à la ponte du carpocapse par rapport à Starkrimson et le dépôt des œufs



est identique sur les faces inférieures et supérieures des feuilles (de corymbe et hors corymbe); avec une légère préférence pour les faces supérieures, quel que soit la région, la variété et le vol de l'insecte. Jakson (1979) a confirmé encore que les femelles de carpocapse déposent leurs œufs sur les faces supérieures des feuilles avec 57 %, 35 % sur les faces inférieures des feuilles et 8 % sur les fruits. Aussi Maclellan (1962) a révélé que les femelles déposent les œufs par ordre de préférence sur les faces supérieures, les faces inférieures des feuilles et les fruits.

Nos résultats ont révélé que le dépôt des œufs sur les arbres témoins non traités, durant les quatre vols de l'insecte est globalement proche sur les quatre directions de l'arbre. En effet pour les modalités testées aucune différence significative dans les nombres moyens d'œufs pondus n'a été révélée, durant les quatre vols, entre les quatre directions de l'arbre (Nord, Sud, Est et Ouest) sur les deux variétés étudiées. Quant à la répartition des œufs par zone d'arbre (haute ou basse), pour le bloc témoin non traité, le pourcentage moyen d'œufs pondus, est identique sur les deux zones. Alors que, pour les modalités testées, l'analyse statistique a identifié des différences significatives entre les deux zones haute et basse de l'arbre. En effet, une préférence pour la ponte au niveau de la zone haute de la variété G. Delicious (1<sup>er</sup> vol) et la variété R. Gala (2<sup>ème</sup> vol) a été enregistrée. Alors que les nombres moyens d'œufs pondus sur la variété G. Delicious (3<sup>ème</sup> vol) et R. Gala (4<sup>ème</sup> vol) sont identiques (indifférents statistiquement) pour les deux zones (haute et basse). Les travaux de Blomfield *et al.* (1997) ayant étudié la distribution des œufs du carpocapse, ont révélé plus d'œufs pondus sur la zone basse des directions Sud et Ouest de l'arbre. Les papillons du carpocapse du premier vol préfèrent la zone basse et du deuxième, troisième vol préfèrent la zone haute. Wearing (2016) a révélé que la ponte du carpocapse dépend du nombre des grappes de fruits et augmente avec la hauteur de 0,5 à 2,5 m (très peu d'œufs ont été enregistrés en dessous de 0,5 m ou au-dessus de 2,5 m) et la ponte est plus importante dans les directions Nord et Est. Jackson (1979), a conclu qu'il n'y avait pas de différence significative entre le nombre d'œufs pondus par échantillon prélevés des trois tiers de l'arbre supérieur, central et inférieur. Le nombre d'œufs total (zone haute et basse) pondus par vol le plus important est enregistré durant le troisième vol sur la variété G. Delicious, ce qui est déjà confirmé par Brahim (2010) qui mentionne que le nombre d'œufs sont plus élevés (04 fois) sur Golden Delicious que sur Starkrimson au 3<sup>ème</sup> vol dans la région de Tazoult par rapport aux deux premiers vols.

Derridj et Wu (1996) ont démontré que la pyrale de maïs (*O. nubilalis*) pond des œufs sur les niveaux et les faces foliaires du maïs les moins riches en cations (calcium, sodium,

potassium). En outre, des effets séquentiels ont été observés entre les sucres et les cations, montrant que selon les concentrations, c'est une substance ou l'autre qui est dominante dans la réponse comportementale observée. Selon les mêmes auteurs, une forte concentration en cations a une action dominante sur celle des sucres, et un effet de synergie entre les cations et les sucres a été observé. Ces résultats nous ont encouragés à faire des investigations sur l'effet de la pulvérisation des sucres (en infra-doses) sur les cations et les sucres présents dans les feuilles du pommier pour comprendre les mécanismes aboutissant à cette résistance vis-à-vis *C. pomonella*.

Les éléments nutritifs sous forme d'ions minéraux sont essentiels pour la croissance et le développement des plantes, ils sont des facteurs importants dans les interactions plantes-nuisibles affectant la réponse de la plante positivement ou négativement selon chaque complexe plante-nuisibles (Spann et Schumann, 2010). Les plantes obtiennent le carbone, l'hydrogène et l'oxygène du dioxyde de carbone et de l'eau, 14 éléments minéraux sont essentiels pour la croissance des plantes, ils sont classés en macroéléments primaire (azote, phosphore et potassium), macroéléments secondaires (calcium, magnésium, et soufre) et micro-éléments (fer, manganèse, zinc, cuivre, bore, molybdène, chlore et nickel) (Bala *et al.*, 2018).

Dans notre travail la pulvérisation des sucres en infra-dose ont modifié l'état nutritionnel des feuilles, probablement cette modification influence la résistance de la plante au carpocapse. Cette hypothèse est supportée par Spann et Schumann (2010) qui indiquent que la nutrition minérale influence la croissance et le rendement en affectant la résistance ou la sensibilité de la plante aux agents pathogènes et aux ravageurs. Malgré que la résistance est contrôlée génétiquement, elle est fortement influencée par les facteurs environnementaux parmi lesquelles la nutrition minérale, qui peut augmenter la résistance de plante en répandant aux attaques des ravageurs par deux mécanismes ; la formation de barrières mécaniques principalement par le développement de parois cellulaires plus épaisses et la synthèse de défense naturelle, comme les antioxydants et les flavonoïdes qui offrent une protection contre les agents pathogènes. Selon Maffei *et al.* (2007) une défense réussite de la plante dépend de sa capacité à reconnaître un ennemi rapidement. Les premières réponses de défense nécessitent des cascades de signalisation initiées par l'ennemi. Leurs activations assurent une réponse induite quantitative, ponctuelle et coordonnée avec les autres activités des cellules hôtes. Les déséquilibres ioniques induits par les dommages et les modulations des activités des canaux sont les premiers événements survenant dans la membrane plasmique impliquant des variations des concentrations de  $\text{Ca}^{2+}$ . Des interagissant en aval des réseaux de kinases et

de phytohormones médiant le signal et entraînent une activation concertée des gènes. Derridj et Wu (1996), ont mis le point sur l'activité des métabolites primaires et des cations présents à la surface des feuilles sur la sélection du site d'oviposition et la perception sensorielle de la pyrale du maïs.

Pour les macroéléments primaires, d'après Shukla *et al.* (2014), l'azote est nécessaire à la formation des acides aminés, des protéines et des vitamines, indispensable à la division des cellules végétales, vital pour la croissance, la photosynthèse, aide à la production et l'utilisation des glucides. Le phosphore est impliqué dans la photosynthèse, la respiration, le stockage et le transfert d'énergie, la division des cellules. Il favorise la formation et la croissance précoce des racines, améliore la qualité des fruits et la formation des graines et accélère la maturité. Il aide les plantes à survivre aux conditions hivernales et augmente l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Le potassium est impliqué dans le métabolisme des glucides et l'amidon, il augmente la photosynthèse et l'efficacité de l'utilisation de l'eau, et essentiel à la synthèse des protéines. En outre, il est important dans la formation de fruits, il active les enzymes et contrôle la vitesse de réaction. Comme il améliore la qualité des fruits et des graines, la rusticité hivernale et augmente la résistance aux maladies.

D'après notre étude, la pulvérisation du glucose et fructose a permis d'augmenter la concentration d'azote et à diminuer celle du phosphore. Le fructose a également diminué la concentration du potassium. En général l'azote a un effet positif sur la performance individuel des insectes. L'application d'engrais azotés augmente la préférence alimentaire, la croissance, la survie, la reproduction, la densité de population des herbivores, sauf dans quelques cas l'azote réduit les performances des herbivores (Bala *et al.*, 2018). Hatcher *et al.* (1997) ont étudié l'interaction tripartite d'une chrysomèle *Gastrophysa viridula* (coléoptères, chrysomelidae) et le champignon *Uromyces rumicis* agent causal de la rouille qui s'attaquent les deux aux feuilles de la plante *Rumex obtusifolius*, les augmentations de la fertilisation azotée ont permis à la plante hôte *R. Obtusifolius* de s'enfuir des attaques en diminuant la croissance du coléoptère et du champignon par l'augmentation des croissances des feuilles. De même, la surface foliaire consommée et le nombre d'œufs pondus par la chrysomèle diminuaient à mesure que la concentration de la fertilisation azotée a augmenté.

Concernant les macronutriments secondaires, le calcium est utilisé pour la division et la formation cellulaire, impliqué dans le métabolisme de l'azote, la translocation de la photosynthèse des feuilles aux organes fructifères, réduit la respiration et augmente la nouaison. Le magnésium est un élément clé dans la production de la chlorophylle, il améliore l'utilisation du phosphore, c'est un activateur et composant de nombreux enzymes végétales,

il augmente l'utilisation du fer, influence la précocité et l'uniformité de la maturité. Le soufre fait partie des acides aminés, il aide à développer les enzymes et les vitamines, impliqués dans la production des semences, nécessaires à la formation de la chlorophylle (Shukla *et al.* 2014).

La pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide, a permis d'augmenter significativement la concentration du calcium et du magnésium. Les traitements aux glucose et fructoses ont diminué la concentration du sulfate. En effet, Deluca (1981) a montré que de nombreux sels minéraux naturels (chlorures, carbonates, sulfates, nitrates, phosphates de Na, Ca, Mg, Al) constituent une source d'ingrédients phytosanitaires employée pour la protection des denrées stockées vis-à-vis des dégâts d'insectes, ces produits provoquent aux insectes des accidents variables : retards de croissance, allongement des durées de vie, diminution du taux de population. Les ions de calcium ont un rôle dans les voies de signalisation, indique Pszczolkowski (2017) qui a montré l'effet inhibiteur du dénatonium sur l'alimentation des chenilles nouveau-nées du carpocapse, qui repose sur les voies de signalisation qui impliquent la phospholipase C, la phosphodiesterase et l'influx d'ions calcium dans les cellules.

Pour les micro-éléments, le bore est indispensable à la germination des grains de pollen, essentiel pour les grains et des parois cellulaires et favorise la maturité, il est nécessaire pour la translocation des sucres, il affecte le métabolisme de l'azote et des glucides. Le chlore sous forme d'ion chargé (Cl<sup>-</sup>) est nécessaire pour l'évolution de l'oxygène dans la photosynthèse, il a un effet synergique avec le potassium et se combine pour former le KCl qui est efficace pour réduire la gravité des maladies des plantes et les stress hydriques, il est connu comme un inhibiteur de nitrification et régule l'osmose (Shukla *et al.*, 2014). Chez les plantes, le fer joue un rôle important dans divers fonctions physiologiques et voies biochimiques, il sert de composant de nombreuses enzymes vitales, il est impliqué dans la synthèse de la chlorophylle, il a un rôle essentiel dans les processus métaboliques tels que la synthèse de l'ADN, la respiration et la photosynthèse (Rout et Sahoo, 2015). Le Manganèse « Mn » est un micronutriment essentiel avec de nombreux rôles fonctionnels dans le métabolisme des plantes, il agit comme activateur et cofacteur de centaines de métalloenzymes dans les plantes. En raison de sa capacité à changer facilement l'état d'oxydation dans les systèmes biologiques, le « Mn » joue un rôle important dans un large éventail de réactions catalysées par des enzymes (Schmidt et Husted, 2019). Le chlore (Cl<sup>-</sup>) est un micronutriment essentiel des plantes supérieures et participe à plusieurs processus physiologiques du métabolisme, ses fonctions dans la croissance et le développement des plantes comprennent la régulation osmotique et stomatique, l'évolution de l'oxygène dans la photosynthèse, ainsi que la résistance et la tolérance aux maladies (Chen *et al.*, 2010).

Les traitements des arbres de pommier aux glucose et fructose ont augmenté la concentration de la majorité des éléments à savoir le chlorure, le bore et le fer. En outre, le traitement au glucose a augmenté la concentration du manganèse et il a diminué la concentration du cuivre et du sodium. Seule la concentration du zinc qui n'a pas été influencée par la pulvérisation des sucres (des concentrations semblables à celles du témoin et l'insecticide). Une étude de Ruuhola *et al.* (2011) sur la résistance des plantules de bouleau aux larves de la teigne automnale (*Epirrita autumnata*) ont montré que la fertilisation au bore a amélioré la résistance qui a été traduit par une réduction du poids des pupes de la teigne. Les résultats d'un travail de Mazumder *et al.* (2021) sur quatre variétés de tomate a révélé qu'une variété (MT-3) a bien répondu aux applications de chlorure de calcium à la dose 2% ( $\text{CaCl}_2$ ) chaque semaine dû la formation des fruits à la première récolte, en améliorant la croissance, le rendement, la qualité, en diminuant aussi la sévérité et l'impact des maladies et l'infestation des insectes. Les propriétés stimulantes du chlorure de calcium sur la consommation des feuilles du pommier par les larves nouveau-nées du carpocapse disparaissent en présence de concentrations croissantes de chélateur de calcium EDTA, indiquant qu'il s'agit de cations calcium et non d'anions chlorure qui augmentent réellement la consommation de feuilles (Pszczolkowski, 2003). Par contre les concentrations élevées du calcium ont causé généralement le rejet de la prise de nourriture par les larves de lépidoptère *Samia cecropia* (Frings, 1945, 1948 in Pszczolkowski, 2003).

Hu *et al.* (2018) ont montré que les larves de la chrysomèle du maïs se nourrissant des racines utilisent un complexe entre le fer et les métabolites secondaires (benzoxazinoïdes) pour identifier le maïs comme hôte. Par ailleurs, les résultats de Durak *et al.* (2019) ont mis en évidence une interdépendance entre la génération des radicaux semi quinones, l'anion superoxyde  $\text{O}_2^-$ , les ions manganèse  $\text{Mn}^{+2}$  et le contenu phénolique dans les feuilles de *Thuja orientalis* en réponse à l'infestation par *Cinara tujafilina*, conduisant à une concentration plus élevée des radicaux semi quinones par rapport au témoin, une génération total du superoxyde, une réduction significative des ions  $\text{Mn}^{+2}$  détectée par la spectroscopie et un contenu phénolique des feuilles plus élevé par rapport au témoin.

Les composés phénoliques végétaux sont des métabolites secondaires qui englobent plusieurs classes structurales de divers produits naturels issus bios génétiquement des voies shikimate-phénolpropanoïdes-flavonoïdes. Les plantes ont besoin de ces composés pour leur pigmentation, la croissance, la reproduction, les résistances aux agents pathogènes et pour de nombreuses autres fonctions (composés de signalisation, régulateurs physiologiques internes ou messagers). L'écologie chimique a mis en évidence de leur implication dans les

mécanismes de défense des plantes contre les agents pathogènes fongiques et les insectes phytopathogènes (Lattanzio *et al.* 2006).

Les relations écologiques entre les plantes et les insectes sont complexes avec des interactions physiques et chimiques, ces relations sont affectées par des facteurs végétaux, des facteurs insectes et par certains facteurs insectes-plantes, y compris les réactions hypersensibilité et résistance des plantes aux maladies transmises par les insectes, les divers conditions environnementales peuvent aussi modifier l'expression de ces facteurs en agissant principalement sur l'insecte, la plante ou les relations insectes-plantes (Lattanzio *et al.* 2006).

Les traitements des arbres de pommier par les sucres (glucose et fructose) n'ont pas un effet direct sur la concentration des sucres solubles des feuilles du corymbe analysées par la méthode de Bertrand et la méthode Dubois, ce qui confirme l'étude de Derridj (2009) qui a montré que le signal sucre n'induit pas des changements biochimiques à la plante par ces traitements des sucres et sont sans incidence sur les teneurs en sucres des feuilles et par conséquent sur les fruits et sans interférence avec la photosynthèse. Par contre, d'après Derridj *et al.* (2011) les traitements des plantes par des sucres en micro doses induisent des résistances systémiques vis-à-vis de différents phyto-agresseurs par la modification des métabolites présents à la surface des feuilles dont certains sont des signaux pour l'insecte qui perturbe la reconnaissance de l'hôte et réduit la ponte.

Les traitements par les sucres « en micro doses » induisent des variations des quantités et des proportions de substances à la surface des feuilles qui peuvent engendrer la résistance de la plante à cet insecte et constitue un mécanisme naturel de défense. Cette hypothèse est supportée par plusieurs auteurs. Stammitti *et al.* (1995) in Derridj *et al.* (2011) indiquent que sur la surface des feuilles il y'a des métabolites primaires issus de la photosynthèse qui passent à travers la cuticule, leurs proportions et quantités ( $\text{ng/cm}^2$ ) sont liés aux molécules et à la perméabilité de la cuticule.

Fiala *et al.* (1993) ont montré que le phylloplan (surface de la feuille) est le siège d'interactions entre la plante et son environnement, il présente un intérêt écologique des substances hydrosolubles, tels que les glucides, les acides aminés libres et les acides organiques (sucres réducteurs) présents dans le phylloplan en quantités extrêmement faibles. Les proportions des acides aminés libres sont très stables et caractéristiques de l'espèce végétale. La teneur des glucides dans le phylloplan est en relation avec celle des tissus foliaires, les monosaccharides apparaissent à la jonction des cellules épidermiques au-dessus des zones apoplastiques. L'insecte adulte lépidoptère *O. nubilalis* est sensible et répond aux

concentrations de sucres telles qu'elles ont été détectées. Le choix de la plante-hôte par la femelle pour pondre est étroitement lié à ceux-ci et en particulier au fructose.

De nombreuses études menées sur la relation entre la cuticule et les pathogènes amis en évidence un niveau de complexité supplémentaire, suggérant que la cuticule n'est pas une simple barrière physique entre la plante et son agresseur. En effet, l'invasion d'un pathogène peut émettre des signaux induisant les mécanismes de défense de la plante (Schweizer *et al.*, 1996).

Dans certains cas, des molécules dérivées de la paroi peuvent informer la cellule d'un changement des conditions environnementales ou de la présence de pathogènes. En effet, la dégradation de la paroi peut produire des fragments biologiques actifs de 10 à 15 résidus de long, appelés oligosaccharines. Ces résidus peuvent être impliqués dans des réponses développementales ou de défenses par leur action sur les stimulations de la synthèse des phytoalexine, d'éthylène, des protéines « pathogen-related protein », comme les glucanases et chitinases, la production massive d'espèces réactives de l'oxygène, la dépolarisation des membranes ou des modifications sur le calcium cytoplasmique (John *et al.*, 1997).

Au cours de cette étude nous avons démontré l'effet de la pulvérisation des sucres (glucose et fructose) pour réduire les dégâts larvaires du carpocapse, ces sucres semblent avoir un effet non négligeable sur d'autres ravageurs et maladies sur le pommier. En effet Derridj *et al.*, (2011) ont montré l'effet des sucres sur la pyrale du maïs, les nématodes et le Botrytis. A noter que durant notre expérimentation, aucun pesticide n'a été employé vis-à-vis d'autres ravageurs pour éviter leurs effets probable sur le carpocapse et nous avons utilisé seulement le soufre pour contrôler l'oïdium et son effet secondaire sur les acariens. Donc, dans notre région d'étude on peut adapter le verger de la variété R. Gala au mode de production biologique, en conduisant la lutte contre les maladies et ravageurs par les traitements par les sucres et le soufre.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au cours de ce travail, nous avons étudié la stimulation des défenses naturelles du pommier par l'apport exogène des sucres (glucose et fructose) à la dose (100 ppm) pour la lutte contre *C. pomonella*, sur deux variétés de pommier ; Royal Gala et Golden Delicious, en comparaison avec un témoin non traité et un insecticide de référence Decis (deltaméthrine). L'étude a été abordée sous plusieurs axes : (1) l'activité de vol du carpocapse, (2) l'estimation des dégâts larvaires et l'effet des sucres sur les larves hivernantes, (3) l'étude du comportement de ponte et l'effet des traitements par les sucres sur la ponte dans les vergers, (4) la recherche des processus qui régissent cette résistance et les relations avec l'état nutritionnel du pommier.

Nous avons mis en évidence que :

- le carpocapse cause des dommages considérables sur le pommier au niveau de la région d'étude, il a présenté quatre générations avec des dégâts allant jusqu'à 76,99 % de fruits attaqués à la récolte.
- l'efficacité des traitements Abbott à la récolte est meilleure sur la variété R. Gala avec le fructose (à 100 ppm) et le glucose (100 ppm), durant les deux campagnes (2019 et 2021), et même surprenante avec le fructose en 2021 et semblable à celle du traitement chimique de référence.
- Pour les deux paramètres étudiés (pourcentages de fruits attaqués et tombés au sol et l'efficacité Abbott de fruits attaqués et tombés au sol) les résultats sont meilleurs avec le fructose et glucose durant la campagne 2021 (semblables à ceux de l'insecticide) et durant la campagne 2019, les résultats sont meilleurs seulement avec le fructose.
- Durant la campagne 2019, sur la variété R. Gala, les traitements au glucose ont diminué significativement le nombre d'attaques actives, mais les traitements au fructose sont meilleurs, en réduisant ce nombre à un niveau semblable à celui de l'insecticide, donc le glucose et le fructose affectent les chenilles de *C. pomonella*. Les nombres d'attaques cicatrisées sont diminués seulement par les traitements au glucose à un niveau semblable à celui de l'insecticide.
- les traitements au glucose et fructose ont permis une réduction significative dans le nombre moyen des larves diapausantes sur la variété R. Gala, durant les deux campagnes (2019 et 2021), semblable à ceux du traitement chimique de référence. Le



sexe dominant est variable d'une campagne à une autre, en général dominé par le nombre des larves femelles élevées par rapport aux larves mâles ou identique (mâles et femelles) suivi par le nombre des chrysalides qui est toujours le plus faible.

- les traitements par les sucres (glucose et fructose) ont permis de réduire significativement le nombre d'œufs pondus et semblable à ceux enregistrés par l'insecticide durant les vols de la première et la troisième génération sur la variété G. Delicious et durant le quatrième vol sur la variété R. Gala.
- Le site de ponte préféré quel que soit le vol de l'insecte et la variété (G. Delicious ou R. Gala), est la face supérieure des feuilles du corymbe (FSFC) avec un nombre d'œufs pondus pour les modalités témoins de l'ordre de 51,67 % par rapport aux faces inférieures des feuilles du corymbe (FIFC), faces supérieures des feuilles hors corymbe (FSFHC), faces inférieures des feuilles hors corymbe (FIFHC) et fruits (8,2 %), par contre la ponte est nulle sur les rameaux.
- Nos résultats ont révélé aussi que globalement pour la modalité témoin non traité, quel que soit le vol, les pourcentages des œufs pondus sont proches sur les quatre directions à l'exception de la variété RG au 2<sup>ème</sup> vol où les pourcentages des œufs étaient nuls sur les directions Est et Ouest. Tandis que la répartition des œufs par zone haute ou basse, le pourcentage moyen d'œufs pondus, est localisé sur les deux zones en égalité. Par contre, pour les quatre modalités testées, une préférence pour la zone haute pour le premier vol de la variété G. Delicious et le deuxième vol de la variété R. Gala a été enregistrée. Alors que les nombres moyens d'œufs pondus durant le troisième vol de la variété G. Delicious et le quatrième vol de la variété R. Gala sont égaux.

**Dans notre travail, nous avons montré que la pulvérisation des sucres en infra-dose a modifié l'état nutritionnel des feuilles (macronutriments primaires, macronutriments secondaires et micronutriments), probablement cette modification pourrait être liée à la résistance de la plante au carpocapse.**

- ✓ Pour les **macronutriments primaires**, la pulvérisation du glucose et fructose a permis d'augmenter la concentration d'azote et à diminuer la concentration du phosphore. Le fructose a également diminué la concentration du potassium.
- ✓ **Concernant les macronutriments secondaires**, la pulvérisation du glucose, fructose et l'insecticide, a permis d'augmenter significativement la concentration du calcium et du magnésium. Les traitements au glucose et fructose ont également

diminué la concentration du sulfate. **Quant aux micronutriments**, les traitements par le glucose et fructose ont augmenté la concentration de la majorité des éléments à savoir le chlorure, le bore et le fer, le traitement au glucose a aussi augmenté la concentration du manganèse et a diminué celle du cuivre et du sodium. Seule la concentration du zinc n'a pas été influencée par la pulvérisation des sucres (des concentrations semblables à celles du témoin).

- ✓ Les traitements par les sucres (glucose et fructose) n'ont pas un effet direct sur la concentration des sucres solubles des feuilles du corymbe analysés par la méthode de Bertrand et la méthode Dubois, ce qui confirme que les sucres ont un effet indirect sur l'état nutritionnel des feuilles, en induisant des variations des quantités et des proportions des substances qui semble engendrer la résistance de la plante au carpocapse et constitue un mécanisme naturel de défense.

En somme, l'apport exogène des sucres peut constituer des signaux qui déclenchent à l'intérieur de la plante des réactions en cascade de défense et/ou intervenir dans les voies de régulation physiologiques des plantes, influencer aussi l'état nutritionnel des feuilles en réduisant les dégâts du carpocapse à un seuil semblable à celui de l'insecticide. À cet effet, on peut suggérer que cette nouvelle méthode alternative de lutte pourra représenter un outil prometteur et permet avec le soufre d'adapter le verger de la variété Royal Gala au mode de production biologique. Les perspectives proposées au cours de cette étude sont :

- Pour la variété G. Delicious, nous proposons des tests comparant l'effet des mêmes sucres (fructose, glucose à la même dose) à un intervalle de traitement de 15 jours au lieu de 20 jours.
- L'identification des gènes responsables dans l'induction de la résistance du pommier au carpocapse par les traitements par les sucres.
- La quantification et la qualification des sucres solubles et sucres alcools (polyols) dans les lessivâts des faces supérieures des feuilles du corymbe et leur influence sur le comportement de ponte du carpocapse.
- La recherche dans ce lessivât d'autres métabolites primaires tels que les acides aminés, l'acide malique, des métabolites secondaires, comme les substances phénoliques..., et d'étudier le rôle des dits métabolites dans la stimulation des défenses du pommier.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Abbot W.S., 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18 : 265–267.
- Abdesslem 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 (Wilaya de Batna), mémoire de Magister, institut d’agronomie, Université de Batna, 79 p.
- Al Bitar L., Gorb S.N., Zebitz C.P.W. & Voigt D., 2012.** Egg adhesion of the codling moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) to various substrates. Leaf surfaces of different apple cultivars. *Arthropod Plant Interaction*, 6: 471–488.
- Alston D.G. & Reding M., 2011.** Codling moth (*Cydia pomonella*). Utah State University. Department of agriculture, 7 p.
- Ansebo L., Coracini M.D.A., Bengtsson M., Liblikas I., Ramirez M., Borg Karlson A.K., Tasin M. & Witzgal P., 2004.** Antennal and behavioural response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. Blackwell Verlag, Berlin, 488-493.
- 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. & Derridj S., 2015.** Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes. *Innovations Agronomiques*, 46, 1-10.
- Aydoğdu D. & 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 Agriculture and Food Sciences*, 33(1), 45-51.
- Bakthatvatsalam N., Subharan K. & Mani M., 2022.** Semiochemicals and Their Potential Use in Pest Management in Horticultural Crops. In *Trends in Horticultural Entomology*, 283-312.
- Bala K., Sood A. K., Pathania V. S. & Thakur S., 2018.** Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 2737-2742.

- Barret D.M., Somogyi L. & Ramaswamy H., 2005.** Processing Fruits second edition. Science and technology. CRC Press LLC. U.S.A. 841 p.
- Basoalto E., Miranda M., Knight A.L., & Fuentes-Contreras E., 2010.** Landscape analysis of adult codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) distribution and dispersal within typical agroecosystems dominated by apple production in central Chile. *Environmental Entomology*, 39(5), 1399-1408.
- Blomefield T.L., Pringle K.L. & Sadie A., 1997.** Field observations on oviposition of codling moth, *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Olethreutidae), in an unsprayed apple orchard in South Africa. *African Entomology*, 5(2): 319-336.
- Boivin T. & Sauphanor B., 2007.** Phénologie et optimisation de la protection contre le carpocapse des pommes. *Innovations Agronomiques*, 1 : 23-31.
- Boreau de roincé C., 2012.** Biodiversité et aménagements fonctionnels en verger de pommiers: Implication des prédateurs généralistes vertébrés et invertébrés dans le contrôle des ravageurs. Thèse de doctorat. Paris, Agro Paris Tech. 192 p.
- Bouvier J.C., Buès R., Boivin T., Boudinhon L., Beslay D. & Sauphanor B. 2001.** Deltamethrin resistance in the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae): inheritance and number of genes involved. *Heredity*, 87(4), 456-462.
- Brahim I., 2010.** Étude du comportement du ponte du carpocapse de (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae) sur deux variété de pommier. Mémoire de Magister. Agro. Université de Batna 1, 131 p.
- Brahim I. & 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 (Wilaya de Batna, Algérie). *Options Méditerranéennes*, (Ed.), CIHEAM, 2020. Série A, No. 124.
- Bretaudeau J. & Faure F., 1991.** Atlas d'arboriculture fruitière. Volume 2. POIRIER - POMMIER – NASHI. Ed. Lavoisier « Tec et Doc », Paris, 207 p.
- Charbonnier E. & Pringard N., 2022.** Index ACTA phytosanitaire, 58 édition, Ed. ACATA, 1040 p.

- Charmillot P.J. & Höhn H., 2004.** Carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. Agroscope RAC et FAW Wädenswil. Confédération suisse. Fichier : 101. Suisse, 3 p.
- Charmillot P.J., Pasquier D., Salamin C., Briand, F., Ter-Hovannesyanyan A., Azizian A. & Velcheva N., 2007.** Détection de la résistance du carpocapse *Cydia pomonella*: Tests d'insecticides sur des chenilles diapausantes de Suisse, d'Arménie et de Bulgarie. Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture, 39(6), 385-389.
- Chen M., Duan X., Li Y., Men Q. & Wan F., 2017.** Codling moth *Cydia pomonella* (L.). Biological Invasions and Its Management in China: Volume 1, 285-298.
- Chen W., He Z.L., Yang X.E., Mishra S. & Stoffella P.J., 2010.** Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. Journal of Plant Nutrition, 33(7), 943-952.
- Chidawanyika F., 2010.** Thermal tolerance of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) under ecologically relevant conditions. Master thesis, University of Stellenbosch. 111 p.
- Demestihis C., 2018.** Analyse des conflits et synergies entre services écosystémiques multiples en vergers de pommiers. Thèse Doctorat Sciences et Agrosociétés. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. 302 p.
- Derridj S., 2009.** L'induction de la résistance à des phyto-agresseurs par des infradose des sucres : une nouvelle technologie. Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB), journées fruits et légumes. Paris, pp : 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., Gregoire V., Boutin J. P. & Fiala V., 1989.** Plant growth stages in the interspecific oviposition preference of european corn borer and relation with chemicals present on leaf surface. Entomologia Experimentalis et Applicata, 53, 267-276.
- Derridj S., Arnault I., Nicholas A., Birch E., Elad Y., Lombarkia N., Couzi P., Pierre P. & Auge J., 2011.** Les sucres solubles, une opportunité pour l'agriculture durable. Phytoma- la Défense des Plantes, 640, 10-14.
- Derridj S., Cabanat I., Cochet E., Couzi P., Lombarkia N. & Wu B.R., 1999.** Incidence des métabolites présents à la surface des organes du pommier sur le comportement de

- Cydia pomonella* (Lepidoptera, Tortricidae) ; A.N.P.P. 5<sup>ème</sup> conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier, 7-8-9 décembre 1999.
- Derridj S., Lombarkia N., Garrec J.P., Galy H., & Ferré E., 2012.** Sugars on leaf surfaces used as signals by the insect and the plant: implications in orchard protection against *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae). Moths: types, ecological significance and control methods, Nova Science Publishers, 1-38.
- Derridj S. & Wu B.R., 1996.** Informations biochimiques présentes à la surface des feuilles. Implications dans la sélection de la plante-hôte par un insecte. In : Calatayud P.-A. & Vercambre B., Interactions insectes-plantes. Actes des 5<sup>èmes</sup> journées du groupe de travail relations insectes-plantes. 26-27 octobre 1995, Montpellier, France, pp : 43-51.
- Deluca Y., 1981.** Poudres minérales naturelles et insectes des grains stockés (critères, dissuadants, létaux, silice, sels de calcium et magnésium). Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, 28(1), 55-64.
- Dethier V.G., 1982.** Mechanisms of host plant recognition. Entomologia Experimentalis et Applicata, 31 : 49-56.
- Durak R., Bednarski W., Formela-Luboińska M., Woźniak A., Borowiak-Sobkowiak B., Durak T. & Morkunas I., 2019.** Defense responses of *Thuja orientalis* to infestation of anholocyclic species aphid *Cinara tujafilina*. Journal of plant physiology, 232, 160-170.
- Fiala V., Boutin J. P., Barry P. & Derridj S., 1993.** Les métabolites de surface foliaire (phylloplan): présence et rôle dans les relations plante-insecte. Acta Botanica Gallica, 140(2), 207-216.
- Finch S. & Collier R.H., 2000.** Host plant selection by insects—a theory based on ‘appropriate/inappropriate landings’ by pest insects of cruciferous plants. Entomologia experimentalis et applicata, 96(2), 91-102.
- Franck P., Reyes M., Olivares J. & Sauphanor B., 2007.** Genetic architecture in codling moth populations: comparison between microsatellite and insecticide resistance markers. Molecular Ecology, 16(17), 3554-3564.
- Geier P.W., 1963.** The life history of codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae), in the Australian Capital Territory. Australian Journal of Zoology, 11: 323-367.

- Gibson S.I., 2004.** Sugar and phytohormone response pathways: navigating a signalling network. *Journal of experimental botany*, 55(395), 253-264.
- Google Earth, 2022.** Cartes, téléchargement gratuits de Google earth version B. Disponible sur : <http://www.google.com>.
- Hatcher P.E., Paul N.D., Ayres P.G. & Whittaker J.B., 1997.** Nitrogen fertilization affects interactions between the components of an insect–fungus–plant tripartite system. *Functional Ecology*, 11(5), 537-544.
- Hill D.S., 2008.** Pests of crops in warmer climates and their control. Springer Science & Business Media. 704 p.
- Hmimina M., 2007.** Les ravageurs des arbres fruitiers, le carpocapse des pommes et de poires. *Bulletin mensuel d’informatique et de liaison. PNTTA*, N° 158: 1-4.
- Hmimina M. & El Iraqui S., 2015.** Cycle évolutif et voltinisme du Carpocapse (*Cydia pomonella* L., Lepidoptera, Tortricidae) exprimés par le piégeage sexuel et les degrés-jours dans la région d’Azrou. [Life cycle and voltinism of codling moth (*Cydia pomonella* L., Lepidoptera, Tortricidae) based on sexual trapping and degree days in Azrou region]. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3(2), 1.
- Hu L., Mateo P., Ye M., Zhang X., Berset J. D., Handrick V. & Erb M., 2018.** Plant iron acquisition strategy exploited by an insect herbivore. *Science*, 361(6403), 694-697.
- Jackson D.M., 1979.** Codling moth egg distribution on unmanaged apple trees. *Annals of the Entomological Society of America*, 72:361–368.
- John M., Röhrig H., Schmidt J., Walden R. & Schell J., 1997.** Cell signalling by oligosaccharides. *Trends in Plant Science*, 2(3), 111-115.
- Juszczak R., Kuchar L., Leśny J. & Olejnik J., 2013.** Climate change impact on development rates of the codling moth (*Cydia pomonella* L.) in the Wielkopolska region, Poland. *International Journal of Biometeorology*, 57(1), 31-44.
- Kalaisekar A. & Patil J.V., 2017.** Insect–Plant Relationships. *Insect Pests of Millets*; Ed. Elsevier, Academic Press: Cambridge, MA, USA. 190 p.
- Korbon S.S., 2021.** The Apple genome. Ed. Springer Nature Switzerland AG. 412 p.
- Kutinkova H., Samietz J., Dzhuvinov V., Charmillot P.J. & Veronelli V., 2009.** Mating

- disruption of codling moth, *Cydia pomonella* L., using Isomate C plus dispensers in apple orchards of Bulgaria. IOBC/wprs Bull, 41, 27-32.
- Kuyulu A. & Genç H., 2019.** Biology and laboratory rearing of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) on its natural host “green immature apple” *Malus domestica* (Borkh.) (Rosales: Rosaceae). Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 6(3), 546-556.
- Lattanzio V., Lattanzio V.M. & Cardinali A., 2006.** Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. Phytochemistry: Advances in research, 661(2), 23-67.
- Lazarevska S., Postolovski M., Dimov Z., Naceski S., Krsteska V., Shahini S. & Postolovski I., 2017.** Introduction of Mating Disruption Pheromones in apple orchards in Fyr of Macedonia. Integrated Protection of Fruit Crops IOBC-WPRS Bulletin Vol. 123, 2017 pp. 27-36.
- Lombarkia N., 2002.** Influence de métabolites présents à la surface des organes du pommier sur la ponte du carpocapse : *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae). Application à l'étude de la résistance du pommier au ravageur. Thèse doctorat. Université Rennes 1, France, 131 p.
- Lombarkia N. & Derridj S., 2002.** Incidence of apple fruit and leaf surface metabolites on *Cydia pomonella* oviposition. Entomologia Experimentalis et applicata, 104: 79-87.
- Lombarkia N. & Derridj S., 2008.** Resistance of apple trees to *Cydia pomonella* egg-laying due to leaf surface metabolites. Entomologia Experimentalis et Applicata, 128: 57-65.
- Lombarkia N., Derridj S., Ioriatti C., Bourguet E., 2013.** Effect of a granulovirus larvicide, Madex<sup>®</sup>, on egg-laying of *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) due to changes in chemical signalization on the apple leaf surface. African Entomology, 21(2): 196–208.
- MacLellan C.R., 1962.** Mortality of codling moth egg and young larvae in an integrated control orchard. The Canadian Entomologist, 92: 655-666.
- MADR 2019.** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information. Série B 2019.87 p.



- Maffei M.E., Mithöfer A. & Boland W., 2007.** Before gene expression: early events in plant–insect interaction. *Trends in plant science*, 12(7), 310-316.
- Maher N., 2002.** Sélection du site de ponte chez *Lobesia botrana* (Lepidoptera, Tortricidae) : Influence de l'information chimique non-volatile présente sur les feuilles de plantes hôtes. Thèse Doctorat Sciences biologiques et médicales. Université Bordeaux 2. 124 p.
- Marliac G., 2015.** Intensification de l'agriculture biologique : conséquences sur la régulation des phytophages en vergers de pommiers. Thèse Doctorat Sciences et Agrosociétés. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. 167 p.
- Massonnet C., 2004.** Variabilité architecturale et fonctionnelle du système aérien chez le pommier (*Malus domestica* Borkh.) : Comparaison de quatre cultivars par une approche de modélisation structure-fonction. Thèse Doctorat. Développement et Adaptation des Plantes. Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier. France, 184 P.
- Mazumder M.N.N., Misran A., Ding P., Wahab P.E.M. & Mohamad A., 2021.** Preharvest foliar spray of calcium chloride on growth, yield, quality, and shelf life extension of different lowland tomato varieties in Malaysia. *Horticulturae*, 7(11), 1-20.
- Meradi R., 2015.** Utilisation des sucres et de virus de la granulose dans la protection des pommiers contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae) dans la région de Lambiridi (Wilaya de Batna). Mémoire de Magister. Institut d'Agronomie, Université de Batna 1, 84 p.
- Menacer K., 2023.** Décrypter les mécanismes de reconnaissance et d'acceptation d'une plante hôte par un insecte phytophage spécialiste. Thèse de doctorat. Université de Rennes 1. 157 p.
- Mookiah S., Sivasubramaniam B., Thangaraj T. & Govindaraj S., 2021.** Host Plant Resistance. In *Molecular Approaches for Sustainable Insect Pest Management*, 1-56.
- Murray M. & Alston D. G., 2020.** Codling moth in Utah Orchards. Utah State University. Department of agriculture, 7 p.
- 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. Institut d'Agronomie. Université de Batna 1, 79 p.
- Pajač I., Pejić I., Barić B., 2011.** Codling Moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera:Tortricidae), Major Pest in Apple Production: an Overview of its Biology, Resistance, Genetic Structure and Control Strategies. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76 (2):87-92.
- Pajač Živković I., Benitez H.A., Barić B., Drmić Z., Kadoić Balaško M., Lemic D., Dominiguez Davila J.H., Mikac K.M. & Bažok R. 2019.** Codling moth wing morphology changes due to insecticide resistance. *Insects*, 10(10), 310. pp 1-13.
- Paraschiv M., Hornoiu S., Chis C. & Virteiu A. M., 2019.** The flight of codling moth (*Cydia pomonella* Linnaeus, 1758) population in apple orchards in Săliște (Alba: Romania). *Research Journal of Agricultural Science*, 51(4), 121-126.
- Petit J., 2014.** Identification et validation fonctionnelle de gènes candidats contrôlant la composition de la cuticule chez le fruit de tomate. Thèse de doctorat. Université Sciences et Technologies-Bordeaux I. 168 p.
- Pszczolkowski M.A., Zahand A., Bushman S.M. & Brown J.J., 2003.** Effects of calcium and glutamate receptor agonists on leaf consumption by lepidopteran neonates. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 74(2), 389-394.
- Pszczolkowski M.A., 2017.** Pharmacological analysis of the feeding response of codling moth (*Cydia pomonella*; Lepidoptera: Tortricidae) neonates to bitter compounds. *European Journal of Entomology*, 114, 500-506.
- Renwick J.A.A. & Chew F.S., 1994.** Oviposition behavior in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 39: 377-400.
- Resh V.H. & Cardé R.T., 2009.** Encyclopedia of insects. Ed. Elsevier, Academic press. 1128 p.
- Reyes M., Franck P., Charmillot P.J., Ioriatti C., Olivares J., Pasqualini E. & Sauphanor B., 2007.** Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in European populations of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Pest Management Science*, 63:890–902.
- Ricci B., 2009.** Dynamique spatiale et dégâts de carpocapse dans la basse vallée de la Durance. Thèse de doctorat. Université d'Avignon. 224 p.

- Riederer M. & Müller C., 2006.** Biology of the plant cuticle, Annual Plant Reviews, vol. 23. Ed. Blackwell Publishing Ltd. 438 p.
- Rodríguez M.A., Marques T., Bosch D., & Avilla J. 2011.** Assessment of insecticide resistance in eggs and neonate larvae of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). Pesticide Biochemistry and Physiology, 100(2), 151-159.
- Rodríguez M.A. & Bosch D., Avilla J., 2012.** Azinphos-methyl and carbaryl resistance in adults of the codling moth (*Cydia pomonella* (L.), Lepidoptera: Tortricidae) from North eastern Spain. Pesticide Biochemistry and Physiology, 103:43-48.
- Rolland F., Baena-gonzalez E. & Sheen J., 2006.** Sugar sensing and signaling in plants: Conserved and novel mechanisms. Annual Review of Plant Biology, 57:675-709.
- Rout G. R., & Sahoo S., 2015.** Role of iron in plant growth and metabolism. Reviews in Agricultural Science, 3, 1-24.
- Ruuhola T., Leppänen T., Julkunen-Tiitto R., Rantala M. J. & Lehto T., 2011.** Boron fertilization enhances the induced defense of silver birch. Journal of chemical ecology, 37(5), 460-471.
- Sauphanor B., Berling M., Toubon J. F., Reyes M., Delnatte J. & Allemoz P. 2006.** Carpacase des pommes cas de résistance au virus de la granulose en vergers biologiques: Fruits et légumes. Phytoma, la défense des végétaux, (590), 24-27.
- Schmidt S.B. & Husted S., 2019.** The biochemical properties of manganese in plants. Plants, 8(10), 1-15.
- Schoonhoven L.M., Jermy, T. & Van Loon J.A.A., 1998.** Insect-plant biology. From physiology to evolution. Ed. Chapman and Hall. 409p.
- Schweizer P., Felix G., Buchala A., Müller C. & Métraux J.P., 1996.** Perception of free cutin monomers by plant cells. The Plant Journal 10, 331-341.
- Shukla R., Sharma Y. K. & Shukla A.K., 2014.** Molecular mechanism of nutrient uptake in plants. International Journal of Current Research and Academic Review, 2(12), 142-154.
- Smaghe G., & Diaz I., 2012.** Arthropod-plant interactions: novel insights and approaches for IPM (Vol. 14). Springer Science & Business Media. 226p.

- Soltani N., Semir H. & Djebbar M.R., 1986.** Contribution à l'étude de *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera : Tortricidae), essai comparatif des pièges et cycle évolutif à Annaba. Annales de l'INA, 10(1): 196-206.
- Spann T.M. & Schumann A.W., 2010.** Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. One of a Series of the Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, IFAS Extension, (4), 1-5.
- Station régionale de la protection des végétaux (S.R.P.V.), 2020.** Bilan annuel des activités de la station. 76 p.
- Städler E., Hilker M. & Meiners T., 2002.** Plant chemical cues important for egg deposition by herbivorous insects. Chemoecology of insect eggs and egg deposition, pp 171-204.
- 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 de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy, 172 p.
- Subaharan K., Bakthavatsalam N., Venugopal V. & Raghavendra A., 2021.** Chemoecological Responses of Plants. In Molecular Approaches for Sustainable Insect Pest Management, 333-342.
- Tarkowski L.P., Poel B.V., Höfe M. & Ende W.V., 2019.** Sweet Immunity: Inulin Boosts Resistance of Lettuce (*Lactuca sativa*) against Grey Mold (*Botrytis cinerea*) in an Ethylene Dependent Manner. International Journal of Molecular. Sciences, 20: 1-22.
- Vrieling K. & Derridj S., 2003.** Pyrrolizidine alkaloids in and on the leaf surface of *Senecio jacobaea* (L.). Phytochemistry, 64: 1223-1228.
- Walters D.R., Ratsep J. & Havis N.D., 2013.** Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future. Journal of Experimental Botany, 64(5), 1263-1280.
- Wearing C.H., 2016.** Distribution Characteristics of Eggs and Neonate Larvae of Codling Moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). International Journal of Insect Science, 2016:8, 33-53.

- Wearing C.H., Hansen J.D., Whyte C., Miller C.E. & Brown J., 2001.** The potential for spread of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) via commercial sweet cherry fruit : a critical review and risk assessment. *Crop Protection*, 20: 465-488.
- Wearing C.H. & Hutchins R.F.N., 1973.**  $\alpha$ -Farnesene, a naturally occurring oviposition stimulant for the codling moth, *Laspeyresia pomonella*. *Journal of Insect Physiology*, 19(6), 1251-1256.
- Whalon M.E., Mota-Sanchez D. & Hollingworth R.M., 2008.** Global pesticide resistance in arthropods. CAB International, 169 p.
- Yakovuk V.A., Balakhnina I.V., Doroshenko T.N. & Yakovuk V.M., 2020.** Seasonal Flight Dynamics of the Codling Moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) in Krasnodar Territory Based on the Pheromone Monitoring Data. *Entomological Review*, 100(4), 443-448.
- Yan F., Bengtsson M., Makranczy G., & Löfqvist J., 2003.** Roles of  $\alpha$ - Farnesene in the Behaviors of Codling Moth Females. *Journal for Research in Natural Sciences*, 58:113-118.

## Résumé

Les producteurs de pomme sont confrontés à des problèmes liés aux attaques des bio-agresseurs et particulièrement le carpocapse (*Cydia pomonella*) où il cause régulièrement des dommages considérables, il devient indispensable de concevoir des méthodes de lutte alternatives aux programmes chimiques conventionnels. Ce travail, mené dans la région de Beni Foudhala, porte sur trois parties essentielles. L'essai de la première partie visant à comparer l'effet des pulvérisations du glucose et fructose (en infra-dose ; 100 ppm) en comparaison avec un témoin et un insecticide de référence Decis (deltaméthrine) sur deux variétés Golden Delicious et Royal Gala vis-à-vis des attaques de *C. pomonella*. Les résultats de cette partie montrent que le carpocapse présente quatre générations, avec des dégâts allant jusqu'à 76,99 % de fruits attaqués à la récolte. Les résultats obtenus sur la variété R. Gala, sont surprenants et semblables à ceux du traitement chimique de référence pour plusieurs paramètres ; à savoir le pourcentage de fruits attaqués et l'efficacité des traitements à la récolte, le pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol (avec le fructose durant la campagne 2021) et l'efficacité des traitements pour les fruits attaqués et tombés au sol (avec les deux sucres durant la campagne 2021). En outre, en 2019 le nombre d'attaques actives est diminué avec le fructose et le nombre d'attaques cicatrisées est diminué avec le glucose. Par ailleurs, le nombre moyen des larves diapausantes a été réduit par les traitements aux sucres durant les deux campagnes 2019 et 2021. Les résultats de la deuxième partie montrent que les traitements par le glucose et fructose ont permis de réduire significativement le nombre d'œufs pondus et semblable à ceux enregistrés par l'insecticide durant les vols de la première et la troisième génération sur la variété G. Delicious et durant le quatrième vol sur la variété R. Gala. Le site de ponte préféré est la face supérieure des feuilles du corymbe (FSFC) dans tous les vols pour les deux variétés. Dans la troisième partie, la pulvérisation des sucres n'a pas un effet direct sur la concentration des sucres solubles, des feuilles du corymbe analysées par la méthode de Bertrand et la méthode Dubois, par contre les sucres ont un effet indirect sur l'état nutritionnel des feuilles (modifiant les micronutriments, les macronutriments primaires et secondaires), en induisant des variations des quantités et des proportions de substances, qui semble engendrer la résistance de la plante au carpocapse et constitue un mécanisme naturel de défense.

**Mots clés :** *Cydia pomonella*, Glucose, Fructose, Deltaméthrine, Golden Delicious, Royal Gala, micronutriments, les macronutriments primaires et secondaires, résistance.

## Abstract

Apple growers faced problems related to attacks by bio-aggressors and particularly the codling moth (*Cydia pomonella*), which regularly causes considerable damages. To deal with this situation, it becomes essential to design alternative eco-friendly control systems to substitute conventional chemical programs. This work covers three essential parts carried out in the region of Beni Foudhala. In the first part, the effects of spraying of fructose (100 ppm), glucose (100 ppm) and insecticide (Deltamethrin) compared with a control, on two varieties (Golden Delicious and Royal Gala) against *C. pomonella* larval damages, were studied. The results showed that codling moth own four generations in the study area. It is a very important pest with about 76.99 % of damaged fruits at harvest. Surprisingly, the results obtained on the Royal Gala variety are similar to those of the reference chemical treatment, for several parameters; especially the percentage of damaged fruits and Abbott's efficiency at harvest, the percentage of fallen and damaged fruits (with fructose during 2019 season) and Abbott efficiency of fallen and damaged fruits (with both sugars during the 2021 season). Furthermore, in 2019 the number of active damages was reduced with fructose, and the number of healed damage was reduced with glucose. The number of diapausing larvae was reduced in both sugar treatments during the two seasons 2019 and 2021. The results of the second part revealed that the glucose and fructose treatments reduce significantly the number of eggs laid similarly to those of the reference chemical treatment during the first and third generation flights on Golden Delicious and during the fourth flight on Royal Gala. The preferred oviposition site for moths during all flights on the two studied varieties was upper surface of the corymb leaves (USCL). The results of the third part indicated that the spraying of glucose and fructose does not have a direct effect on the concentration of soluble sugars of corymb leaves analyzed by Bertrand and Dubois methods. Nevertheless, sugars have an indirect effect on the nutritional state of the leaves (modifying the micronutrients, the primary and secondary macronutrients), by inducing variations in the quantities and proportions of substances which seem to generate the resistance of the plant to codling moth and constitute a natural defense mechanism.

**Keywords:** *Cydia pomonella*, glucose, fructose, Deltamethrin, Golden Delicious, Royal Gala, micronutrients, primary and secondary macronutrients, Resistance.

## الملخص:

يواجه منتجو التفاح مشاكل متعلقة بالآفات والطفليات وخاصة دودة التفاح والتي تسبب خسائر فادحة وعليه من الضروري تطوير طرق مكافحة بديلة لبرامج العلاج الكيميائي التقليدي. تركز نتائج هذا البحث على ثلاث محاور رئيسية والذي أجري بمنطقة بني فضالة، ولاية باتنة، تمثل نتائج المحور الأول مقارنة لتأثير العلاج بالرش الورقي بسكر الجلوكوز (100 جزء من المليون) وسكر الفركتوز (100 جزء من المليون) ومبيد كيميائي (دلتامترين) وشاهد (دون معالجة) على صنفين من التفاح (Golden delicious) و (Royal gala) لمراقبة الخسائر الناجمة عن دودة التفاح، أكدت النتائج أن دودة التفاح تسبب خسائر فادحة تصل إلى 76.99% وتكمل دورة حياتها في أربعة أجيال في منطقة الدراسة. توصلنا إلى نتائج مبهره على صنف (Royal gala) وهي مماثلة للمبيد الكيميائي بالنسبة للمعايير التالية: النسبة المئوية للتفاح المتضرر والمتساقط على الأرض وكذلك فعالية علاجه (Abbott) باستعمال سكر الفركتوز بالنسبة للموسم 2021، النسبة المئوية للتفاح المتضرر والمتساقط على الأرض وكذلك فعالية علاجه (Abbott) باستعمال سكر غلوكوز والفركتوز للموسم 2021 وأيضا بالنسبة للموسم 2019، تناقص العدد المتوسط للثمار المتضررة نوع فعالة باستعمال فركتوز، تناقص أيضا العدد المتوسط للثمار المتضررة نوع ملتئمة باستعمال الغلوكوز. تناقص العدد المتوسط للبرقات التي دخلت في طور الشرنقة باستعمال علاج غلوكوز والفركتوز للموسمين 2019 و 2021. أثبتت نتائج المحور الثاني قدرة العلاج بالغلوكوز والفركتوز على تقليص عدد بيوض الدودة إلى مستوى مماثل للمبيد الكيميائي بالنسبة للجيلين الأول والثالث على صنف Golden delicious والجبل الرابع على صنف Royal gala والموقع المفضل للدودة لوضع البيوض هو السطح العلوي لأوراق الباقية وهذا بالنسبة للصنفين وفي جميع الأجيال. أما نتائج المحور الثالث أثبتت أن العلاج بسكر الغلوكوز والفركتوز ليس لها تأثير مباشر على تركيز السكر الذائب في أوراق الباقية للتفاح والتي خضعت للتحاليل بطريقة Bertrand وطريقة Dubois وبالعكس لها تأثير غير مباشر على الحالة الغذائية للعناصر المعدنية الصغرى والعناصر المعدنية الكبرى الأولية والثانوية، ومنه تغيير نسبة المواد التي من الممكن أن تؤدي إلى مقاومة شجرة التفاح لهذه الدودة وهي آلية دفاع طبيعية.

## الكلمات المفتاحية:

دودة التفاح *Cydia pomonella*، سكر غلوكوز و فركتوز، دلتامترين، Golden delicious - Royal gala، العناصر المعدنية الصغرى، العناصر المعدنية الكبرى الأولية و الثانوية، المقاومة.