

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE BATNA 1-
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES
SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option :

Entomologie Agricole et Forestière

PRESENTEE PAR:

M^{elle} BRAHIM Imene

THEME

**Evaluation d'infra-doses des métabolites primaires
comme stimulateurs des défenses naturelles de la
plante, sur pommier contre le Carpocapse (*Cydia
pomonella* L.) (Lepidoptera ; Tortricidae).**

DEVANT LA COMMISSION DU JURY :

Président : M^r Laamari Malik

Professeur Université Batna 1.

Rapporteur : M^{me} Lombarkia Nadia

Professeur Université Batna 1.

Examineur : M^r Mebarkia Abdelkrim

Professeur Université de Sétif.

Examineur : M^{me} Razi Sabah

M.C.A Université de Biskra.

Examineur : M^{me} Tahar Chaouche Souad

M.C.A CRSTRA Biskra.

Examineur : M^r Bensaci Oussama Ali

M.C.A Université Batna 1.

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2021/2022

Table des matières

Dédicace.....	IV
Remerciements.....	V
Liste des abréviations.....	VI
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures.	VIII
Liste des annexes.....	XI
Introduction.....	1
Partie I: Revue bibliographique.	
I.1. Pommier (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	7
I.1.1. Importance.....	7
I.1.1.1. Dans le monde.....	7
I.1.1.2. En Algérie.....	7
I.1.1.3. Dans la wilaya de Batna.....	8
I.1.2. Historique et taxonomie.....	9
I.1.3. Cycle annuel du pommier.....	10
I.1.4. Ravageurs et maladies du pommier répandus en Algérie et dans la région de Batna.....	10
I.2. Carpocapse des pommes et des poires (<i>Cydia pomonella</i> L.).....	13
I.2.1. Historique, distribution et occurrence.....	13
I.2.2. Classification.....	13
I.2.3. Plantes hôtes.....	14
I.2.4. Description et biologie du ravageur.....	15
I.2.5. Symptômes et dégâts.....	16
I.2.6. Méthodes de lutte contre le carpocapse.....	18
I.3. Relation plante-insecte.....	18
I.3.1. Stimuli végétaux impliqués lors de la ponte.....	19
I.4. Les stimulateurs de défenses naturelles des plantes (SDN).....	24
I.4.1. Historique, Terminologie et Définitions.....	24
I.4.2. Utilisation des éliciteurs.....	25
I.4.3. Mode d'action des SDN.....	26
I.4.4. Evènements déclenchés par la reconnaissance d'un éliciteur.....	27
I.4.5. Défenses des plantes.....	27
I.4.6. Applications des SDN sur pommier.....	28

I.4.7. Avantages et inconvénients des SDN.....	29
I.5. Le sucre comme Stimulateur des Défenses Naturelles de la plante (SDN).....	30
I.5.1. Les sucres solubles, des molécules importantes pour les plantes.....	30
I.5.2. Le concept de Sweet Immunity.....	32
I.5.3. Stratégie de lutte.....	33
I.5.4. Sucres et protection des cultures.....	34

Partie II : Etude expérimentale.

II.1. Aperçu générale sur la wilaya de Batna.....	36
II.2. Caractérisations climatiques.....	36
II.2.1. Températures.....	37
II.2.2. Pluviométrie.....	39
II.2.3. Synthèse climatique.....	40
II.3. Aperçu sur les sites d'étude.....	41
II.3.1. Premier site.....	41
II.3.2. Deuxième site.....	43
II.3.3. Troisième site.....	44
II.4. Matériel et méthodes.....	49
II.4.1. Matériel expérimental.....	49
II.4.1.1. Matériel végétal.....	49
II.4.1.2. Matériel de pulvérisation.....	49
II.4.1.3. Bandes pièges.....	49
II.4.2. Méthodologie de travail.....	50
II.4.2.1. Objectif.....	50
II.4.2.2. Critères de choix des sites.....	51
II.4.2.3. Traitements par les sucres.....	51
II.4.2.4. Présentation des paramètres testés.....	52
II.4.2.4.1. Types et doses des sucres.....	52
II.4.2.4.2. Variété.....	54
II.4.2.4.3. Heures d'application.....	54
II.4.2.5. Variables observées.....	54
II.4.2.6. Méthodologie par site.....	55
II.4.2.7. Paramètres étudiés.....	61
II.4.3. Analyse statistique.....	61
II.5. Résultats et discussion.....	63

II.5.1. Effet de la pulvérisation des infra-doses de sucres de comence sur le taux d'infestation par le carpocapse au cours des trois années d'expérimentation.....	63
II.5.1.1. Taux d'infestation.....	63
II.5.1.1.1. Taux d'infestation pour les fruits attaqués et tombés à terre.....	63
II.5.1.1.2. Taux d'infestation pour les fruits récoltés.....	64
II.5.1.3. Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur les fruits récoltés.....	64
II.5.1.4. Efficacité des traitements Abbott.....	67
II.5.1.4.1. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre....	67
II.5.1.4.2. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits récoltés.....	68
II.5.1.5. Nombre des larves diapausantes.....	68
II.5.1.6. Corrélation entre les modalités testées et les années d'études.....	69
II.5.1.7. Discussion.....	70
II.5.2. Evaluation de l'intérêt de l'utilisation des infra-doses de sucres de laboratoire seuls, en mélange ou en alternance dans la lutte contre <i>C. pomonella</i>	75
II.5.2.1. Taux d'infestation.....	75
II.5.2.1.1. Taux d'infestation pour les fruits attaqués et tombés à terre.....	75
II.5.2.1.2. Taux d'infestation pour les fruits récoltés.....	76
II.5.2.2. Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur les fruits récoltés.....	77
II.5.2.3. Efficacité des traitements Abbott.....	83
II.5.2.3.1. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre....	83
II.5.2.3.2. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits récoltés.....	84
II.5.2.4. Nombre des larves diapausantes.....	86
II.5.2.5. Discussion.....	86
II.5.3. Effet du rythme circadien sur l'utilisation des sucres dans la lutte contre <i>C. pomonella</i>	93
II.5.3.1. Taux d'infestation.....	93
II.5.3.1.1. Taux d'infestation pour les fruits attaqués et tombés à terre.....	93
II.5.3.1.2. Taux d'infestation pour les fruits récoltés.....	93
II.5.3.2. Efficacité des traitements Abbott.....	95
II.5.3.2.1. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre....	95
II.5.3.2.2. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits récoltés.....	95
II.5.3.3. Nombre des larves diapausantes.....	96
II.5.3.4. Discussion.....	97
Conclusion et perspectives.....	101
Références Bibliographiques.....	105
Annexes.....	133

Dédicace

Je dédie ce travail

À

La mémoire de mon grand père Mohammed

À

Ma mère et mon père.

A

Ma sœur et mon frère.

À

Mes chères amies Bouhidel N. et Zaaboubi S.

À

Tous ceux qui mon aidé de près ou de loin pour la finalisation de ce travail

Je dédie ce travail à Moi.

BRAHIM IMENE

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH, tous puissant de m'avoir donné la patience, la santé et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

*Je tiens à remercier particulièrement et avec gratitude: Mon promoteur **M^{me} LOMBARKIA Nadia**, Professeur à l'université Batna 1, pour avoir accepté de m'encadrer, pour son aide et ses conseils qui m'ont été d'un précieux soutien tout au long de ce travail.*

*Je remercie vivement **M^r LAAMARI Malik**, Professeur à l'université Batna 1, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury et pour avoir accepté de prendre le temps de lire et d'évaluer ce travail.*

*Je remercie **M^r MEBARKIA Abdelkrim**, Professeur à l'université de Setif, d'accepter d'examiner mon travail et de faire partie du jury de cette thèse.*

*Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à : **M^{me} RAZI Sabah**, Maître de Conférences à l'université de Biskra, **M^{me} TAHAR CHAUCHE Souad**, Maître de Conférences au Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Aride de Biskra et **M^r BENSACI Oussama Ali**, Maître de Conférences à l'université de Batna 1, qui ont accepté de juger ce travail et de l'intérêt qu'ils ont dédié à l'évaluation de ce travail.*

*J'adresse mes remerciements les plus sincères à **M^{me} CHAUCHE KHOUAN H.**, qui a eu l'amabilité de me consacrer un peu de son temps précieux pour m'avoir aidée à réaliser la partie statistique de ce travail et pour ses conseils qui m'ont été d'une grande aide pour sa réalisation.*

*Je voudrais encore remercier **M^{me} BOUHIDEL Nadjeh**, pour son écoute et sa gentillesse, ses conseils et son aide précieuse lors de la rédaction.*

*Je tiens à remercier plus particulièrement messieurs les propriétaires des vergers d'étude: **M^r HADOUCHI**, **M^r MERARDA** et **M^r MEBARKI**, de m'avoir accueillie et mis à ma disposition les moyens et les outils de travail pour la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma grande gratitude et mes plus vifs remerciements sans oublier **M^r Alaoua** qui a été à mes côtés au long des traitements programmés au niveau du verger de Tilatou. Je n'oublie pas à remercier ma sœur **INESS**, pour sa participation à la réalisation des traitements. Je lui suis reconnaissante pour avoir su m'encourager et me soutenir.*

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma famille qui m'a longuement soutenue ainsi qu'à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

BRAHIM IMENE

Liste des abréviations

AFPP : Association Française de Protection des Plantes.

BBCH : **B**iologische Bundesanstalt, **B**undessortenamt und **C**hemische Industrie (expression allemande veut dire : Institution biologique fédérale, Office fédéral de l'environnement et de l'industrie chimique).

FrucC : Fructose de Commerce.

FrucL : Fructose de Laboratoire.

P.N.D.A. : Plan National du Développement de l'Agriculture.

SacC : Saccharose de Commerce.

SacL : Saccharose de Laboratoire.

SRPV : Station régionale de protection des végétaux.

SDN : Stimulateurs des défenses naturelles des plantes.

Liste des tableaux

Tableau 1: Evolution de la production des pommes en Algérie durant la période 2009-2019.....	8
Tableau 2 : Evolution des superficies de pommier dans la wilaya de Batna durant la période 2008 à 2018.....	9
Tableau 3: Les stades repères du pommier d'après l'échelle internationale BBCH et BAGGIOLINI	11
Tableau 4: Avantages et inconvénients des SDN.....	29
Tableau 5: Utilisation des sucres contre les maladies et ravageurs des cultures.....	35
Tableau 6: Températures mensuelles moyennes (°C) enregistrées au cours de la période 1980-2019 dans la région de Batna.....	39
Tableau 7: Moyennes mensuelles des pluies en (mm) enregistrées dans la région de Batna au cours de la période 1980-2019.....	39
Tableau 8: Dispositif expérimental (Variété Anna, Parcelle 2).....	55
Tableau 9: Modalités testées et doses appliquées (Variété Anna, Parcelle 2).....	55
Tableau 10: Dispositif expérimental (Variété Anna, Parcelle 1).....	56
Tableau 11: Dispositif expérimental pour les années 2017 et 2019 (Variété Golden Delicious, Parcelle 3)	58
Tableau 12: Dispositif expérimental pour l'année 2018 (Variété Golden Delicious, Parcelle 3).....	58
Tableau 13: Modalités testées et doses appliquées (Variété Anna, Parcelle 1).....	59
Tableau 14: Modalités testées et doses appliquées (Variété Golden Delicious, Parcelle 3).....	59
Tableau 15: Dispositif expérimental (Variété Anna, Parcelle 4).....	60
Tableau 16: Dispositif expérimental (Variété Starkrimson, Parcelle 5).....	60
Tableau 17: Modalités testées et doses appliquées (Variété Anna, Parcelle 4).....	60
Tableau 18: Modalités testées et doses appliquées (Variété Starkrimson, Parcelle 5).....	61

Liste des figures

Figure 1 : Carte de présence du carpocapse et de ses plantes hôtes dans le monde.....	14
Figure 2 : Cycle biologique du carpocapse	17
Figure 3 : Recherche d'un site de ponte par un insecte (lépidoptère).....	19
Figure 4: Sensilles gustatives sur l'ovipositeur et le tarse d'une patte de femelle de carpocapse	20
Figure 5: Structure de la cuticule des plantes	21
Figure 6: Évènements de mise en place des réponses de défense de la plante.....	28
Figure 7: Les différentes défenses possibles mises en place par une plante suite à l'attaque par un bioagresseur	28
Figure 8: Localisation de la wilaya de Batna	37
Figure 9: Situation et limites des sites d'étude dans la wilaya de Batna.....	38
Figure 10: Diagramme Ombrothermique de la région de Batna pour la période 1980/2019.....	40
Figure 11: Situation de la région de Batna dans le Climagramme d'Emberger.....	42
Figure 12: Plan du verger d'étude (Verger Gosbat).....	43
Figure 13: Vue générale de la parcelle d'étude (Verger Gosbat) au mois d'Avril.....	43
Figure 14: Plan du verger d'étude (Verger Oued Chaaba).....	45
Figure 15: Vue générale de la parcelle d'étude (Verger Lambiridi) au moi de Mai.....	45
Figure 16: Plan du verger d'étude : (a) de la variété Anna et (b) de la variété Golden Delicious (Verger Tilatou).....	47
Figure 17: Vue des parcelles d'étude au mois de Mai, Variété Anna (Vergers Tilatou).....	48
Figure 18: Vue de la parcelle d'étude au mois de Mai, Variété Golden Delicious (Verger Tilatou).....	48
Figure 19: Matériel de traitement	49
Figure 20 : Bande piège recouverte par un grillage sur le tronc de l'arbre.....	51
Figure 21: Larves diapausantes : (a) et (b) dans une bande piège déchirée, (c) dans des	

tubes en plastique	51
Figure 22 : Marquage des arbres des vergers d'études par des rubans colorés au mois de Mai.....	53
Figure 23: Différents type de dégâts causés par le carpocapse : (a) : dégât cicatrisé, (b) dégât actif, (c) : dégât stoppé	57
Figure 24: Pourcentage moyen des fruits attaqués et tombés à terre sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	63
Figure 25: Pourcentage moyen des fruits attaqués à la récolte sur arbre sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	64
Figure 26: Pourcentage moyen des dégâts larvaires cicatrisés, pour les fruits récoltés sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	65
Figure 27: Pourcentage moyen des dégâts larvaires stoppés pour les fruits récoltés sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	66
Figure 28: Pourcentage moyen des dégâts larvaires actifs, pour les fruits récoltés sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	67
Figure 29: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	68
Figure 30: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués récoltés sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	69
Figure 31: Nombre moyen de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).....	70
Figure 32: Répartition des modalités et des années étudiées dans le plan ACP de taux d'infestation des fruits attaqués durant les trois années d'étude.....	71
Figure 33: Répartition des modalités et des années étudiées sur le plan ACP de l'efficacité des modalités testées pour les fruits attaqués durant les trois années d'étude.....	71
Figure 34: Pourcentage moyen des fruits attaqués et tombés à terre. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	76
Figure 35: Pourcentage moyen des fruits attaqués à la récolte sur arbre. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	78
Figure 36: Pourcentage moyen des dégâts larvaires cicatrisés pour les fruits récoltés. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	79
Figure 37: Pourcentage moyen des dégâts larvaires stoppés pour les fruits récoltés. (A)	

Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	81
Figure 38: Pourcentage moyen des dégâts larvaires actifs pour les fruits récoltés : (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	82
Figure 39: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués à terre. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	84
Figure 40: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués à la récolte par arbre : (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	85
Figure 41: Nombre moyen de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges : (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).....	87
Figure 42: Pourcentage moyen des fruits attaqués et tombés à terre.....	94
Figure 43: Pourcentage moyen des fruits attaqués à la récolte par arbre.....	94
Figure 44: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre.....	95
Figure 45: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués et récoltés par arbre.....	96
Figure 46: Nombre moyen de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges.....	97

Liste des annexes

Annexe 1: Caractérisation de différentes variétés étudiées.....	133
Annexe 2: Caractéristiques des sucres de commerce (Saccharose et fructose).....	134
Annexe 3: Calendrier des traitements réalisés (Variété Anna, Parcelle 2).....	136
Annexe 4: Calendrier des traitements réalisés (Variété Anna, Parcelle 1).....	136
Annexe 5: Calendrier des traitements réalisés (Variété Golden Delicious, Parcelle 3).....	137
Annexe 6: Calendrier des traitements de l'essai de Gosbat (Variété Anna, Parcelle 4).....	137
Annexe 7: Calendrier des traitements réalisés (Variété Starkrimson, Parcelle 5).....	137
Annexe 8: Valeurs d'inertie des axes de l'ACP de taux d'infestation des fruits attaqués.....	138
Annexe 9: Valeurs d'inertie des axes de l'ACP de l'efficacité des modalités testées.....	138
Annexe 10: les températures moyennes mensuelles en °C pendant les années 2017, 2018 et 2019.....	139
Annexe 11: Précipitations moyennes mensuelles (mm) durant les années 2017, 2018 et 2019.....	139
Annexe 12: Nombre de jours où la température a été supérieure à 35°C, durant les années 2017, 2018 et 2019.....	139

Introduction

Le pommier cultivé, *Malus domestica* Borkh. est considéré parmi les espèces fruitières les plus cultivées dans le monde (FAO, 2021). Il existe environ 6000 variétés de pommier cultivées, dont six constituent 90 % de la production nationale en Algérie (MADR, 2019). La pomme est un produit important sur le marché mondial : c'est le deuxième fruit le plus consommé après les agrumes, suivi par le bananier et la vigne avec une production de 87,82 millions de tonnes en 2019 (FAO, 2021). En effet, en Algérie, le pommier occupe une superficie de 32 989 ha en 2019, avec une production de 5 588 300 Qx (FAO, 2021).

Par ailleurs, dans la région de Batna, les superficies consacrées pour cette espèce sont passées de 3 288,27 ha en 2009 à 4 537,01 ha en 2019. Cette extension s'est accompagnée d'une remarquable augmentation de la production : de 167 094 à 1 012 240 Qx, durant la même période (DSA, 2020).

Malgré l'extention des superficies, la production reste faible, et ceci peut être attribué à plusieurs facteurs, entre autres, les techniques appliquées, l'âge des vergers, la fertilisation, l'entretien du sol, les traitements phytosanitaires etc..... Cependant, le pommier comme tous les arbres fruitiers forme un milieu favorable à l'installation des maladies (fongiques; bactériennes et virales) ainsi qu'aux ravageurs animaux notamment les insectes (Guermah, 2019). Parmi ces ravageurs, le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae), est le principal ennemi de la production de pommes dans le monde (Boivin *et al.* 2001 ; 2003; McGuffin *et al.*, 2014 ; Reyes *et al.*, 2015). Il est responsable d'une perte de 100% de rendement s'il n'est pas contrôlé (Beers *et al.*, 2003 ; Sauphanor *et al.*, 2009). La larve de cet insecte pénètre dans le fruit en le perforant, ces fruits piqués peuvent chuter et ne sont pas commercialisables (Benoît *et al.*, 2009). En général, les dommages aux pommes supérieurs à 1% constituent un niveau inacceptable de dommages en verger commercial (Belkair, 2018).

Les arboriculteurs sont ainsi obligés à traiter chaque année pour protéger leurs vergers contre ces attaques. Comme dans beaucoup de pays, la lutte chimique demeure massivement utilisée dans nos vergers avec une moyenne de 7 à 8 traitements par campagne spécialement vis-à-vis de ce ravageur (Oualid, 2018), contre 12 à 15 traitements au Maroc (Hmimina et El Iraqui , 2015), 18 à 20 traitements réalisés au cours de la saison de production dans les vergers de pommiers et de poiriers de la basse vallée de la Durance (France) (Boutin 2001 ; Picard 2007), 6 à 8 traitements en Croatie (Tomaš *et al.*, 2018). Le résultat de l'application abusive des insecticides pour contrôler ce ravageur, se traduit par l'absence de la diversité de l'entomofaune utile (Ismail et Albittar, 2016) et leurs impacts sur la santé et l'environnement

ne sont pas neutres. Les pesticides de synthèse ont des liens supposés avec des maladies neurologiques (**Baldi et al., 2013 ; Choynard et al., 2016**). Ainsi, en 1990 l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), estimait qu'il y a chaque année dans le monde un million d'intoxications sévères dues aux pesticides avec 220000 décès (**Who, 2006 ; 2008**). Environ 99 % de ces décès surviennent dans des pays en voie de développement, bien que ces pays n'utilisent que 25% des pesticides produits dans le monde (**Goldman et Tran, 2002; Zuskin et al., 2008**). En plus, **Sauphanor et al. (2000)**, notent que le carpocapse est devenu résistant à différentes familles de produits phytosanitaires. Signalons aussi que ces produits créent le risque de contamination des fruits avec des résidus toxiques à des concentrations préjudiciables à la santé du consommateur dans les produits récoltés (**Sauphanor et al., 2000; Boivin et al., 2001**). Alors que, l'on continue de préconiser qu'il faut manger des fruits et des légumes, plus de 48 % de ces produits issus de l'agriculture sont contaminés par des pesticides, avec 4 % d'entre eux se situant au dessus des limites maximales en résidus (**Benhamou et Rey, 2012**).

La société mondiale a opéré une sérieuse prise de conscience des effets néfastes des pesticides sur tous les plans (environnement et santé humaine), par la recherche des méthodes alternatives. Cependant, ces méthodes sont limitées pour le carpocapse (**Royer, 2013**). Ce qui met en évidence un besoin urgent pour le développement des pratiques de contrôle moins intrusives, alternatives à l'utilisation de la lutte chimique et durable contre ce ravageur et surtout moins coûteuses.

Le choix d'un hôte potentiel, par un insecte, repose sur des critères visuels, mécaniques et chimiques et comporte deux grandes étapes : (a) la phase de recherche de la plante-hôte à distance menant l'insecte à la repérer et de s'en rapprocher et (b) la phase d'évaluation, par contact avec la surface de la plante par le biais de stimuli visuels et/ou tactiles et/ou chimiques (**Städler, 1984 ; Derridj et Wu, 1995**). Grâce à un équipement sensoriel spécifiquement adapté : olfaction et vision à distance et par gustation et mécanoréception, l'insecte détecte des signaux chimiques et physiques produits par la plante (**Schoonhoven et al., 1998**). Signalons que l'acceptation ou le rejet d'une plante seraient basés sur les composés de surface plutôt que sur sa composition interne et sa valeur nutritionnelle pour la descendance (**Städler, 1986**). Des approches visant à activer le phénomène de résistance systémique induite chez les plantes comme alternative potentielle pour améliorer leur capacité à se défendre contre les bio-agresseurs (**Lateur, 2002**). Plusieurs

études ont également montré que des métabolites primaires ; sucres, acides aminés et lipides, pouvaient influencer l'oviposition des insectes (**Derridj *et al.*, 1996**).

Une nouvelle approche, consiste à donner aux plantes les moyens de se défendre elles mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense, plutôt que de combattre directement l'agresseur. Dans cette catégorie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (**SDN**), une solution intéressante sur les plans scientifiques et agronomiques, et qui pourrait bien être une solution d'avenir (**Bolouri Moghaddam et Van den Ende, 2013**). Les substances de base sont des stimulateurs pouvant être utilisées à des fins phytopharmaceutiques en agriculture; le sel, le sucre, le vinaigre, la bière, l'écorce de saule, les lécithines, l'hydroxyde de calcium (ou chaux éteinte), le bicarbonate de sodium... (**I.T.A.B., 2018 ; Anonyme 2019a**). Les substances de base permettent donc de se prémunir contre certaines maladies ou certains nuisibles à moindre coût. Les sucres, jouent en tant qu'éliciteurs ayant un effet insecticide (**I.T.A.B., 2018**) via la stimulation de l'immunité de la plante et les mécanismes de défenses des plantes (**Bolouri Moghaddam et Van den Ende, 2013**) sont une voie nouvellement explorée et prometteuse. L'utilisation de ces composés d'origine végétale solubles (comme les sucres) dans l'eau qui peuvent pénétrer dans la feuille et constituer de véritables signaux entraînant une cascade de réactions de défense de la plante. De plus, ces molécules contenues dans la plante peuvent traverser la cuticule et à la surface de la plante constituent des signaux perçus par l'insecte par contact, influençant alors son comportement et la sélection de la plante-hôte pour pondre (**Derridj *et al.*, 2011a**).

L'utilisation des stimulateurs SDN est une solution pouvant se substituer partiellement à la lutte chimique tout en permettant d'assurer une rentabilité optimale de la culture. Le mode d'action de ces produits diffère de celui des pesticides conventionnels car ils n'agissent pas directement sur le bio-agresseur, mais ils induisent son inhibition via la stimulation des réactions de défense de la plante (**Maumene *et al.*, 2010**).

La plante met en œuvre les sucres solubles pour intégrer les éléments internes et externes et maintenir a niveau constant certaines caractéristiques nutritionnelles, pour gérer les processus hormonaux de croissance et développement et pour améliorer les réponses aux stress biotiques et/ou abiotiques (**Koch, 2004 ; Rosa *et al.*, 2009**). Des milliers de gènes ont leur expression incitée par les sucres chez les plantes (**Kunz *et al.*, 2014**).

En effet des travaux ont été réalisés sur les signaux émis par la plante ayant un rôle dans le comportement des insectes. Les études menées par le groupe de recherche de l'INRA

de Versailles, ont porté particulièrement sur deux lépidoptères ravageurs : la pyrale de maïs (*Ostrinia nubilalis*) et la carpocapse des pommes et des poires. Ainsi, il a été démontré que ces deux ravageurs perçoivent par contact les métabolites primaires (sucres solubles comme le glucose, le fructose et le saccharose et même les sucres-alcools comme quebrachitol, sorbitol et *myo*-inositol), d'origine photosynthétique, présents à la surfaces des organes de plante en quantité de l'ordre du nano gramme par cm², comme des signaux de reconnaissance de la plante, de l'acceptation du site de ponte et la stimulation de ponte (**Fiala et al., 1985 ; Derridj et al., 1989, Ferré, 2008 ; Lombarkia et Derridj, 2002; 2008**) et peuvent donc induire une résistance à la ponte des deux papillons. **Lombarkia et al. (2005)**, montrent que la comparaison de deux cultivars de pommier (Golden Delicious et Red chief), vis-à-vis du comportement de ponte de *C. pomonella*, a permis de déterminer que la différence de ponte observée est liée à de faibles quantités de métabolites primaires de surfaces.

Chez le carpocapse, la modification de la composition en métabolites primaires de surfaces semble également perturber la distribution des œufs au niveau des différents organes et parties de pommier. Ainsi, la situation normale, 90 % des œufs sont déposés à moins de 20 cm d'un fruit. La modification de la composition en métabolites de surface de l'arbre diminue ce nombre rendant le choix du site de ponte plus aléatoire (**Ferré, 2008**). Sur la base de ces connaissances, des tentatives d'induction de résistance à la ponte sont menées par modification de la composition en métabolites de surfaces. La pulvérisation exogène d'infra-doses de sucres solubles à la surface d'une plante induit des modifications physiologiques et biochimiques à la surface de la plante, ainsi qu'une résistance à des bio-agresseurs (**Arnault et al., 2011**). Il semblerait que ces sucres traversent la cuticule des feuilles et agissent sur des gènes qui régulent la distribution des métabolites dans la plantes, ainsi que la photosynthèse. La plante se comporte alors comme si elle émettait des signaux à destination des ravageurs, qui modifient leur comportement, par exemple en réduisant les pontes des œufs, ou en limitant la mobilité des larves (**Derridj, 2009**).

Le concept d'**immunité sucrée** ou de «**défense renforcée par le sucre**» repose sur l'accumulation de preuves que les sucres endogènes pourraient agir comme des molécules de signalisation activées par l'exposition au stress et déclencher ainsi une amplification plus rapide et plus robuste de la défense, l'immunité et la tolérance au stress. Les sucres tels que le glucose, le fructose et le saccharose ont acquis des fonctions régulatrices importantes dans l'évolution et sont de plus en plus reconnus comme molécules de signalisation dans les plantes incitant l'expression des gènes liés au métabolisme végétal, à la résistance au stress et au

développement. Cela offre des possibilités d'amorçage doux, défini comme un processus physiologique qui prépare les plantes à une réponse de défense plus rapide et / ou plus forte aux conditions de stress futures, mais n'impose pas les coûts associés à la mise en œuvre complète d'une réponse de défense induite (**Arnault *et al.*, 2015 ; Ceusters *et al.*, 2017**). On parle d'un nouveau concept de Sweet Immunity ou défense liée aux sucres (**Arnault *et al.*, 2015**). La pulvérisation foliaire d'infra-doses de sucres induit une réaction de la plante se traduisant par une résistance de celle-ci face aux bioagresseurs. C'est le concept de Sweet Immunity qui se manifeste à la fois avant l'attaque, au moment de la reconnaissance de l'hôte par l'agresseur à la surface des feuilles et lors de l'attaque par l'activation de voies de défenses dans la plante (hors insectes) (**ARAD, 2017**).

De nombreux travaux ont montré que l'application des sucres permet une diminution significative de la population de carpocapse de la pomme, ainsi que les dommages à la récolte : en France, plusieurs variétés de pomme telles que la Golden Delicious, Mondial Gala, Royal Gala, Starkrimson....ect., ont fait l'objet de plusieurs études (**Ferré, 2008 ; Ferré *et al.*, 2008 ; Derridj, 2009 ; Derridj *et al.*, 2011b ; Arnault *et al.*, 2012**). À l'échelle nationale, des essais similaires ont été effectués dans la W. de Batna par: **Benhassir (2009)** et **Guerfi (2014)**, au niveau d'Ain Djasser sur la variété Anna; **Djebabra (2011)**, sur la variété Golden Delicious, dans la région d'El-Hassi; **Nasri (2015)**, au niveau de la région d'Ain-touta (variété Royal Gala); **Meradi (2015)**, dans la région de Lambiridi (variété Starkrimson). Dans la W. de Khenchela par **Haggoune (2010)**, dans la région de Yabous (Golden Delicious). Dans la W. d'Oum El-Bouaghi par **Louaar (2011)** au niveau de la région d'El-Maddffoune (variété Golden Delicious).

Les résultats de ces travaux, ont contribué à l'homologation du saccharose et du fructose (août 2014, 2015 respectivement) en substance de base (règlement d'exécution Union Européen (UE) n° 916/2014 de la commission du 24 août 2014 et règlement d'exécution UE n° 1392/2015 de la commission du 13 août 2015) (**Arnault, 2015 ; Arnault *et al.*, 2015**).

Dans cette étude nous souhaiterions tester cette méthode de bio-contrôle par des applications foliaires d'infra doses de sucres de commerce et de laboratoire : (i) au cours trois années étude, (ii) pulvérisés seuls, en mélange ou en alternance, (iii) à différentes heures de la journée (effet du rythme circadien). L'objectif est de réduire les dégâts larvaires de *C. pomonella* sur les fruits de pommier, ainsi que le nombre de traitements chimiques et ceci par

le renforcement et l'accélération du processus de Sweet Immunity, pour enfin avoir une production saine en quantité et en qualité.

Ainsi, nous avons structuré notre travail en deux parties, après une introduction générale : la partie bibliographique renferme une synthèse bibliographique où nous apportons un abrégé sur la plante hôte: « le pommier (*M. domestica* Borkh.) », des généralités sur le carpocapse, les relations plantes-insectes, les stimulateurs des défenses naturelles des plantes et le sucre comme Stimulateur des Défenses Naturelles de la plante (SDN),

La deuxième partie, expérimentale rapportant, en premier lieu, une description de la région d'étude ; avec ses caractéristiques géographiques et climatiques. Puis, en second lieu, aborde le matériel et les méthodes utilisés. Les résultats de notre travail sont présentés et discutés dans le dernier chapitre de cette partie. Une conclusion générale assortie de perspectives pour les travaux futurs, clôturera les différents travaux réalisés.

Partie I : Revue bibliographique

I.1. Pommier (*Malus domestica* Borkh.)

I.1.1. Importance

I.1.1.1. Dans le monde

Le pommier est une espèce fruitière cultivée dans le monde entier, la pomme étant l'une des quatre plus grandes cultures fruitières avec la banane, le raisin et les agrumes (FAO, 2021). En 2019, la production mondiale est de plus de 87,82 millions de tonnes, dont 42,42 millions de tonnes en Chine, premier producteur mondial, qui a multiplié par deux sa production en 10 ans (FAO, 2021). Dans le monde, les variétés cultivées dominantes sont les variétés unicolores jaune, rouge et verte de type Golden Delicious, Delicious Rouges, Granny Smith, mais les variétés bicolores de type Gala, Fuji, Braeburn, Jonagold et Cripps Pink sont de plus en plus appréciées (O'Rourke, 2003 ; Holtz, 2012).

I.1.1.2. En Algérie

En Afrique, la production de pommes est estimée à 3 111 618 tonnes en 2019 avec pour principaux pays producteurs : le Maroc (49 731 ha et 809 762 tonnes), l'Algérie (32 989 ha et 558 830 tonnes), l'Égypte (28 631 ha et 701 435 tonnes), l'Afrique du sud (22 373 ha et 891 979 tonnes) et la Tunisie (21 535 ha et 11600 tonnes) (FAO, 2021). Notons qu'il existe environ 6000 variétés de pommier cultivées, dont six constituent 90% de la production nationale (MADR, 2018). La Golden Delicious (80%), Starkrimson, Red Spur et Richard sont les variétés les plus répandues en Algérie (INRAA, 2006).

Le tableau ci-dessous montre une irrégularité dans l'évolution des superficies, et des productions d'une année à l'autre durant la période (2009-2019) ; ce qui peut être attribué à plusieurs facteurs, principalement aux stratégies et programmes appliqués par l'état dans le but du développement et du renouvellement du secteur arboricole et particulièrement des vergers pomicoles : la mise en production de jeunes vergers, l'arrachage des vergers âgés, le mode de conduite des vergers (fertilisation, entretien du sol, irrigation, traitements phytosanitaires, utilisation ordinaire des portes greffes et variétés,.....ect). Cependant, cette irrégularité, et malgré qu'elle soit accompagnée d'une augmentation des rendements, ces derniers restent loin des chiffres enregistrés au niveau mondial d'une part et de satisfaire nos besoins d'autre part.

Tableau 1: Evolution de la production des pommes en Algérie durant la période 2009-2019

Années	Superficies (ha)		Production (Qx)	Rendement (Qx /ha)
	Plantées	En rapport		
2009	52 389	36 616	2 674 691	73
2010	52 419	39 852	3 786 367	95
2011	51 080	40 978	4 041 050	98
2012	48 828	40 858	3 975 290	97
2013	48 064	41 030	4 559 372	111
2014	47 500	40 418	4 628 154	114
2015	47 360	41011	4 514 716	110
2016	46 830	46 070	5 008 550	108
2017	/	44620	4 942 390	110
2018	/	39034	4 878 080	124
2019	/	32989	5 588 300	169

(MADR, 2017 ; 2020; FAO, 2021)

II.1.1.3. Dans la wilaya de Batna

En 2017, la wilaya de Batna est considérée comme la deuxième wilaya productive de pomme à l'échelle nationale avec 17 % de la production Algérienne, après la wilaya de Khenchela (22%) suivie par les wilayas de Blida 10% et Média (6%) (MADR, 2019). Durant la campagne 2017/2018, la culture du pommier représente environ 36,30 % de la superficie totale arboricole de la wilaya avec 44 620 ha et une production de 4 942 390 Qx, après l'abricotier (42,22%). Les variétés dominantes dans la wilaya de Batna sont la Golden Delicious (63%), la Starkrimson (16 %), Royal Gala (14 %) et Anna (5 %), dont les 2% qui restent sont occupés par le Red chef et autres variétés (DSA, 2020).

Selon le tableau 2, on constate, qu'il ya une augmentation de la superficie et de la production du pommier durant la période 2009-2019, due aux nouvelles plantations dans la région dans le but de remplacer les vieilles plantations et suite, aux programmes lancés par l'état depuis l'année 2000 visant le développement de l'agriculture (P.N.D.A. et F.N.D.I.A.) (DSA, 2020). Mais, malgré l'extension des superficies consacrées pour la pomiculture, la production reste faible et ne satisfait pas les besoins. Selon la DSA (2020), la principale cause des faibles rendements est due à la non connaissance de la pratique des techniques culturales, ce qui est approuvé par les travaux réalisés par Khellaf (2017) et Boulali (2019) concernant l'influence de ces techniques sur la production, dans les régions de Ain touta et Hidoussa respectivement, en plus de l'arrachage des arbres de pommier ravagés par le feu bactérien dû à *Erwinia amylovora* dans la région. Sans oublier les attaques des ravageurs surtout le carpocapse et les pucerons en addition aux dégâts causés par les maladies cryptogamiques (SRPV d'Ain-touta, 2017; DSA, 2020).

Tableau 2: Evolution des superficies de pommier dans la wilaya de Batna durant la période 2008 à 2018

Campagne	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2012/ 2013	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016	2016/ 2017	2017/ 2018
Superficie plantée (ha)	3288,27	3302,01	3475,5	3539,2	3539,2	3875,2	4154,05	4409	4473,36	4537,01
Superficie En rapport (ha)	2298	2675	2803	3009	3060	3106	3633,5	3690	3763,1	3879
Production (Qx)	167094	320460	661400	633230	727770	823256	668779,76	900000	825716	1012240

(DSA, 2020)

I.1.2. Historique et taxonomie

Le pommier cultivé est un complexe hybride interspécifique, que l'on dénomme *Malus x domestica* Borkh. (Korban et Skirvin, 1984) ou *Malus pumila* Mill. (Mabberley et al., 2001). *Malus x domestica* Borkh. a été décrite par Borkhausen en 1803 comme un hybride dérivé de *Malus sylvestris* Mill., *Malus dasycphyllus* Borkh., et *Malus praecox* Borkh. (Korban et Skirvin, 1984 ; Juniper et Mabberley, 2006 ; Velasco et al., 2010). Bien que la dénomination *Malus pumila* Mill. ait été préconisée récemment, *Malus x domestica* Borkh. reste la dénomination de référence dans la base de données taxonomiques du NCBI (National Center for Biotechnology Information) et c'est la plus utilisée actuellement (Qian et al., 2010 ; Webster 2005).

Selon Vavilov (1930), le pommier cultivé serait originaire du Caucase et d'Asie Mineure. Récemment, des études génétiques par marquage moléculaire (Harris et al., 2002) ont montré que *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem. était une espèce clé dans l'origine du pommier cultivé (Luby, 2003). La comparaison de 23 gènes appartenant au genre *Malus* a permis de mettre en évidence que *Malus sieversii* et *Malus x domestica* étaient bien de la même espèce (Velasco et al., 2010). Ces résultats ont été confirmés par Micheletti et al. (2011).

Le genre *Malus* appartient à la famille des Rosaceae, à la sous famille des Maloideae et à la tribu des Pyreae (incluant *Pyrus sp.*) (Zhang et al., 1993; Juniper et al., 1999). Selon Delanghe et al. (1983) et Lafon et al. (1996), sa classification est la suivante :

Embranchement : Spermaphytes.

Sous-embranchement : Angiospermes.

Classe : Magnolopsida (Dicotylédones).

Sous-classe: Rosidae (Dialypétales).

Ordre : Rosales.

Famille : Rosaceae.

Sous-famille Maloïdeae.

Tribu : Pyreae.

Genre : *Malus*.

Espèce : *Malus pumila* (Lamarck).

Malus communis (Mill).

Malus domestica (Borkh).

Les espèces du genre *Malus* se retrouvent à l'état naturel en Asie et en Europe ainsi qu'en Amérique du Nord. Proviendraient des régions d'Asie mineure et centrale, du Caucase, de l'Himalaya indien, du Pakistan ainsi que des provinces de l'ouest de la Chine (**Zhang et al., 1993; Juniper et al., 1999**). On dénombrerait aujourd'hui plus de 7500 cultivars de pommier (**Way et al., 1990, Dobrzanski et al., 2006; Watkins et al., 2002**). **Ragan (1905)** en dénombrait déjà plusieurs milliers dans sa nomenclature. Par ailleurs, une douzaine de cultivars est largement représentée dans la production mondiale (**Janick et al., 1996**).

I.1.3. Cycle Annuel du pommier

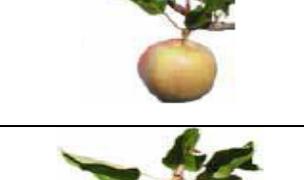
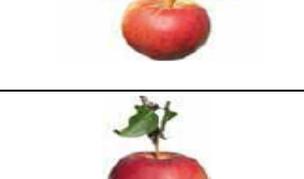
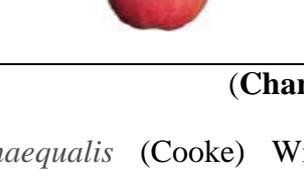
Le pommier est une plante pérenne à feuilles caduques dont le cycle annuel de croissance se caractérise par une période active de croissance qui s'étale du débourrement jusqu'à la chute des feuilles et le repos hivernal (**Tableau 3**). La durée de la période de croissance varie en fonction des conditions environnementales et des cultivars (**Hauagge et Cummins, 1991a ; 1991b ; Labushagne et al., 2002**).

I.1.4. Ravageurs et maladies du pommier répandus en Algérie et dans la région de Batna

Les principaux ravageurs du pommier signalés en Algérie et dans la Wilaya de Batna sont : l'acarien rouge *Panonychus ulmi* (Koch.) et l'acarien jaune *Tetranychus urticae* (Koch.) (Acarien, Tetranychidae), *Dysaphis plantaginea* (Börner) (puceron cendré), *Aphis pomi* (DeGeer) (puceron vert), *Eriosoma lanigerum* (Hausm.) (Puceron lanigère) (Hemiptera, Aphididae), Pou de San José (*Quadraspidiotus perniciosus* Comstock.) (Hemiptera, Diaspididae), *Ceratitis capitata* (Wiedemann.) (mouche méditerranéenne des fruits) et le carpocapse *C. pomonella* (Lepidoptera, Tortricidae) qui est considéré comme un ravageur clé et permanent des régions pomicoles, particulièrement au niveau de la wilaya de Batna. Il cause des dégâts énormes à la culture de pommier (**DSA, 2017 ; SRPV d'Ain-touta, 2017**).

Tableau 3: Les stades repères du pommier d'après l'échelle internationale BBCH et BAGGIOLINI

Symbole de stade	Nom de stade	Photo de stade	Caractéristiques
<u>Stade A</u> <u>(00)</u>	Bourgeon d'hiver (dormance)		Les bourgeons sont fermés et recouverts de leurs écailles protectrices.
<u>Stade B</u> <u>(51)</u>	Gonflement des bourgeons		Premier gonflement visible du bourgeon floral ; les écailles ont des taches claires et s'allongent.
<u>Stade C</u> <u>(53)</u>	Éclatement des bourgeons		Les extrémités des feuilles entourant les fleurs sont visibles.
<u>Stade C3</u> <u>(54)</u>	Oreille de souris		Les extrémités des feuilles dépassent les écailles de 10 mm, les premières feuilles se séparent.
<u>Stade D</u> <u>(56)</u>	Bouton vert		Les fleurs encore fermées commencent à se séparer.
<u>Stade E</u> <u>(57)</u>	Bouton rose		Les sépales s'ouvrent légèrement, les pétales s'allongent et deviennent visibles
<u>Stade E2</u> <u>(59)</u>	Ballonnets		La plupart des fleurs forment avec leurs pétales un ballon creux.
<u>Stade F1</u> <u>(61)</u>	Début floraison		Environ 10 % des fleurs sont ouvertes.
<u>Stade F2</u> <u>(65)</u>	Pleine floraison		Plus de 50 % des fleurs sont ouvertes, les premiers pétales tombent.

<u>Stade G</u> <u>(67)</u>	Floraison déclinante		La plupart des pétales sont tombés.
<u>Stades H</u> <u>(69)</u>	Fin floraison		Tous les pétales sont tombés.
<u>Stade I</u> <u>(71)</u>	Nouaison		Diamètre des fruits jusqu'à 10 mm, chute Physiologique des jeunes fruits
<u>Stade J</u> <u>(72)</u>	Taille noisette		Diamètre des fruits jusqu'à 20 mm.
<u>Stade J</u> <u>(74)</u>	Stade t		Fruits dressés, la base du fruit et sa tige forment un T, diamètre des fruits jusqu'à 40 mm.
<u>Stade J</u> <u>(77)</u>	Croissance des fruits		Les fruits ont atteint 70 % de leur taille finale.
<u>Stade J</u> <u>(81)</u>	Début maturation		Les fruits ont atteint leur taille finale, la couleur spécifique de la variété apparaît
<u>Stade J</u> <u>(85)</u>	Maturité avancée		Intensification de la coloration spécifique de la variété
<u>Stade J</u> <u>(87-89)</u>	Récolte, pleine maturité gustative		Goût et consistance des fruits typiques de la variété.

(Charton, 1992; Bloesch et Viret, 2013)

La tavelure (*Venturia inaequalis* (Cooke) Winter) et l'oïdium (*Podosphaera leucotricha* (Ellis & Everh.) E.L. Salmon) sont les maladies les plus importantes qui atteignent le pommier et l'apparition de quelques foyers du Feu bactérien (*Erwinia amylovora*

Burrill.) (organisme de quarantaine) introduit de la Syrie, depuis 2002, et réapparu en 2013 dans la région de Merouana dont la superficie atteinte est de l'ordre d'un hectare (DSA, 2017).

I.2. Le carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella* L.)

I.2.1. Historique, distribution et occurrence

Le carpocapse est le ravageur le plus important des pommes dans le monde entier (Clausen, 1978), et même pour d'autres espèces fruitières (Pszczolkowski *et al.*, 2002). Considéré comme le ravageur clé des cultures de pommiers et de poiriers, et c'est autour de lui que s'organise la lutte contre les autres ravageurs, dans plusieurs pays comme les Etats-Unis occidental, Colombie Britannique, Canada (Calkins and Faust 2003), l'Afrique du sud (Pringle *et al.*, 2003), l'Asie central, l'Europe et les pays méditerranéens (Wearing *et al.*, 2001). En plus, les pays comme le Pakistan, la Chine, l'Australie, la Russie, New Zélande (Chidawanyika, 2010), la Syrie (El-Iraqi et Hmimina, 2016), sont aussi envahi par ce ravageur. Ce dernier est présent pratiquement dans tous les continents (Falcon et Huber, 1991 ; Kührt *et al.*, 2006 ; CMISS, 2008) (Figure 1).

C. pomonella, a suivi la dispersion des pommiers à travers le monde en adaptant son cycle de vie aux conditions climatiques et trophiques (Audemard, 1991). Il est originaire d'Asie centrale, zone d'origine du pommier domestique (Geibel *et al.*, 2000; Harris *et al.*, 2002; Mills, 2005). Probablement le carpocapse s'est propagé à travers le monde au XIXe siècle par le transport des fruits infestés en raison de l'absence des mesures phytosanitaires et de *quarantaine* pour les plants et même par la distribution de ces derniers provenant des zones infestées pour être plantés dans d'autres régions (Wearing *et al.*, 2001).

I.2.2. Classification

C. pomonella, un insecte également connu sous le nom de *Carpocapsa* a eu le premier enregistrement en 1635. Cependant, seulement au 18ème siècle, il a été classé dans le genre *Carpocapsa* et plus tard dans le genre *Cydia* (Kovaleski *et al.*, 2001). Selon Leraut (1997), *C. pomonella* présente plusieurs synonymes comme : *Carpocapsa pomona* (Fabricius, 1775), *Carpocapsa pomonana* (Denis et Schiffermüller, 1775), *Carpocapsa pomonella* (Linnaeus, 1758) et *Tortrix pomonana* (Denis et Schiffermüller, 1775). Sa classification est la suivante selon Denis et Schiffermüller (1775) ; Wearing *et al.*, (2001) et INPN, (2017) :

Règne : Animal

Classe : Hexapoda (Blainville, 1816)

Sous-Classe : Insecta (Linnaeus, 1758)

Ordre : Lepidoptera (Linnaeus, 1758)

Super-Famille : Tortricoidea (Latreille, 1802)

Famille : Tortricidae (Latreille, 1802)

Genre : *Cydia* (Hübner, 1825)

Espèce : *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758)

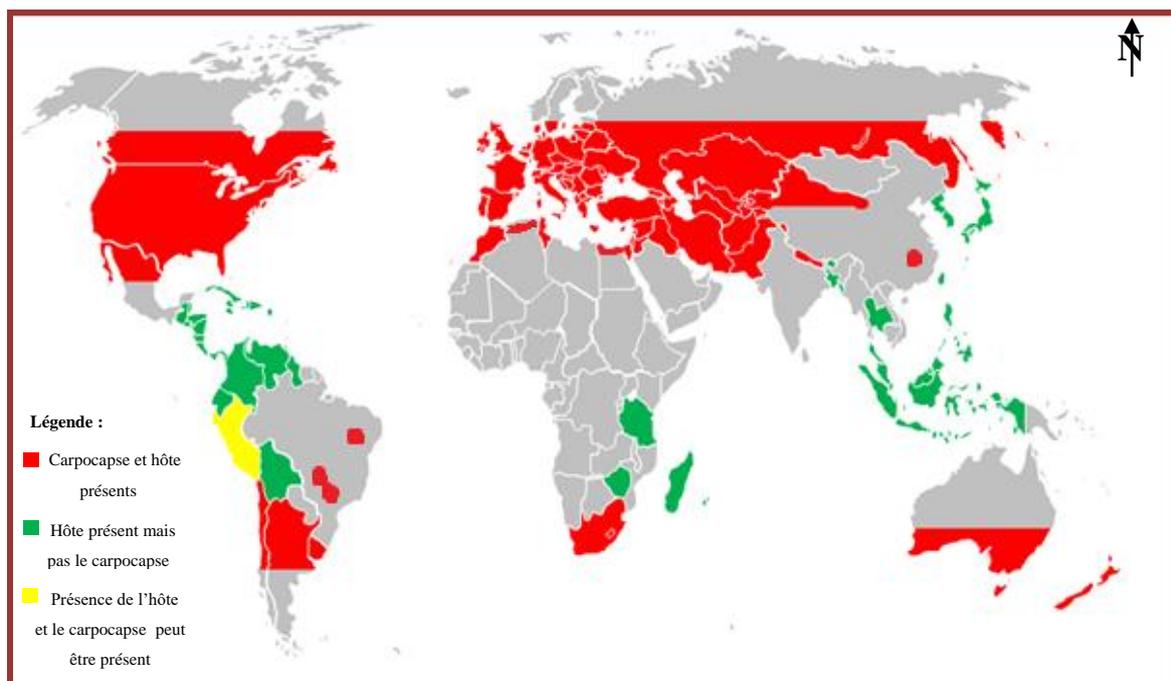


Figure 1: Carte de présence du carpocapse et de ses plantes hôtes dans le monde (Willett *et al.*, 2009 ; Chidawanyika, 2010 ; Zhao *et al.*, 2015).

I.2.3. Plantes-hôtes

Les larves de ce lépidoptère de la famille des Tortricidae sont polyphages, dont les espèces hôtes principales sont le pommier (*Malus domestica* Borkh), le poirier (*Pyrus communis* L.) (Howell *et al.*, 1992), le cognassier (*Cydonia oblonga* Miller) (Barnes, 1991 ; Pajač *et al.*, 2011) et le noyer (*Juglans regia* L.) (Trematerra, 2003 ; Pajač *et al.*, 2011), et secondairement l'abricotier (*Prunus armeniaca* L.) (Audemard 1991). Elles peuvent également se nourrir des cerises (*Prunus cerasus* L.) (Moffitt *et al.*, 1992), des nectarines (*Prunus persica* var. *nucipersica* (Suckow)) (Curtis *et al.*, 1991), des prunes (*Prunus domestica* L.) (Yokoyama et Miller, 1999) et des noisettes (Vail *et al.*, 1993), quelques variétés d'amande (*Prunus amygdalus* Batsch), et des pêches (*Prunus persica* (L.) Batsch) (Yokoyama et Miller 1999; Barnes 1991, Thaler *et al.*, 2008), et des châtaignes (Pajač *et*

al., 2011) et à une moindre mesure, l'aubépine (*Crataegus* spp.) (Reyes *et al.*, 2009; OMAFRA, 2010; Rodriguez *et al.*, 2010). Le carpocapse distingue non seulement entre les espèces hôtes (Barnes, 1991), mais aussi entre les variétés de la même espèce fruitière (Blomefield *et al.*, 1997).

I.2.4. Description et biologie du ravageur

Les papillons mâles et femelles mesurent, de 15 à 22 mm d'envergure. Ils ont une coloration spécifique qui le distingue des autres Tortricidae. Leurs ailes antérieures sont gris-cendrés et présentent à leur extrémité distale un speculum à fond brun (Figure 2) (Bovey, 1966, McGuffin, 2011), se déplacent, s'alimentent, s'accouplent et pondent essentiellement à la tombée du jour (Nollet, 2012 ; Marliac, 2014). Ils se nourrissent essentiellement d'aliments liquides et n'entraînent aucun impact direct sur les cultures hôtes (Belkair, 2018). Les adultes ont un grand potentiel de migration et peuvent voler une distance de 15 kilomètres (Pszczolkowski et Brown, 2005). Ils trouvent au printemps des conditions extrêmement favorables permettant la fécondation et la ponte. L'activité de copulation maximale se produit 48 heures après l'émergence des adultes, puis diminue graduellement et se termine après 10 ou 11 jours (Belkair, 2018). Après l'accouplement les femelles pondent 60-250 œufs (Balachowsky et Bovey, 1966 ; Bömer, 1997) principalement dans le verger où ils ont éclos (dans un rayon de 80 m) (Margaritopoulos *et al.*, 2012).

Les œufs fraîchement pondus ont la taille d'une tête d'épingle, ovales et transparents (Beers *et al.*, 1993; Ohlendorf, 1999). Au fur et à mesure que les œufs mûrissent, ils deviennent blancs et opaques avec une couronne rouge (Stade anneau rouge) (Figure 2). Ils sont généralement déposés par groupes de 2 à 3 sur les feuilles, les rameaux et les fruits (Caprile et Vossen, 2005). L'incubation des œufs dure de 1 à 3 semaines selon la température. De ces œufs sortent des larves, ces dernières cheminent alors vers les fruits et cherchent un point de pénétration durant une phase nommée « stade baladeur » qui dure de 2 à 5 jours (Audemard 1991; Balachowsky 1966). Les larves creusent une galerie en spirale d'abord juste sous la surface du fruit, puis en direction de la zone des pépins. La larve atteint les graines et passe généralement au troisième stade. C'est ce stade larvaire qui est responsable des dégâts observés sur fruits et qui les rendent non commercialisables pour le producteur (Belkair, 2018). 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, généralement l'écorce de l'arbre (Ferro et Harwood, 1973 ; Pszczolkowski *et al.*, 2002 ; Arthurs *et al.*, 2007),

pour former une nymphe : c'est la pupaison. Cette phase dure 9 jours avant l'émergence de l'insecte au stade adulte (Nollet, 2012).

En fonction des conditions climatiques, elle pourra alors soit se nymphoser directement conduisant à une nouvelle génération dans la même saison, soit entrer en diapause au dernier stade pour passer l'hiver (Ricci, 2009). S'il s'agit d'une larve de première génération, elle formera une chrysalide et se développera en papillon de deuxième génération. Les larves de la deuxième génération hivernent au 5ème stade dans un cocon de soie et les papillons sortent de leur chrysalide au printemps suivant (Morisset, 2010). Les larves de stade L5 atteignent 18 à 20 mm de long (Bovey, 1966), rose pâle à rouge et blanches pour le stade 1-2, une tête brune foncée, corps formé de segments portant de fausses-pattes abdominales et des pattes anales sur la plaque thoracique (Figure 2) (Welter, 2006 ; Alston *et al.*, 2010).

La durée d'une génération de *C. pomonella* varie de 30 à 40 jours, selon les conditions environnementales (voir schéma du cycle annuel, Figure 2) (Mills *et al.*, 2000). Le cycle de vie du carpocapse est composé de générations annuelles variant entre une à quatre en fonction du climat (latitude et altitude), l'année et la plante-hôte. A la fin de la saison de développement les larves matures entrent en diapause dans un cocon sur l'arbre ou dans le sol. Une proportion des larves entre en diapause durant la saison de développement à chaque génération, et le carpocapse ajuste son cycle de vie au climat et à la plante-hôte en adaptant le temps de diapause (Audemard, 1991).

Ainsi, les générations diffèrent de l'Amérique du nord (1 à 2), en Asie (1 à 4) en passant par l'Europe (1 à 3), l'Australie (1 à 3) (Erlandson et Goettel, 2007) et en Afrique (1 à 4) (Pringle *et al.*, 2003).

Par exemple, on observe généralement, 2 à 3 générations annuelle de carpocapse dans le sud de la France (Boivin *et al.*, 2005), en Afrique du sud (Western Cape) 2 à 4 générations/an (Pringle *et al.*, 2003), 1 à 2 génération (s) /an à Ontario (OMAFRA, 2009), 3 générations en Italie (Piskorski *et al.*, 2010) et 2 à 4 générations à Lambiridi (Batna, Algérie) (Brahim, 2010).

I.2.5. Symptômes et dégâts

Les adultes qui n'ingèrent que des aliments liquides n'ont aucun impact direct sur les cultures. Ce sont les larves qui causent des dégâts majeurs en consommant exclusivement les fruits (carpophage) (Bovey, 1966 ; Audemard 1991). Les attaques des larves sur le fruit sont caractérisées par des trous colmatés avec des déchets bruns (excréments) rejetés. Les dégâts

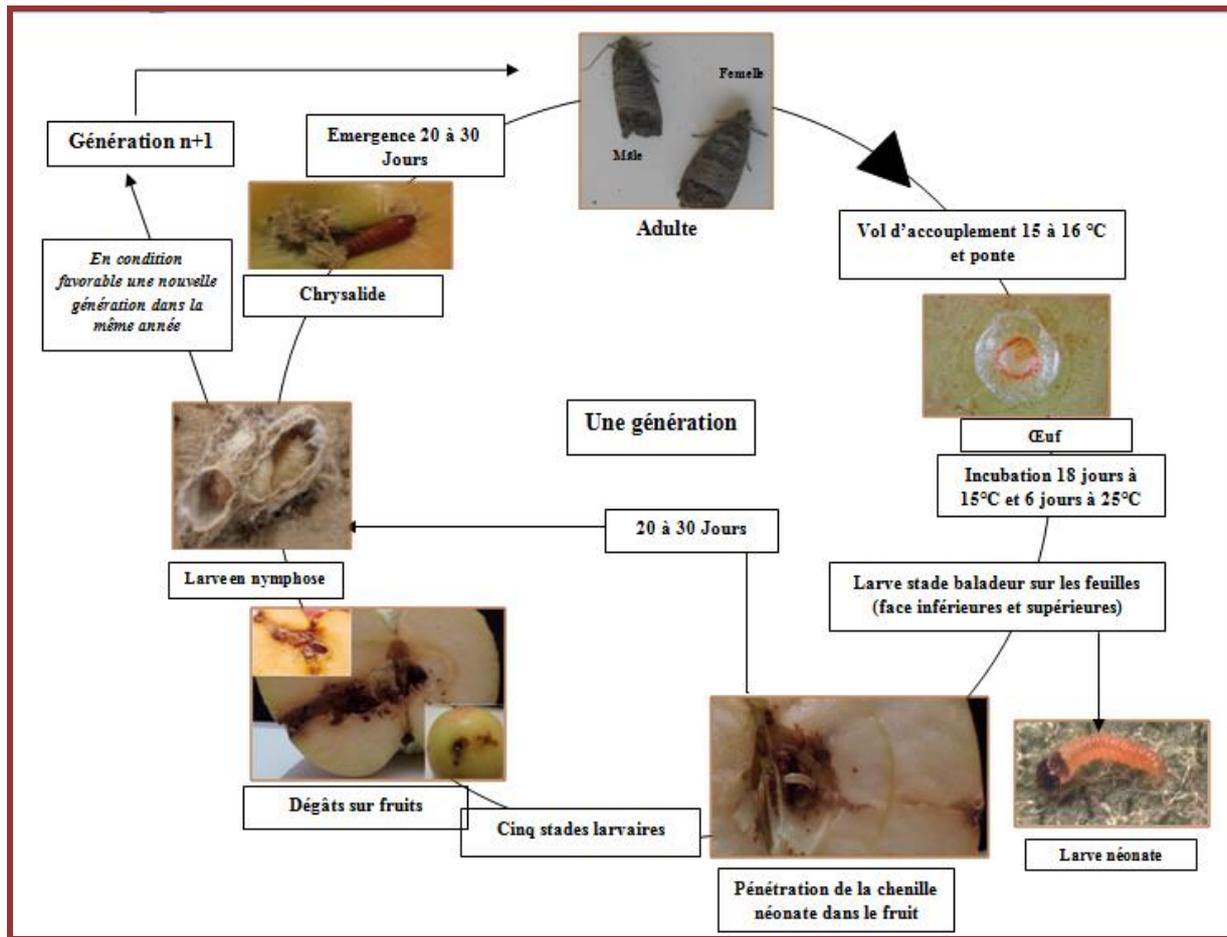


Figure 2: Cycle biologique du carpocapse (Chambon, 1986; Charmillot et Höhn, 2004; photos personnelles, 2021)

causés sont de 3 types (Audumard, 1991 ; Caprile et Vossen, 2005; Sauphanor *et al.*, 2009):

1. Les piqûres provoquées par l'entrée des larves sur une courte distance dans la chair, sont appelées **dégâts stoppés** ;
2. Lorsque la larve pénètre dans la chair du fruit pour se nourrir et produit des profonds tunnels arrivent jusqu'au pépin, ce type de dégâts s'appelle : **dégâts actifs**;
3. Les dégâts sont aussi causés par des cicatrices visibles lors de la cueillette des fruits. Ces trous favorisent la contamination indirecte des fruits, ce type de dégâts s'appelle : **dégâts cicatrisés**.

Si ces larves restent incontrôlées les dégâts causés peuvent atteindre 20 à 90 % des fruits et peuvent atteindre 100% de ravages des récoltes. Soit 80% pour les pommes, 60% pour les poires et 10-15% pour les noix des vergers infestés (Caprile et Vossen, 2005).

I.2.6. Méthodes de lutte contre le carpocapse

Le carpocapse est responsable de dégâts quantitatifs (perte de production) et surtout qualitatifs (formation de perforations) à l'origine de diverses altérations et maladies de conservation (**Benoit *et al.*, 2009**). Le développement des dégâts provoqués par ce lépidoptère a motivé des stratégies de protection drastiques qui ont assez rapidement conduit le carpocapse à devenir résistant à différentes familles de produits phytosanitaires (**Sauphanor *et al.*, 2000**). Signalons que la lutte chimique est la lutte la plus utilisée dans le monde et nous pouvons dire la seule pratiquée en Algérie et dans la région d'étude (**SRPV d'Ain-touta, 2019**). Parmi les matières actives, les plus utilisées contre le carpocapse au niveau de la wilaya de Batna en général et particulièrement dans la région d'étude nous citons: Arrivo (Cyperméthrine), Decis 25- EC (Deltaméthrine), Metosip 25, (Méthomyl), Parathion, Carbaryl (Carbafore), karaté (Lambdacyalothrine) et le Calypso (Thiaclopid) (**SRPV d'Ain-touta, 2019**).

Notons que ces produits créent le risque de contamination des fruits avec des résidus toxiques et des effets négatifs sur les espèces bénéfiques (**Sauphanor *et al.*, 2000; Boivin *et al.*, 2001**). Il ya donc une nécessité pour développer des pratiques de contrôle moins destructives, prévoyant une stratégie non-chimique et durable (**Kutinkova *et al.*, 2010 ; 2012**). Une alternative aux méthodes classiques de contrôle peut être des méthodes visant l'induction de résistances multiples systémiques. Elle consiste à l'utilisation de certains composés solubles dans l'eau qui peuvent pénétrer dans la feuille et constituer de véritables signaux entraînant une cascade de réactions de défense de la plante (**Derridj *et al.*, 2011a**). Suite à l'amélioration des connaissances sur les défenses des plantes, la stimulation de ces dernières en agriculture est envisagée (**Benhamou, 2009**). Ces composés nommés les stimulateurs de défenses naturelles (SDN). Leur application vise à forcer la plante à déclencher ses réponses immunitaires, soit directement après traitement (on parle de stimulateurs directs) soit seulement après une agression ultérieure (on parle de potentialisateurs). Ces produits constituent donc une nouvelle génération d'intrants pour la protection des cultures.

I.3. Relation plante-insecte

Le choix d'une plante-hôte par un insecte phytophage pour s'alimenter ou pondre comporte deux grandes étapes (**Figure 3**):

1- une orientation à distance reposant sur la détection des émissions de substances volatiles par la plante et sur des stimuli visuels;

2- une reconnaissance au contact avec la surface de la plante par l'intermédiaire de stimuli visuels et/ou tactiles et/ou chimiques pour la confirmation de l'identité et de l'acceptabilité de la plante-hôte potentielle (Kostal, 1993 ; Van loon, 1996).

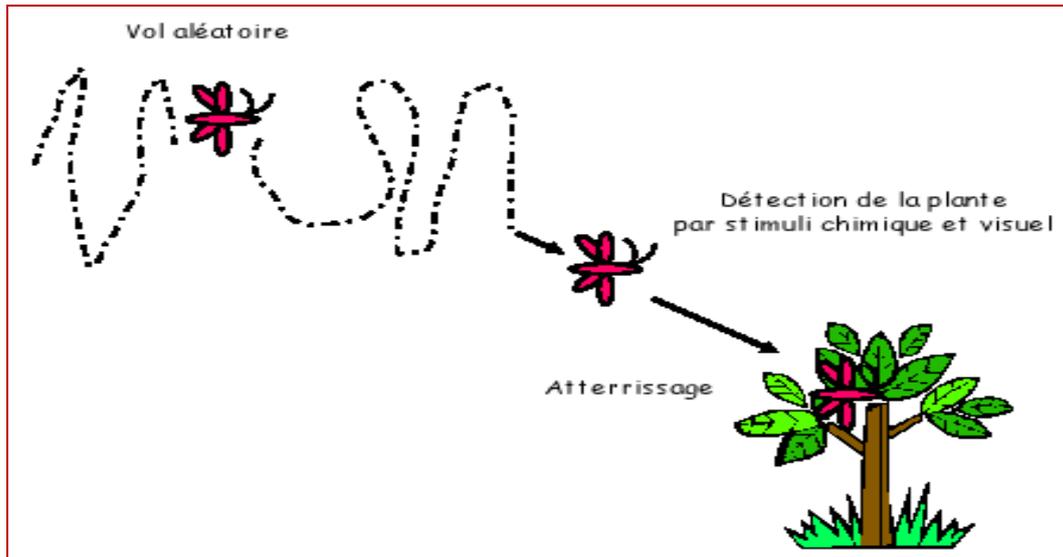


Figure 3: Recherche d'un site de ponte par un insecte (lépidoptère) (Derridj, 2007).

Les étapes de sélection de la plante-hôte font intervenir chez l'insecte des régions sensorielles à différents degrés d'importance selon la progression dans les étapes comportementales. Les organes sensoriels situés sur les antennes, les pièces buccales et l'extrémité abdominale sont impliquées dans la reconnaissance chimique de la plante-hôte (Figure 4) (Robert et Frerot, 1998).

I.3.1. Stimuli végétaux impliqués lors de la ponte

I.3.1.1. Stimuli physiques

La sélection d'une plante par un insecte phytophage peut être expliquée en partie par des caractéristiques physiques du site de ponte comme la taille, la forme, la couleur, l'épaisseur de la feuille, la densité des trichomes et des stomates, la présence de cristaux des cires épicuticulaires ou de minéraux comme la silice, la texture ou le relief de la surface végétale (Thiéry *et al.*, 2012). Par exemple pour l'eudémis ou le carpocapse, une surface lisse est favorable à la ponte et à l'adhérence de l'œuf (Thiéry et Gabel, 1993).

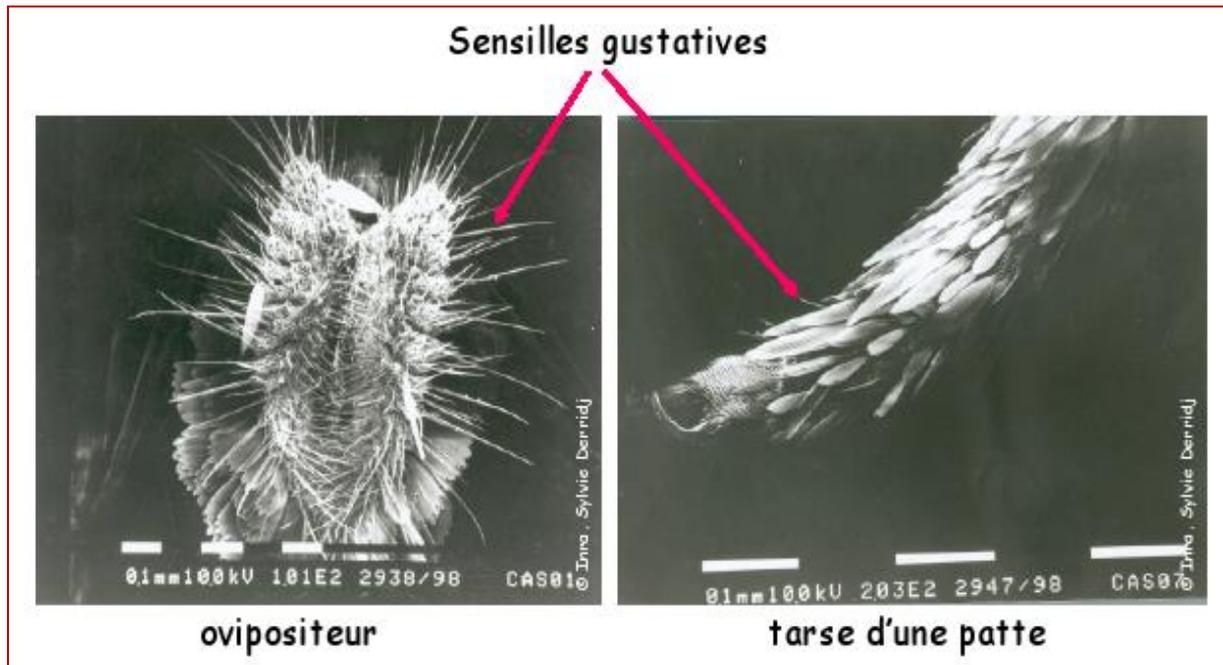


Figure 4: Sensilles gustatives sur l'ovipositeur et le tarse d'une patte de femelle de carpocapse (Derridj, 2007).

I.3.1.2. Stimuli tactiles et chimiques

Au cours de son contact avec la plante, l'insecte obtient une information supplémentaire sur la qualité de la plante qui n'était pas encore accessible pendant les phases précédentes. Le choix de la plante-hôte se fait à l'aide des stimuli tactiles (mécano-sensoriel) et chimio-sensoriels de contact (gustatif), qui sont souvent étroitement associés. Les caractéristiques physiques des organes ou des tissus peuvent influencer le comportement de sélection de la plante-hôte. La présence des trichomes et des cires à la surface de la plante, l'épaisseur et la dureté de la feuille, la sclérotisation et un contenu élevé en silice peuvent participer au rejet de la plante. De telles caractéristiques de la plante accomplissent une fonction défensive (Ramaswamy, 1988; Schoonhoven *et al.*, 1998). Curtis *et al.*, (1990), mentionne que la ponte de *C. pomonella* est influencée par la densité des trichomes, dont cette dernière est corrélée négativement avec la distribution des œufs sur les deux faces foliaires.

Les substances chimiques non-volatiles que l'insecte perçoit par contact seraient imbriquées plus ou moins profondément dans la couche de cires recouvrant la surface du végétale (Städler, 1986).

Schématiquement, la cuticule végétale a une structure en couches avec des propriétés physiques et chimiques non uniformes (Figure 5). Elle est composée de lipides solubles ou de

cires, et d'une matrice de cutine qui est un polymère lipidique insoluble. Les cires épicuticulaires sont celles qui constituent la partie la plus superficielle des cuticules et qui sont en contact avec l'insecte lorsqu'il atterrit et/ou se déplace sur la plante (Thiéry *et al.*, 2012). Selon Städler (2002), la concentration des substances actives à la surface des plantes serait très faible et leur distribution ne serait pas uniforme. Ceci expliquerait pourquoi le seuil de sensibilité des chémorécepteurs des insectes est souvent si bas et pourquoi les femelles « inspectent » soigneusement la surface des plantes avant de pondre par des comportements particuliers de marche, de palpation ou d'antennation (Städler, 1986).

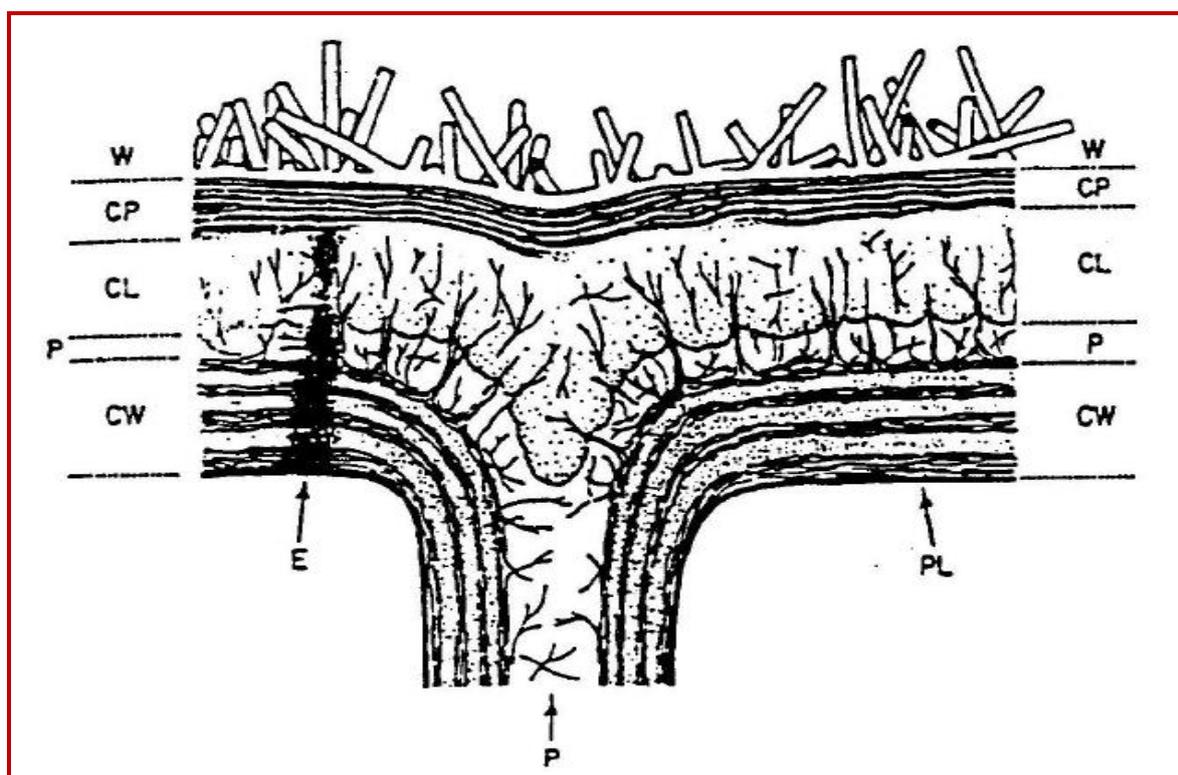


Figure 5 : Structure de la cuticule des plantes (Jeffrey, 1996).

W : Cires épicuticulaires, **CP**: Cuticule primaire, **CL**: Cuticule secondaire, **P** : Pectine et lamelle moyenne, **CW**: Paroi cellulaire, **PL**: Plasmalemme.

Les stimuli chimiques peuvent être les constituants des cires épicuticulaires, des substances organiques telles que les métabolites qui traversent la cuticule, les substances minérales exsudées par les hydathodes (tissus excréteurs des feuilles), l'eau sous forme de vapeur et enfin le gaz carbonique. Des métabolites volatils sont également sur la surface, provenant des tissus et traversant la cuticule ou provenant des trichomes (Thiéry *et al.*, 2012).

La cuticule contrôle avec les stomates la transpiration due à la perte d'eau (**Burghardt et Riederer, 2006 ; Butler, 1996**) ainsi que les échanges gazeux : gaz carbonique et oxygène (**Burghardt et Riederer, 2006 ; Schreiber, 2006**).

La perméabilité de la cuticule soit plus grande pour les substances lipophiles qu'hydrophiles, des composés polaires peuvent être récupérés à la surface des feuilles par l'eau. Ce phénomène appelé, leaching, se produit par exemple lorsque des substances du phylloplan sont lessivées par l'eau de pluie (**Tukey, 1970**).

La perméabilité cuticulaire est spécifique de la plante (espèce, genre, variété), elle est aussi liée à des propriétés physiques des molécules et à des facteurs climatiques (**Derridj, 2009**).

I.3.1.3. Les métabolites de surface de la plante

Deux groupes de métabolites sont présentent à la surface : les métabolites primaires issus de la photosynthèse, comme les sucres, les vingt acides aminés libres, acides organiques, phénoliques et les métabolites secondaires tels que les alcaloïdes pyrrolizidiniques et les glucosinolates sont présents à la surface des feuilles (**Thiéry et al., 2012**).

✓ Rôles des métabolites primaires dans la sélection de la plante-hôte par l'insecte phytophage

Pour trouver le site de ponte acceptable, la femelle gravide réalise une séquence d'actes comportementaux stéréotypés répondant à une succession de signaux spécifiques de la plante-hôte qui la guident vers le site de ponte (**Schoonhoven et al., 1998**). L'acceptation ou le rejet d'une plante par un insecte est basé sur les composés de surface plutôt que sur la composition interne et la valeur nutritionnelle de la plante pour la descendance (**Städler, 1984**).

D'après **Derridj et Fiala, (1983)** les métabolites primaires, d'origine photosynthétiques, dont les sucres solubles ; sont présents à la surface des feuilles en quantités de l'ordre de nano gramme par cm². Et le comportement de l'insecte lui permet de sélectionner sa plante hôte en évitant les plantes défavorables. Les insectes lépidoptères comme la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis* et le carpocapse, 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**).

Pour *C. pomonella*, lorsqu'elle est au contact avec la surface de la plante- hôte, et après un examen de cette surface par des contacts répétés de ses pattes, antennes et ovipositeur, où l'insecte tente à détecter des signaux physiques et chimiques qui indiquent l'acceptation du site ; la femelle pond un seul œuf. D'un point de vue évolutif, l'acceptation peut être considérée comme une décision cruciale, car elle a des conséquences directes sur l'acquisition des aliments et de l'énergie ou indirectes sur la survie de la progéniture dans le cas de la ponte (**Lombarkia, 2002**). D'autres signaux peuvent stimuler la femelle pour continuer la ponte et déposer d'autres œufs (**Curtis et al., 1990**).

En fonction des informations recueillies à la surface de la plante (formes, couleurs, texture, composition en sucres, acides aminés...) l'insecte refuse ou accepte la plante pour y pondre ensuite. La sélection basée sur les métabolites primaires (sucres, acides aminés) permet à la femelle de choisir le site le plus approprié au développement de la descendance (**Derridj, 2007**).

Les substances non-volatiles que l'insecte perçoit par contact seraient plus ou moins profondément dans la couche des cires recouvrant la surface végétale (**Städler, 1986**). Plusieurs études ont montré que des métabolites primaires sucres, acides aminés, lipides peuvent influencer la ponte (**Derridj et al., 1996 ; Udayagiri et Masson, 1995**). Le rôle de ces substances pourrait alors être d'influencer la distribution des œufs entre différents organes ou entre différents individus d'une même espèce végétale hôte (**Städler, 2002**).

Plusieurs études ont montré l'implication des métabolites primaires comme les sucres, les polyols et les acides aminés dans la prise de la décision finale de la femelle pour pondre (**Derridj et al., 1996 ; Lombarkia et Derridj, 2002 ; Lombarkia et Derridj, 2008**).

Derridj et Fiala (1983), ont démontré que le choix du site de ponte de la pyrale du maïs est corrélé positivement à la teneur en sucre du feuillage. La pyrale est donc stimulée par les sucres en particulier le fructose, dans un environnement plus général constitué d'un ensemble de sucres (saccharose, glucose).

Cabanat (1999) et 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*.

L'étude réalisée sur le comportement de ponte chez le carpocapse par **Lombarkia (2002)**, montre que la modification de la composition en métabolites de surface semble

également perturber la distribution des œufs au niveau des différents organes et parties de la plante. Ainsi, en situation normale, 90% des œufs sont déposés à moins de 20 cm d'un fruit.

I.4. Stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN)

I.4.1. Historique, Terminologie et Définitions

La terminologie associée aux produits de stimulation est variée et complexe du fait du foisonnement de définitions et d'une absence d'harmonisation. On peut distinguer de grandes catégories de produits de stimulation en fonction des cibles :

- Les **biostimulants de la plante** ciblent la plante, le sol et/ou les matières fertilisantes et favorisent la croissance, le développement et la nutrition des plantes. Sont compris dans les biostimulants une diversité de termes qui ne sont pas tout à fait semblables du point de vu des cibles visées, mais dont le but est bien de stimuler les plantes et/ou d'activer le sol pour améliorer la croissance des plantes à un niveau d'apport de matières fertilisantes donné (**EBIC, 2014**).
- Les **stimulateurs de vitalité**, qui ciblent la plante ou le sol, sont des produits clairement à cheval entre SDP et biostimulants. Cette catégorie n'existe plus actuellement (**MAAF, 2012**).
- Les **additifs agronomiques** qui ciblent les matières fertilisantes et ne sont pas des produits de stimulation (**Arcadia, 2014**).
- Les **SDN** : Substances ou Micro-organismes qui ciblent la plante afin d'induire les réponses de défense face aux stress biotiques. Sont compris dans les SDN les éliciteurs et les molécules de potentialisation (**RMT Elicitra, 2013**).
- **Stimulateur de défense des plantes** : « éliciteur », « inducteur de résistance », « SDN »; Selon **Faessel et al., (2014)**, sont des produits phytopharmaceutiques de stimulation des défenses, les termes Stimulateur des Défenses Naturelles (SDN) sont utilisés, mais moins largement que le concept de biocontrôle qui englobe un plus grand nombre de modes d'action et d'outils visant à utiliser les mécanismes et interactions naturels protéger les cultures contre les stress biotiques : maladies, ravageurs et peut-être bientôt les adventices.

Certains scientifiques préfèrent aborder la terminologie sous un point de vue fonctionnel, c'est-à-dire séparer les domaines de protection des plantes contre les stress biotiques (stimulateurs de défense, éliciteur, et biocontrôle) et ceux de stimulation de croissance, développement et nutrition (biostimulant). La plupart des scientifiques préfèrent

utiliser le terme **éliciteur** plutôt que SDN, en raison de la valeur internationale de ce terme. Ils utilisent également « inducteurs de résistance » qui indique clairement la fonction associée à la substance.

Le terme SDN a été défini en 2013 par l'Association Française de Protection des Plantes (AFPP dans la fiche 5.12 du livre « Protection intégrée des cultures » (**AFPP, 2013**) :

«Différentes molécules ou micro-organismes capables, après application sur une plante, d'induire (ou de préparer l'induction de) ses mécanismes naturels de défense qui lui permettent, durant un laps de temps donné, d'être en état de résistance vis-à-vis de bioagresseurs auxquels elle serait normalement sensible. De manière générale, un SDN peut aussi entraîner une résistance de la plante vis-à-vis de stress abiotiques (carences, froid).».

Au sein de l'AFPP, la Commission des Essais Biologiques (CEB) a aussi proposé une définition plus courte (**CEB-AFPP, 2011**) pour les SDN:

«Substances ou produits, naturels ou non, capables d'induire (ou de préparer à l'induction), chez les plantes traitées, un état de résistance aux bioagresseurs».

Cette définition des SDN, indique que ces substances agissent sur les stress biotiques et sur les stress abiotiques, de même que pour des éliciteurs, qui font partie des SDN (**RMT Elicitra, 2013 ; AFPP, 2013; Fardeau et Jonis, 2003**).

Le terme lui-même a été déposé par Syngenta lorsque son produit, Bion MX à base d'acibenzolar-Sméthyl, a été homologué à la fin des années 1990 contre le mildiou.

I.4.2. Utilisation des éliciteurs

Damianthe et Guihard (2010), signalent que les éliciteurs ont été utilisés en matière de recherche appliquée, pour la première fois dans les années 1980, lorsque le principe global des substances élicitrices fut connu, que le biologiste américain Peter Albersheim et ses collaborateurs émirent l'idée d'utiliser les éliciteurs pour protéger les plantes et réduire l'utilisation de produits phytosanitaires. Le principe consiste à reproduire les interactions naturelles pour rendre les plantes capables de lutter elles mêmes contre leurs agresseurs.

Les scientifiques ont alors entrepris de détecter des molécules minant les agressions ou un état de stress pour induire les réactions de défense. Les éliciteurs, nommés aussi

stimulateurs (ou substances) de défenses naturelles (SDN), sont des produits de haute technologie.

I.4.3. Mode d'action des SDN

Tous les végétaux sont capables de mettre en place des mécanismes de défense face à une attaque. Cette mise en place n'a pas toujours lieu notamment lorsque la plante ne perçoit pas un agresseur particulièrement bien adapté à son hôte comme un insecte phloémophage. Si elle a lieu, la vitesse de synthèse et d'accumulation des composés de défense de la plante face à cette attaque est un paramètre important pouvant être décisif dans l'établissement d'une résistance ou, à l'inverse, dans la propagation du bioagresseur. L'application des SDN pourrait être une stratégie intéressante en protection des cultures : elle vise en effet à activer le système immunitaire de la plante et à augmenter ainsi sa résistance à une attaque subséquente (**Benhamou, 2009**). Selon le même auteur, les SDN sont des molécules pouvant être reconnues par la plante et cette perception déclenche les différents mécanismes moléculaires, biochimiques et cytologiques menant à l'expression d'une résistance. Ces molécules n'ont donc pas d'effet biocide, elles n'agissent pas directement sur le bioagresseur mais sur la physiologie de la plante (**Faessel *et al.*, 2014**).

Généralement les SDN sont dissociées en deux types : les éliciteurs pouvant être reconnus comme le « non-soi » et les analogues d'hormones qui ont une action directe sur la physiologie de la plante et sur les voies de défense. Les SDN peuvent également avoir une action directe sur les défenses de la plante et/ou avoir un effet de potentialisation (**Benhamou, 1996; Beckers et Conrath, 2007; Faessel *et al.*, 2014**).

D'après **Faessel *et al.*, 2014**, les produits de stimulation de type SDN n'ont pas une action biocide mais agissent sur l'induction de la résistance chez la plante, c'est-à-dire qu'ils induisent la mise en place de réactions de défense de manière non spécifique face à un stress biotique. Dans les stratégies de protection des plantes, l'utilisation de ces produits est préventive et vise à réduire les applications de produits phytopharmaceutiques « classiques » en « aidant la plante à s'aider elle-même ». La mise en place de cette résistance induite se fait en général par l'activation directe des mécanismes de défense de la plante résultant en une réponse rapide (de quelques secondes à quelques heures selon le type de réponse considérée). Dans certains cas, l'induction peut avoir comme conséquence une activation ultérieure plus

rapide et plus intense des mécanismes de défense, c'est ce qu'on appelle la potentialisation (« priming » en anglais) (Faessel *et al.*, 2014 ; Faessel et Tostivint 2016).

I.4.4. Evènements déclenchés par la reconnaissance d'un éliciteur

Une cascade d'évènements de signalisation se met en place à l'intérieur de la cellule végétale suite à l'interaction entre l'éliciteur et le récepteur. Cette cascade d'évènements est dépendante de la substance inductrice ; tous les évènements ne sont pas systématiquement observés. Schématiquement, on peut distinguer les étapes suivantes dans la mise en place de la réponse de défense (**Figure 6**) (Faessel et Tostivint, 2016) :

- 1) **reconnaissance** : le récepteur reconnaît un SDN.
- 2) **cascade d'évènements intracellulaires** : l'interaction récepteur/SDN active des processus cellulaires (dépolérisation membranaire, entrée importante d'ions Ca²⁺ dans la cellule, activation de protéines kinases pour la transmission du signal à l'intérieur de la cellule) menant à la résistance induite.
- 3) **expression des gènes de défense** : les kinases activent des facteurs de transcription spécifiques des gènes de défense, ce qui permet la synthèse des molécules de défense (protéines, phytohormones, métabolites secondaires, etc.).
- 4) **accumulation de Formes Actives de l'Oxygène (F.A.O.)**, telles que le peroxyde d'hydrogène et l'oxyde nitrique. Ces molécules ont des actions antimicrobiennes directes et sont aussi impliquées dans le renforcement des parois cellulaires et dans la réaction d'hypersensibilité.

Les évènements 3 et 4 permettent de déclencher, dans la cellule initiale et dans les cellules adjacentes, les voies de signalisation intracellulaires pour la mise en place de la **résistance induite**.

- 5) **transmission des signaux dans la plante entière** : le transport de certaines molécules mobiles dans les parties distantes de la plante permet la mise en place de la *résistance induite systémique*.

I.4.5. Défenses des plantes

Suite à l'activation des différents signaux intracellulaire, la mise en place de la défense ; chimiques (par la synthèse de molécules appelées phytoanticipines regroupent notamment des composés phénoliques, comme les tannins, mais également des lactones et des

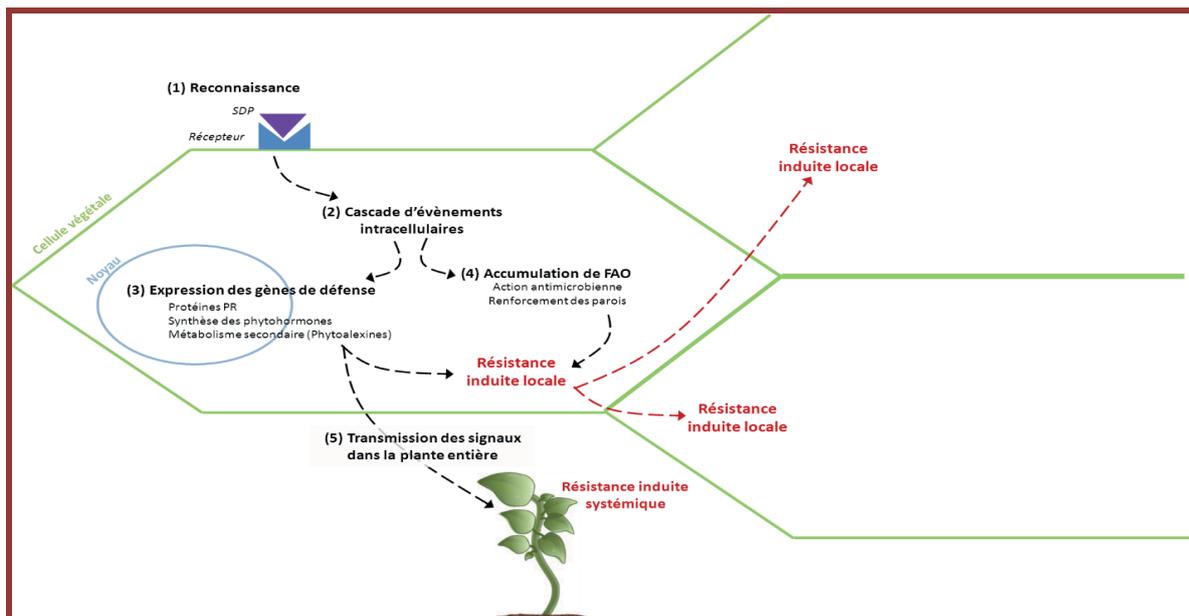


Figure 6: Évènements de mise en place des réponses de défense de la plante (Faessel *et al.*, 2014 ; Faessel et Tostivint 2016).

composés cyanogènes) et/ou physiques constitutives (barrières structurales : par exemple, les trichomes, poils épidermiques, pointus ou en crochet, peuvent piéger les insectes ou leurs œufs) ou induites (**Figure 7**), locales ou systémiques permet une résistance aux bio-agresseurs (Benhamou, 2009 ; Giordanengo *et al.*, 2010 ; Faessel et Tostivint, 2016).

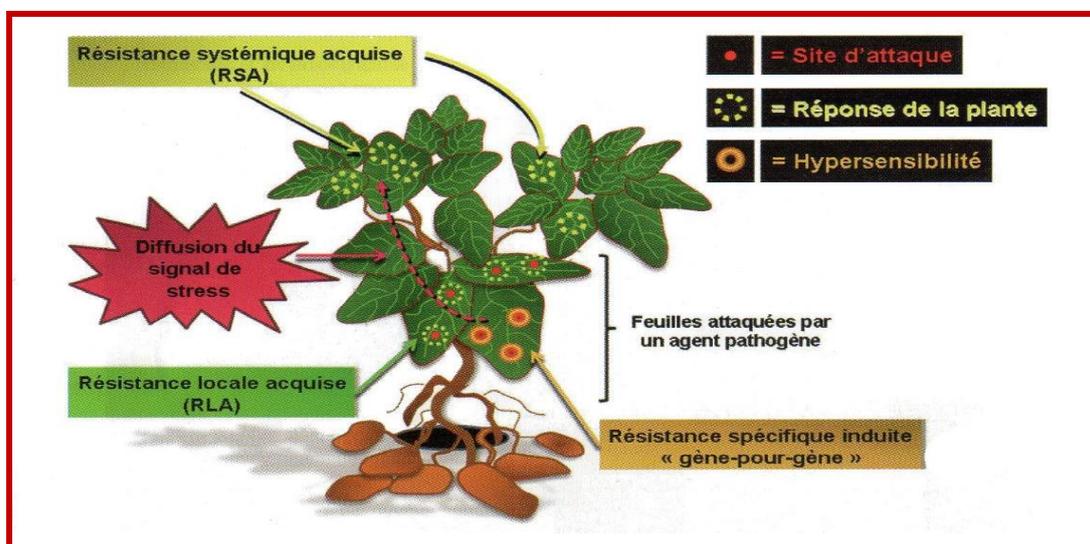


Figure 7: Les différentes défenses possibles mises en place par une plante suite à l'attaque par un bio-agresseur (Benhamou, 2009).

I.4.6. Applications des SDN sur pommier

Des travaux sont réalisés par l'INRA (France), sur l'effet des SDN vis-à-vis de plusieurs bio-agresseurs du pommier. Ces travaux portent sur des maladies telles que la

tavelure du pommier (*Venturia inequalis*), le feu bactérien (*Erwinia amylovora*), ainsi que sur des ravageurs comme le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea* (Passerini)). Ce puceron est l'un des principaux ravageurs des vergers de pommiers (Davidson et Lyon, 1979). Il est considéré comme le plus nuisible par sa forte fécondité permettant une rapide augmentation des populations (Davidson et Lyon, 1979; Hullé et al., 1998).

Des travaux, menés antérieurement au sein de l'équipe, ont permis de mettre en évidence. un effet protecteur du Bion® 50 WG (L'acibenzolar-S-méthyl (ASM) analogue d'une hormone de signalisation, l'acide salicylique (Benhamou, 2009; Faessel et al., 2014)) et du BABA (L'acide-β-aminobutyrique, (BABA), est un acide aminé non protéique joue le rôle d'un potentialisateur (Benhamou, 2009; Faessel et al., 2014) vis-à-vis du puceron cendré du pommier (Sauge et al., 2002; Qubbaj et al., 2005). L'application de ces produits, avant infestation artificielle, s'est traduite par une diminution de la taille des colonies de puceron cendré engendrées après infestation. Cette diminution est sans doute due à un impact négatif des molécules SDP sur la fécondité, la longévité et la mortalité du puceron cendré, comme cela a été démontré par Hodge et ses collaborateurs (Hodge et al., 2005, 2011).

I.4.7. Avantages et inconvénients des SDN

Les avantages et les inconvénients sont résumés dans le tableau ci-dessous (Damianthe et Guihard, 2010 ; Faessel et Tostivint, 2016) :

Tableau 4 : Avantages et inconvénients des SDN

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Faible toxicité. ➤ Faible impact sur l'environnement. ➤ Faible risque de baisse d'efficacité par acquisition d'une résistance de la part du bioagresseur. ➤ Un large champ d'action (induisent des réponses chez plusieurs espèces végétales et large spectre d'action permet de lutter contre différents bio-agresseurs (bactéries, champignons, insectes etc.) ➤ Une résistance qui peut se propager (résistance induite systémique et même chez les plantes voisines <i>via</i> des molécules volatiles). ➤ Une complémentarité avec d'autres stratégies de protection des plantes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Une utilisation qui nécessite un suivi rigoureux de la culture (Le mode d'action des SDP nécessite d'être très précis sur les périodes d'utilisation, puisqu'il est souvent nécessaire de faire l'apport en préventif de l'arrivée de l'agent pathogène ou du ravageur, mais il faut également que la plante soit à un stade physiologique réceptif). ➤ Difficulté de démontrer économiquement l'efficacité (une étude au cas par cas est nécessaire). ➤ Difficulté de reproduire les effets des SDN par une mauvaise connaissance des conditions optimales d'efficacité. ➤ Difficulté de mise sur le marché (homologation).

I.5. Le sucre comme Stimulateur des Défenses Naturelles de la plante (SDN)

Les sucres, premiers produits de la photosynthèse ont été mis en évidence à la surface des organes végétaux du pommier. La plupart des insectes sont capables de les détecter. Leurs quantités et leurs proportions permettent de discriminer les organes entre eux. Le comportement de ponte de carpocapse dans les conditions naturelles est corrélé à la discrimination par les métabolites (**Lombarkia et Derridj, 2002**). Leur action sur la ponte de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* a été démontrée, ainsi que pour la chrysomèle de maïs, *Diabrotica virgifera virgifera* et sur *C. pomonella* (**Derridj et Wu, 1995 ; Derridj et al., 1989 ; 2001; Lombarkia et Derridj, 2002; 2008**).

I.5.1. Les sucres solubles, des molécules importantes pour les plantes

Les métabolites primaires constituent la majeure partie de la biomasse végétale. La majorité des métabolites primaires comme les sucres, acides aminés, les acides organiques et les acides gras, interviennent dans le processus physiologiques fondamentaux des plantes, comme la biosynthèse des membranes cellulaires, de la cuticule, de protéines enzymatiques et de structures (**Lombarkia, 2002**). Les sucres sont synthétisés lors du cycle de Calvin dans les chloroplastes des cellules photosynthétiques puis sont utilisés dans le cytoplasme des organes source (feuilles adultes) (**Lalonde et al., 2004**); le saccharose et ses produits d'hydrolyse (glucose et fructose) sont des molécules qui affectent directement, la croissance et le développement des plantes en fournissant de l'énergie et indirectement, par la modélisation de leur morphologie, du timing de développement (floraison et sénescence par exemple) (**Nunes, 2014**), jusqu'au nombre de graines et même la forme (**Shahri et al., 2014**).

Les sucres jouent aussi un rôle central dans la répartition des assimilats et dans le métabolisme (**Rolland et al., 2002 ; Lalonde et al., 2004 ; Roitsch et Gonzalez, 2004**). Mais, ils peuvent également jouer un rôle en tant que formes de réserves (amidon) constituants structuraux des parois, squelettes carbonés et dans la biosynthèse de plusieurs métabolites et enfin en tant que molécules «signal» (**Lalonde et al., 2004**). Ainsi, une partie des glucides produits par la photosynthèse est directement utilisée pour répondre à la demande de la cellule elle-même. Le reste des glucides est transféré vers les organes puits (fleurs, fruits, racines), le transport des sucres à travers le phloème est le mécanisme qui assure aux organes puits un approvisionnement en sucres adéquat pour leur croissance et leur développement (**Williams et al., 2000**). Plusieurs auteurs mentionnent que l'accumulation des sucres influe sur la coordination entre la photosynthèse et la transpiration (**Kang et al., 2007**) et leurs contributions dans l'ouverture des cellules gardes (**Lawson, 2009**).

Entre autres activités, les sucres modulent l'expression de gènes impliqués dans les réponses de la plante aux stress biotiques et abiotiques (**Bolouri Moghaddam et Van den Eden, 2012**), souvent croisées avec celles des hormones (**Morkunas et Ratajczak, 2014 ; Derridj, 2016**).

Les métabolites primaires solubles (saccharose, glucose, fructose) pourraient contribuer à plus de 50% à l'ajustement osmotique des glycophytes soumises aux conditions de salinité, l'accumulation des carbohydrates dans les plantes légumineuses en réponse à la salinité a été documentée dans plusieurs espèces de *Phaseolus* (**Bayuelo- Jimenez et al., 2012**) et *Medicago sativa* (**Farissi et al., 2011**). Comme ils jouent un rôle crucial durant l'exposition, l'acclimatation et l'acquisition de la tolérance au froid par leur accumulation des métabolites primaires suite au métabolisme des carbohydrates (**Nägele et al., 2012**).

Ces substances forment une source de nutriments non négligeable pour les organismes herbivores. Plusieurs études ont également montré que des métabolites primaires, sucres, acides aminés, lipides, pouvaient influencer l'oviposition (**Derridj et al., 1996**).

La structure physique et la composition chimique de la surface végétale sont d'une importance capitale lors du premier contact d'un insecte sur la plante. La couche de cire recouvrant la cuticule contient des glucides ou sucres à longues chaînes, des alkylesters, des alcools primaires et des acides gras (**Eigenbrode et Espelie, 1995**). La composition chimique de la surface végétale renseigne l'insecte sur l'état de la plante (stressée ou non), sur son stade phénologique et sur son statut taxonomique (**Calatayud et al., 2012**).

Plusieurs études mettent en évidence l'importance des niveaux de sucres dans la résistance des plantes aux pathogènes et maladies fongiques, au cours des dernières années, il est devenu évident que les sucres jouent un rôle primordial en tant que molécules 'signal' (**Sheen et al., 1999; Rolland et al., 2002 ; 2006**), dans la défense des plantes 'plant immunity' à été décrit, étudié et discuté dans la littérature (**Trouvelot et al., 2014**) chez le lupin, et comme une réponse pour se défendre contre le *Fusarium oxysporum* les sucres (particulièrement le saccharose) induisent la synthèse des isoflavonoïdes et montre une lignification croissante des parois cellulaires (**Morkunas et al., 2005**). **Morkunas et Ratajczak (2014)**, ajoutent que certains sucres agissent comme des agents d'amorçage induisant une plus grande résistance des plantes aux agents pathogènes et même aux insectes.

Les sucres peuvent agir comme des molécules de signal et/ou de régulateurs des gènes d'expression (**Sheen et al., 1999; Smeekens et al., 2010; Eveland et Jackson, 2011**) Saccharose, D-fructose et D-glucose régulent 2019 gènes divisé en 7 sous groupes, présentant

leur réponse à un sucre spécifique, dont 10 gènes seulement sont commun à ces trois sucres (Kunz Pesquet et Kleczkowski, 2014) ce qui nous mènent au concept “sweet- immunity” et “sugar-enhanced defense” (Bolouri-Moghaddam et Van Den Ende, 2013).

I.5.2. Le concept de Sweet Immunity

Le concept de “Sweet Immunity” ou défense liée aux sucres est basée sur l’hypothèse que les sucres jouent un rôle dans la préparation de la plante à résister à différents stress en intervenant à différents moments. Tout d’abord, au moment de la reconnaissance de la plante par le bioagresseur. Ainsi, les insectes sélectionnent leur plante hôte en évitant les plantes défavorables. Dans le cas des lépidoptères, cette reconnaissance puis le dépôt des oeufs passent par la perception par contact des sucres solubles en surface. L’application exogène de sucres en infra-doses pourrait modifier la relation plante-insecte. Pour les autres bioagresseurs, les sucres interviennent également dans les voies de signalisation des attaques “sweet priming” (Bolouri Moghaddam et Van den Eden, 2012). Ils déclencheraient des signaux à la surface des feuilles, signaux ensuite transmis dans toute la plante. C’est notamment le cas de « la voie du fructose », particulièrement active dans cette induction.

Quelques études ont montré que les métabolites primaires (sucres solubles et sucres alcools) présents à la surface des plantes jouent en tant que signaux biochimiques qui interviennent dans l’interaction plante-insecte, dont la plupart des insectes sont capables de les détecter, pour la reconnaissance et la sélection du site de ponte et même un environnement optimal pour la progéniture dès l’éclosion des œufs (Maher *et al.*, 2006) citons par exemple : *Ostrinia nubilalis* (Derridj *et al.*, 1992); *Choristoneura fumiferana* (Banga *et al.*, 2003); *Rhagoletis pomonella* (Crnjar *et al.*, 1989); deux espèces de Syrphidae (Hood Henderson, 1982); *Heliothis virescens* (Ramaswamy, 1994); trois espèces de Pyralidae (Waladde, 1983; Waladde et Ochieng, 1991), *Lobesia botrana* (Maher *et al.*, 2006) et *Cydia pomonella* (Lombarkia, 2002).

L’acceptation de la plante par bon nombre d’insectes pour pondre ; comme le carpocapse, la pyrale du maïs et l’eudémis de vigne. Les femelles de ces lépidoptères ont un comportement de sélection de la plante hôte pour pondre, qui est influencé par la perception de ces sucres (mélange de sucre et quantité différente d’une espèce à l’autre) provenant de l’intérieur de la plante et se trouvant à la surface des feuilles (Derridj *et al.*, 1986 ; Derridj *et al.*, 1989; Fiala *et al.*, 1993 ; Lombarkia et Derridj, 2002, 2008 ; Maher *et al.*, 2006 ; Städler, 2002).

I.5.3. Stratégie de lutte

Les substances de base qui sont considérées comme des stimulateurs naturels pouvant être utilisées à des fins phytopharmaceutiques en agriculture (le sel, le sucre, le vinaigre, la bière...) comme substances de base permettent de se prémunir à moindre coût certaines maladies ou certains nuisibles. Les sucres, jouent en tant qu'éliciteurs ayant un effet insecticide (ITAB, 2018) via la stimulation de l'immunité de la plante et les mécanismes de défenses des plantes (Bolouri Moghaddam et Van den Ende, 2013) sont une voie nouvellement explorée et prometteuse. L'utilisation de ces composés d'origine végétale solubles (les sucres) dans l'eau qui peuvent pénétrer dans la feuille et constituer de véritables signaux entraînant une cascade de réactions de défense de la plante. De plus; ces molécules contenues dans la plante peuvent traverser la cuticule et à la surface de la plante constituer des signaux perçus par l'insecte par contact, influençant alors son comportement et la sélection de la plante-hôte pour pondre (Derridj *et al.*, 2011b). Derridj (2010), a mis en évidence la possibilité d'induire une résistance de la plante, par l'application foliaire d'infra-doses de sucres solubles. Derridj *et al.*, (2012), ont démontré que les quantités et la nature des sucres sur la surface des feuilles sont des signaux pour *C. pomonella*, et influencent sur le dépôt des œufs et leurs distribution sur la plante (Derridj, 2009; Derridj *et al.*, 2012; Arnault *et al.*, 2017).

Cette technologie repose sur l'application foliaire d'infra-doses de sucres; leurs pulvérisation à faibles doses (1 à 10g/100L) sur les plantes, peuvent les aider à se défendre contre des bio-agresseurs, par une modification physiologique à la surface des feuilles (Derridj, 2009 ; Arnault *et al.*, 2011 ; Ondet et Gorski, 2015). Le sucre agit comme un SDN (Stimulateur des défenses naturelles) ce qui implique des applications préventives et renouvelées. La stimulation des défenses naturelles provoque l'induction de mécanismes de défense dans la plante contre les stress, qui entraîne des modifications de la composition des feuilles (Bolori-Mohaddam, 2013 ; Morkunas *et Ratajczak*, 2014 ; Demarat, 2017). Mais, selon Derridj (2013), ne modifie pas les quantités naturelles des sucres à la surface des feuilles. Leur application le matin; constitue un signal et induit une résistance partielle à l'insecte ; systémique et de type antixénose (non préférence) avant l'attaque de la plante. Le même auteur ajoute, qu'après plusieurs années d'expérimentation et de recherche au laboratoire et en plein champs, l'utilisation des infra-doses de sucres en protection des cultures présente les avantages suivants:

- Appliquée immédiatement après sa préparation, la solution aqueuse de sucre constitue un signal qui agit en quelques heures, avec des effets sur plusieurs jours positionnement/intempéries;
- Sont non toxiques et non persistants à la surface des plantes et dans l'environnement.
- Des molécules peu onéreuses et reproductibles;
- Grandes potentialités d'activité et de modes d'actions : bio-agresseurs (insectes, champignons); cultures (pérennes, annuelles; monocotylédones et dicotylédones; résistances variétales.);
- Systémie, protection de parties non pulvérisées épigées et hypogée de la plante;
- Association possible dans le parcours technique à des produits phytosanitaires dont il peut réduire les doses et augmenter l'efficacité;
- Action positive sur la croissance des tiges et racines;

D'autre côté cette technologie présente d'autres avantages suivants (Derridj, 2010):

- Elle est déjà effective aux champs;
- Une résistance par systémie est engendrée immédiatement après le traitement;
- Utilisation des substances Non toxiques, et à faibles doses;
- Une durée d'efficacité qui permet une flexibilité des positionnements des traitements associés;
- Résistances multiples;
- Durabilité probable.

I.5.4. Sucres et protection des cultures

Cette technique est testée actuellement sur différents couples bioagresseurs/cultures : pyrale/maïs, carpocapse/pommier et plus récemment taupin/maïs ou encore bruche/féverole et cécidomyie/blé, et même cultures/maladies couples : vigne/mildiou, mildiou/pomme de terre, pommier/la tavelure (Derridj, 2016 ; ARAD, 2017 ; Demarat, 2017).

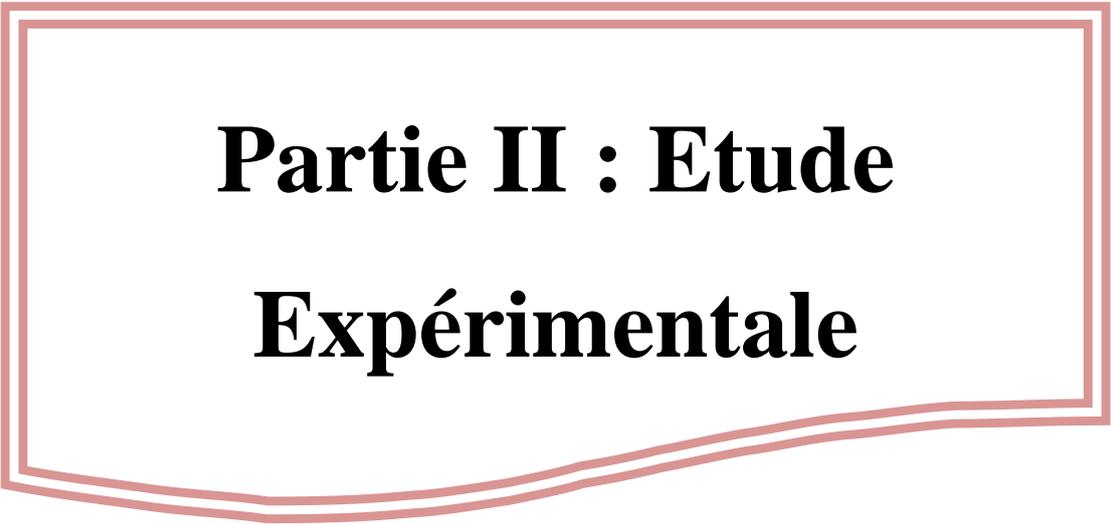
Les études menées par Lombarkia et Derridj (2002; 2008), montrent que les métabolites primaires (Fructose, Glucose, Saccharose, Sorbitol, Quebrachitol et Myo-inositol) sont impliqués dans la résistance à la ponte de carpocapse. Aussi l'application de solution aqueuse de ces deux sucres à 100 ppm tous les 20 à 21 jours sur pommier, dès la fin de la floraison ou dès la capture des papillons mâles dans les pièges à phéromone, très tôt le matin, permet de réduire la ponte et par la suite les dégâts de ce ravageur (Derridj *et al.*, 2012 ; Arnault *et al.*, 2015 ; Ondet et Gorski, 2015).

Depuis 2003, l'application des sucres vis-à-vis du carpocapse a été expérimentée en verger ; en agriculture biologique, conventionnelle ou intégrée en France, Algérie, Grèce,

Espagne et Italie ; et sur les variétés Royal Gala, Golden Delicious, Granny Smith, Anna, Starkrimson et Reine des reinettes; par différents organismes de recherche ou de développement (**Derridj, 2016**). Le sucre et la dose qui sont efficaces dans l'induction de la résistance peut varier selon la plante et son phyto-agresseur. Le tableau ci-dessous résume une partie des travaux réalisés.

Tableau 5: Utilisation des sucres contre les maladies et ravageurs des cultures

Pays	Ravageurs et maladies	Espèces	Variétés	Sucres testés	Références
France	La pyrale du maïs (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	Maïs	/	Saccharose et fructose (100 ppm et 50 ppm)	Ferré et al., (2008) Derridj et al., (2011a) Arnault et al., (2016b) Ondet (2016) Arnault (2013)
	Le carpocapse (<i>Cydia pomonella</i> L.)	Pommier	(Golden Delicious, Royal gala, Mondial Gala, reine de reinette)		
	Le botrytis (<i>Botrytis cinerea</i>)	Tomate et Haricot	/	Saccharose (1 et 100 ppm)	Derridj et al., (2011b)
	Nématode (<i>Meloidogyne javanica</i>)	Tomate	/	D-glucose, le D-fructose et le saccharose	Birch et al., (1993)
	Thrips et mineuse	Poireau	/	Saccharose et Fructose (1, 10 et 100 ppm)	Arnault (2013)
	L'Oïdium	Melon	/	Fructose (100 ppm)	Arnault (2013)
	Pyrale				
	Mildiou	Vigne	Muscat de Hambourg	Fructose + Cu ⁺⁺	Arnault (2013)
	L'Oïdium		Gamey	D-fructose (1, 10, 100 ppm)	Arnault et al., (2016a)
Israël	Le botrytis <i>Botrytis cinerea</i>	Tomate	Hazera Genetics	Saccharose (100 ppm)	Derridj et al., (2011b)
Algérie : Batna (Ain djasser, Yabous, El-Hassi, Inoughissen, Lambiridi, Ain Touta, Thniet El-abad, Tilatou), El-Taref , Oum El-Bouaghi	Le carpocapse (<i>Cydia pomonella</i> L.)	Pommier	Golden Delicious, Starkrimson, Anna, Royal Gala	Saccharose, Glucose, Sorbitol et fructose (100 ppm et 50 ppm) seuls et en addition avec des insecticides chimiques et biologiques (Virus de la granulose)	Benhassir (2009) Haggoune (2010) Djebabra (2011) Louaar (2011) Guerfi (2014) Meradi (2015) Nassri (2015) Abdesselem (2015) Khadri (2017) Kolli (2016)
Guelma M'sila (Bens'rou)	Mineuse de la tomate (<i>Tuta absoluta</i>)	Tomate	Dawsan	Saccharose (100 ppm) et Fructose (100 ppm)	Mhenna (2018) Bendhif (2018)



**Partie II : Etude
Expérimentale**

II.1. Aperçu général sur la wilaya de Batna

Notre travail s'est déroulé dans la wilaya de Batna (**Figures 8 et 9**).

La wilaya de Batna est localisée au nord-est de l'Algérie, dans la région des Aurès, entre les '4' et '7' de longitude Est et '35' et '36' de latitude Nord. Elle couvre une superficie totale de 12 038,76 km², dont 35,11% de cette superficie est réservée pour l'agriculture représentant une superficie de 744 026 ha avec 422 677 ha de surface agricole utile (S.A.U.); où 11 840,14 ha occupée par l'arboriculture (**DSA, 2019**). Elle est délimitée (**Figure 9**):

- * Au nord, par la wilaya de Mila ;
- * Au nord-est, par la Wilaya d'Oum-El-Bouaghi;
- * A l'est, par la Wilaya de Khenchela;
- * Au sud, par la Wilaya de Biskra;
- * A l'ouest, par la Wilaya de M'Sila;
- * Au nord-ouest, par la Wilaya de Sétif.

II.2. Caractérisations climatiques

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution des êtres vivants, car ces derniers ne peuvent se maintenir en vie qu'entre certaines limites précises des différents facteurs climatiques (**Dajoz, 1996**). Il est le résultat du comportement de l'atmosphère de point de vue humidité, pluie, température, éclaircissement et vent (**Boudy, 1952**). Le cycle évolutif du carpopapse et assez rigoureusement soumis aux influences climatiques (**Coutin, 1960**).

Suite à l'absence d'une station météorologique au niveau des régions d'études choisies, nous avons utilisées les données climatiques qui proviennent de la station météorologique de la wilaya de Batna sise à l'Aéroport Ben Boulaïd avec les coordonnées suivantes: altitude 827 m entre 35,75° Nord et 6,31° Est.

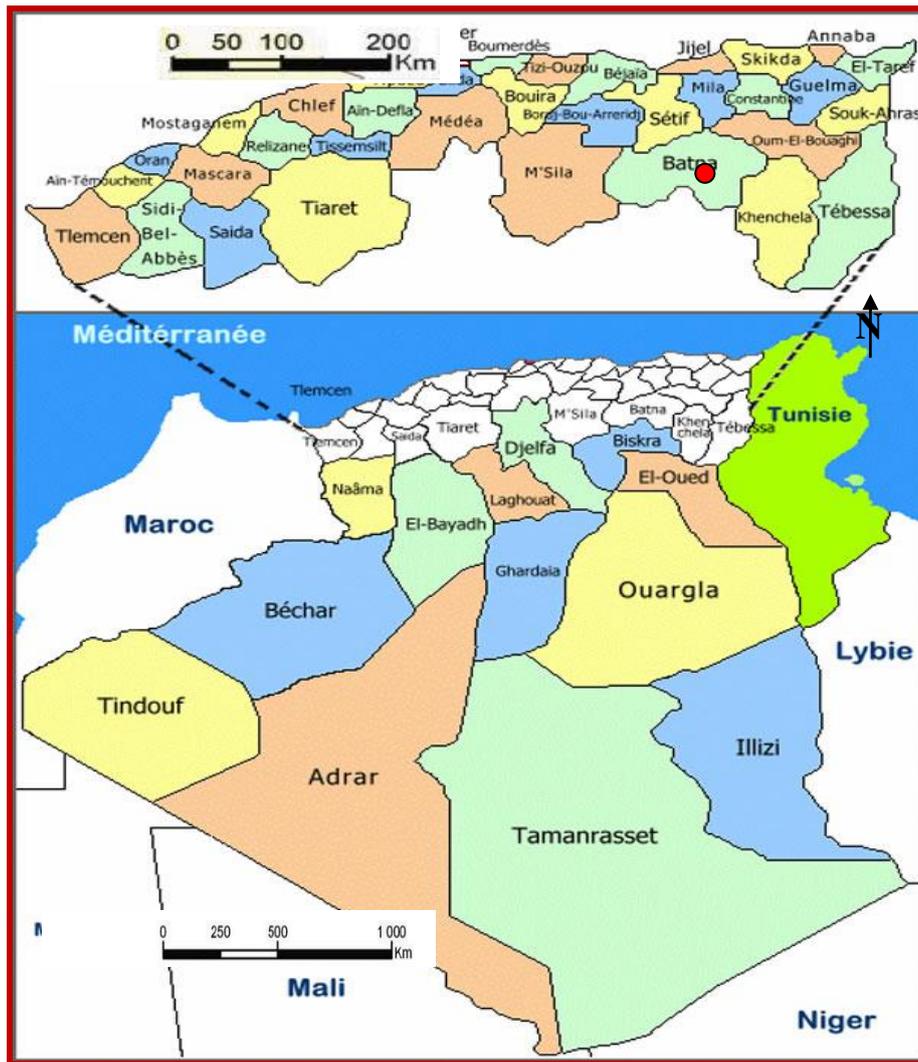


Figure 8: Localisation de la wilaya de Batna (Source : <http://www.carte-algerie.com/carte-algerie-departement.html>)

II.2.1. Températures

D'après le tableau (6), des températures moyennes mensuelles d'une période de 39 ans, il ressort que notre région d'étude se caractérise par un été chaud et un hiver froid. La température moyenne oscille entre 5,6°C et 26,9°C, avec un maximum de 34,96°C enregistré au mois de juillet et une moyenne des minima la plus faible de l'ordre de 0,48 °C enregistré au mois de janvier.

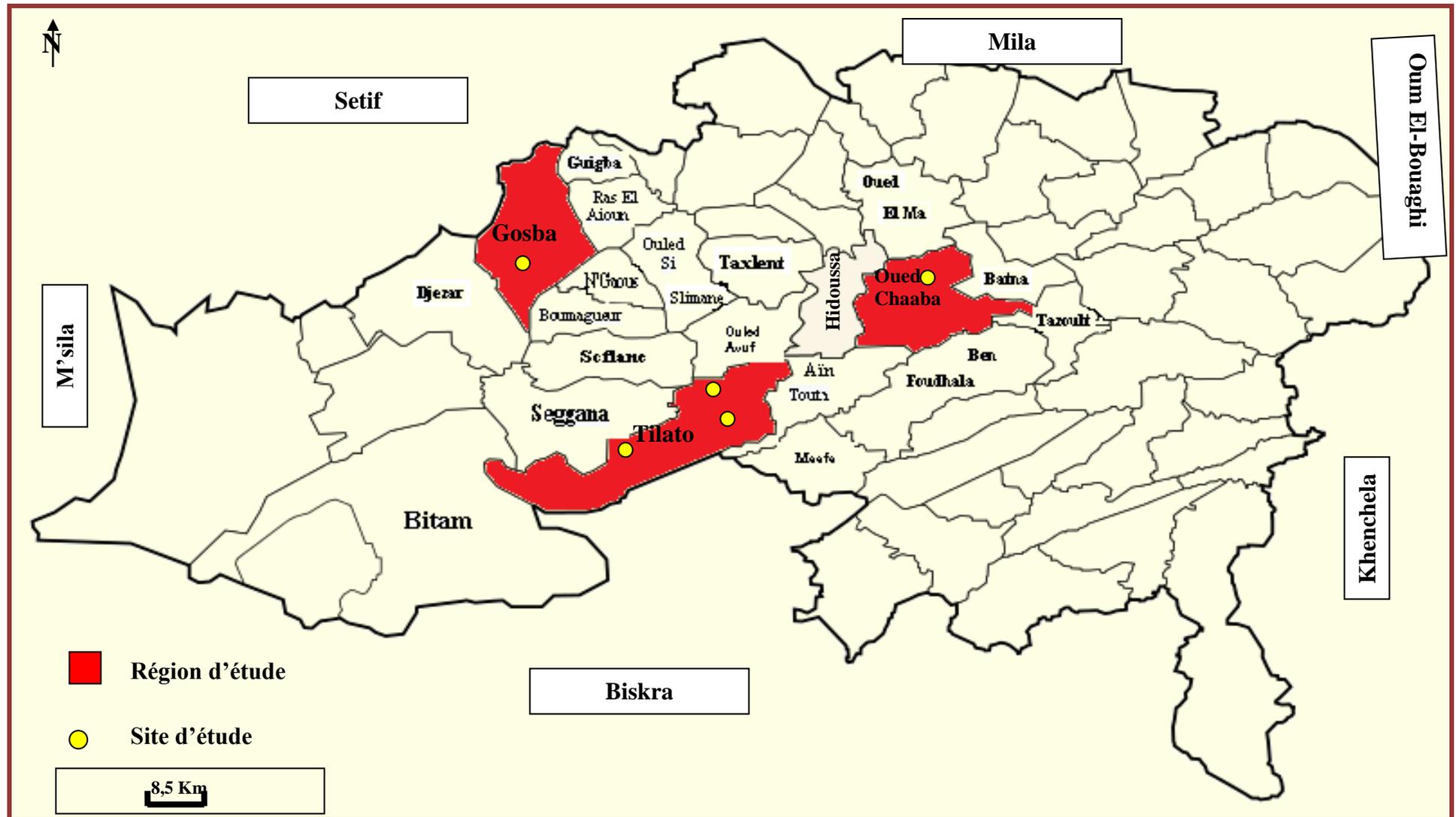


Figure 9: Situation et limites des sites d'étude dans wilaya de Batna (DSA, 2019).

Tableau 6: Températures mensuelles moyennes (°C) enregistrées au cours de la période 1980-2019 dans la région de Batna

Mois	W. de Batna (1980/2019)		
	T. max.	T. min.	T. moy.
Janvier	11,41	0,48	5,6
Février	13,04	1,01	6,9
Mars	16,23	3,29	9,8
Avril	19,72	5,84	13
Mai	25,19	9,77	17,8
Juin	31,18	14,48	23,3
Juillet	34,96	17,63	26,9
Août	34,45	17,43	26,3
Septembre	28,86	14,30	21,5
Octobre	23,48	9,98	16,6
Novembre	16,71	4,95	10,6
Décembre	12,33	1,48	6,6

(Station météo Ain skhouna, Batna, 2022)

T° Max. : Températures maximales mensuelles,

T° Min. : Températures minimales mensuelles,

T° moy. : Températures moyennes mensuelles.

II.2.2. Pluviométrie

Le tableau 7 présente les valeurs des précipitations pluviométriques moyennes mensuelles enregistrées dans les régions d'études.

Tableau 7: Moyennes mensuelles des pluies en (mm) enregistrées dans la région de Batna au cours de la période 1980-2019

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Batna (1980/2019)	34,88	24,91	34,74	39,18	37,32	20,68	6,92	14,55	54,64	24,88	25,35	30,63	348,69

(Station météo Ain skhouna, Batna, 2022)

Le tableau 7 montre que les pluies mensuelles sont irrégulières et la moyenne annuelle est estimée à 348,69 mm dans la région de Batna durant la période 1980/2019. Le mois de Septembre est le plus pluvieux avec 54,64 mm et le mois le plus sec est le mois de juillet avec 6,92 mm.

II.2.3. Synthèse climatique

La synthèse climatique consiste à déterminer la période sèche et la période humide par le biais du diagramme ombrothermique de Gausсен (1953) ainsi que l'étage bioclimatique des régions d'étude grâce au climagramme pluviothermique d'Emberger (1955).

II.2.3.1. Diagramme ombrothermique de Gausсен

La figure 10 présente la synthèse climatique de la région de Batna pour la période allant de 1980 à 2019. La période qui s'étend entre les deux courbes correspond à la durée de la période sèche.

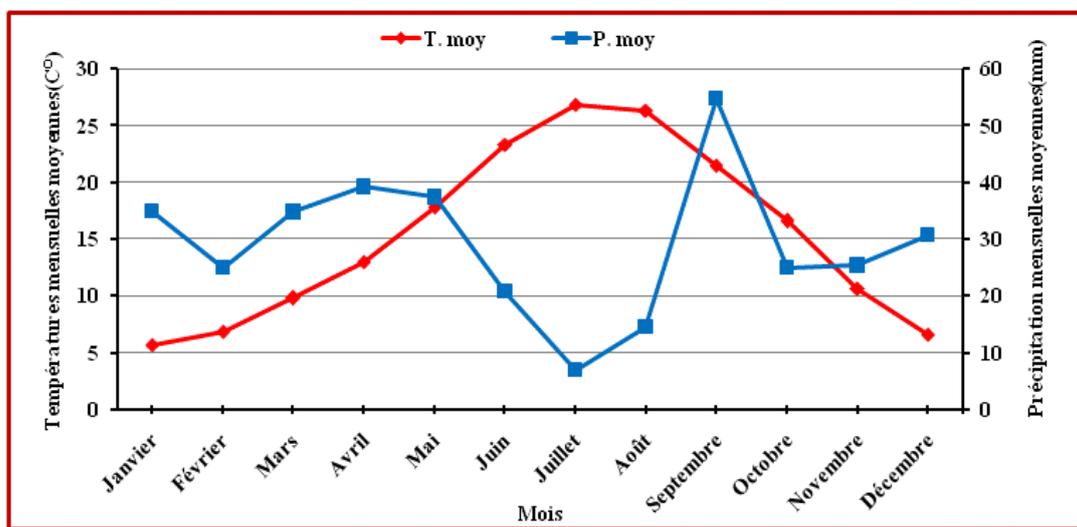


Figure 10: Diagramme Ombrothermique de la région de Batna pour la période 1980/2019.

Suivant le traitement des données récoltées de la région d'étude, le diagramme ainsi élaboré met en évidence la présence de deux périodes bien distinctes pour la région d'étude, l'une humide s'étalant sur environ 6 mois (de la fin du Mois d'octobre jusqu'au le début de mai), et l'autre sèche du mois de mai jusqu'à la fin du mois d'octobre (**Figure 10**).

II.2.3.2. Climagramme d'Emberger

Pour déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude, nous avons utilisé le quotient pluviométrique (Q_2) amélioré par STEWART et donné par la formule suivante :

$$Q_2 = 3.43 P / M - m$$

Q_2 : Quotient d'Emberger;

P : Précipitation moyenne annuelle;

M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud;

m : Température moyenne des minima du mois le plus froid;

Pour une approche bioclimatique, les données climatiques utilisées, de la région de Batna durant la période allant de 1980 à 2019, sont rassemblées dans les tableaux (6 et 7). Avec : $P = 348,69$ mm ; $M = 34,96^{\circ}\text{C}$ et $m = 0,48^{\circ}\text{C}$.

La valeur de ce quotient est de **34,68** pour la région de Batna.

En rapportant cette valeur sur le climagramme d'Emberger (**Figure 11**); il ressort que notre région d'étude est située dans l'étage bioclimatique **semi-aride à hiver frais**.

II.3. Aperçu sur les sites d'étude

II.3.1. Premier site

Le travail que nous avons réalisé a eu lieu au niveau d'une exploitation située au lieu dit Lakhlij qui se trouve à environ à 7 km, du chef lieu de la commune de Gosbat.

L'exploitation s'étend sur une superficie de 4 ha, occupée par plusieurs espèces fruitières, implantées en 2003, au niveau de Micheta Lakhlij. Le verger est irrigué par un réseau de goutte à goutte, alimenté par un bassin d'eau d'une capacité de 1000 m³, et un forage. Notons la présence d'autres cultures comme : les cultures maraichères (piment, tomate) et les cultures fourragères. Le pommier est l'espèce dominante (280 arbres), en plus de l'abricotier (170 arbres) et l'olivier (170 arbres) avec des distances de plantation pour le pommier et l'abricotier de 4m x 4m) et pour l'olivier est 7m x 7m (**Figure 12**).

II.3.1.1. Présentation du verger et de la parcelle d'étude

Les essais sont réalisés dans une parcelle **35°37'08.3''Nord 5°24'35.4''Est** qui comporte 50 arbres de la même variété Anna en forme de Gobelet (**Figures 12 et 13**). Les techniques culturales réalisées au niveau de verger sont :

- Le désherbage manuel.
- La taille est pratiquée chaque année au mois de décembre (appliquée à la fin du mois de janvier durant notre année d'étude (2017)).
- Le ramassage et l'incinération du bois taillé.
- Les traitements phytosanitaires : l'application de l'insecticide chimique KARATE K (5 EC) contre le puceron vert, le puceron cendré et le carpocapse. Cependant, aucun traitement chimique n'a été fait durant notre période d'expérimentation.
- La fertilisation par engrais ou fumier d'ovins dans les cuvettes des arbres à raison de deux kg de fumier par arbre et 0.5 Kg pour l'engrais N.P.K.
- L'irrigation est pratiquée par goutte à goutte, elle est effectuée uniquement l'été chaque 2 jours.

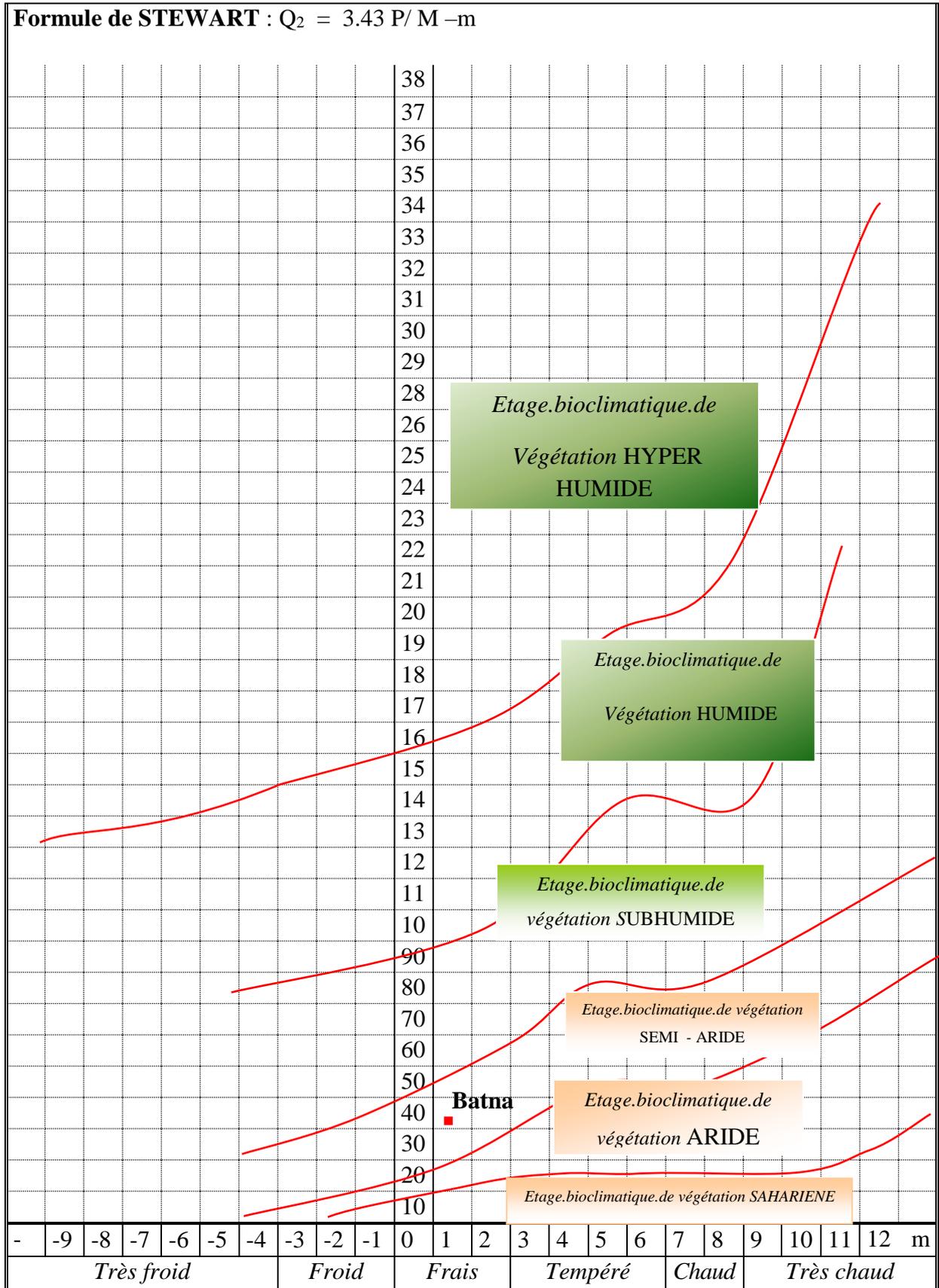


Figure 11: Situation de la région de Batna dans le Climagramme d’Emberger.

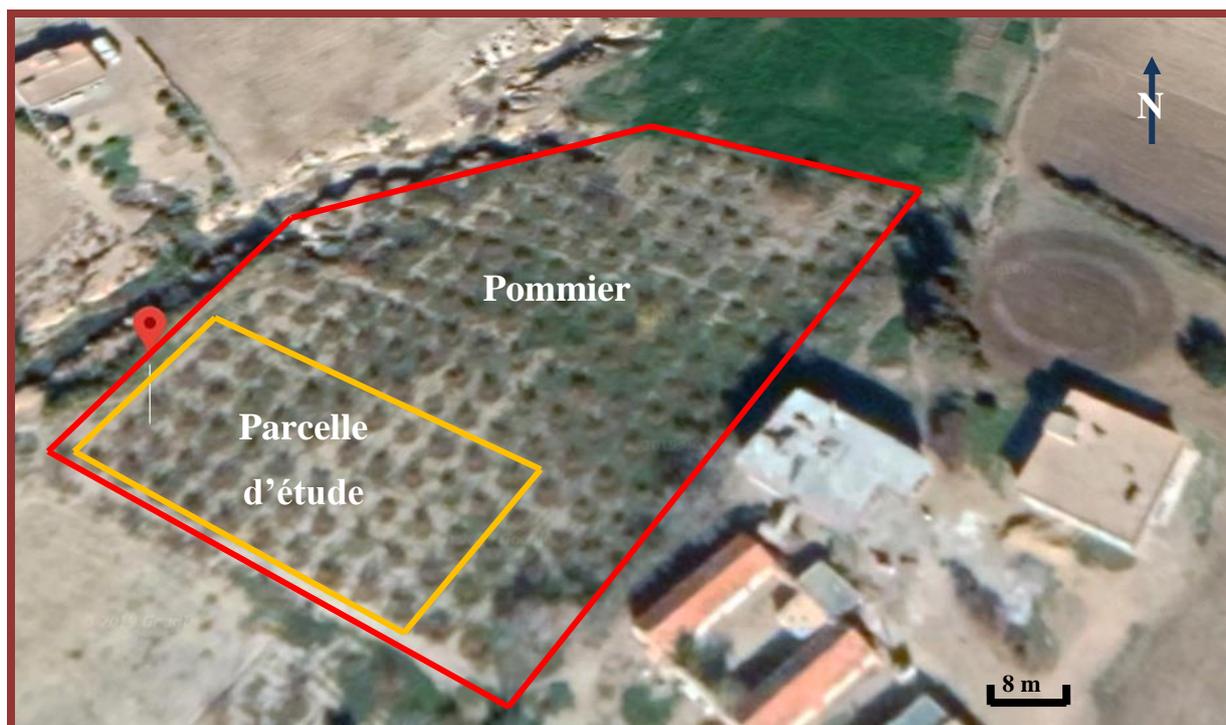


Figure 12: Plan du verger d'étude (Verger Gosbat) (Google Earth, 2019).



Figure 13: Vue générale de la parcelle d'étude (Verger Gosbat) au mois d'Avril (Photo personnelle, 2020).

II.3.2. Deuxième site

Notre travail s'est déroulé au niveau d'une exploitation située dans la commune d'Oued Chaâba (Lambiridi), à 10 km de la ville de Batna.

Elle appartient à l'arboriculteur Mr. **Benflis Touhami**, localisée au sud-ouest du territoire communal, à environ 390 m par rapport au chef-lieu de la commune et 8,4 km par rapport au chef-lieu de la wilaya. C'est une exploitation située à **35°30'30.0''Nord 6°04'33.9''Est** et à 300 m de la route nationale N° 3 et en face de la route nationale n°77 reliant Batna à Oued Chaâba. Au niveau de cette exploitation, on trouve deux types de cultures : cultures maraichères et fruitières. L'irrigation est effectuée, à partir d'un bassin d'eau d'une capacité de 1500 m³. Le verger de pommier est âgé de 27 ans, avec un nombre total d'arbres de 252, dont 120 arbres de la variété Golden Delicious et 132 arbres de la variété Starkrimson (**Figure 14**).

Parmi les techniques culturales réalisées au niveau du verger, nous citons :

- Le désherbage manuel;
- La taille pratiquée chaque deux années (l'année d'étude, une taille très sévère a été pratiquée à la fin du mois de Février) ;
- Le ramassage et l'incinération du bois taillé ;
- L'épandage de fumier de bovin (pendant la période d'étude, un apport a été effectué au mois du Novembre, à raison de 2 Kg pour chaque arbre) ;
- L'irrigation pratiquée par submerssion, une fois par mois en hiver et chaque 8 jours en été.
- Les traitements phytosanitaires à base des huiles jaunes (traitements d'hiver) ainsi que l'utilisation périodique de quelques produits chimiques comme : Karate Zeon, Cobra, Calypso et Decis surtout contre le carpocapse et les pucerons ; Techn'acid SL contre les acariens. La parcelle d'étude n'a subit aucun traitement phytosanitaire pendant l'année d'étude 2017.

II.3.2.1. Présentation de la parcelle d'étude

Notre travail a été effectué sur la variété Starkrimson, greffée sur un porte-greffe vigoureux (MM 106). La distance de plantation est 4m x 4m (**Figure 15**). La parcelle expérimentale comprend 50 arbres répartis sur 05 lignes avec 10 arbres sur chaque ligne.

II.3.3. Troisième site

L'expérimentation est mise en place dans deux exploitations de pommier situées dans la région de Tilatou, qui se trouve à 45 km au sud-ouest de la ville de Batna et à une altitude de 900 m, durant les campagnes 2016/2017, 2017/2018 et 2018/2019.



Figure 14: Plan du verger d'étude (Verger Oued Chaaba) (Google Earth, 2019)



Figure 15: Vue générale de la parcelle d'étude (Verger Lambiridi) au mois de Mai (Photo personnelle, 2020)

II.3.3.1. Présentation des exploitations

La première exploitation appartient à monsieur **Hadouchi Ali** et située à **35°19'51.4"** Nord, **5°47'54.7"**Est, occupe une superficie d'environ 02 hectares. Elle contient les espèces

suivantes : pommiers, poiriers, abricotier, olivier, grenadier et quelques arbres de figuier. Elle est conduite en irrigué par le système gravitaire. Notons aussi la présence d'un bassin d'eau d'une capacité de 1000 m³ (**Figure 16a**). Les travaux du sol, désherbage, l'enfouissement des mauvaises herbes et la taille ne sont pas pratiqués. La fertilisation (à base de fumier de bovins), et des traitements phytosanitaires appliqués seulement en présence des ravageurs (pucerons et carpocapse) ou des maladies notamment la tavelure. Les produits chimiques utilisés auparavant sont: Karate Zeon, Calypso et Decis (durant l'année d'étude aucun traitement phytosanitaire n'a été appliqué).

La deuxième exploitation appartient à monsieur **Mebarki** et située à **35°19'25.7"** Nord **5°48'09.1"** Est. En plus du pommier, des cultures maraichères et l'olivier sont également cultivés dans cette exploitation. Elle est conduite en irrigué par le système gravitaire (**Figure 16b**). Le verger ne bénéficie d'aucun traitement phytosanitaire. Un désherbage manuel est effectué au printemps et une irrigation à raison d'un apport chaque mois en hiver et tous les 5 jours en été.

II.3.3.2. Présentation des parcelles d'étude

Nous avons choisi deux parcelles pour notre étude : la première exploitation, comporte la variété Anna greffée sur le porte-greffe (MM 106). La distance de plantation est 4m x 4m correspondant à une densité de plantation d'environ 600 plants/ha, les arbres sont conduits en forme libre. Le nombre de plants retenu de cette variété pour notre essai est de 76 plants repartis sur 04 lignes avec 19 plants par ligne pour la première parcelle et 50 plants repartis sur 05 lignes avec 10 plants par ligne pour la deuxième parcelle (**Figures 17 a et b**).

La deuxième exploitation comporte la variété Golden Delicious greffée sur le porte-greffe (MM 106). La distance de plantation est de 04m x 04m ce qui correspond à une densité de plantation de 600 plants/ha, les arbres sont conduits en forme Gobelet. Le nombre de plants retenu de cette variété pour notre essai est de 50 plants répartis sur 05 lignes avec 10 plants sur chaque ligne (**Figure 18**). Le nombre total des plants de pommier est 107 plants.

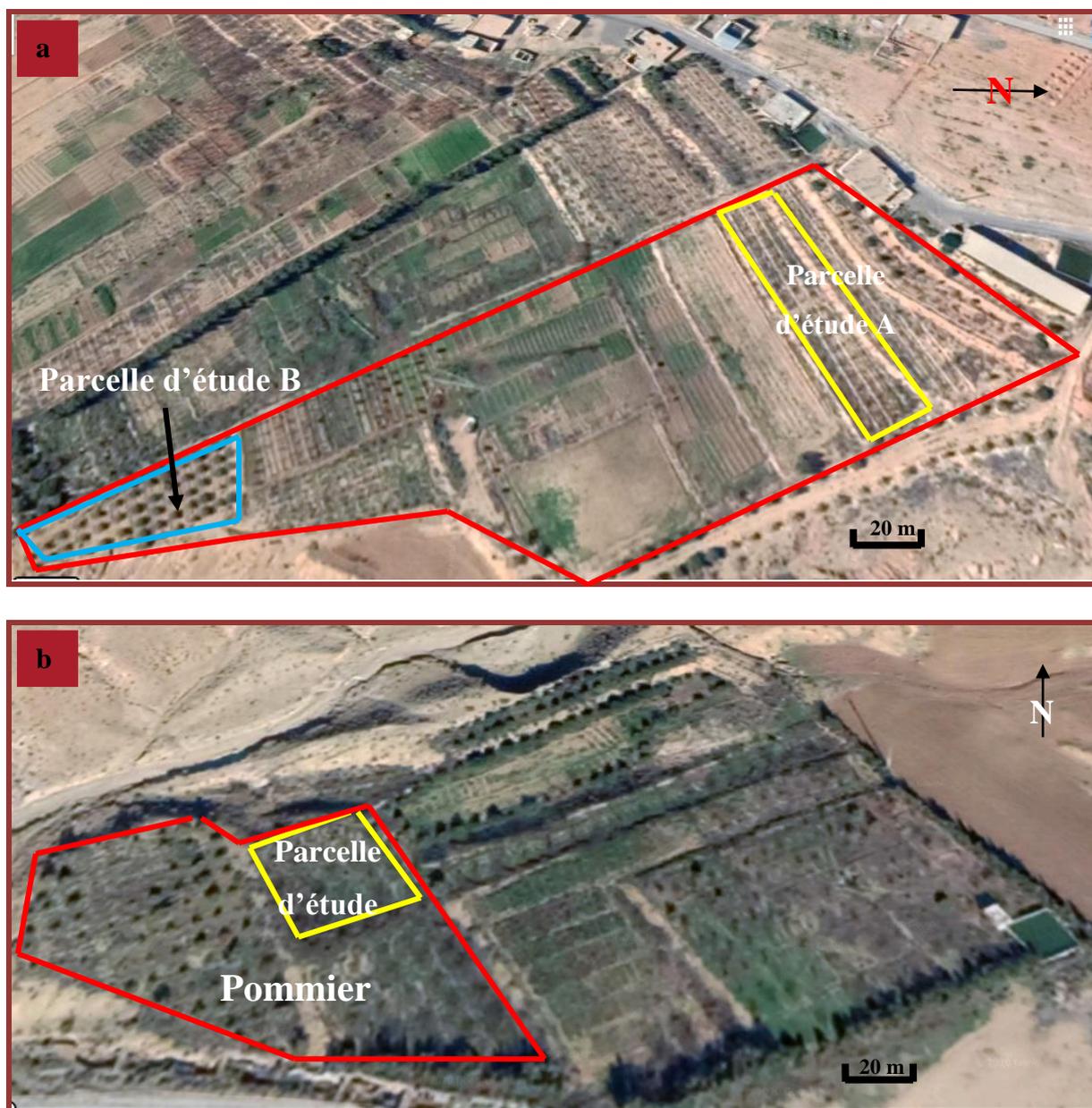


Figure 16: Plan du verger d'étude : (a) de la variété Anna et (b) de la variété Golden Delicious (Verger Tilatou) (Google Earth, 2019).

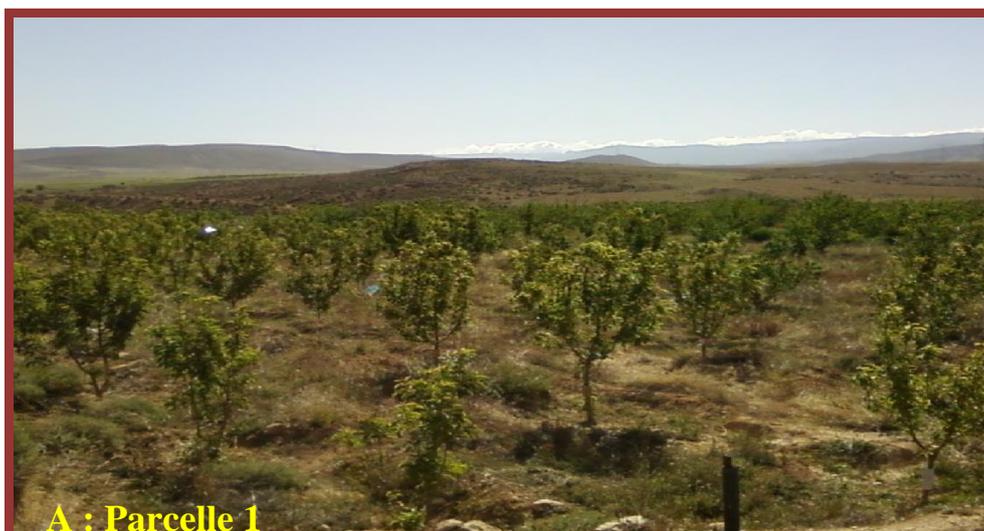


Figure 17: Vue des parcelles d'étude au mois de Mai, Variété Anna (Vergers Tilatou) (Photos personnelles, 2020).



I.4. Matériel et méthodes

II.4.1. Matériel expérimental

II.4.1.1. Matériel végétal

Trois variétés de pommier, les plus cultivées au niveau des régions d'étude, Anna, Golden Delicious et Starkrimson sont choisies (**Annexe 1**), selon la disponibilité et les facteurs influant notre choix du site.

II.4.1.2. Matériel de pulvérisation

Pour réaliser les différents traitements, nous avons utilisé des pulvérisateurs à dos (Matériel Principal : Plastique, Source d'énergie : Pression, Type: Compression à Main, Pression d'utilisation : 0.2 – 0.4 Mpa,) (**Figure 19**), d'une capacité de 20 - 25 et 16 litres et à raison d'un pulvérisateur par modalité (pour éviter le risque de contamination du sucre). La pulvérisation, sur l'écorce de l'ensemble de l'arbre, devrait permettre la pénétration du sucre dans la plante (**Derridj et al., 2009**). Le volume de bouillée est adapté au niveau de développement végétatif afin d'assurer un bon mouillage de la végétation (**Ferré, 2008, Arnault et al., 2021**).



Figure 19: Matériel de traitement (**Photo personnelle, 2021**).

I.4.1.3. Bandes pièges

En parallèle, des bandes-pièges ont été utilisées afin d'évaluer les larves diapausantes en fin de saison. Ces bandes comportent deux feuilles de cartons ondulés, superposées et recouvertes d'un grillage de polyéthylène. Les trois couches sont rendues solidaires par un fil de fer et le grillage a pour but d'empêcher les oiseaux de se nourrir des larves. Les bandes-pièges sont disposées à la base des troncs des arbres choisis pour tous nos essais, près du sol

(Figure 20), les bandes pièges ont été déposées au mois de mai et retirées au mois de novembre de chaque année durant toutes les années d'étude.

Un matériel supplémentaire a été également utilisé tels que :

- Des tubes de conservation de produits de traitements et des sucres préalablement pesé, pour la quantité d'eau pulvérisée.
- Des tubes en plastique pour la conservation des larves recueillies des cartons ondulés (Figure 21).



Figure 20: Bande piège recouverte par un grillage sur le tronc de l'arbre (Photo personnelle, 2021).

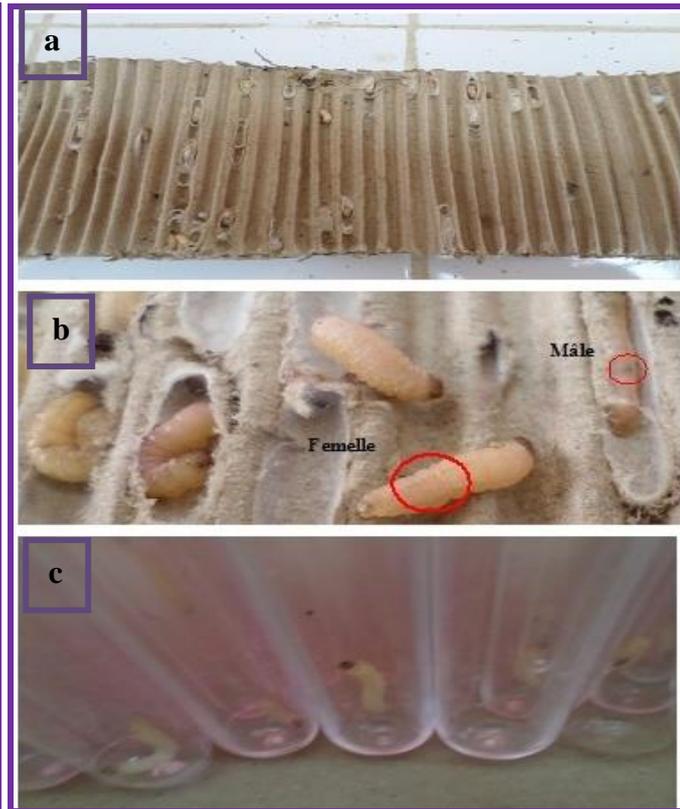


Figure 21: Larves diapausantes : (a) et (b) dans une bande piège déchirée, (c) dans des tubes en plastique (Photos personnelles, 2021)

II.4.2. Méthodologie de travail

II.4.2.1. Objectif

Les objectifs de cette étude visent à : (i) tester l'effet de la pulvérisation des infra-doses de sucres de commerce sur le taux d'infestation par le carpocapse au cours de trois années d'étude, (ii) évaluer l'intérêt de l'utilisation des infra-doses de sucres de laboratoire (saccharose et fructose) seuls à une dose de 100 ppm (=100 parties par million=10g pour

100L), en mélange ou en alternance à une dose de 50 ppm et 100 ppm et (iii) voir l'effet de l'application des sucres (seuls, en mélange ou en alternance) à différentes heures dans la journée : tôt, avant 07h00, au milieu de la journée (10h00- 12h00) et tard (16h00- 18h00) sur les attaques de *C. pomonella*, ainsi que le nombre des larves capturées dans les bandes-pièges, sur les variétés : Anna, Golden Delicious et Starkrimson.

Les essais comportent un témoin traité avec de l'eau (essais de 2017 jusqu'à 2019) en se référant à plusieurs études citons par exemples : **Buès *et al.*, (2003)**; **Ondet et Salva (2005)**; **Derridj (2009)**; **Bellerose *et al.*, (2011)**; **Bernard *et al.*, (2012)**; **Deland *et al.*, (2014)**; **Thireau *et al.*, (2016)**; **Anonyme (2018)** et **Blanco (2019)**.

II.4.2.2. Critères de choix des sites

Le choix des sites est basé principalement sur la présence des dégâts causés sur la production de l'année précédant notre étude, d'une part, ainsi que la déclaration du propriétaire du verger, d'autre part. D'autres facteurs ont été pris en compte, pour le choix, comme la sécurité, le nombre suffisant d'arbres pour l'essai, l'homogénéité variétale au sein de la parcelle expérimentale choisie, la diversité des variétés de pommier étudiées, l'absence des traitements phytosanitaires au niveau des parcelles durant l'année de l'étude (l'accord de l'agriculteur de ne pas traiter les arbres choisis) et enfin l'état du verger et le mode de conduite.

Le principe de la méthode repose sur l'induction d'une résistance systémique du végétal à un bio-agresseur par une application foliaire des sucres (hexose : glucose, fructose et oligosaccharide : saccharose) à des doses infimes de l'ordre de ppm selon un protocole très précis basé sur :

- des études de laboratoire (INRA Versailles, Sylvie Derridj) sur la pyrale du maïs (**Derridj *et al.*, 1986 ; 1989; Derridj, 2009; 2010; Ondet et Gorski, 2015**).
- des études au laboratoire et en verger sur le carpocapse des pommes et poires (**Lombarkia, 2002 ; Lombarkia et Derridj, 2008 ; Arnault, 2013**)
- des articles sur le rôle des sucres dans la vie de la plante (**Bolouri Moghaddam et Van den Ende, 2012 ; 2013**).

II.4.2.3. Traitements par les sucres

Les sucres sont appliqués dès la fin de la floraison (pour les essais de 2017 jusqu'à 2019) jusqu'à la récolte, tous les 21 jours (**Derridj, 2009; 2010; Ondet et Gorski, 2015**;

Arnault et al., 2021). Appliqués immédiatement après sa préparation, la bouillie de sucre constitue un signal qui agit en quelques heures, avec des effets sur plusieurs jours positionnement/intempéries (**Derridj, 2013**). L'application constitue un signal qui induit une résistance partielle à l'insecte, systémique et de type antixénose (non préférence) avant l'attaque de la plante et des phénomènes complexes liés aux voies de signalisation des sucres; visibles par l'analyse du métabolome des tissus et de surface et par l'activation de certains gènes (**Derridj, 2013**). L'avantage d'une induction d'un signal systémique rapide ainsi que son impact sur une période relativement longue (20 à 21 jours) facilitent la mise en place du traitement tout au long du parcours phytosanitaire et dépendent moins des jours de pluie pour les applications (**Derridj, 2009 ; Ondet et Gorski, 2015 ; Arnault et al., 2016b**).

Notons qu'avant d'entamer les traitements, les arbres ont été marqués à l'aide des rubans colorés, qui sont disposés autour de la base des troncs près du sol et/ou sur les branches des arbres, pour les repérer et faciliter les traitements suivant les différentes modalités de l'essai (**Figure 22**).

II.4.2.4. Présentation des paramètres testés

II.4.2.4.1. Types et doses des sucres

Le choix des sucres à tester s'est porté sur les sucres de laboratoire (le saccharose et le fructose) et les sucres de commerce (saccharose et fructose) à cause de leur faible coût et du gain potentiel important du rapport efficacité /coût du traitement.

Les Sucres de laboratoire utilisés dans l'expérimentation sont le saccharose et le fructose (ceux utilisés pour les analyses chimiques). Le sucre provient de société Sigma-Aldrich (pureté 99%).

Les Sucres achetés dans le commerce utilisés sont le sucre blanc constitué à 99,9 % de saccharose (**Arzate, 2005**), qui adouci notre café il s'agit du produit de la canne à sucre ou de la betterave à sucre (**O'donohue, 2008**), et le D-fructose (**Ondet et Gorski, 2015; Ondet, 2016**) présent dans la plupart des aliments, est essentiellement produit par l'hydrolyse de saccharose à partir de betteraves, de cannes à sucre, ou de l'amidon des grains de maïs. Ce dernier est obtenu aussi à partir de fruits déclassés c'est-à-dire non conformes aux critères de l'industrie alimentaire (calibre, aspect, etc.) (**Lilian, 2010**). Les sucres proviennent de la société Cevital, et les caractéristiques de ce produit utilisé sont résumées en annexe 2.

Deux doses (50 et 100 ppm) ont été expérimentées. Des études réalisées sur la pulvérisation des sucres (saccharose, fructose, glucose) sur des plantes fruitières et légumières, de l'ordre de 0,1g à 10g/100L, contre différents bio-agresseurs : pyrale de maïs,



Figure 22: Marquage des arbres des vergers d'études par des rubans colorés au mois de Mai
(Photos personnelles, 2021).

carpocapse et maladies comme oïdium de melon, botrytis et pourriture grise, révèlent plus d'efficacité à des doses très faibles par rapport à des doses supérieures à 100 ppm (Ferré, 2008; Derridj, 2009; 2010; 2013). Notons que l'augmentation des doses au-dessus de 100ppm (10g pour 100L) n'augmente pas les effets d'induction de résistance et même parfois les annule et présente l'inconvénient d'avoir des effets secondaires comme la prise de nourriture des insectes et pourraient avoir une influence directe sur la flore épiphytique ou la phase épiphytique de certains pathogènes avant la contamination, sur les bio-agresseurs à la surface des plantes (Derridj *et al.*, 2011a; Arnault *et al.*, 2016b).

II.4.2.4.2. Variété

Les trois variétés testées au cours de cette étude sont celles les plus cultivées dans les régions d'étude à savoir : Anna, Golden Delicious et Starkrimson. Le tableau en annexe 1 illustre les caractéristiques des variétés étudiées.

II.4.2.4.3. Heures d'application

Le protocole initial exige l'application du sucre très tôt le matin, avant le début de la photosynthèse (**Derridj, 2009 ; 2010**). Selon le même auteur ; à ce moment là la feuille contient naturellement moins de sucres (l'apoplaste ou espace intercellulaire est pauvre), ce qui favorise leur pénétration et modifie les équilibres à la surface de la plante et induit une résistance systémique par un signal « sucre ». Par la suite la femelle du carpocapse reconnaît mal le végétal traité et n'y dépose pas ses œufs (**Lombarkia et Derridj, 2008; Derridj, 2009**).

Les traitements dans nos essais sont effectués à différentes heures dans la journée : tôt (avant 07h00), tard dans la journée (à partir de 16h00), où l'apoplaste est pauvre et au milieu de la journée (entre 10h00 et 12h00), c-à-d au pic de la photosynthèse. Ces quantités sont déjà présentes à la surface des plantes au milieu de la journée, en quantité de l'ordre de 1 à 100 ng par cm² (**Derridj, 2010**). Sachant, que les quantités des sucres sont plus faibles la nuit et remontent progressivement jusqu'à leur maximum entre 12 et 15 heures solaires (**Derridj, 2009**).

II.4.2.5. Variables observées

Les observations se sont portées sur les fruits dans chaque parcelle élémentaire (les fruits examinés sur l'arbre ainsi que les fruits tombés à terre). Au cours de la saison, on a examiné les fruits tombés à terre sous les arbres repérés, après chaque examen ces fruits sont retirés de l'essai car les pommes pourrissent et l'on ne voit plus les dégâts dus au carpocapse (**Derridj et al., 1999**). Pour l'ensemble des fruits restant sur l'arbre, la notation a été effectuée à la récolte. Pour certains essais, la date de la récolte étant trop tardive ou encore précoce, ce qui revient aux conditions climatiques de la région et à l'agriculteur qui décide de la date de récolte selon l'objectif tracé (conditionnement ou consommation directe des fruits après la récolte).

II.4.2.6. Méthodologie par site

A. Effet de la pulvérisation des infra-doses de sucres de commerce sur le taux d'infestation par le carpocapse au cours des trois années d'expérimentation

A.1. Dispositif expérimental

L'expérimentation est mise en place dans un verger de pommier (variété Anna, Parcelle 2), situé dans la région de Tilatou au cours de la période allant de 2017 jusqu'à 2019. Les essais sont basés sur un plan expérimental en blocs de Fisher randomisés à 4 répétitions. Toutes les modalités (quatre dans la parcelle 2) sont ensuite réparties de manière aléatoire à l'intérieur de chacun des blocs (4) et chaque bloc comporte 12 arbres (**Tableau 8**).

Tableau 8: Dispositif expérimental (Variété Anna, Parcelle 2)

I 1	II 3	III 2	IV 4
I 2	II 1	III 4	IV 3
I 3	II 4	III 1	IV 2
I 4	II 2	III 3	IV 1

Les chiffres romains représentent les différents blocs et les chiffres arabes correspondent aux modalités. Où : (1) : Témoin, (2) : SacC « saccharose de commerce » (100ppm), (3) : FrucC « fructose de commerce » (100 ppm) et (4) : SacC+FrucC (100ppm).

A.2. Modalités testées et doses utilisées

Les quatre modalités testées ainsi que les doses appliquées pour chaque modalité appliquées au niveau de la parcelle 2, sont représentées dans le tableau 9.

Tableau 9: Modalités testées et doses appliquées (Variété Anna, Parcelle 2)

Année	Modalités	Substance active	Produit formulé	Dose
2017	1	Témoin	Eau	/
	2	SacC	Sucre	100 ppm (10g/100L)
	3	FrucC	Sucre	100 ppm
	4	SacC+ FrucC	Sucre	100 ppm +100 ppm
2018	1	Témoin	Eau	/
	2	SacC	Sucre	100 ppm (10g/100L)
	3	FrucC	Sucre	100 ppm
	4	SacC+ FrucC	Sucre	100 ppm +100 ppm
2019	1	Témoin	Eau	/
	2	SacC	Sucre	100 ppm (10g/100L)
	3	FrucC	Sucre	100 ppm
	4	SacC+ FrucC	Sucre	100 ppm +100 ppm

A.3. Calendrier des traitements

Les applications ont été commencées dès la fin de la floraison au niveau des trois parcelles, tous les 21 jours, jusqu'à la récolte. Les traitements sont réalisés selon un calendrier indiqué en annexe 3.

A.4. Epoques des observations

Les observations portent sur le dénombrement des fruits attaqués par le carpocapse à la récolte et ceux tombés à terre. Selon **Charmillot et Höhn (2004)** ; **Hmimna (2007)** ; **Ricci et al., (2007)**, les dégâts des fruits examinés sont classés en 3 catégories : dégâts actifs (a), stoppés (b) et cicatrisés (c) (**Figure 23**).

B. Evaluation de l'intérêt de l'utilisation des infra-doses de sucres de laboratoire seuls, en mélange ou en alternance dans la lutte contre *C. pomonella* (L.).

B.1. Dispositif expérimental

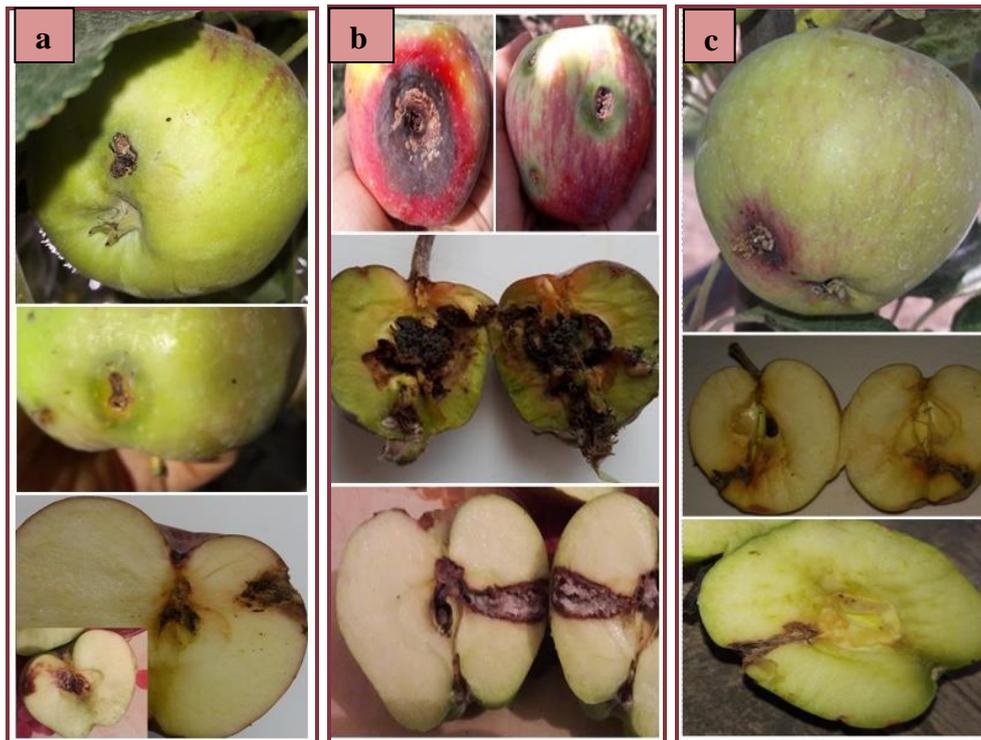
Au cours de la période allant de 2017 jusqu'à 2019, l'expérimentation est mise en place au sein de deux parcelles avec deux variétés de pommier (Anna et Golden Delicious), situées dans la région de Tilatou. Les essais sont basés sur un plan expérimental en blocs de Fisher randomisés à 4 répétitions (Variété Anna, Parcelle 1). Les cinq modalités sont ensuite réparties de manière aléatoire à l'intérieur de chacun des blocs (4) et chaque bloc comporte 15 arbres (**Tableau 10**).

Tableau 10: Dispositif expérimental (Variété Anna, Parcelle 1)

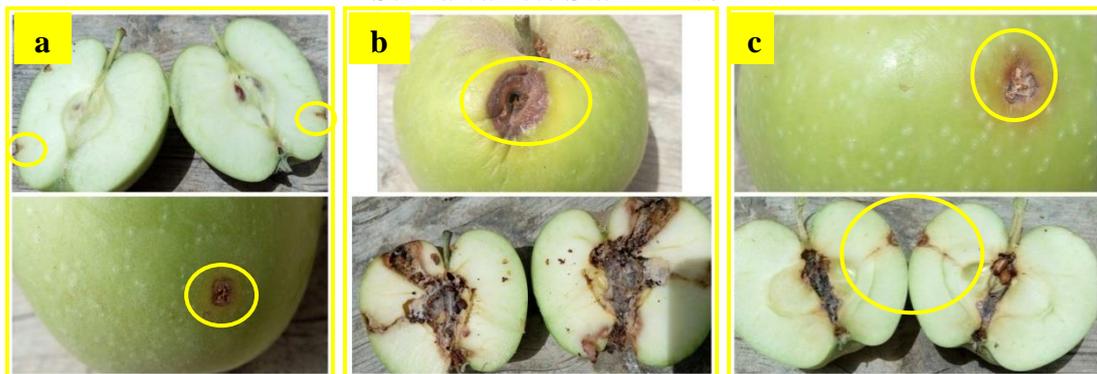
I 1	II 3	III 2	IV 4
I 4	II 2	III 5	IV 3
I 2	II 1	III 4	IV 5
I 5	II 4	III 3	IV 1
I 3	II 5	III 1	IV 2

Les chiffres romains représentent les différents blocs et les chiffres arabes correspondent aux modalités. Où : (1) : Témoin, (2) : SacL (saccharose de laboratoire » (100ppm), (3) : FruL « fructose de laboratoire » (100 ppm), (4) : SacL+FruL (100ppm) et (5) : SacL+FruL (50ppm).

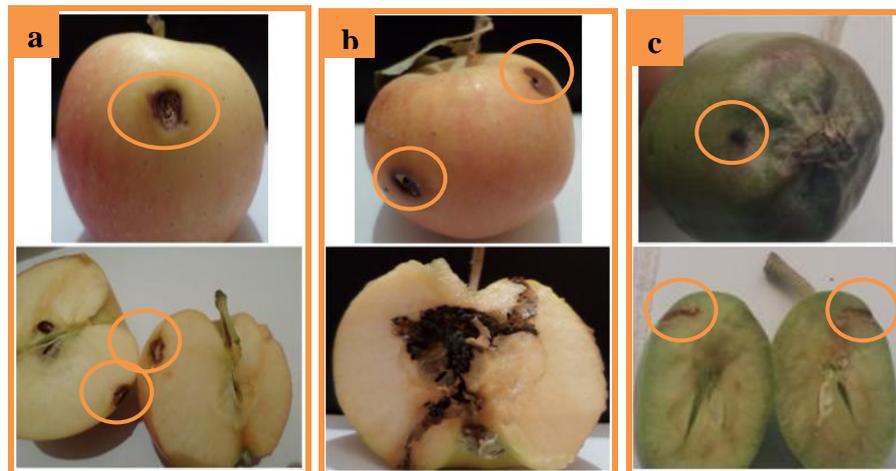
Alors qu'au niveau de la parcelle 3 (Variété Golden Delicious), le plan expérimental adopté est le en carrée latin, à 5 répétitions en 2017 et 2019, où chaque bloc comporte 10 arbres (**Tableau 11**). Toutes les modalités sont ensuite réparties de manière aléatoire à l'intérieur de chaque bloc.



Sur la variété Starkrimson



Sur la variété Golden Delicious



Sur la variété Anna

Figure 23: Différents type de dégâts causés par le carpocapse : (a) : dégât cicatrisé, (b) dégât actif, (c) : dégât stoppé (Photos personnelles, 2021).

Tableau 11: Dispositif expérimental pour les années 2017 et 2019 (Variété Golden Delicious, Parcelle 3)

I 1	II 3	III 2	IV 4	V 5
I 2	II 1	III 4	IV 5	V 3
I 3	II 4	III 5	IV 2	V 1
I 4	II 5	III 1	IV 3	V 2
I 5	II 2	III 3	IV 1	V 4

Les chiffres romains représentent les différents blocs et les chiffres arabes correspondent aux modalités. Où : (1) : Témoin, (2) : FruL+SacL (100ppm), (3) : FruL/SacL (100 ppm), (4) : FruL+SacL (50ppm) et (5) : FruL/SacL (50ppm).

Cependant, en 2018, les essais sont basés sur un plan expérimental en blocs de Fisher randomisés à 5 répétitions. Toutes les modalités (6) sont ensuite réparties de manière aléatoire à l'intérieur de chacun des blocs (5) et chaque bloc comporte 12 arbres (**Tableau 12**).

Tableau 12: Dispositif expérimental pour l'année 2018 (Variété Golden Delicious, Parcelle 3)

I 1	II 3	III 2	IV 4	V 5
I 4	II 2	III 5	IV 3	V 6
I 2	II 1	III 4	IV 6	V 3
I 5	II 4	III 6	IV 1	V 2
I 3	II 6	III 1	IV 5	V 4
I 6	II 5	III 3	IV 2	V 1

Les chiffres romains représentent les différents blocs et les chiffres arabes correspondent aux modalités. Où : (1) : Témoin sans traitement, (2) : Témoin eau, (3) FruL+SacL (100ppm), (4) : FruL/SacL (100 ppm), (5) : FruL+SacL (50ppm) et (6) : FruL/SacL (50ppm).

B.2. Modalités testées et doses utilisées

Les modalités testées ainsi que les doses appliquées pour chaque modalité sont représentées dans les tableaux **13 et 14**, pour les parcelles 1 et 3 respectivement.

B.3. Calendrier des traitements

Les applications sont commencées dès la fin de la floraison au niveau des deux parcelles, tous les 21 jours, jusqu'à la récolte. Les traitements sont réalisés selon le calendrier indiqué dans les tableaux en annexes **4 et 5**.

B.4. Epoques des observations

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les observations portent sur le dénombrement des fruits attaqués par le carpocapse à la récolte et ceux tombés à terre.

Tableau 13: Modalités testées et doses appliquées (Variété Anna, Parcelle 1)

Année	Modalités	Substance active	Produit	Dose
2017	1	Témoin	Eau	/
	2	SacL	Sucre	100 ppm (10g/100L)
	3	FrucL	Sucre	100 ppm
	4	SacL + FrucL	Sucre	100 ppm
	5	SacL + FrucL	Sucre	50 ppm
2018	1	Témoin	Eau	/
	2	SacL	Sucre	100 ppm (10g/100L)
	3	FrucL	Sucre	100 ppm
	4	SacL + FrucL	Sucre	100 ppm +100 ppm
	5	SacL+ FrucL	Sucre	50 ppm+50 ppm
2019	1	Témoin	Eau	/
	2	SacL	Sucre	100 ppm (10g/100L)
	3	FrucL	Sucre	100 ppm
	4	SacL + FrucL	Sucre	100 ppm +100 ppm
	5	SacL+ FrucL	Sucre	50 ppm+50 ppm

Tableau 14: Modalités testées et doses appliquées (Variété Golden Delicious, Parcelle 3)

Année	Modalités	Substance active	Produit	Dose
2017	1	Témoin	Eau	/
	2	FrucL+SacL	Sucre	100 ppm +100 ppm
	3	FrucL/SacL	Sucre	100 ppm/100 ppm
	4	FrucL+SacL	Sucre	50 ppm+50 ppm
	5	FrucL/SacL	Sucre	50 ppm/50 ppm
2018	1	Témoin	Sans traitement	/
	2	Témoin traité	Eau	/
	3	SacL+FrucL	Sucre	100 ppm +100 ppm
	4	FrucL/SacL	Sucre	100 ppm /100 ppm
	5	FrucL+SacL	Sucre	100 ppm +50 ppm
	6	FrucL/SacL	Sucre	50ppm/50 ppm
2019	1	Témoin	Eau	/
	2	FrucL+SacL	Sucre	100 ppm +100 ppm
	3	FrucL/SacL	Sucre	100 ppm/100 ppm
	4	FrucL+SacL	Sucre	50 ppm+50 ppm
	5	FrucL/SacL	Sucre	50 ppm/50 ppm

C. Effet du rythme circadien sur l'utilisation des sucres dans la lutte contre *C. pomonella* (L.)

C.1. Dispositif expérimental

L'expérimentation était mise en place :

Dans trois parcelles appartenant à deux vergers de pommier (variétés Anna et Golden Delicious), situés dans la région de Tilatou, où les essais sont basés sur un plan expérimental en blocs de Fisher et en carré latin (**Tableaux 8, 9, 10, et 11**).

Les parcelles de Gosbat (variété Anna, Parcelle 4) et Lambiridi (variété Starkrimson, Parcelle 5). Au niveau de ces deux parcelles 4 et 5, les essais sont basés sur un plan expérimental en carré latin à 5 répétitions. Chaque bloc comporte 10 arbres (**Tableaux 15 et 16**).

Tableau 15: Dispositif expérimental (Variété Anna, Parcelle 4)

I 1	II 3	III 2	IV 4	V5
I 4	II 2	III 5	IV 3	V1
I 2	II 1	III 4	IV 5	V3
I 5	II 4	III 3	IV 1	V2
I 3	II 5	III 1	IV 2	V4

I, II, III, IV, V : Les chiffres romains représentent les différents blocs,

1, 2, 3, 4, 5 : Les chiffres arabes correspondant aux modalités. Dont : (1) : Témoin, (2) : SacL/SacC (100ppm), (3) : FrucL/FrucC (100 ppm), (4) : SacL/SacC (50ppm) et (5) : FrucL/FrucC (50ppm).

Tableau 16: Dispositif expérimental (Variété Starkrimson, Parcelle 5)

I 1	II 3	III 2	IV 4	V5
I 4	II 2	III 5	IV 3	V1
I 2	II 1	III 4	IV 5	V3
I 5	II 4	III 3	IV 1	V2
I 3	II 5	III 1	IV 2	V4

I, II, III, IV, V : Les chiffres romains représentent les différents blocs,

1, 2, 3, 4, 5 : Les chiffres arabes correspondant aux modalités. Dont : (1) : Témoin, (2) : SacC (100ppm), (3) : FrucC (100 ppm), (4) : SacC (50ppm) et (5) : FrucC (50ppm).

C.2. Modalités testées et doses utilisées

Les modalités testées ici sont le saccharose seul, le fructose seul, le mélange et l'alternance des deux sucres à une dose de 100ppm, pulvérisés à différentes heures dans la journée. Sont représentées dans les tableaux **9, 13 et 14**, pour les parcelles 1, 2 et 3 respectivement. Alors que pour la variété Anna (parcelle 4, Gosbat) et variété Starkrimson (parcelle 5, Lambiridi), Les modalités testées ainsi que les doses appliquées pour chaque modalité sont représentées dans les tableaux **17 et 18** respectivement.

Tableau 17: Modalités testées et doses appliquées (Variété Anna, Parcelle 4)

Modalités	Substance active	Produit	Dose
1	Témoin	Eau	/
2	SacL/ SacC	Sucre	100 ppm/ 100 ppm
3	FrucL / FrucC	Sucre	100 ppm/ 100 ppm
4	SacL/ SacC	Sucre	50 ppm / 50 ppm
5	FrucL / FrucC	Sucre	50 ppm / 50 ppm

Tableau 18: Modalités testées et doses appliquées (Variété Starkrimson, Parcelle 5)

Modalités	Substance active	Produit	Dose
1	Témoin	Eau	/
2	SacC	Sucre	100 ppm (10g/ 100L)
3	FrucC	Sucre	100 ppm (10g/ 100L)
4	SacC	Sucre	50 ppm (5g/ 100L)
5	FrucC	Sucre	50 ppm (5g/ 100L)

C.3. Calendrier des traitements

Au niveau des parcelles d'étude, les applications ont duré de la fin floraison jusqu'à la récolte, avec un intervalle de 21 jours. Les traitements sont réalisés selon le calendrier indiqué dans les tableaux annexes 3, 4, 5, 6 et 7.

II.4.2.7. Paramètres étudiés

1. Le pourcentage moyen des fruits attaqués et tombés à terre.
2. Le pourcentage moyen des fruits attaqués récoltés par arbre.
3. Type de dégâts : pourcentage moyen des fruits attaqués à la récolte.
4. Le nombre moyen de larves diapausantes.
5. L'efficacité des traitements est calculée grâce à la formule d'**Abbott (1925)** :

$$\text{Efficacité} = 100 \times ((T^{\circ} - T_t) / T_t).$$

Dont T° : % total des fruits attaqués dans le lot Témoin, T_t : % total des fruits attaqués dans le lot traité.

II.4.3. Analyse statistique

La comparaison des pourcentages moyens des fruits attaqués par arbre à la récolte, les fruits tombés à terre, le nombre moyen des larves diapausantes, et l'efficacité des traitements abbott; ont été analysés par une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur suivi par un test de Fisher L.S.D. pour distinguer des groupes hétérogènes à un risque α de 0,05, à l'aide du logiciel STATISTICA 6.

Lorsque la probabilité (P) est :

- > **0.05**: les variables ne montrent aucune différence significative.
- *: < **0.05**: les variables montrent une différence significative.
- ** : < **0.01**: les variables montrent une différence hautement significative.

***: < **0.001**: les variables montrent une différence très hautement significative.

Dans le but de présenter au mieux les interactions pouvant exister entre les différentes variables, nous avons opté pour une analyse en composantes principales (ACP) avec le logiciel R.

II.5. Résultats et discussion

II.5.1. Effet de la pulvérisation des sucres de commerce sur le taux d'infestation par le carpocapse au cours des trois années d'expérimentation

II.5.1.1. Taux d'infestation

II.5.1.1.1. Taux d'infestation pour les fruits tombés à terre

Le taux d'infestation par le carpocapse enregistré pour le total des fruits tombés à terre enregistré en 2017 est supérieur par rapport à celui révélé en 2018 et 2019, compris entre $44,98\% \pm 7,02$ et $12,39\% \pm 3,36$, quelque soit la modalité testée (**Figure 24**).

De même que les paramètres précédents, la modalité SacC (100ppm) note le taux d'infestation le plus faible, quelque soit l'année d'étude, avec des valeurs comprises entre $12,39\% \pm 3,36$ et $17,26\% \pm 6,43$ par rapport à la modalité FrucC à une dose de 100ppm ($14,05\% \pm 4,17$ et $20,13\% \pm 6,52$), et la modalité la modalité SacC+FrucC (100ppm) qui enregistre un taux compris entre $16,28\% \pm 4,33$ et $23,37\% \pm 3,94$.

La comparaison des pourcentages moyens des fruits attaqués et tombés à terre par l'analyse de la variance (ANOVA) suivie par le test de Fisher L.S.D. ($P < 0.05$), montre une différence significative enregistrée pour l'année 2019; ceci seulement pour la modalité témoin (**Figure 24**).

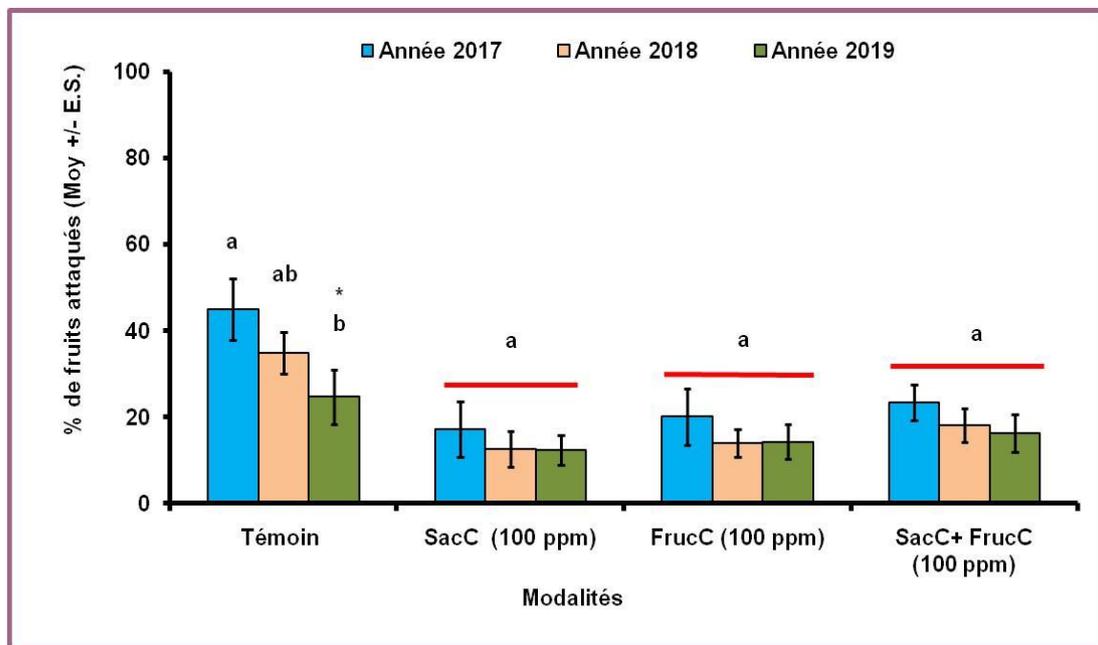


Figure 24: Pourcentage moyen des fruits attaqués et tombés à terre sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). * : $P \leq 0.05$.

II.5.1.1.2. Taux d'infestation pour les fruits récoltés sur arbre

Pour ce paramètre, il apparaît que le taux d'infestation causé par le carpocapse le plus élevé pour les fruits récoltés est enregistré en 2019, pour toutes les modalités sur la variété Anna. Quelque soit la modalité testée l'année d'étude, le taux d'attaque par le carpocapse est réduit et semble être deux à trois fois inférieur au taux enregistré par le témoin. De même, la modalité SacC (100ppm) révèle la meilleure réduction (10,78%±2,02) par rapport aux deux autres modalités et également par rapport au témoin. Ce dernier révèle un taux compris entre 38,28 %±3,89 et 32,50 %±3,08 (**Figure 25**).

La comparaison des pourcentages moyens des fruits attaqués récoltés par l'analyse de la variance (ANOVA) suivie par le test de Fisher L.S.D. ($P < 0.05$), montre une différence significative enregistrée pour l'année 2019; ceci seulement pour la modalité SacC+FrucC (100ppm) (**Figure 25**).

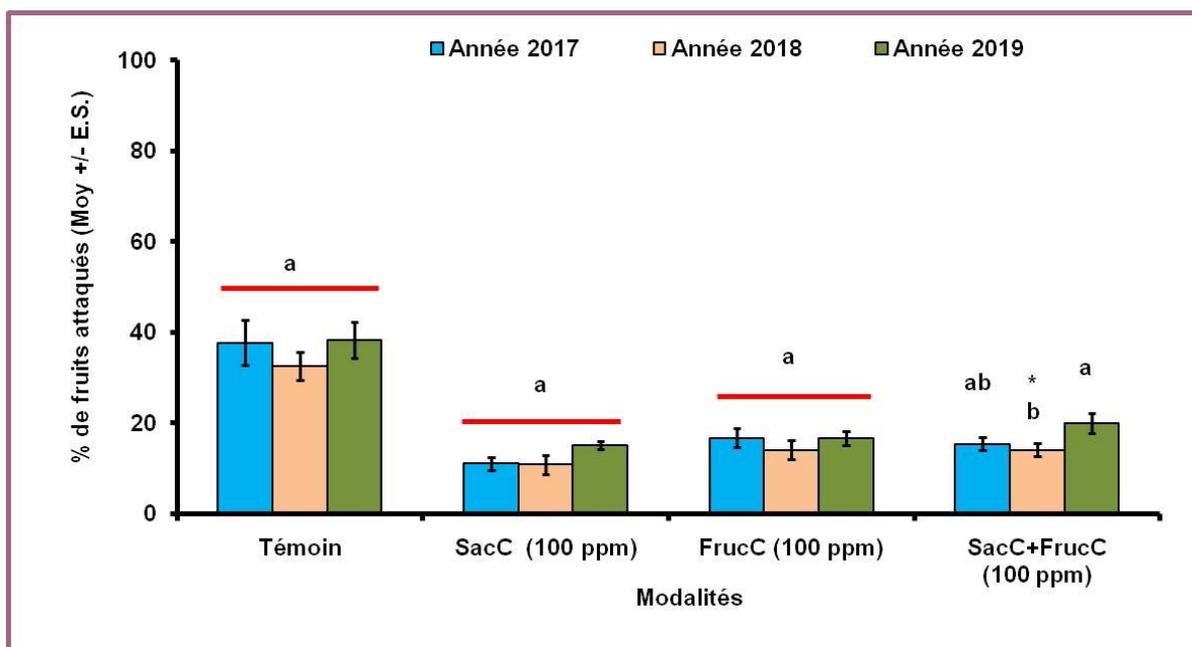


Figure 25: Pourcentage moyen des fruits attaqués à la récolte sur arbre sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). * : $P \leq 0.05$.

II.5.1.3. Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur les fruits récoltés

II.5.1.3.1. Dégâts cicatrisés

La figure 26 permet de comparer les dégâts larvaires cicatrisés causés par *C. pomonella* sur les fruits récoltés au cours des trois années d'expérimentation. Les

pulvérisations foliaires, de la variété Anna, par le SacC (100ppm) engendre des pourcentages d'attaques cicatrisées élevés par rapport aux autres modalités et durant les années 2018 (45,90% ± 7,42) et 2019 (42,38% ± 4,35). Alors qu'en 2017, le FrucC engendre le pourcentage (37,33% ± 5,43) le plus élevé. Tandis que les pourcentages d'attaques cicatrisées les plus faibles sont enregistrées par le SacC à une dose de 100ppm (14,72% ± 0,49) en 2017, et par la modalité SacC+FrucC (100ppm) en 2018 (16,76% ± 4,22). Alors qu'en 2019, le témoin révèle le pourcentage le plus faible d'attaques cicatrisées avec un pourcentage égale à 23,09% ± 1,68.

La comparaison des pourcentages moyens d'attaques cicatrisées entre les trois années d'étude par l'analyse de la variance montre une différence significative en 2018 et très à hautement significatives en 2018 et 2019 pour les modalités témoin eau et SacC (100ppm) respectivement (**Figure 26**).

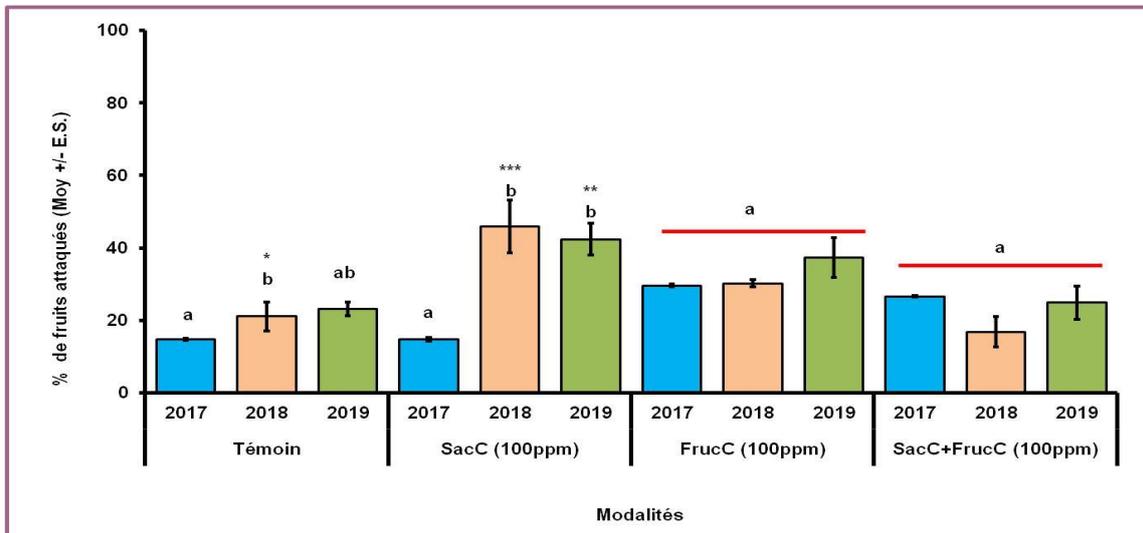


Figure 26: Pourcentage moyen des dégâts larvaires cicatrisés, pour les fruits récoltés sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Tukey H.S.D., $P < 0.05$). * : $P \leq 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$.

II.5.1.3.2. Dégâts stoppés

Pour les dégâts stoppés, la figure 27 permet de visualiser les résultats enregistrés, sur la variété Anna, au niveau de la parcelle 2 et au cours des trois années d'étude. La modalité SacC+FrucC (100ppm) révèle des dégâts larvaires stoppés les plus élevés en 2017 et en 2018 atteignant 60,80%±0,51 et 51,47± 3,31 respectivement et en 2019 nous notons un pourcentage moyen élevé de l'ordre de 48,12%±6,84 enregistré par la modalité FrucC (100ppm). Le témoin, quant à lui, enregistre les niveaux les plus faibles d'attaques larvaires stoppées, comprises entre 20,12% ± 0,15 et 28,57% ± 1,32, durant les trois années d'étude.

Des différences significatives à très significatives ont été enregistrées sur la variété Anna pour les modalités témoin et SacC (100ppm) pour les années 2018 et 2019, alors que la modalité SacC+FrucC (100ppm) enregistre seulement une différence très significative pour l'année 2018 par rapport aux années 2017 et 2019. Notons que le FrucC (100ppm) ne montre aucune différence significative (**Figure 27**).

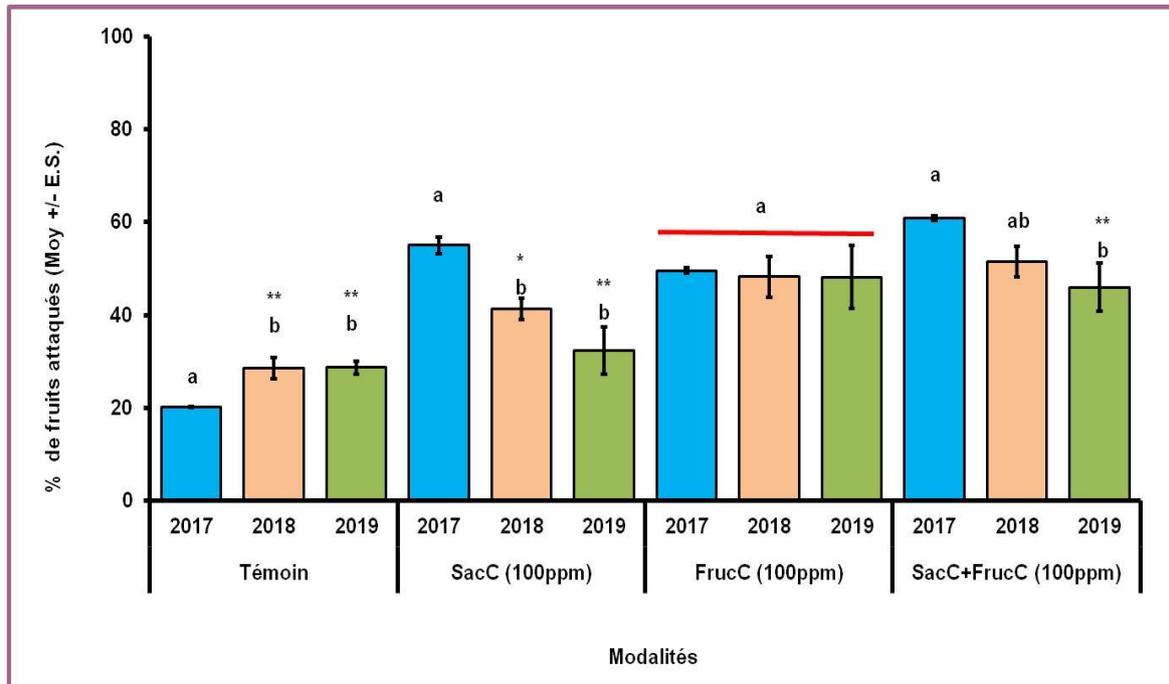


Figure 27: Pourcentage moyen des dégâts larvaires stoppés pour les fruits récoltés sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Tukey H.S.D., $P < 0.05$). * : $P \leq 0.05$, ** : $P < 0.01$.

II.5.1.3.3. Dégâts actifs

A l'inverse des résultats enregistrés pour les dégâts cicatrisés et stoppés, le témoin révèle le pourcentage moyen le plus élevé au cours des trois années d'étude par rapport aux autres modalités, dont le pourcentage le plus élevé atteint $65,10\% \pm 1,32$ enregistré en 2017 (**Figure 28**). Cependant, le pourcentage faible atteint $12,60\% \pm 0,31$ en 2017 par la modalité SacC+FrucC (100ppm), $12,89\% \pm 5,19$ en 2018 par la modalité SacC (100ppm) et $14,55\% \pm 3,45$ en 2019 par le FrucC (100ppm).

L'analyse de la variance (ANOVA) montre que sur la variété Anna (parcelle 2), nous avons visualisé une différence très à hautement significative enregistrée en 2018 et 2019 pour les modalités témoin et SacC+FrucC (100ppm) et une différence significative noté en 2018 par la modalité SacC (100ppm) (**Figure 28**).

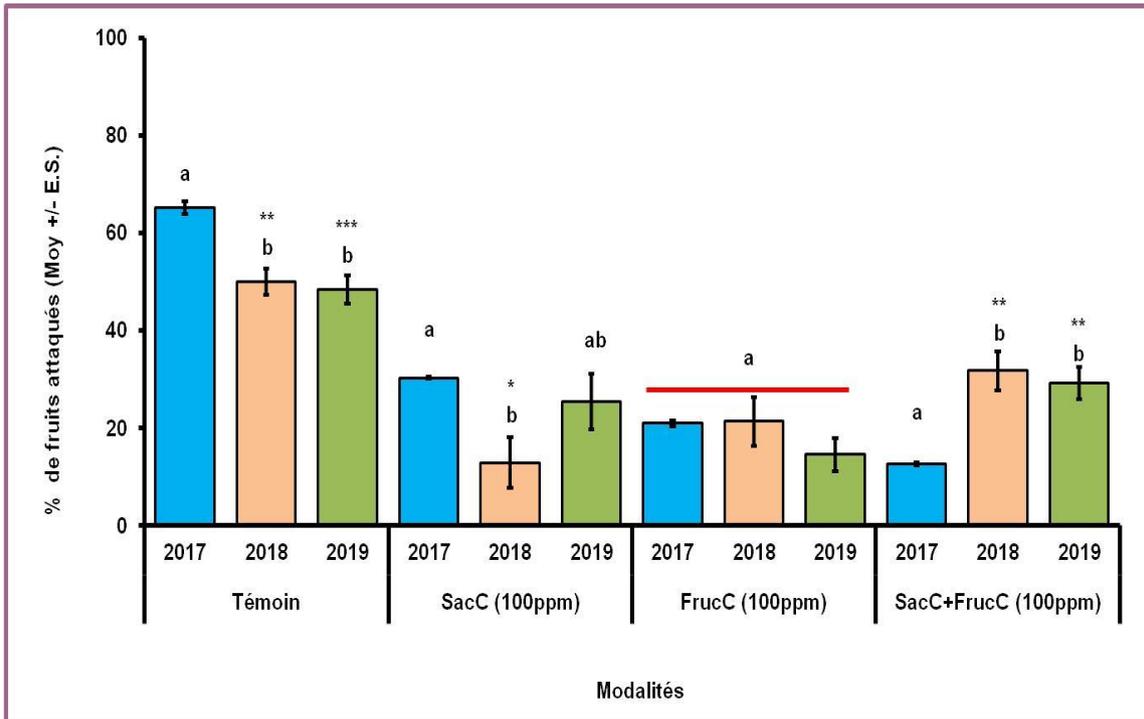


Figure 28: Pourcentage moyen des dégâts larvaires actifs, pour les fruits récoltés sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Tukey H.S.D., $P < 0.05$). *: $P \leq 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$.

II.5.1.4. Efficacité des traitements Abbott

II.5.1.4.1. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre

L'efficacité des traitements est relativement moyenne à élevée pour l'ensemble des modalités testées sur la variété Anna au niveau de la parcelle (2) qui varie entre 26,75% \pm 8,61 à 66,02% \pm 6,95. Toutes les modalités testées enregistrent l'efficacité la plus élevée en 2018. En effet, le SacC (100ppm) révèle la meilleure efficacité, alors que le SacC+FrucC (100ppm) offre l'efficacité la plus faible, durant les trois années d'étude (**Figure 29**).

La comparaison de l'efficacité moyenne des traitements Abbott par l'analyse de la variance (ANOVA) suivie par le test de Fisher L.S.D. ($P < 0.05$), pour les fruits attaqués et tombés à terre sur la variété Anna (parcelle 2), révèle une différence significative entre les années d'études pour toutes les modalités testées en 2019 (**Figure 29**).

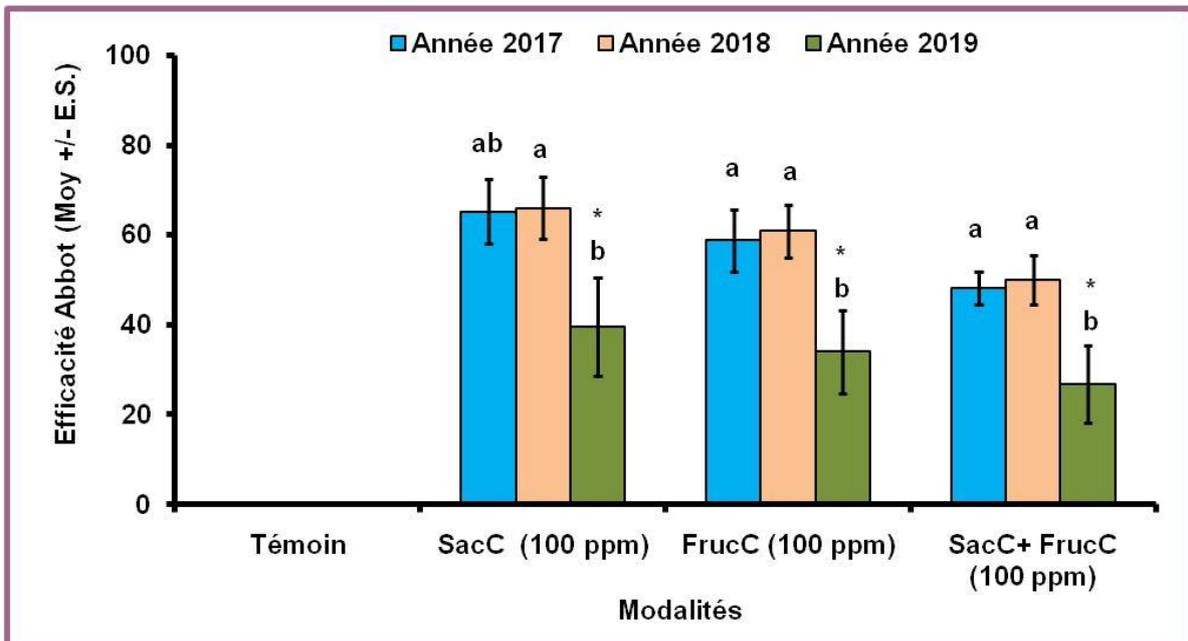


Figure 29: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués tombés à terre sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). *: $P \leq 0.05$.

II.5.1.4.2. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits récoltés

D'une manière générale une efficacité a été notée pour les fruits récoltés relativement élevée pour l'ensemble des modalités testées sur la variété Anna au niveau de la parcelle 2. Notons qu'au cours de l'année 2017 les modalités de SacC seul et SacC+FrucC à une dose de 100ppm enregistrent l'efficacité la plus élevée égale à $68,57\% \pm 12,11$ et $56,89\% \pm 7,1$ (**Figure 30**). Alors que le FrucC seul (100ppm) note l'efficacité la plus élevée en 2019 de l'ordre de $54,99\% \pm 6,01$. Cependant la modalité SacC+FrucC (100ppm) obtient l'efficacité la plus faible en 2019 arrive à $44,08\% \pm 6,00$ (parcelle 2) (**Figure 30**).

Malgré les valeurs élevées et les variabilités d'efficacité enregistrées, l'analyse de la variance (ANOVA) suivie par le test de Fisher L.S.D. ($P < 0.05$) ne montre aucune différence significative entre les années d'étude quelque soit la modalité testée et la parcelle d'étude, pour les fruits récoltés (**Figure 30**).

II.5.1.5. Nombre des larves diapausantes

La plupart des larves observées et retirées des bandes pièges installées au début de l'expérimentation sont localisées dans les arbres du témoin avec un nombre moyen compris entre $11,50 \pm 0,96$ et $30,50 \pm 3,1$ quelque soit l'année d'étude. Toutes les modalités testées

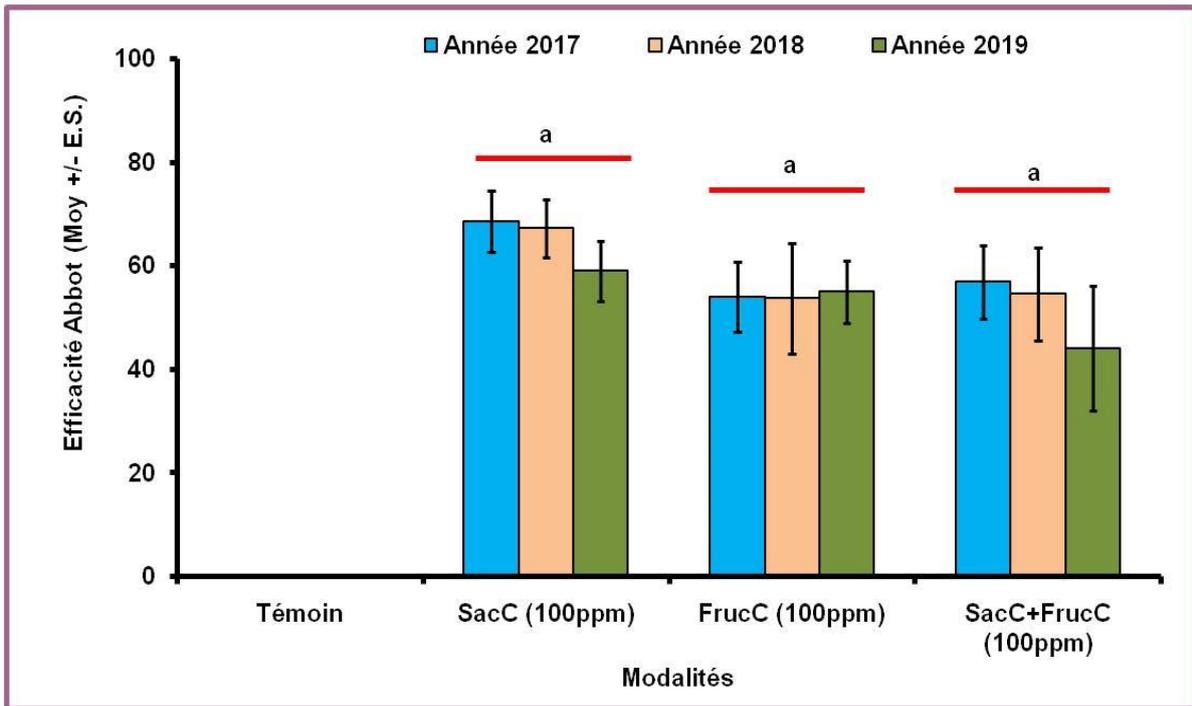


Figure 30: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués récoltés sur arbre sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$).

réduisent le nombre moyen des larves diapausantes quelque l'année d'étude et enregistre un nombre moyen compris entre $3,25 \pm 0,48$ et $23,25 \pm 2,7$. Signalons que les modalités testées enregistrent le nombre le plus élevé en 2019 (**Figure 31**).

Une différence très significative à hautement significative observée pour le nombre moyen des larves diapausantes entre les années d'étude pour les différentes modalités testées sur la variété Anna au niveau de la parcelle (2) pour l'année 2017 (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$) (**Figure 31**).

II.5.1.6. Corrélation entre les modalités testées et les années d'études

Les figures 32 et 33, représentent la projection des observations sur un plan à deux dimensions après l'application de l'analyse des correspondances principales (ACP), prenant en considération toutes les variables mesurées durant trois ans d'études 2017, 2018 et 2019.

Concernant le premier ACP de taux d'infestation des fruits attaqués (**Annexe 8**), l'inertie totale expliquée par les deux premiers axes 1 et 2 est égal à 80,7 %, ce qui est très acceptable, avec des valeurs propres de 43,9 % et 36,8% respectivement pour les axes 1 et 2. Alors que l'ACP de l'efficacité des modalités testées (**Annexe 9**), représente une inertie totale

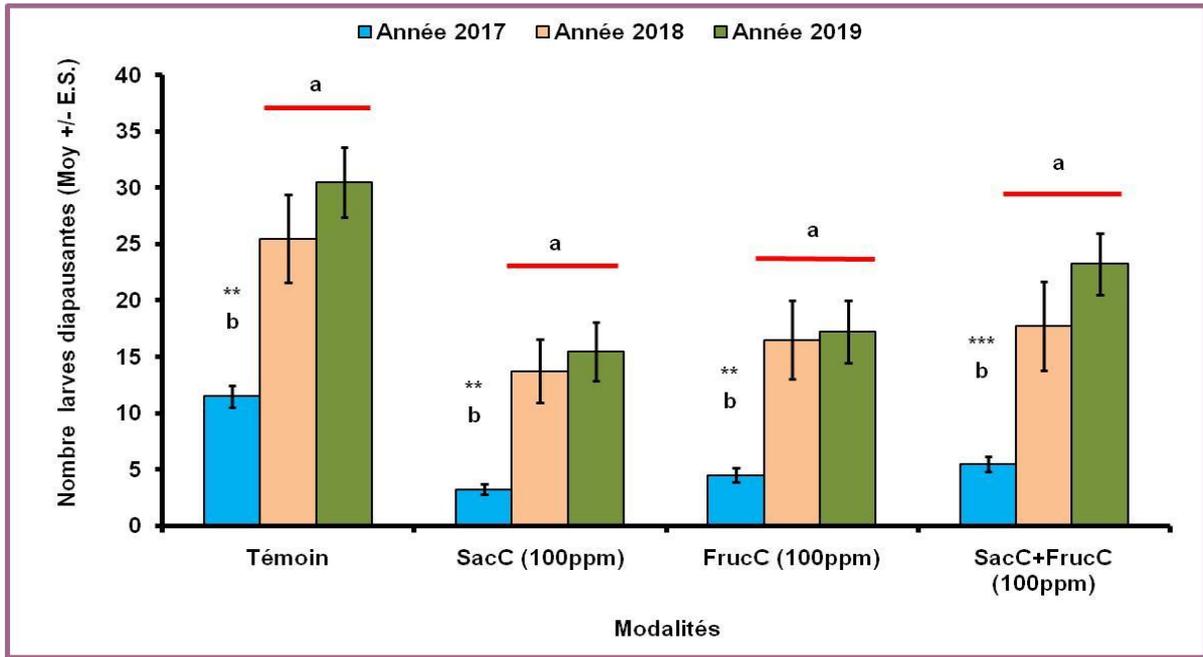


Figure 31: Nombre moyen de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges sur la variété Anna (Parcelle 2, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$.

égale à 91,5 %, ce qui est très acceptable, expliquée par les deux premiers axes 1 et 2 avec respectivement des valeurs propres égales à 71,2% et 20,30%. Cela signifie qu'un taux important de la variabilité totale est représentée sur les deux plans ACP et représentent convenablement un grand part du jeu de données. La répartition des modalités de sucre testées pour estimer le taux d'infestation et l'efficacité durant les trois années sur le plan ACP des axes 1 et 2 montre une dissemblance remarquable de ces modalités, même à l'intérieur de même groupe où ces modalités sont testées dans trois années différentes, ainsi les modalités de sucre testées présente une efficacité différente (**Figures 32 et 33**).

II.5.1.7. Discussion

Nous avons testé, à travers cette étude, l'application foliaire d'infra-doses de sucres de commerce au cours de trois années d'étude, pour induire une immunité rapide à base de sucre contre le carpocapse. Dès la fin de la floraison et jusqu'à la récolte, avec un intervalle de 21 jours. Selon la date de commencement des pulvérisations nous avons réalisé six traitements au total par an sur la variété Anna (parcelle 2) au cours des trois années d'étude.

Notre étude a révélé que l'ensemble des modalités testées réduisent les dégâts causés par le carpocapse pour les fruits attachés, récoltés ou tombés au sol, sur la variété Anna,

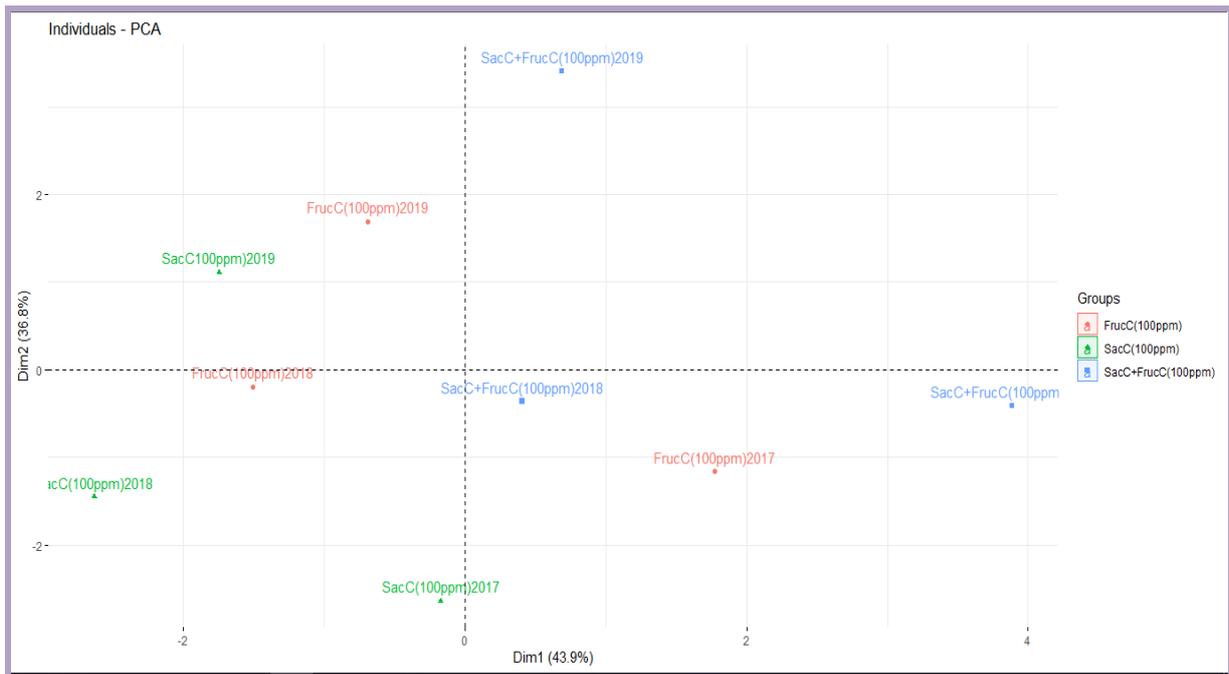


Figure 32: Répartition des modalités et des années étudiées dans le plan ACP de taux d'infestation des fruits atteints durant les trois années d'étude.

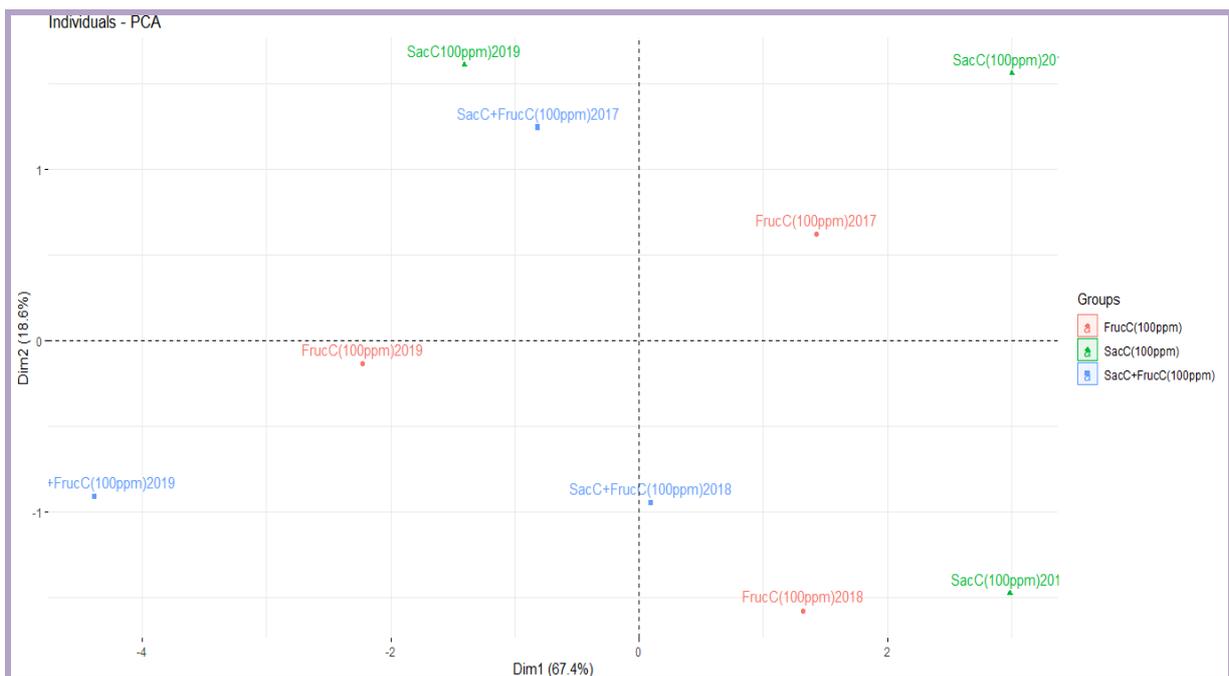


Figure 33: Répartition des modalités et des années étudiées sur le plan ACP de l'efficacité des modalités testées pour les fruits atteints durant les trois années d'étude.

l'effet est plus marqué pour les deux années d'étude 2018 et 2019 par rapport à l'année d'étude 2017. Un taux d'infestation jugé moyen compris entre 32,50% et 38,28%, est enregistré sur les arbres témoins. Ce pourcentage d'infestation est jugé faible par rapport aux années précédentes où l'arboriculteur enregistre des pourcentages plus élevés. Ajoutons que le

taux d'infestation le plus faible est noté en 2018. Les résultats des études réalisées sur la variété Royal Gala par **Bounahouche (2017)** dans la région de Merouana ($80\% \pm 2,44$) et **Dafri (2017)** dans la région d'Ain Touta ($77\% \pm 2,3$), sur la variété Golden Delicious par **Zeghiche (2018)** dans la région de Tazoult ($28,16\% \pm 0,49$) et **Lakhdari (2018)** dans la région de Chélia ($7,52\% \pm 0,15$), confirment nos résultats et la variation du taux d'infestation durant les années d'étude.

Nos résultats montrent aussi que les modalités testées diminuent significativement la population larvaire de carpocapse. Une diminution du nombre de larve de carpocapse de la pomme dans les bandes-pièges est enregistrée surtout en 2017. Cependant, une différence significative à très significative a été révélée pour l'année 2017 et ce pour toutes les modalités sur la variété Anna (parcelle 2).

Les modalités testées offrent une efficacité importante à moyenne, comprise entre 44,08% à 68%. Globalement, l'essai n'a pas montré une différence significative entre les années d'étude que ce soit pour le taux d'infestation ou l'efficacité à l'exception de quelques cas pour l'année 2019. Une étude réalisée sur 20 vergers de pommier (Variétés Judor, Dabinett et Douce de l'Avent sur porte greffe M106), répartis sur la région Normandie, durant la période allant de 2017 jusqu'à 2019, au niveau des parcelles conduit en conventionnel. Dans des conditions de pression moyennes à faibles, les interventions (entre 3 et 6/an) à base de saccharose et de fructose seuls et leur mélange à 50 et 100 ppm ont montré une efficacité moyenne. Cependant, elles ont permis de maintenir un niveau de dégât tout à fait acceptable, sans augmentation de la pression, malgré des niveaux de populations élevées dans les bandes piège (**Anonyme, 2019b**).

Les résultats de notre étude peuvent être liés aux conditions climatiques; ces dernières étaient favorables au développement du carpocapse durant les années d'étude. En effet, les conditions climatiques favorables en 2017, dont les données de pluviométrie et de température sont représentées en annexes **10 et 11**, fournissent une indication sur les mois les plus frais et pluvieux. Signalons que le climat était pluvieux et très froid durant toute la période de printemps et chaud en été. Les températures minimales n'ont pas dépassé les $15,7^{\circ}\text{C}$ en 2018 et les températures moyennes ne sont pas montées au-dessus de 27°C ; la valeur enregistrée en 2017 et 2019. Ajoutons aussi que ces deux dernières années enregistrent; un nombre de jours où la température a été supérieure à 35°C égale à 51 et 71 jours respectivement, contre 44 jours enregistré en 2018 (**annexe 12**).

Les changements climatiques ont un impact sur les insectes ravageurs (**Hermans, 2018**). **Kleckova et Klecka (2016)**, suggèrent que le réchauffement climatique peut déclencher des changements généralisés dans les préférences de microhabitat et une augmentation des comportements de recherche de microhabitat. De plus, le succès de la recherche optimale d'habitats dépendra de plusieurs facteurs, comme les besoins thermiques actuels d'une espèce, et de la disponibilité de microhabitats optimaux.

Selon **Perrin (2022)**, le changement climatique induit par les activités anthropiques est à l'origine de perturbations profondes dans les équilibres de tous les écosystèmes dont les agroécosystèmes. Cet auteur ajoute que la majorité des études s'accordent pour prédire une augmentation des dégâts des ravageurs sur les cultures.

En effet, les températures estivales, qui commencent plus tôt et se terminent plus tard, offrent aux insectes une saison de survie plus longue. C'est le cas du carpocapse de la pomme, principal ravageur de la pomme, reconnu pour ses dégâts sur la pomme du Québec. Le carpocapse atteindra Montereyge 14 jours plus tôt qu'il y a 20 ans. Ensuite, nous devons lutter contre plus d'insectes car leur présence a presque doublé avec le changement climatique (**Hermans, 2018**).

Il se peut que nos résultats peuvent être également attribués aux modifications physiologiques du végétal qui sont observées suite à ce changement, de même que sur les maladies et ravageurs. En effet, les hivers plus doux et humides pouvant entraîner des asphyxies et un manque de vernalisation des arbres fruitiers. Les stades phénologiques sont plus précoces ou tardifs, d'où plus de risques de gelées printanières. Les étés plus chauds et secs modifient la qualité des fruits, avec des risques de brûlures, manque de coloration, avance de maturité... d'une manière générale, un arbre stressé est plus réceptif à certaines maladies fongiques ou ravageurs comme le carpocapse (**Coureau, 2020**).

Les mêmes appréciations ont été révélées par **Ondet (2019)**, durant la même période de notre étude, d'après les essais réalisés en France, sur la variété Akane permettent de conclure que ces deux sucres en mélange à 1g/l permettent de diminuer les dégâts de carpocapse sur pommes à la récolte dans les conditions d'essai (modalités et répétitions dans un même verger). Le même auteur note que les facteurs influençant la stimulation des arbres sont certainement nombreux et non maîtrisables.

Signalons que toutes les modalités testées sur la variété Anna montrent un pourcentage moyen des dégâts larvaires actifs inférieur à celui révélé sur les arbres de témoin, et un

pourcentage moyen des dégâts stoppés mais élevé par rapport aux dégâts cicatrisés et actifs pour la plupart des modalités testées à base de sucre quelque soit l'année d'étude.

Nous pouvons dire que la pulvérisation des sucres seul, en mélange ou en alternance influence sur l'alimentation de la larve et provoque moins de mordillages des pommes et stoppe l'entrée des larves vers l'intérieure des pommes ce qui provoque plus de dégâts stoppés que des dégâts cicatrisés et actifs ; à cet effet, nous pouvons dire que les sucres testés provoquent un effet anti-phagostimulant. Le travail réalisé par **Cabbanat (1999)**, sur le comportement alimentaire des larves néonates de *C. pomonella* montrent l'existence d'une relation entre la présence des sucres (glucose, fructose et saccharose) et des polyols (quebrachitol, *myo*-inositol et le sorbitol) et la prise de nourriture, ce qui se traduit par les modifications comportementales (mouvement, orientation et mordillage).

L'étude menée dans la Région Paca (Sud-Est de la France) par **Perrin (2022)**, vise à comprendre comment le changement climatique pourrait influencer les différentes méthodes de lutte utilisées contre un ravageur des pommiers, *Cydia pomonella*, particulièrement touchée par le réchauffement climatique. De même, les effets croisés température/insecticides sur la mortalité de *C. pomonella* face à différents insecticides ont été étudiés. L'étude a révélée que ces deux stress ont un effet sur la mortalité larvaire de *C. pomonella* d'une part, et d'autre part pour utiliser des méthodes de lutte précisément adaptées, il est nécessaire de prévoir l'émergence des générations de carpocapse de la pomme. Les résultats de cette étude démontrent la nécessité de prédire l'émergence des générations de carpocapse de la pomme afin d'utiliser précisément les méthodes de lutte appropriées.

II.5.2. Evaluation de l'intérêt de l'utilisation des infra doses de sucres de laboratoire seuls, en mélange ou en alternance dans la lutte contre *C. pomonella*

Notre stratégie ici vise à pulvériser les sucres seuls, en mélange ou en alternance, tous les 21 jours sur les variétés citées ci-dessus, par rapport au témoin.

II.5.2.1. Taux d'infestation

II.5.2.1.1. Taux d'infestation pour les fruits tombés à terre

Les résultats visualisés dans la figure 34 (A et B) montrent que :

- ✓ Le dénombrement de fruits attaqués et tombés à terre au niveau des blocs, varie en fonction de chaque modalité et l'année d'étude. La majorité des blocs traités présentent un taux de pommes tombées et attaqués différent et inférieur à la modalité témoin.
- ✓ Les arbres témoin montrent un taux d'infestation élevé quelque soit la variété. Notons que le pourcentage le plus élevé pour les fruits tombés et attaqués enregistré en 2017 avec $41,94\% \pm 5,36$ et $51,49\% \pm 6,69$ pour la variété Anna et Golden Delicious respectivement.
- ✓ Toutes les modalités testées ont permis de diminuer le nombre des fruits attaqués et tombés au sol par rapport aux témoins au niveau des deux parcelles d'études et quelque soit l'année d'étude. Les analyses statistiques permettent de relever des différences significatives à hautement significatives entre le témoin et toutes les modalités testées au niveau des deux parcelles d'étude.
- ✓ Au cours des trois années d'étude et au niveau des arbres de la variété Anna, le Fructose seul 100ppm montre les meilleurs résultats $17,32\% \pm 5,94$, $11,54\% \pm 1,70$ et $11,41\% \pm 3,43$ respectivement. Et au cours les années 2017 et 2018, le SacL+FruL (50 ppm) révèle le taux d'infestation le plus élevé pour les fruits tombés au sol avec un pourcentage qui atteint $26,21\% \pm 4,14$ et $23,02\% \pm 3,00$ respectivement. Alors que le SacL+FruL (100 ppm) note le pourcentage le plus élevé en 2019 avec $(20,20\% \pm 5,41)$ (**Figure 34A**).
- ✓ Sur la variété Golden Delicious, le mélange des deux sucres à 100ppm notent le pourcentage d'infestation le plus faible avec $20,62\% \pm 3,46$, $16,14\% \pm 1,20$ et $13,45\% \pm 3,38$ (par ordre) au cours des trois années d'étude. Au niveau de cette variété, en 2017, la modalité SacL+FruL (50 ppm) montre le pourcentage le plus élevé ($34,80\% \pm 4,61$) par rapport à toutes les modalités testées. Cependant, durant les années 2018 et 2019, la modalité SacL/FruL (50 ppm) montre le pourcentage le plus élevé ($22,58\% \pm 0,76$ et $18,84\% \pm 5,17$ respectivement) (**Figure 34B**).

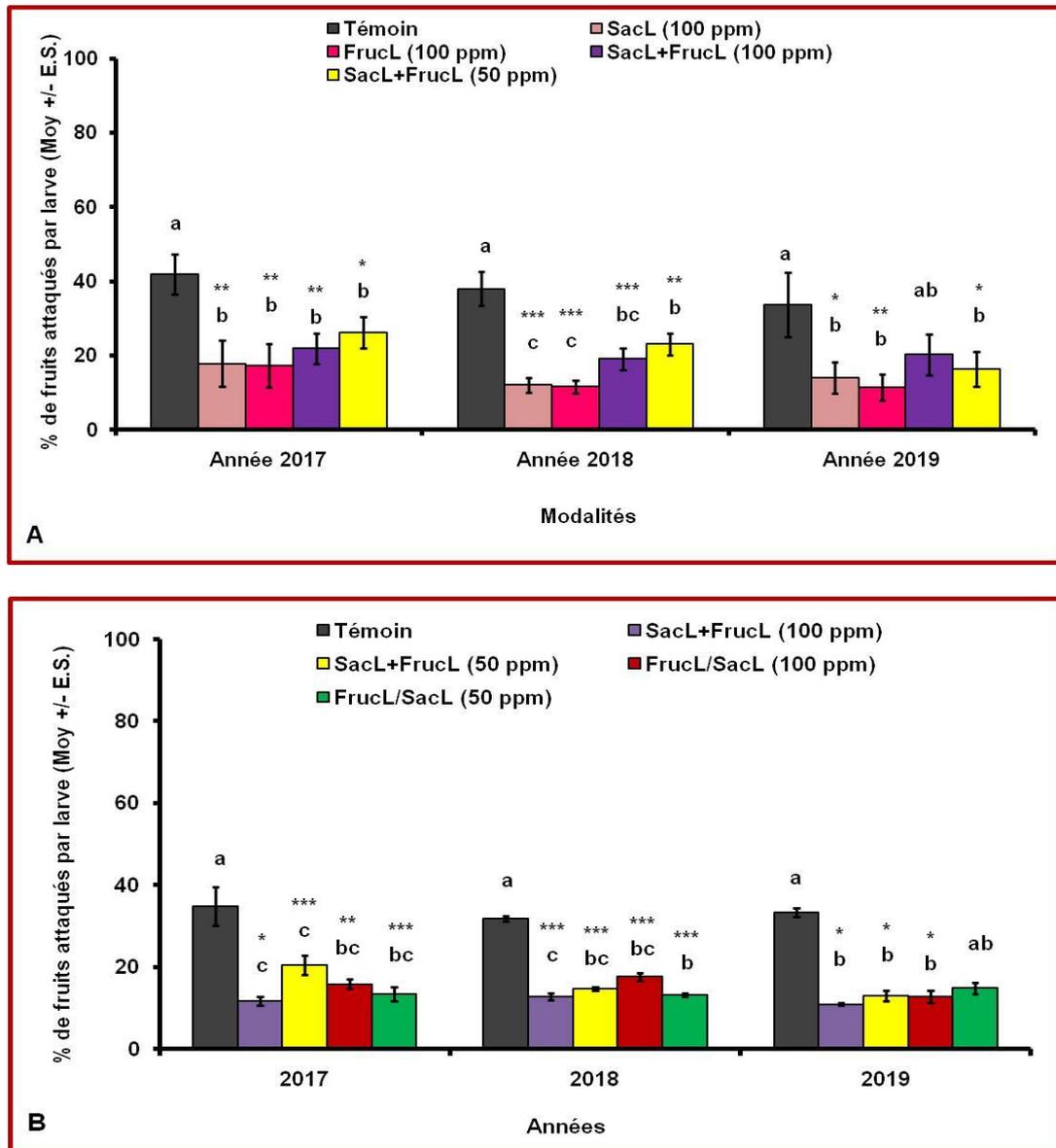


Figure 34: Pourcentage moyen des fruits atteints et tombés à terre. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilotou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilotou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D.,

$P < 0.05$). * : $P \leq 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$.

II.5.2.1.2. Taux d'infestation pour les fruits récoltés

Selon la figure 35 (A et B), les résultats des essais montrent que :

- ✓ Dans notre situation de pression jugée moyenne du carpocapse sur les variétés Anna et Golden Délicieux, le pourcentage de piqûres à la récolte le plus élevé atteint $39,03\% \pm 0,41$ et $34,95\% \pm 4,71$ sur les arbres témoin, enregistré en 2017, au niveau de la variété Anna et la variété Golden Delicious respectivement.
- ✓ Toutes les modalités testées ont permis de diminuer le nombre des fruits atteints récoltés par rapport aux témoins au niveau des deux parcelles d'études et quelque soit l'année d'étude.

Les analyses statistiques permettent de relever des différences hautement significatives entre le témoin et toutes les modalités testées au niveau des deux parcelles d'étude.

✓ Au cours des années d'étude 2017 et 2018 et au niveau des arbres de la variété Anna, le saccharose seul 100ppm montre les meilleurs résultats $10,82\% \pm 1,15$ et $9,82\% \pm 0,74$ respectivement. Et en 2019, le Fructose seul révèle la meilleure réduction du taux d'infestation pour les fruits récoltés avec un pourcentage qui atteint $9,52\% \pm 0,76$ (**Figure 35A**).

✓ Sur la variété Golden Delicious, le mélange des deux sucres à 100ppm notent le pourcentage d'infestation le plus faible avec $11,82\% \pm 1,08$, $12,81\% \pm 0,89$ et $10,96\% \pm 0,32$ (par ordre) au cours des trois années d'étude (**Figure 35B**). Au niveau de cette variété, en 2017, la modalité SacL+FruL (50 ppm) montre le pourcentage le plus élevé ($20,49\% \pm 2,39$) par rapport à toutes les modalités testées.

II.5.2.2. Dégâts larvaires cicatrisés, stoppés et actifs sur les fruits récoltés

II.5.2.2.1. Dégâts cicatrisés

La figure 36 (A et B) permet de visualiser les dégâts larvaires cicatrisés sur les fruits récoltés causés sur les deux variétés étudiées et au cours des trois années d'expérimentation.

Nous avons constaté que :

➤ D'une manière générale et quelque soit la variété étudiée, toutes les modalités testées montrent des dégâts cicatrisés supérieures à ceux enregistrés par le témoin au cours des trois années d'étude ($24,11\% \pm 2,29$ en 2017, $23,06\% \pm 5,79$ en 2018 et $20,73\% \pm 3,40$ en 2019). A l'exception des modalités de SacL+FruL (50ppm) en 2017 ($21,50\% \pm 4,21$) et en 2019 ($17,80\% \pm 8,60$) et le SacL+FruL (100ppm) en 2018 ($20,03\% \pm 8,03$), qui montrent des pourcentages inférieurs à celui enregistré par le témoin au cours des mêmes périodes citées, ceci au niveau des arbres de la variété Anna (**Figure 36A**). Alors que pour la variété Golden Delicious, les modalités SacL+FruL (50 ppm) ($10,27\% \pm 2,92$) et FruL/SacL (50 ppm) ($14,98\% \pm 2,71$) révèlent des pourcentages de dégâts larvaires cicatrisés inférieurs à celui enregistré par le témoin, uniquement en 2019, ($21,51\% \pm 2,54$) (**Figure 36B**).

➤ Les analyses de variance permettent de révéler des différences significatives à hautement significatives entre le témoin et les modalités suivantes : SacL (100ppm) en 2017, SacL+FruL (50ppm) en 2017 et en 2018, le FruL (100ppm) en 2018 et en 2019, sur la variété Anna. Et SacL+FruL (100ppm) au cours les trois années d'étude et SacL/FruL (100ppm) en 2017 au niveau de la variété Golden Delicious.

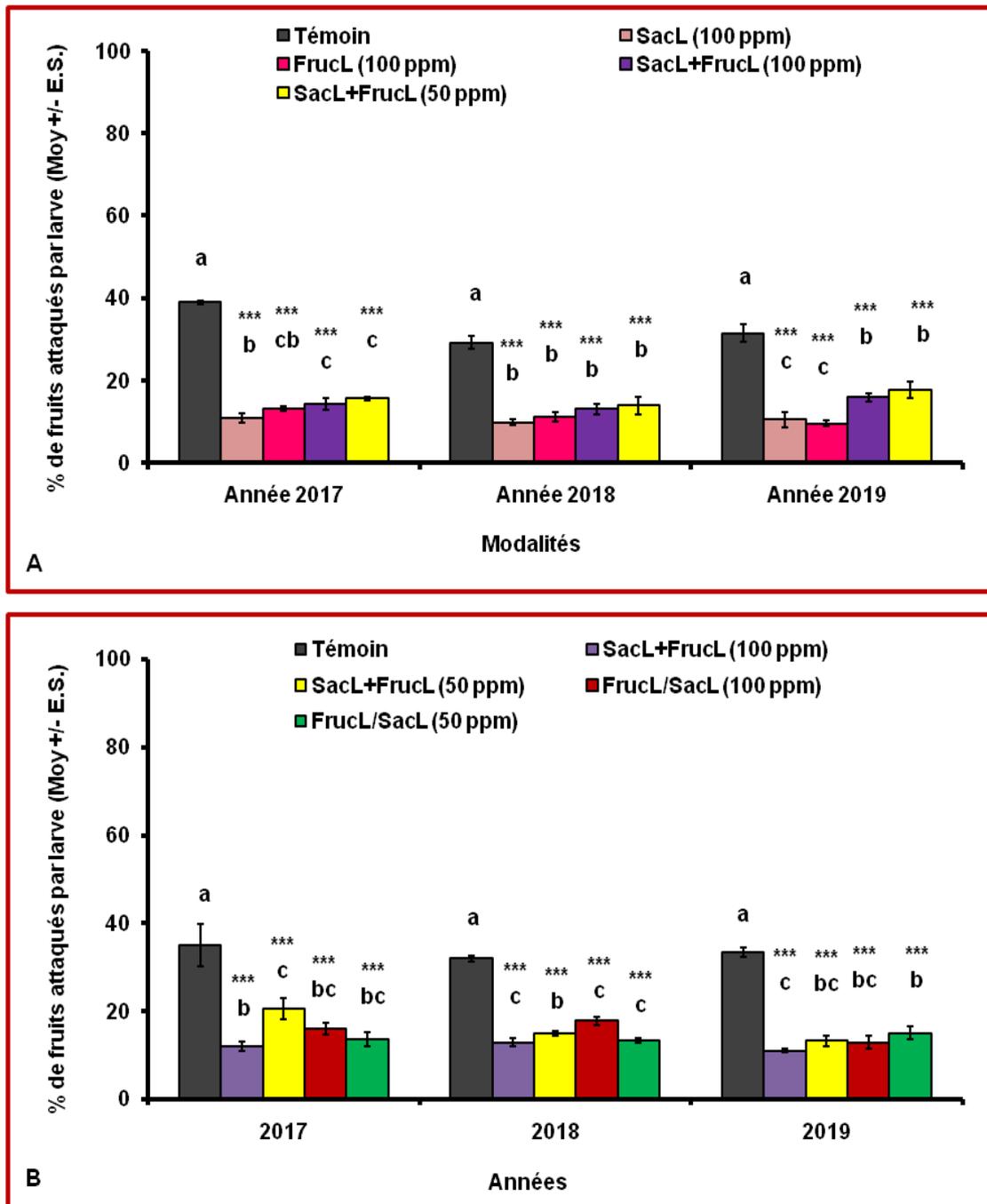


Figure 35: Pourcentage moyen des fruits attaqués à la récolte sur arbre. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilotou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilotou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). ***: $P < 0.001$.

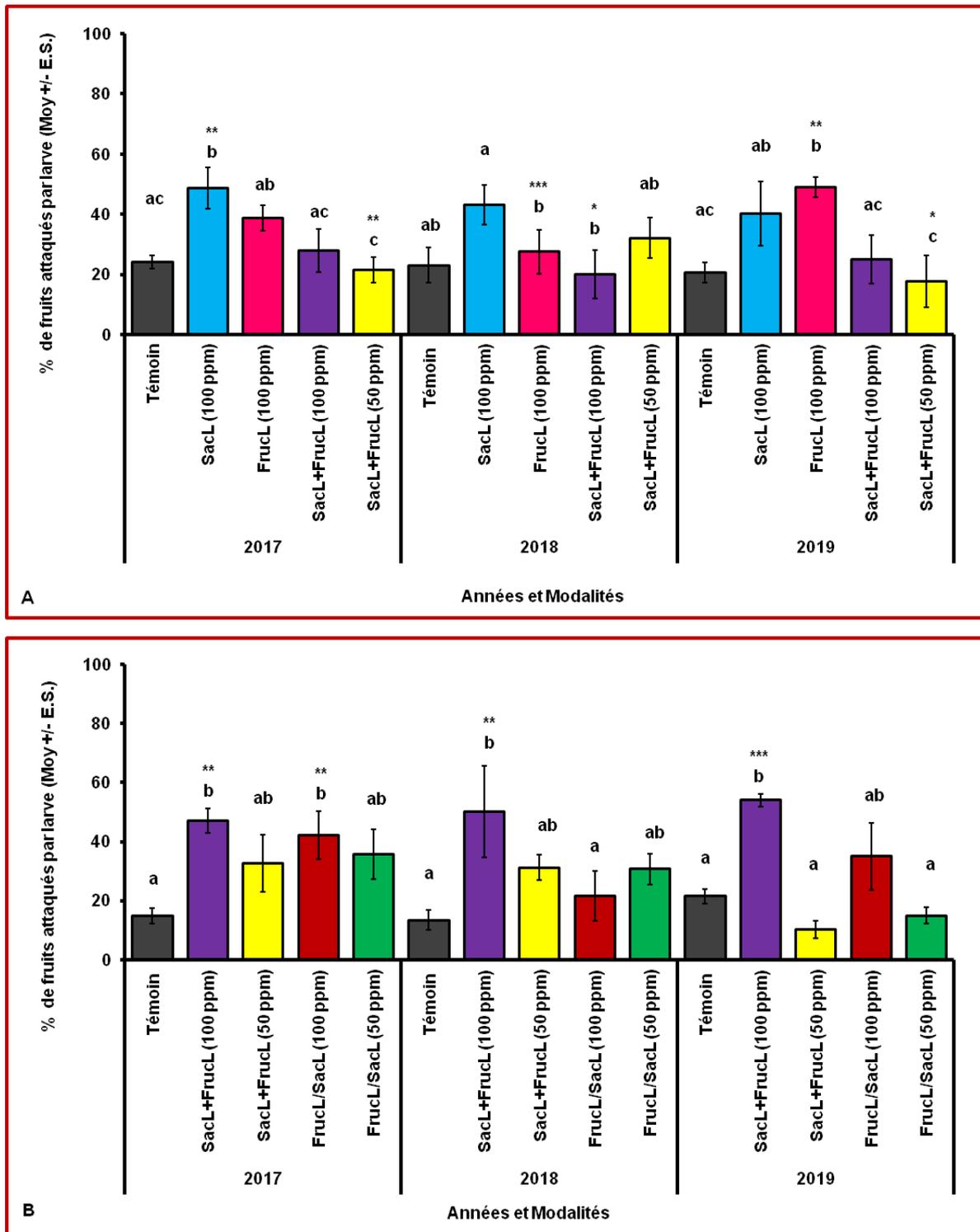


Figure 36: Pourcentage moyen des dégâts larvaires cicatrisés pour les fruits récoltés. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Tukey H.S.D., $P < 0.05$).). * : $P \leq 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$.

II.5.2.2.2. Dégâts Stoppés

La figure **37 (A et B)** permet de comparer les dégâts larvaires stoppés sur les fruits récoltés causés au niveau des deux variétés Anna et Golden Delicious et au cours des trois années d'expérimentation. Nous constatons que :

- Le dénombrement de fruits attaqués stoppés sur les fruits récoltés au niveau des blocs, varie en fonction de chaque modalité, de la parcelle d'étude et de l'année d'étude. La majorité des blocs traités présentent un taux de pommes attaquées et tombées différent et supérieur à la modalité témoin d'où la valeur la plus élevée est noté en 2018, par la modalité FruL/SacL (100 ppm) avec une valeur atteint $56,11\% \pm 7,29$, au niveau de la variété Golden Delicious. La même constatation est faite pour les dégâts cicatrisés
- Cependant, la majorité des résultats ne sont pas significatifs, à l'exception des modalités de FruL seul (100ppm) en 2018 et 2019, le SacL+FruL (50ppm) en 2019 sur la variété Anna et les modalités SacL+FruL (50ppm) en 2017 et 2019 et FruL/SacL (100 ppm) en 2018 et en 2019 sur la variété Golden Delicious, qui montrent des différences significatives à très significatives (**Figure 37 A et B**).

II.5.2.2.3. Dégâts actifs

- D'après la figure **38 (A et B)**, les dégâts larvaires actifs sur les fruits récoltés causés par le carpocapse enregistrés par le témoin sont plus élevés et varient entre $49,14\% \pm 3,65$ et $60,23\% \pm 3,17$, quelque soit la variété étudiée et l'année d'expérimentation. Signalons aussi qu'au niveau de la variété Anna en 2017, la modalité SacL+FruL (50ppm) ($49,91\% \pm 9,88$) révèle un pourcentage proche à celui enregistré par le témoin ($50,17\% \pm 5,12$).
- Concernant les analyses de la variance pour dégâts larvaires actifs sur les fruits récoltés, les résultats montrent des différences significatives à hautement significatives entre le témoin et l'ensemble des modalités testées sur la variété Golden Delicious au cours des trois années d'étude. Alors qu'au niveau de la variété Anna, seules les modalités de SacL seul (100ppm) au cours les trois années et le FruL seul (100ppm) en 2017 et 2019 montrent des différences significatives (**Figure 38A et B**).

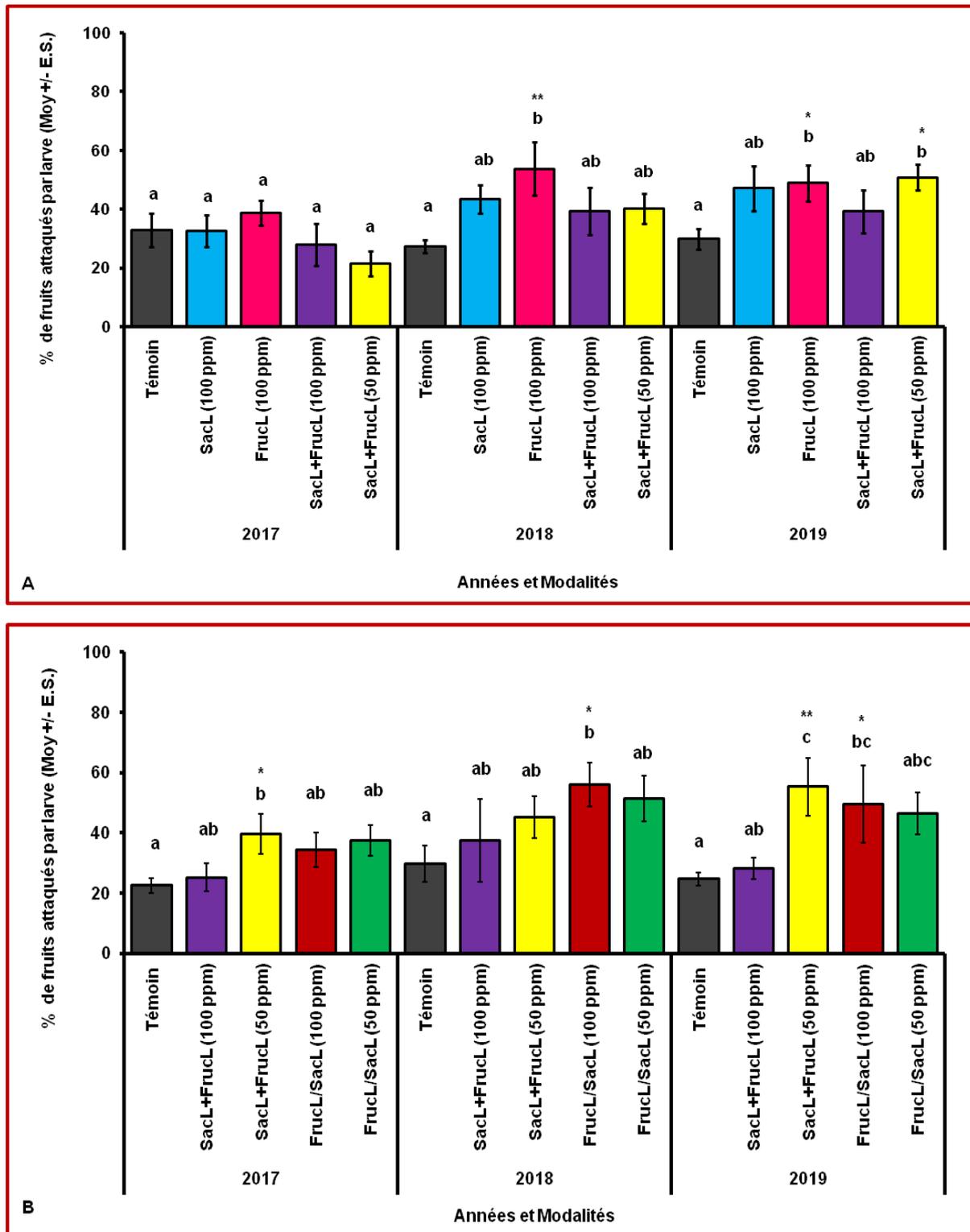


Figure 37: Pourcentage moyen des dégâts larvaires stoppés pour les fruits récoltés. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Tukey

H.S.D., $P < 0.05$). * : $P \leq 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$.

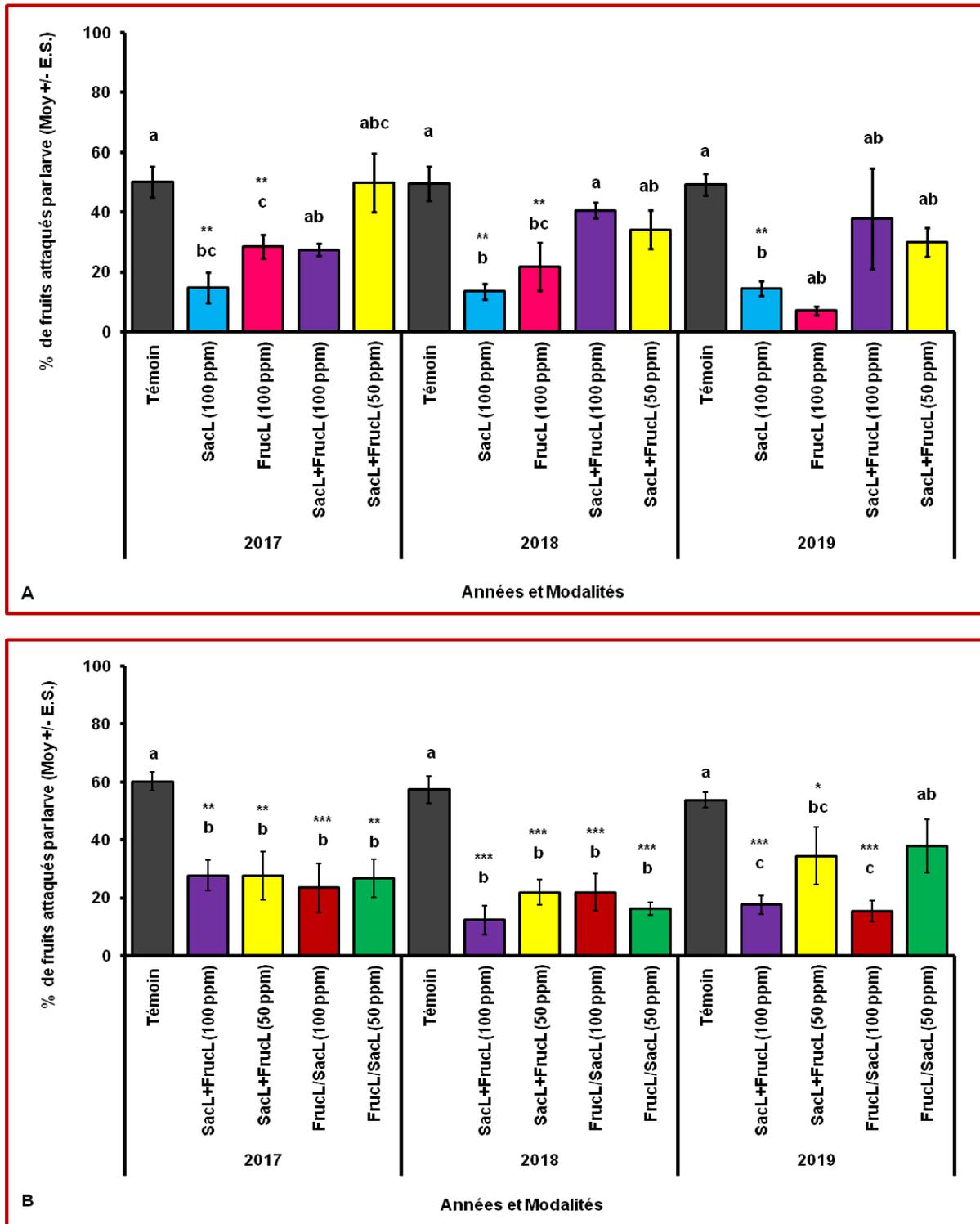


Figure 38: Pourcentage moyen des dégâts larvaires actifs pour les fruits récoltés : (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Tukey

H.S.D., $P < 0.05$). * : $P \leq 0.05$, ** : $P < 0.01$, *** : $P < 0.001$.

II.5.2.3. Efficacité des traitements Abbott

II.5.2.3.1. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre

➤ Toutes les modalités testées offrent une efficacité considérable pour les fruits tombés variant entre $30,93\% \pm 10,15$ et $69,74\% \pm 2,07$ pour la variété Anna, et entre $31,77\% \pm 3,74$ et $61,39\% \pm 1,81$ pour la variété Golden Delicious (**Figure 39 A et B**).

➤ Notons que la modalité FruL seul (100 ppm) appliquée sur la variété Anna attribuée l'efficacité la plus élevée durant les trois années d'étude, pour les fruits tombés par rapport aux autres modalités testées ($62,29\% \pm 8,14$, $69,74\% \pm 2,07$ et $52,90\% \pm 13,87$ par ordre). Ajoutons aussi qu'au niveau de la même variété, durant les années 2017 et 2018 le SacL+FruL (50 ppm) révèle l'efficacité la plus faible ($37,83\% \pm 3,90$ et $37,34\% \pm 9,78$ respectivement), comparant à toutes les modalités testées. Alors qu'en 2019 le SacL+FruL (100 ppm) note l'efficacité la plus faible ($30,93\% \pm 10,15$) (**Figure 39A**). Signalons que ce chiffre est le plus bas au cours des trois années d'étude et ce quelques soit la variété étudiée (**Figure 39A et B**).

➤ Pour la variété Golden Delicious, le traitement par le SacL seul (100 ppm), offrent une efficacité la plus élevée au cours des trois années d'étude de l'ordre de $60,03\% \pm 2,98$, $61,39\% \pm 1,81$ et $49,65\% \pm 12,61$ respectivement; pour les fruits tombés et attaqués. Notons que la valeur la plus faible ($31,77\% \pm 3,74$), est révélée en 2017 par la modalité SacL+FruL (50 ppm) (**Figure 38B**).

➤ Les analyses des variances (ANOVA) suivi par le test de Fisher L.S.D ($P < 0.05$) pour les fruits attaqués et tombés des deux variétés testées, permettent de relever des différences significatives à hautement significatives, À l'exception des modalités suivantes : en 2019 pour toutes les modalités, le Fructose seul et le Saccharose seul en 2017 et en 2019 et SacL+FruL (100 ppm) en 2017 (variété Anna) et FruL+SacL (100 ppm) au cours des trois années d'étude, SacL/FruL (100 ppm) en 2018 et en 2019, SacL/FruL (50 ppm) en 2018 ainsi que le SacL+FruL (50 ppm) en 2019 ceci au niveau de la variété Golden Delicious qui ne montrent pas des différences significatives (**Figure 39 A et B**).

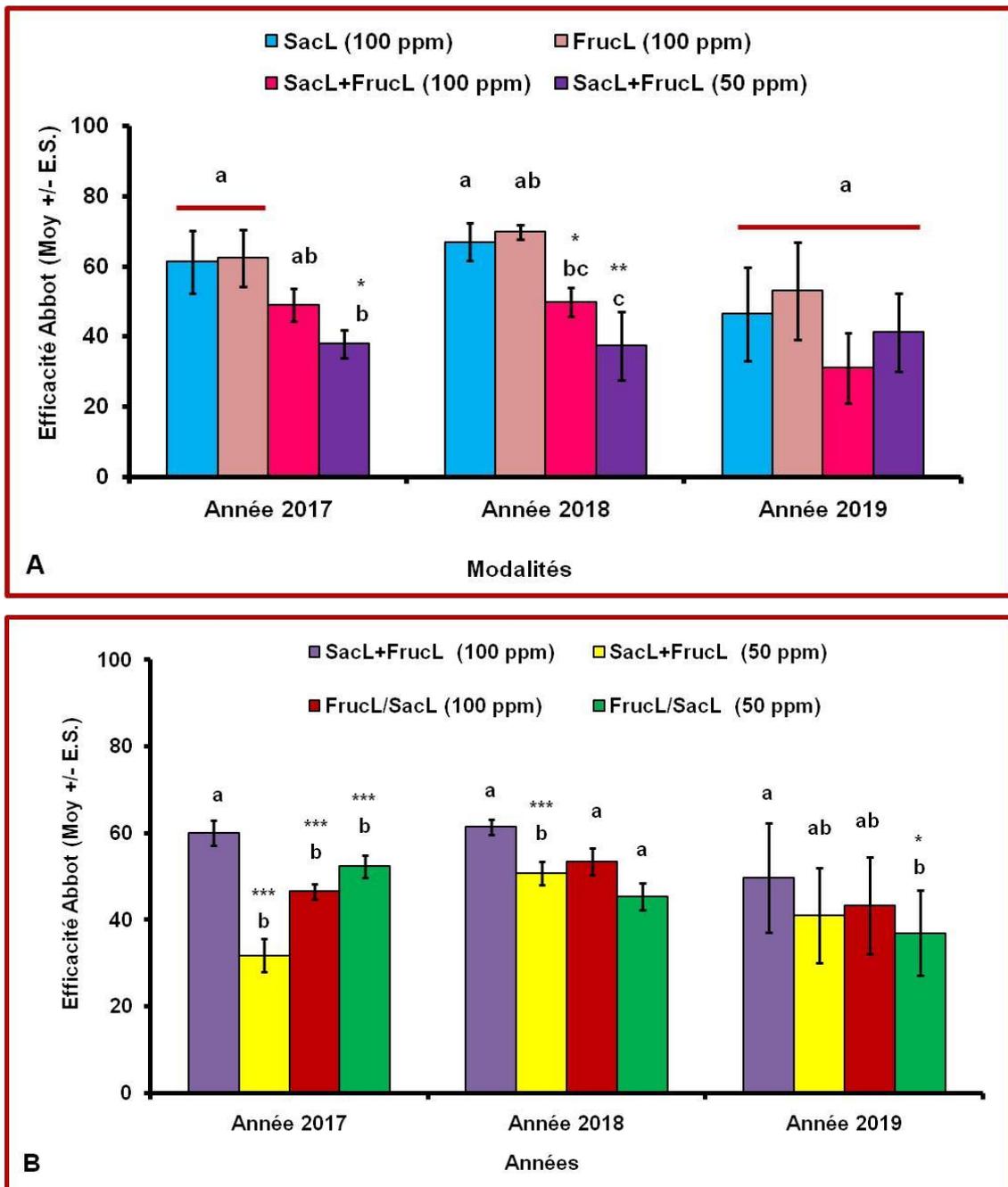


Figure 39: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits atteints à terre. (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). *: $P \leq 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$.

II.5.2.3.2. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits récoltés

✓ De même que pour les fruits tombés au sol, toutes les modalités testées offrent une efficacité considérable quelque soit la variété et l'année d'étude. Le saccharose seul et le Fructose seul à 100 ppm offrent une efficacité surprenante comprise entre $61,18\% \pm 4,83$ et $72,14\% \pm 3,27$, comparant à toutes les modalités testées (**Figure 40 A et B**).

✓ D'une manière globale, les modalités montrent une différence significative à hautement significatives pour les fruits récoltés des deux variétés testées. À l'exception des modalités suivantes : en 2018 pour toutes les modalités et le Fructose seul au cours des trois années (variété Anna) et FruL/SacL (100 ppm) en 2018 et en 2019, ainsi que le SacL+FruL (50 ppm) en 2018 ceci au niveau de la variété Golden Delicious qui ne montrent pas des différences significatives (**Figure 40 A et B**).

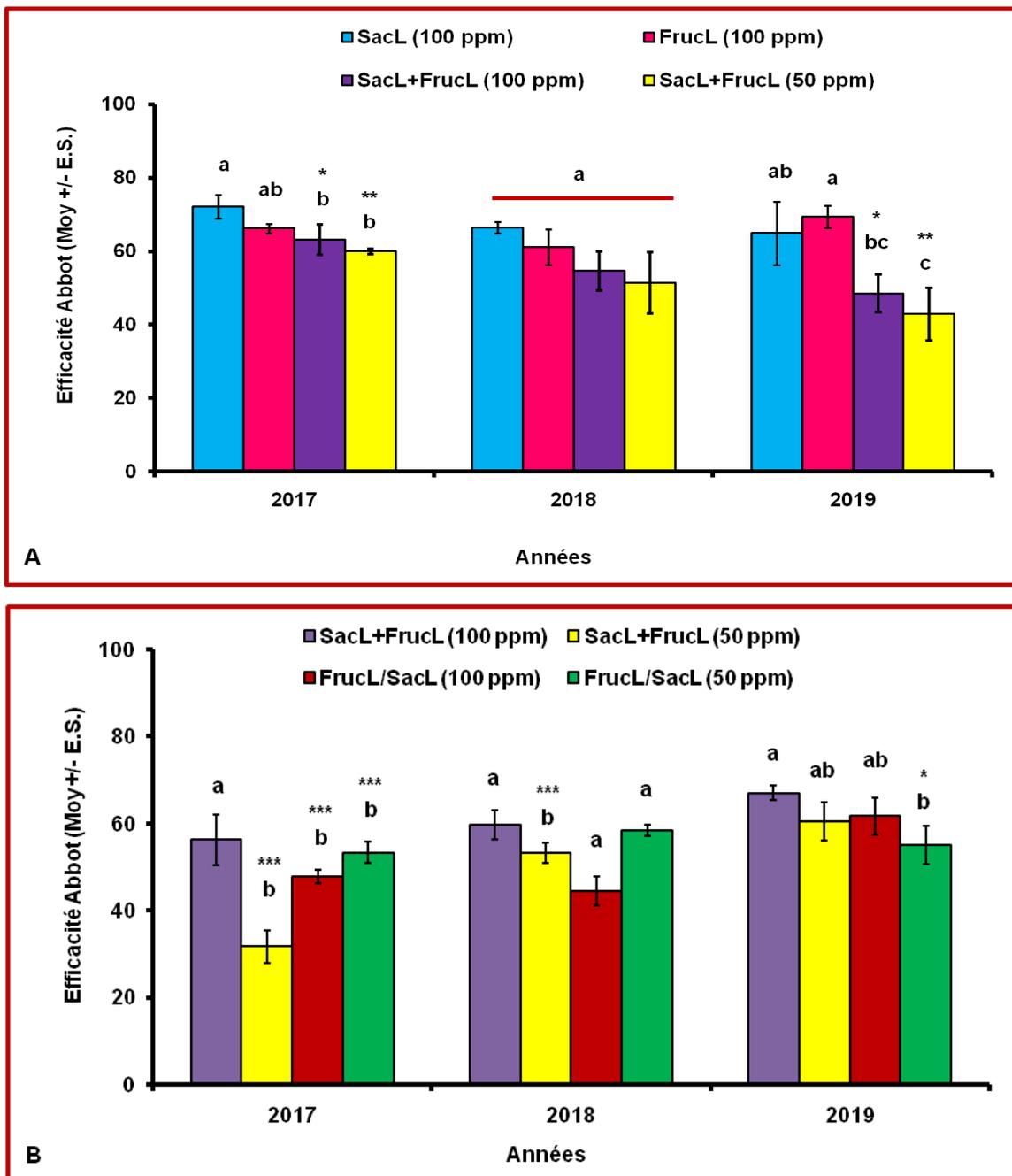


Figure 40: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits atteints à la récolte par arbre : (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). *: $P \leq 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$.

II.5.2.4. Nombre des larves diapausantes

Ce que nous avons constaté d'après la **Figure 41 (A et B)** que :

- ✓ Le nombre de larves diapausantes est élevé dans les blocs témoins quelque soit la variété étudiée et l'année d'étude. Notons que la valeur la plus élevée est enregistrée en 2019, sur la variété Anna ($20,50 \pm 3,07$).
- ✓ Alors que le nombre de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges dans les blocs pulvérisés au sucres, et quelque soit le sucre utilisé seul, en mélange ou en alternance, ce nombre est diminué et révèle une différence hautement significative obtenue entre le témoin et les modalités testées quelque soit l'année d'étude. Notons que le mélange des deux sucres à la dose 100 ppm sur la variété Golden Delicious en 2019 ; offre le meilleur résultat ($2,80 \pm 0,37$) par rapport aux autres modalités.

II.5.2.5. Discussion

Dans ce chapitre, nous avons testé à travers cette étude l'application foliaire d'infra-doses de sucres seuls, en mélange ou alternés, sur deux variétés de pommier (Anna et Golden Delicious) contre le carpocapse par l'induction de la défense à base de sucre. Au total cinq à sept traitements ont été réalisés au cours de la saison, sur les deux variétés.

Les résultats obtenus montrent un niveau d'infestation à la récolte qui varie entre $29,23\% \pm 1,47$ et $39,03\% \pm 0,41$ au cours des trois années d'étude et au niveau les deux parcelles. Ce pourcentage est jugé moyen par rapport aux années précédentes où l'arboriculteur enregistrerait des pourcentages plus élevés. Le cycle entier de la variété Anna, coïncide avec la première et le début de la troisième génération, et avec toutes les générations de ravageur pour la variété Golden Delicious, ce qui explique le pourcentage d'infestation obtenu. Toutes les modalités testées ont une efficacité variable mais elles semblent, globalement être très efficaces: l'efficacité Abbott est comprise entre $31,77\% \pm 3,74$ et $72,14\% \pm 3,27$. D'après ces résultats nous constatons l'absence d'un effet variétal entre les deux variétés étudiées (Anna et Golden Delicious). **Derridj et al., (2012)** et **Arnault et al., (2016)**, rapportent l'absence d'un effet variétal entre ces deux variétés après la pulvérisation des sucres à une dose de 100 ppm, ce qui confirme nos résultats.

D'après l'étude réalisée par **Lombarkia et Derridj (2002)**, nous pouvons dire que quelque soit la région ou la génération de l'insecte les variétés choisies sont sensibles au carpocapse, avec une légère préférence pour Golden delicious ; qui pourrait être expliqué, entre autres, par sa richesse en sucres et polyols.

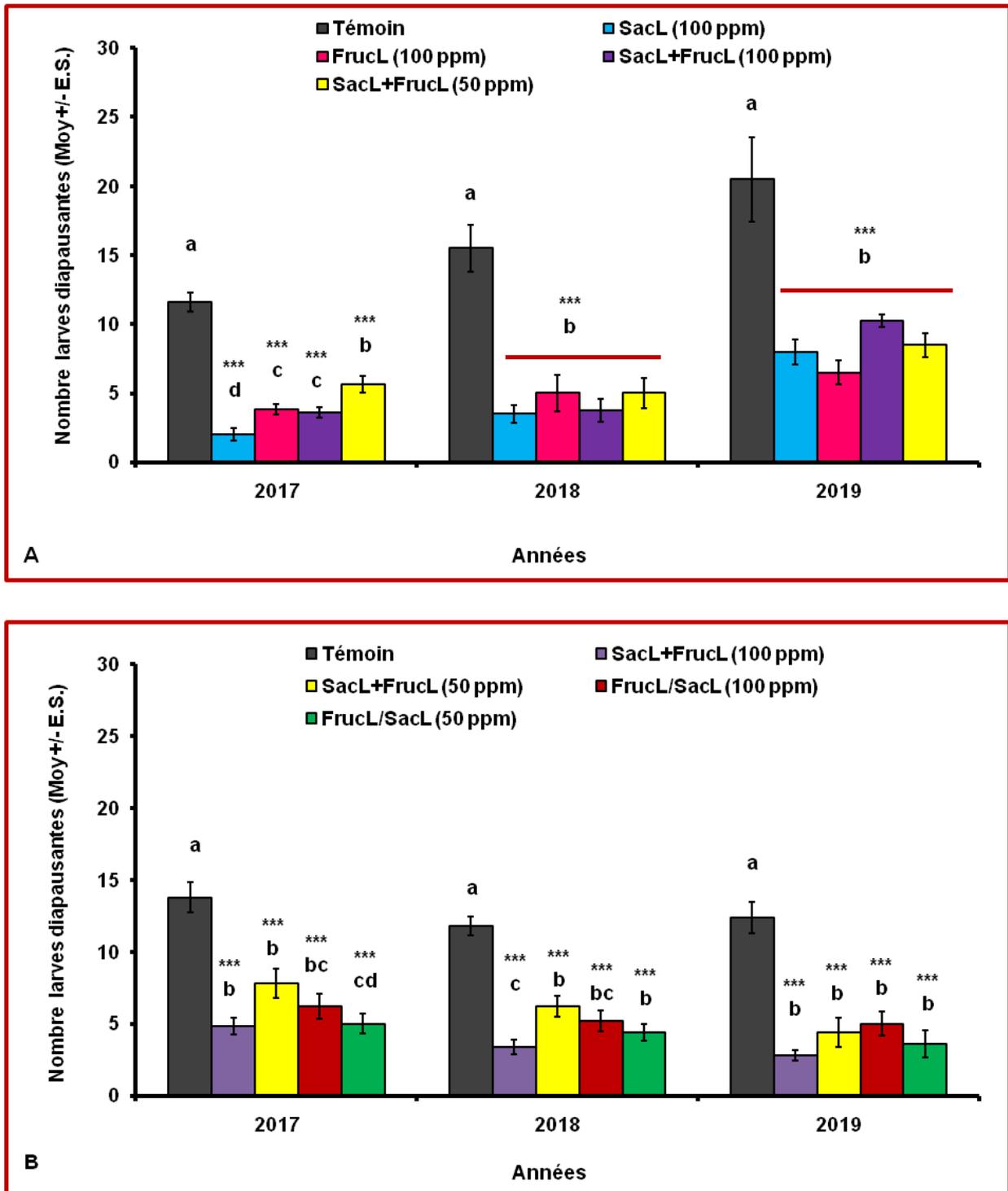


Figure 41: Nombre moyen de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges : (A) Parcelle 1 (Variété Anna, Tilatou), (B): Parcelle 3 (Variété Golden Delicious, Tilatou).

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). *** : $P < 0.001$.

Toutefois, pour qu'une troisième génération du carpocapse de la pomme puisse causer des dommages, il faut que les chenilles de cette génération puissent encore trouver des pommes à infester sur l'arbre. En fin de compte, c'est donc le développement phénologique de la plante hôte qui détermine le risque effectif d'infestation ; et celui-ci se différencie considérablement selon que les variétés de pommes soient à maturation précoce ou tardive (**Anonyme, 2021**).

Les résultats d'analyses récentes montrent, par exemple, qu'aujourd'hui, dans le sud de la Suisse, la probabilité qu'une chenille de la troisième génération du carpocapse de la pomme puisse causer des dommages n'est supérieure à 50% que pour la variété Golden Delicious à maturité tardive, alors qu'elle n'est que d'environ 10% pour la variété de pomme Gala à maturité plus précoce. À l'avenir, la probabilité d'infestation augmentera pour les deux variétés de pommes à cause de l'apparition d'une troisième génération de chenilles avant la récolte. Néanmoins, cette probabilité reste plus faible dans le cas de la variété Gala que dans celui de la variété Golden Delicious (**Anonyme, 2021**).

Notons que le saccharose seul et le fructose seul attribuent une efficacité surprenante varie entre $61,18\% \pm 4,83$ et $72,14\% \pm 3,27$, quelque soit la variété étudiée et l'année d'étude. Selon **Derridj et al., (2012)**, l'application exogène du saccharose et du D-fructose seul induit une résistance systémique par antixénose à la ponte du carpocapse ; suite à un changement métabolique dans les tissus et à la surface des feuilles de plusieurs espèces végétales, ce qui induit une modification physiologique et biochimique (**Smeekens et al., 2010 ; Arnault et Ondet, 2014**). **Arnault et al. (2016)**, montrent que les essais conduits en plein champs en France et en Algérie, dans des vergers de pommier (variété Golden Delicious, Anna et Starkrimson) pour limiter les dégâts due au carpocapse révèlent des efficacités Abbott pour le fructose et le saccharose de laboratoire (100ppm) de l'ordre de $48.9 \pm 9.1\%$ et $40.8 \pm 11.1\%$ respectivement. Aussi, des études récentes réalisées sur les variétés Golden Delicious et Royal Gala, dans différentes région dans la wilaya de Batna, confirment nos résultats et montrent que la pulvérisation du saccharose seul attribue une diminution significative du taux d'infestation causé par le carpocapse (**Bounahouche, 2017; Dafri, 2017; Lasfer, 2017; Zeghiche, 2018 ; Lakhdari, 2019**). De même, des résultats de laboratoire suivis d'application du saccharose et le fructose seuls contre le carpocapse en verger de pommier, sur vigne contre le mildiou et la pyrale du melon, depuis quatre et trois ans respectivement, montrent des réductions notables des dégâts (**Arnault et Ondet, 2014**).

La pulvérisation du mélange des deux sucres à une dose de 50ppm offre la plus faible efficacité par rapport aux modalités de mélange et d'alternance testées et prenant en compte l'année d'étude ($31,77\% \pm 3,74$ et $60,02\% \pm 0,74$). De même que pour les fruits récoltés et d'une manière générale, le saccharose seul et même le fructose seul (dans la plupart des cas) réduisent le taux d'infestation causés par le carpocapse et donnent les meilleures efficacités pour les fruits tombés au sol, quelque soit la variété étudiée, le jour d'observation et l'année d'étude. Ajoutons aussi que le mélange des deux sucres à une dose de 50ppm offre la plus faible efficacité par rapport aux autres modalités testées.

Selon **Derridj et al. (2012)**, la réduction de la dose des sucres de 0.1 à 10 g par 100 L d'eau ne change pas l'effet. Des doses plus élevées pourraient avoir une influence directe sur l'épiphyte ou la phase épiphyte de certains pathogènes avant la contamination.

Cependant, peu de travaux ont été réalisés sur l'alternance des deux sucres. D'après **Ondet, (2016)** en France et à la présence d'une forte pression de carpocapse (la variété Golden Delicious), le saccharose et le fructose de laboratoire et achetés dans le commerce, appliqués en alternance, très tôt le matin limitent les dégâts de carpocapse avec une efficacité de 41,08% et 35,85% par ordre pour des pourcentages moyens des dégâts à la récolte de 24,1% et 26,2% contre 40,6% sur le témoin, ce qui confirme nos résultats, où l'alternance de ces deux sucres à une dose de 100 et 50 ppm révèle un taux d'infestation varie entre $12,82\% \pm 1,39$ et $17,69\% \pm 0,99$ contre $31,88\% \pm 0,60$ et $34,95\% \pm 4,71$ sur le témoin. **Arnault et al. (2021)**, mentionnent que l'application du mélange sur pommier (Saccharose (0,1 g/L) + fructose (0,1 g/L)), tous les 21 jours, offre un gain d'efficacité de 23 % jusqu'à 46 % en arboriculture.

En France, durant la période 2012-2015, des travaux réalisés sur l'effet de la pulvérisation des sucres (Saccharose et Fructose) en mélange, en alternance ou seuls, sur pommier (Variétés, Golden Delicious, Gala, Reine de Reine), à une dose de 100ppm, montrent que quelque soit la modalité utilisée, le pourcentage des fruits attaqués est réduits par rapport au témoin et que celle avec virus de la granulose, d'où les sucres seuls offrent un meilleur résultat suivi par le mélange puis les sucres alternés (**Ondet, 2016**).

Sept années d'essais (de 2012 jusqu'à 2019) permettent de conclure que ces deux sucres en mélange à 0,1g/l permettent de diminuer les dégâts de carpocapse sur pommes à la

récolte dans les conditions d'essai mais cet effet n'est pas obtenu chaque année et sans obtention systématique de différences statistiques.

Lorsque la stimulation est inefficace, les résultats à la récolte sont similaires à ceux de la référence à base de virus de la granulose. Les facteurs influençant la stimulation des arbres sont certainement nombreux et nous ne les maîtrisons pas. La diminution des dégâts de carpocapse obtenus en 2017 avec le mélange fructose et saccharose à 100ppm (0,1g/l) chacun est validé par l'essai de 2020. En effet, l'ensemble des traitements à base de sucre (mélange des deux sucres à 0,1g/l, 0,5 ou 1g/l) donne des résultats statistiquement différents du témoin non traité et proches de ceux obtenus sur arbres protégés par virus de la granulose. L'effet de la dose de sucre (entre 100ppm, 500 ou 1000ppm) ne semble pas impacter beaucoup les résultats. L'expérimentation durant l'année 2020 a permis de conclure sur une efficacité du mélange saccharose et fructose à 0,1g/l, 0,5g/l ou 1g/l similaire à une protection à base de virus de la granulose (**Ondet, 2021**).

Notons que l'efficacité élevée du saccharose par rapport aux autres sucres, pourrait être due à son hydrolyse en fructose et glucose afin d'agir sous les 3 formes de sucres (**Derridj, 2013**). Selon **Ondet et Gorski (2015)**, la pulvérisation du saccharose et du fructose, offrent une efficacité de 27,83 % et 25,86 % par ordre sur la variété Golden Delicious. Nous supposons que cette différence d'action des deux sucres serait être due à la perméabilité de l'espèce végétale (pommier, variété Starkrimson), à l'heure d'application et le climat (particulièrement la température) : **Derridj et al. (1996)**, mentionnent que les propriétés de perméabilité des cuticules foliaires ont un rôle important dans le passage des sucres. Où l'adsorption des sucres à la surface de la cuticule dépend principalement de leur lipophilicité qui est généralement décrite par le coefficient de partage octanol/eau (**Wang et Liu, 2007**). Et qui peut varier selon l'espèce végétale, l'organe et l'âge de la plante. Selon **Scalla (1991)**, le processus de pénétration foliaire est plus important sur une feuille jeune que sur une feuille âgée. Ceci est lié au fait que les jeunes feuilles sont très mouillables et sont dépourvues de cires épicuticulaires, d'une part. D'autre part, la pénétration foliaire ne dépend pas de l'épaisseur de la cuticule. Par ailleurs, les trichomes confèrent une rugosité à la cuticule et jouent un rôle important dans la mouillabilité des surfaces foliaires, affectant en conséquence la pénétration foliaire des sucres (**Xu et al., 2011**). De même que l'influence de la variété et l'âge du verger (**Kosina, 2008, Treder, 2010**).

Nos résultats montrent clairement que quelque soit la variété étudiée et l'année d'étude les attaques actives par le carpocapse sont plus élevées que celles cicatrisées et stoppées pour le témoin. Alors que pour toutes les modalités testées sucres seuls, en mélange ou alternés, les attaques stoppées sont plus élevées que celles cicatrisées et actives. Notons que cette étude montrent aussi que la pulvérisation des sucres induit plus d'attaques stoppées quelque soit l'année d'étude et la variété étudiée. Le travail réalisé par **Kolli (2016)** sur la variété Royal Gala dans la région de Besbes (W. de Taref) montre que la pulvérisation du Fructose seul à une dose de 100ppm engendre plus des dégâts larvaires stoppés que celles actives et cicatrisées pour les fruits récoltés par arbres, ce qui confirme nos résultats. Par contre, les travaux réalisés par **Dafri (2017)** et **Bounahouche (2018)** sur Royal Gala et Golden Delicious respectivement, dans la région d'Ain touta et Merouana (par ordre), notent que la pulvérisation du Saccharose seul (100ppm) provoque un pourcentage largement élevé d'attaques actives par rapport aux attaques cicatrisées et stoppées, ce qui n'est pas le cas pour notre étude, et qui peut être attribué à la différence de région, de conditions climatiques, mode de conduite du verger et l'âge des arbres. Selon **Cabanat (1999)**, le saccharose et le fructose sont des phagostimulants qui augmentent le mordillage par les larves à une dose de 100ppm. Alors que le glucose a une activité répulsive qui se supprime à la de 100 ppm et induit un effet phogoincitant. Pour notre cas, nous pouvons dire que la pulvérisation des sucres seuls, en mélange ou en alternance induisent une activité dissuasive sur les larves ce qui se traduit par un pourcentage élevé d'attaques stoppés.

Une étude sur les larves néonate du carpocapse réalisée par **Pszczolkowski et Brown (2005)**, révèle qu'une forte concentration de saccharose réduit et retarde la prise de nourriture.

D'une manière générale et quelque soit le type de dégâts et les fruits tombés ou récoltés, la réduction du taux d'infestation est expliqué par le fait que certains groupes de molécules d'origine végétale constituent à la surface des plantes des signaux perçus par le ravageur qui influence son comportement, stimulent l'oviposition chez les femelles et le comportement alimentaire des adultes et les larves chez plusieurs insectes (**Cabanat, 1999 ; Vrieling et Derridj, 2013; Derridj et al., 2011a; Lombarkia, 2002**). En plus, la pénétration des substances solubles à l'eau (sucres solubles et polyols), déposées à la surface de la plante, peuvent stimulées des réactions de défense à l'intérieur de la plante.

Nos résultats montrent aussi que les modalités testées diminuent significativement la population larvaire de carpocapse. Une diminution du nombre de larve de carpocapse de la

pomme dans les bandes-pièges laisse présager une plus faible population d'adultes l'année suivante. La pulvérisation des sucres, montre une diminution du nombre de larves séquestrées et logées par bandage des troncs d'arbre au moyen de carton ondulé selon les travaux réalisés (**Brahim *et al.*, 2014 ; Guerfi, 2014, Nasri, 2015 ; Meradi, 2015 ; Arnault *et al.*, 2016b; Bounahouche, 2017 ; Dafri, 2017; Lasfer, 2017 ; Zeghiche, 2018 ; Lakhdari, 2019**).

L'efficacité de l'utilisation des sucres dans la réduction des dégâts de carpocapse peut être expliquée selon **Arnault et Ondet (2014)**, de l'effet rapide sur l'expression de gènes impliqués dans les systèmes de protection contre les stress. Les effets d'induction de résistance de la plante sont similaires à ceux des éliciteurs de défense, cependant d'autres voies de signalisation non communes aux éliciteurs semblent être activées avec un effet plus immédiat.

De cet effet l'utilisation des sucres entant des substances de base à faible risque, de substances peu préoccupantes ou alimentaires en vertu de l'article 23 du règlement CE n°1107/2009 (DG Santé). En effet, ces substances montrent leur efficacité ce qui permet à approuver le saccharose au 22 août 2014 (règlement d'exécution CE n°916/2014) et le fructose au 13 août 2015 (règlement d'exécution UE n° 1392/2015) (**Arnault, 2015 ; Arnault *et al.*, 2015 ; Arnault *et al.*, 2016b, Marchand 2016**).

Les substances de base permettent de se prémunir contre certaines maladies ou certains nuisibles à moindre coût. Les sucres, jouent entant qu'éliciteurs ayant un effet insecticide (**ITAB, 2018**) via la stimulation de l'immunité de la plante et les mécanismes de défense des plantes (**Bolouri Moghaddam et Van den Ende, 2013**) sont une voie nouvellement explorée et prometteuse.

II.5.3. Effet du rythme circadien sur l'utilisation des sucres dans la lutte contre *C. pomonella*

Notre objectif ici vise à pulvériser les sucres seuls, en mélange et en alternance, à trois différentes heures dans la journée (tôt, au milieu de la journée et tard), tous les 21 jours sur les trois variétés de pommier, en présence d'un témoin.

II.5.3.1. Taux d'infestation

II.5.3.1.1 Taux d'infestation pour les fruits attaqués et tombés à terre

La figure 42 résume les résultats attribués par la pulvérisation des sucres seuls en mélange et en alternance et montre que :

- Le taux d'infestation pour les fruits tombés, dans les blocs traités par le saccharose seul, le Fructose seul et le Sac/Fruc enregistrent un pourcentage élevé lorsqu'ils sont traités au milieu de la journée entre 10h00 et 12h00 ($25,62\% \pm 6,91$, $29,30\% \pm 3,63$ et $27,80\% \pm 4,25$) par rapport à une pulvérisation tôt dans le matin et tard dans la journée. Par contre, pour la modalité Sac+Fruc enregistre ($23,37\% \pm 4,12$) le taux le plus élevé lorsqu'il est pulvérisé tard dans la journée. Notons que le pourcentage d'infestation le plus faible est enregistré par la modalité Sac/Fruc lorsqu'elle est pulvérisée tard dans la journée ($6,87\% \pm 1,77$).
- L'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les trois heures de traitement pour les fruits attaqués et tombés à terre, à l'exception pour la modalité Sac/Fruc où la différence étant très significative entre 16h00-18h00.

II.5.3.1.2. Taux d'infestation pour les fruits récoltés

D'après la figure 43, la pulvérisation, au milieu de la journée, des sucres seuls ou alternés montrent un taux d'infestation des fruits récoltés plus importants que dans le cas où ils sont pulvérisés tôt ou tard dans la journée. Le mélange de sucres révèle un taux d'infestation faible lorsqu'il est utilisé au milieu de la journée. Ajoutons aussi, que le taux le plus faible noté par les sucres alternés est enregistré lorsqu'ils sont pulvérisés entre 16h00 et 18h00 : la différence étant hautement significative. Pour les modalités (saccharose seul, fructose seul et mélange des deux sucres), l'analyse statistique ne montre aucune différence significative entre les trois heures de traitement pour les fruits attaqués et récoltés.

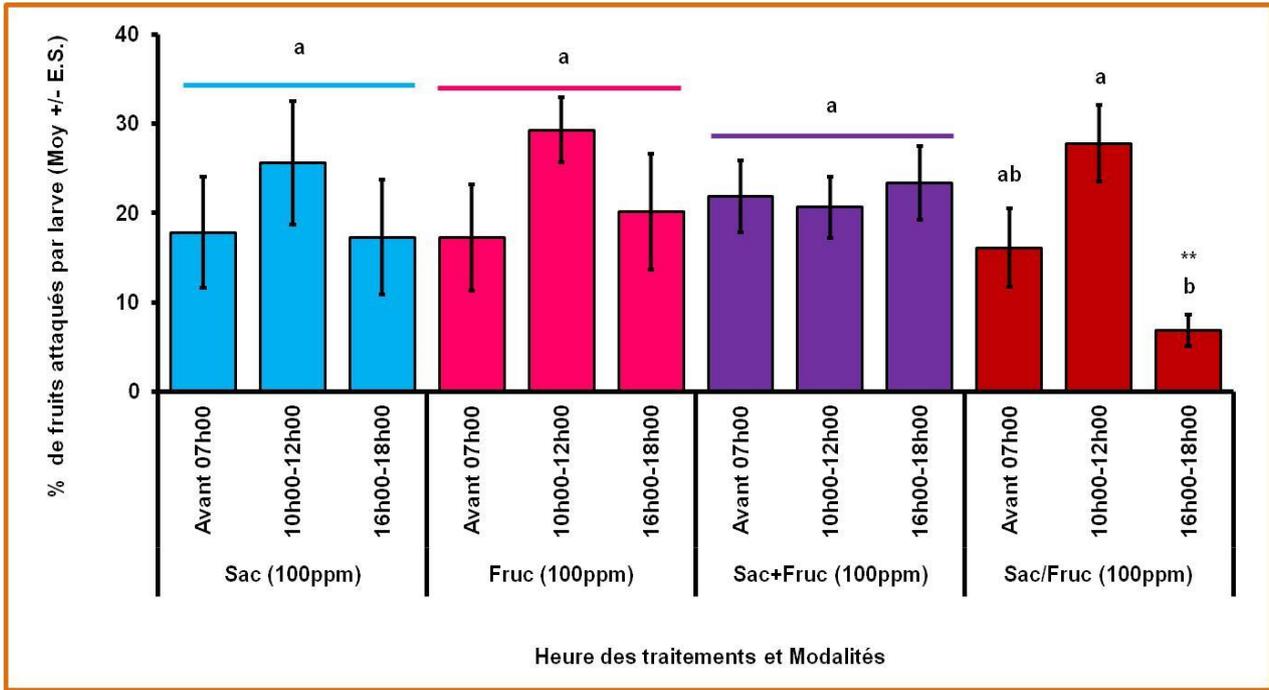


Figure 42: Pourcentage moyen des fruits attaqués et tombés à terre.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). **: $P < 0.01$.

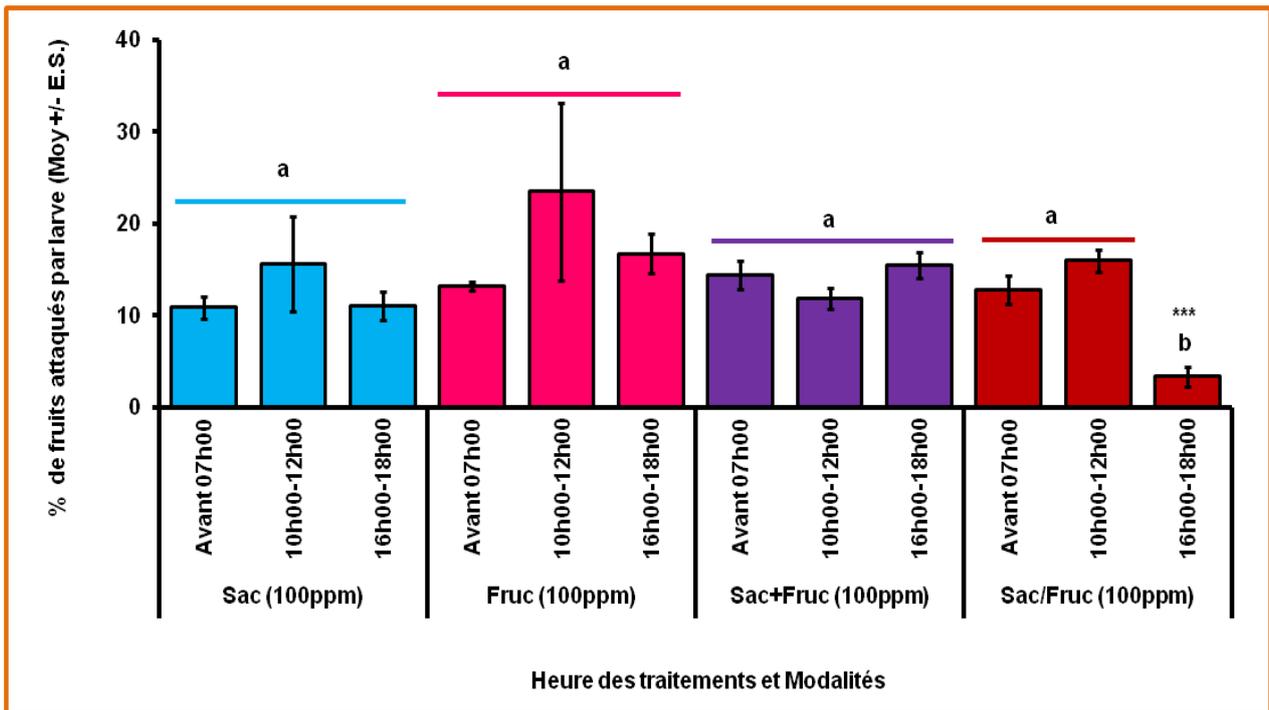


Figure 43: Pourcentage moyen des fruits attaqués à la récolte par arbre.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). ***: $P < 0.001$.

II.5.3.2. Efficacité des traitements Abbott

II.5.3.2.1. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits tombés à terre

Les résultats récapitulés dans la figure 44, montrent que :

- La pulvérisation du Saccharose et du fructose seuls avant 07h00 ou entre 16h00-18h00, donne une efficacité considérable pour les fruits attaqués et tombés au sol allant jusqu'à 65,32%. Cependant, une application au milieu de la journée offre une efficacité plus faible par rapport aux deux autres comprise entre 36,38% et 42,35%.
- La pulvérisation des sucres en mélange ou en alternance, au milieu de la journée offre une efficacité élevée (46,56% et 60,03%) par rapport aux deux autres heures de traitement.
- Signalons aussi que d'après la même figure Saccharose et du fructose seuls offrent une meilleure efficacité qu'en alternance et le mélange des sucres surtout lorsqu'ils sont appliqués avant 07h00 ou entre 16h00-18h00.
- Aucune différence significative n'a été révélée pour les modalités de saccharose, fructose seul et du mélange pour les fruits attaqués et tombés au sol. Sauf que la modalité d'alternance lorsqu'elle est appliquée tard dans la journée révèle une différence significative pour les fruits attaqués et tombés au sol.

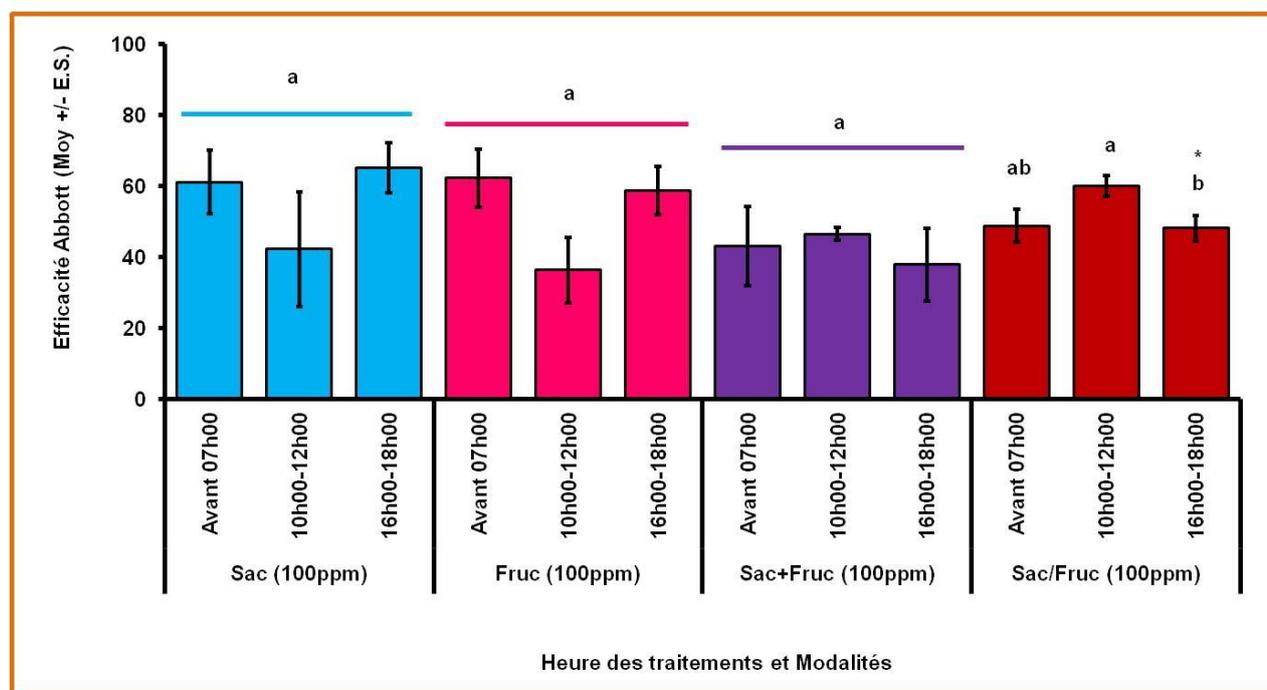


Figure 44: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués et tombés à terre.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D.,

$P < 0.05$). *: $P < 0.05$.

II.5.3.2. Efficacité des traitements Abbott pour les fruits récoltés

- Quelque soit le sucre utilisé (seul, en mélange ou en alternance) et l'heure du traitement, les modalités testées offrent une efficacité surprenante pour les fruits récoltés, ainsi que pour les fruits attaqués et tombés au sol (**Figure 45**).
- D'après la même figure, quelque soit l'heure de traitement, l'utilisation du saccharose seul offre l'efficacité la plus élevée (arrive jusqu'à $72,14\% \pm 3,27$), par rapport aux autres modalités, alors que la modalité d'alternance enregistre l'efficacité la plus faible ($34,93\% \pm 17,92$).
- Malgré ces résultats enregistrés, aucune différence significative n'a été révélée pour toutes les modalités.

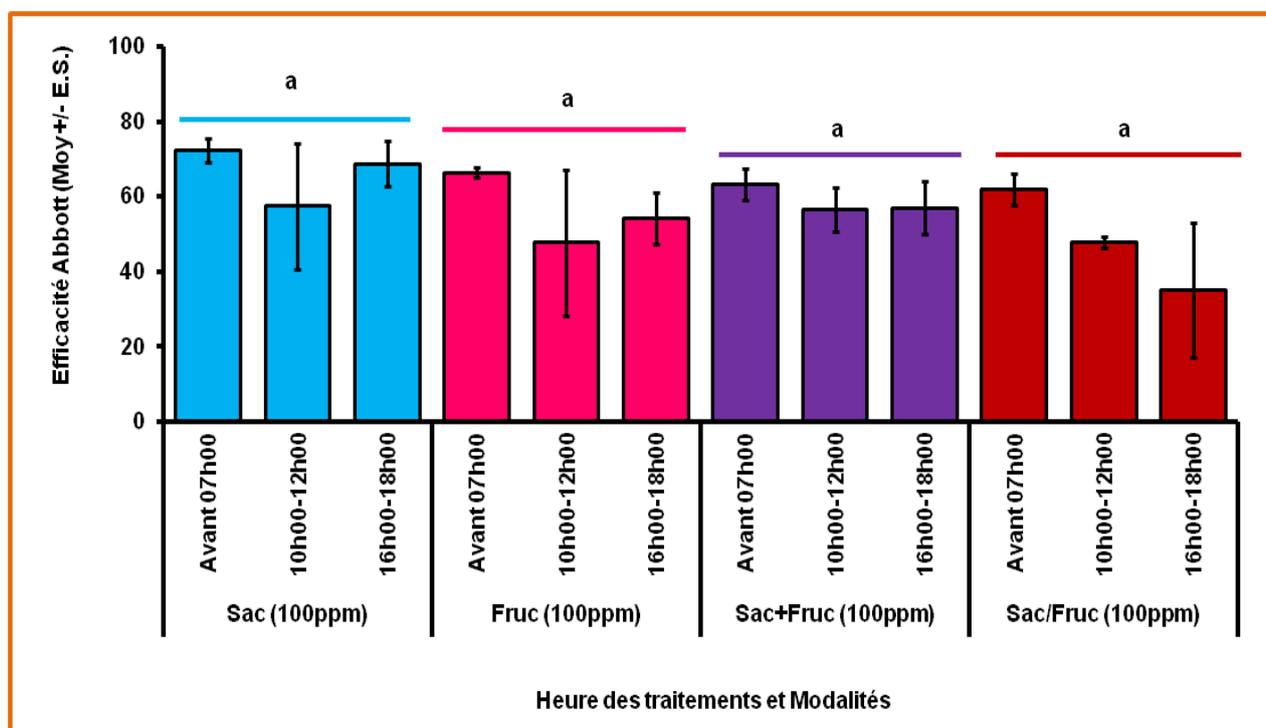


Figure 45: Efficacités des traitements Abbott pour les fruits attaqués et récoltés par arbre.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$).

II.5.3.3. Nombre des larves diapausantes

Selon la figure 46, nous avons constaté que :

- ✓ Le nombre de larves diapausantes est élevé dans tous les blocs traités entre 10h00-12h00 quelque soit la modalité testée: le fructose seul enregistre le nombre le plus élevé ($7,00 \pm 0,71$). Le saccharose seul enregistre le nombre le plus faible ($2,0 \pm 0,45$) lorsqu'il est traité avant 07h00.

✓ Notons que le saccharose et le fructose seuls, révèlent une différence très à hautement significative pour le nombre de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges, lorsqu'ils sont appliqués entre 10h00- 12h00. Alors que les modalités de mélange et d'alternance offrent une différence significative à très significative entre 16h00-18h00.

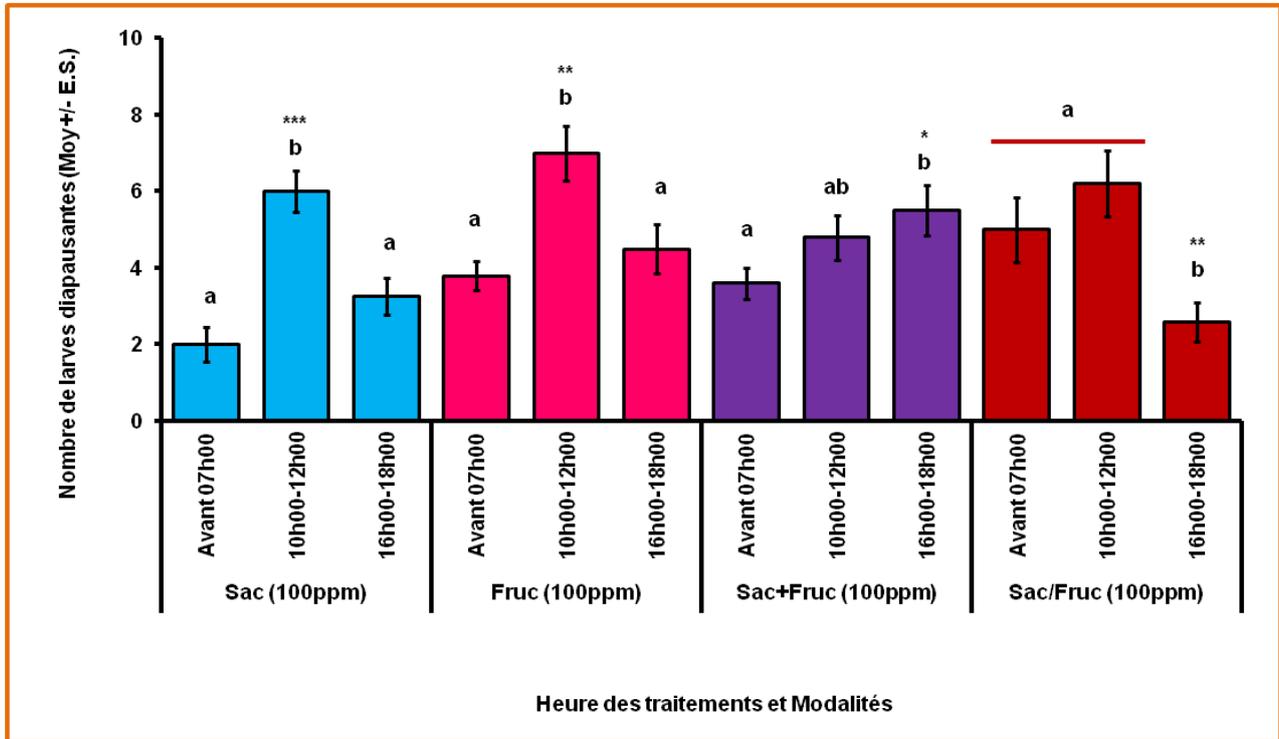


Figure 46: Nombre moyen de larves diapausantes capturées dans les bandes pièges.

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (ANOVA, test de Fisher L.S.D., $P < 0.05$). ***: $P < 0.001$.

II.5.3.4. Discussion

Les glucides sont les produits de la photosynthèse et, outre leur rôle métabolique fondamental, les propriétés de signalisation de molécules telles que les hexoses et le saccharose sont bien établies (Lastdrager *et al.*, 2014 ; Li et Sheen, 2016). Les sucres tels que le glucose, le fructose et le saccharose ont acquis des fonctions régulatrices importantes au cours de l'évolution, de nombreux processus de développement, la formation d'organes de stockage souterrains, la floraison, la régulation de l'horloge circadienne et la sénescence, semblent également être régulés par la signalisation du sucre (Willemoes *et al.*, 1988; Quirino *et al.*, 2000).

La signalisation et la dynamique des sucres solubles sont cruciales pour le contrôle du développement et de l'organogenèse des plantes (Yu *et al.*, 2013; Mudgil *et al.*, 2016), ainsi que pour faire face aux stress biotiques et abiotiques (Morkunas et Ratajczak, 2014 ; Yamada *et al.*, 2016). Ceci par le contrôle de l'expression des gènes responsable (Bolouri-Moghaddam et Van

den Ende 2012 ; Ceusters et al., 2016). Leur importance émergente dans les processus immunitaires a conduit au développement du concept de "Sweet Immunity", qui postule que les sucres et les composants du métabolisme des sucres sont des acteurs essentiels des stratégies de défense des plantes (**Moghaddam et Van den Ende 2012**). Généralement, les niveaux de transcription de milliers de gènes sont en corrélation avec les variations du taux de sucre (**Kunz et al., 2015**).

Notre objectif ici est de tester l'effet des infra-doses de sucre seul, en mélange et en alternance à une dose de 100ppm, tous les 21 jours, à différente heure dans la journée (tôt, au milieu de la journée et tard), ce qui coïncide avec le début, le pic et la fin de la photosynthèse respectivement. D'après notre étude, nous avons constaté que :

- Le saccharose seul, le fructose seul et même en alternance, révèlent un taux d'infestation élevé lorsqu'ils sont pulvérisés au milieu de la journée que tôt ou tard pour les fruits attaqués et tombés au sol, de même que pour les fruits récoltés et le nombre de larves diapausantes.
- Alors que la modalité du mélange montre un taux d'infestation élevé lorsqu'il est pulvérisé tard dans la journée que tôt le matin et au milieu de la journée ceci pour les fruits attaqués et tombés au sol, de même que pour les fruits récoltés et le nombre de larves diapausantes.
- D'une manière générale, les quatre modalités testées offrent un gain d'efficacité jugée faible à surprenant (de 16,80% jusqu'à 72,14%). Notons que les sucres seuls et en alternance obtiennent une efficacité élevée lorsqu'ils sont pulvérisés tôt le matin pour les fruits attaqués et tombés au sol et même que pour les fruits récoltés. Cependant, la modalité du mélange offre une efficacité par sa pulvérisation tard, pour les fruits attaqués et tombés au sol et lorsqu'il est pulvérisé tôt le matin et au milieu de la journée pour les fruits récoltés.

A notre connaissance tous les travaux réalisés sur l'effet de la pulvérisation des infra-doses de sucres, en arboriculture (pommier et vigne), cultures maraîchères (tomate, piment, salade....) et même céréales, contre différents ravageurs (carpocapse, pyrale, cicadelle, nématode....) et maladies (mildiou,...) ont été appliqués tôt le matin, et aucun travail n'a été réalisé sur l'application des sucres au milieu ou tard dans la journée. En outre, toutes les études réalisées sur le couple carpocapse/pommier, soit en France ou en Algérie qui ont été réalisées tôt le matin (coïncidant avec le début de photosynthèse) montrent un gain d'efficacité des sucres par la réduction des niveaux d'infestation par rapport au témoin.

Les voies de signalisation des sucres contribuent de diverses manières aux réponses de défense des plantes. L'immunité innée des plantes est un réseau complexe dans lequel interviennent de nombreuses molécules de signalisation et des liaisons hormonales croisées. Les composants de l'horloge ont des interactions étroites et directes avec les voies liées aux hormones végétales comme l'acide salicylique (résistance systémique acquise) et le jasmonate/éthylène (résistance systémique induite). Les signaux de sucre peuvent avoir un rôle réciproque avec l'horloge ; d'une part, ils fournissent des signaux environnementaux à l'horloge, influençant ses composants, mais d'autre part, ils fournissent également un signal de l'horloge à différentes voies (**Pieterse et al., 2009; Dicke et van Loon 2014 ; Trevalot et al., 2014**). Cela offre des possibilités d'un " Sweet priming", défini comme un processus physiologique qui prépare les plantes à une réponse de défense plus rapide et/ou plus forte robuste de l'immunité et de la tolérance au futures stress biotiques ou abiotiques (**Conrath 2011; Bolouri-Moghaddam et Van den Ende 2012 ; Ceusters et al., 2016**).

D'une manière générale est selon nos résultats et malgré l'absence des différences significatives, la pulvérisation des sucres quelque soit la modalité montre une bonne efficacité tôt le matin et même tard lorsque les niveaux de sucres sont faibles. Selon **Arnault et al. (2021)**, l'apport exogène des sucres peut activer différentes voies de défense. En effet, les études in vitro ont révélé que les sucres activaient des voies de défense mais pas toujours de la même façon. Cette variabilité intrinsèque inexplicée induit probablement cette variabilité au champ ce qui peut expliquer nos résultats trouvés. Il a également été démontré que l'augmentation des concentrations de saccharose et de glucose peut supprimer l'expression des gènes photosynthétiques (**Sheen, 1994; Nie et al., 1995**), ce qui peut expliquer les résultats enregistrés par l'application des sucres au milieu de la journée.

Ajoutons aussi que la différence d'action des modalités testées peuvent être due à la quantité de sucres reçue par la plante qui varie selon les conditions de la parcelle (surface, type de pulvérisation, nombre de plantation par hectare), la pression du ravageur, l'état de stress abiotique des plantes, et la pénétration des sucres dans la plante. Les sucres pénètrent par les stomates qui sont des organes de régulation des échanges gazeux et de la pression osmotique. Le nombre de stomates varie en fonction des variétés et de la face foliaire. Les stomates sont en général sur les faces inférieures, plus difficilement mouillables, ce qui protège la plante du dessèchement. La pénétrabilité des produits est donc soumise aussi à la densité des stomates sur la face supérieure et celle-ci est difficilement contrôlable (**Arnault et al., 2021**). En plus l'ouverture et la fermeture des stomates est influencée par la photosynthèse, la lumière et à des signaux hormonaux dont ces derniers sont en relation avec le rythme circadien. Notons que la fermeture des stomates est

considérée comme la première ligne de défense contre les attaques des pathogènes et les autres ravageurs, et qui est organisée par les hormones, dont ces derniers sont contrôlés par la voie de signalisation des sucres. L'horloge circadienne est stimulée par le couple lumière/température (**Bolouri-Moghaddam et Van den Ende 2013**), et la concentration de saccharose dans les tissus végétaux correspond directement à l'intensité lumineuse et est inversement liée à la température (**Ceusters et al., 2016**).

D'après **Goodspeed et al. (2012)**, l'accumulation circadienne de l'acide jasmonique chez *Arabidopsis thaliana* est synchronisée avec le comportement alimentaire des insectes. La production des jasmonates (molécules à un effet insecticide) varie selon le moment de la journée, dont il anticipe l'arrivée d'insectes qui accompagne le lever du jour et produit des réserves de molécules pendant la nuit. Ce qui prouve l'existence du concept émergent de résistance à l'herbivore renforcée par l'horloge.

L'horloge circadienne est particulièrement sensible à la signalisation induite par le saccharose, qui peut affecter les rythmes circadiens en modifiant le schéma d'expression des gènes régulés par l'horloge et des gènes de l'horloge eux-mêmes (**Ceusters et al., 2016**), ce qui explique nos résultats.

En plus leurs rôle, les sucres n'imposent pas les coûts associés à la mise en œuvre complète d'une défense induite (**Ceusters et al., 2016**).



Conclusion et perspectives

La lutte contre *C. pomonella* repose sur l'application des insecticides. Toutefois, les effets potentiels de l'utilisation excessive des pesticides sur l'environnement et la santé humaine, impliquent une urgence à trouver de nouvelles alternatives pour son contrôle. Ces alternatives, qui doivent être compatibles avec une agriculture durable, une alimentation saine et une production de qualité et en quantité.

Dans le but de l'élaboration d'une méthode de lutte alternative à la lutte chimique pour combattre le carpocapse des pommes, notre travail a pour objectif de tester l'efficacité des sucres solubles (Saccharose et Fructose) de laboratoire et de commerce, seul, en mélange ou en alternance, à différentes heures dans la journée. Pour cela, nous avons choisi, trois variétés : Anna, Golden Delicious et Starkrimson et trois régions (Tilatou, Lambiridi et Gosbat).

Les principaux résultats retirés de notre recherche sont :

✚ D'une manière générale :

- ✓ Une sensibilité des variétés étudiées (Anna, Golden Délicieux et Starkrimson) aux attaques du *C. pomonella*, avec une légère préférence de la variété Golden Delicious
- ✓ Les arbres de témoin sont les plus infestés par le carpocapse par rapport aux parcelles traitées par les sucres quelque soit l'année de l'étude, la variété, le type de fruits attaqués (tombés ou récoltés), le mode de traitement (sucre seul, mélange ou par alternance) et l'heure d'application.
- ✓ De même que le taux d'infestation, le nombre de larves diapausantes est élevé au niveau des arbres témoin par rapport à ceux traités par les infra-doses de sucres, quelque soit l'année, le mode de traitement (sucre seul, mélange ou par alternance) et l'heure d'application. L'analyse statistique montre une différence hautement significativement d'une manière générale.
- ✓ Les traitements par les sucres ont une efficacité variable mais ils semblent globalement être efficaces.
- ✓ Les variétés testées (Golden Delicious, Anna et Starkrimson) paraissent répondre de façon positive à la pulvérisation des sucres à une dose de 100 ppm; cette dernière est très forte tôt le matin, moyennement en fin de la journée et faible au milieu de la journée.

✚ Effet de pulvérisation des infra-doses des sucres de commerce sur le taux d'infestation par le carpocapse au cours des trois années d'expérimentation

- ✓ L'ensemble des modalités testées réduisent les dégâts causés par le carpocapse pour les fruits attaqués récoltés ou tombés au sol, au niveau des trois parcelles d'étude, quelque soit l'année d'étude. La pression du ravageur est faible à moyenne ; elle est comprise entre 29% et 39%.
- ✓ Toutes les modalités testées réduisent le taux d'infestation sur les trois années d'étude offre une efficacité comprise entre 26% à 72%. Notons que le saccharose seule, notamment à la dose de (100ppm) et le fructose seul, enregistrent l'efficacité la plus élevée.
- ✓ Il semblerait que les sucres testés sont plus efficaces lorsque la pression du ravageur est faible.

✚ Evaluation de l'intérêt de l'utilisation des infra-doses de sucres de laboratoire seuls, en mélange ou en alternance

- ✓ Quelque soit le mode de traitement de sucre (seul, en mélange ou en alternance), le taux d'infestation est réduit par rapport à celui noté pour le témoin et engendre une efficacité Abbott comprise entre 31,77% et 72,14%
- ✓ Toutes les modalités testées : sucres seuls, en mélange ou alternés, révèlent des attaques stoppées et cicatrisées plus élevées que celles actives. Alors que les attaques actives par le carpocapse sont plus élevées que celles cicatrisées et stoppées pour le témoin.
- ✓ Le saccharose seul suivi par le fructose seul attribut le meilleur résultat et offrent un gain d'efficacité important, quelque soit le type de fruit attaqués (tombé au sol ou récolté), l'année d'étude et la variété étudiée.

✚ Effet du rythme circadien sur l'utilisation des sucres

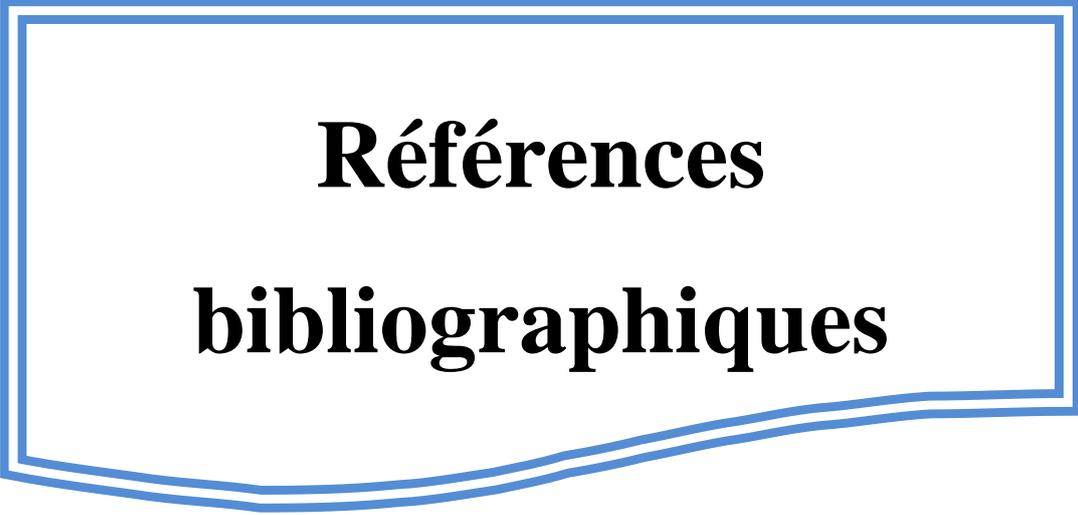
- ✓ La pulvérisation des sucres seuls (saccharose seul et le fructose seul) ou en alternance, tôt le matin et même tard dans la journée, révèlent les meilleurs résultats et montrent un taux d'infestation faible, quelque soit le jour d'observation, pour les fruits attaqués et tombés au sol, comparant à leur utilisation au milieu de la journée. Des résultats similaires sont enregistrés pour les fruits récoltés et le nombre de larves diapausantes.

- ✓ Alors que la modalité du mélange présente un taux d'infestation élevé lorsqu'elle est utilisée tard dans la journée, quelque soit le paramètre testé.
- ✓ Un gain d'efficacité allant jusqu'à 72% est enregistré par le saccharose seul (100 ppm) lorsqu'il est appliqué très tôt le matin.

+ Cette Méthode de lutte offre de nouvelles perspectives dans une approche globale de lutte contre *C. pomonella*, nous citons par exemple :

- ❖ Tester ces sucres lorsque la pression de *C. pomonella* est forte.
- ❖ Tester ces sucres sur d'autres variétés de pommiers que celles qui ont fait l'objet de notre étude : Golden Delicious, Anna et Starkrimson.
- ❖ Tester le saccharose et le fructose sur d'autres plante-hôtes de ce ravageur comme le poirier, l'abricotier et le noyer.
- ❖ Approfondir les études sur l'activité de ces deux sucres sur le comportement alimentaire chez les larves de carpocapse, pour confirmer les résultats obtenus.
- ❖ Approfondir les recherches sur les sucres de laboratoire et de commerce et voir s'il y a une différence entre les deux.
- ❖ Tester ces sucres (de laboratoire et de commerce) dans différentes régions et sous différents climats.
- ❖ Approfondir les travaux de recherche sur la relation entre le rythme circadien et l'effet des sucres, voire même leur relation avec le mécanisme d'ouverture et de fermeture des stomates.
- ❖ Tester l'association de ces sucres dans un programme de lutte intégrée et pourquoi pas dans les itinéraires culturaux des arboriculteurs afin d'augmenter le gain d'efficacité obtenu.
- ❖ Voir l'influence des sucres solubles sur les autres ravageurs présents au même temps avec le carpocapse.
- ❖ Nous pouvons donc dire que, l'utilisation des sucres solubles (saccharose et le fructose) en infra doses induit une stimulation de l'immunité chez le pommier par le biais de voies de signalisation des sucres qui atteignent toute la plante, pourrait être une technique de lutte biologique très prometteuse, contre le ravageur le plus redoutable des pommes et des poires.

Cette stratégie ouvre de nouvelles voies de recherche telles que l'exploration des possibilités d'utilisation de ces composés biodégradables de type sucres comme alternatives aux produits agrochimiques toxiques, et la diminution de l'utilisation des insecticides et leurs effets nocifs par la suite. Nous noterons également qu'en plus du faible coût de production ainsi que l'absence de tous risques de toxicité, l'utilisation de ces sucres aux doses indiquées ne provoque aucune prolifération de micro-organismes et n'a aucune action sur les abeilles. Par ailleurs, les modifications induites à la surface des pommes, ne semblent pas avoir d'incidence sur leurs teneurs en sucres solubles. Enfin, ce serait probablement une voie de recherche pour la sélection variétale, afin d'avoir des variétés avec une résistance accrue.



**Références
bibliographiques**

- Abbott W.S., 1925:** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ Entomol.*, 18: 265–267.
- Abdesselam Z., 2016:** Utilisation des sucres et virus de la granulose pour la lutte contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae) en verger de pommier situé dans la région d'Inoughissen (Wilaya de Batna). Mémoire de Magister. Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques. Département des Sciences Agronomiques. Université de Batna1, Batna, Algérie, 118P.
- Adam A., 2008:** Elicitation de la résistance systémique induite chez la tomate et le concombre et activation de la voie de la lipoxygénase par des rhizobactéries non-pathogènes. Thèse de Doctorat. Université de Liège, Belgique, 165P.
- Adrian M., 2014:** Carbohydrates in plant immunity and plant protection: roles and potential application as foliar sprays. *Front Plant Science*, 5(592):1–14.
- AFPP, 2013:** Stimulation des défenses des végétaux cultivés (Fiche AFPP 5.12). Dans: F.A. (Editions), éd. Protection Intégrée des Cultures - Fiches pour le conseil des techniques utilisables, pp : 207-210.
- Ahuja I., Kissen R. et Bones A. M., 2012:** Phytoalexins in defense against pathogens. *Trends in plant science*, 17(2): 73-90. DOI: 10.1016/j.tplants.2011.11.002.
- Alkarrat H., 2013:** Inter- and intraspecific variation of nutritional and environmental adaptation of egg-parasitoids of the genus *Trichogramma* (Hymenoptera, Trichogrammatidae). Dissertation for the degree "Doctor der Agrarwissenschaften" (Dr. Sc.agr./Ph.D. in Agricultural Science). Hohenheim University, Germany, 145P.
- Alston D.G., Murray M. et Reding M.E., 2010:** Codling Moth *Cydia pomonella*. Published Utah by State University Extension Utah Plant Pest Diagnostic and Laboratory ENT-13-06. Disponible sur : <http://extension.les/publications/factsheet/VENT-pdfusu.edu/fi13-06>.
- ANDI, 2013 :** Invest in Algérie, wilaya de Batna. 9P. Disponible sur: <http://www.andi.dz/PDF/monographies/Batna.pdf>. Consulter le 12/6/2019.
- ANDRE L., 1987:** Dictionnaire de pomologie. Volumes 3. Disponible sur: <http://pomologie.com/oc/index.html>.
- Anonyme, 2018:** Techniques innovantes issues de l'agriculture biologique en verger de pommes à cidre - Rapport de réalisation 2017. Fiche numéro : 5120174929. 76P.
- Anonyme, 2019a:** Des substances de base pour protéger les plantes !. Disponible sur: <https://draaf.centre-val-de-loire.agriculture.gouv.fr/des-substances-de-base-pour-protoger-les-plantes-a1026.html>. Consulté le: 22/06/2022.

Anonyme, 2019b : Essais de lutte contre le carpocapse avec des infra doses de sucre. Bilan des expérimentations 2017 à 2019. 4P. Disponible sur : [https://normandie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Normandie/506_Fichiers-](https://normandie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Normandie/506_Fichiers-communs/PDF/CIDRE_VERGER/CR_30mille_2019__sucre_carpo.pdf)

[communs/PDF/CIDRE_VERGER/CR_30mille_2019__sucre_carpo.pdf](https://normandie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Normandie/506_Fichiers-communs/PDF/CIDRE_VERGER/CR_30mille_2019__sucre_carpo.pdf). Consulté le: 25/06/2022.

Anonyme, 2021 : Ravageurs indigènes en arboriculture: le carpocapse de la pomme. Disponible sur : <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/secteurs/agriculture/theme-prioritaire-organismes-nuisibles/cydia-pomonella.html>. Consulté le: 30/06/2022

ARAD, 2017: Protéger les cultures avec des micro-doses de sucres. Agro perspectives, diffusion des techniques innovantes en agriculture. 1-4. Disponible sur : <https://www.agroperspectives.fr/post/protoger-les-cultures-avec-sucres#attachments>. Consulté le: 12/07/2019.

Arcadia, 2014: A Legal Framework for Plant Biostimulants and Agronomic Fertiliser Additives in the EU. Report for the European Commission. 10P.

Arimura G.-I., Ozawa R. et Maffei M.E., 2011: Recent Advances in Plant Early Signaling in Response to Herbivory. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(6), pp 3723–3739.

Arnault, I. 2013: Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes. *Colloque intrants naturels ITAB/GRAB, Journées substances naturelles en protection des cultures, 9-10 avril, 2013, ITAB, Paris, France*, p. 13. www.itab.asso.fr/downloads/jt-intrants2013/10__i__arnault_sucres.pdf. Consulté le 26 June 2014.

Arnault, I. 2015: Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes - Projet Usage. *Colloque recherche, 14 et 15 Octobre 2015, CETU Innophyt. Université de Tours, France*, 16P.

Arnault I., Aveline N., Bardin M., Brisset M.N., Carriere J., Chovelon M., Delanoue G., Furet A., Frérot B., Lambion J., Ondet S., Marchand P., Desmoucaux N., Romet L., Thibord J.B. et Trouvelot S., 2021: Optimisation des stratégies de biocontrôle par la stimulation de l'immunité des plantes avec des applications d'infra-doses de sucres simples. *Innovations Agronomiques*, 82: 411-423.

Arnault I., Bardin M., Ondet S.-J., Furet A., Chovelon M., Kasprick A.C., Marchand P., Clerc H., Davy M., Roy G., Romet L., Auger J., Mançois A. et Derridj S. 2015: Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes. *Innovations Agronomiques*, 46: 1-10.

Arnault I., Chovelon M. et Derridj D., 2012: Preliminary tests in field conditions of alternatives substances against grape downy mildew in organic farming. *Working Group Biological Control Of Fungal And Bacterial Plant Pathogens. Biocontrol of plant pathogens in sustainable agriculture: 24- 27 juin 2012, Reims, France*.

- Arnault I., Furet A., Kasprick A.C., Mançois A., Chovelon M. et Derridj S., 2015 :** Lutte contre le mildiou possibilités de réduction des doses d'intrants avec du fructose. *Revue des Œnologues*, N° 161 (numéro spécial), 2P.
- Arnault I., Lombarkia N., Ferre E., Galy H., Lambion J., Auger J. et Derridj S., 2011:** Les sucres solubles utilisés comme inducteurs de résistance de la plante aux bio-agresseurs. AFPP – Quatrième conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures, 8-10 Mars, Lille, France.
- Arnault I., Lombarkia N., Ondet S.J., Romet L., Brahim I., Meradi R. Nasri A., Auger J. et Derridj S., 2016:** Foliar application of microdoses of sucrose to reduce codling moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) damage to apple trees. *Pest Management Science*, 72(10): 1901-1909.
- Arnault I. et Ondet S.J., 2014:** Utilisation de micro-doses de sucres en protection des cultures. Synthèse du projet Usage. Congrès international natural products and biocontrol. 24 au 26 Septembre 2014, Perpignan, France.
- Arnault I., Zimmermann M., Furet A., Chovelon M., Thibord J. B. et Derridj S., 2017:** Fructose and sucrose as priming molecules against pathogens and pests?. Abstract book of *IOBC-WPRS general assembly Meeting of the WGs Integrated protection in viticulture, Induced resistance in plants against insects and diseases and Multitrophic interactions in soil*, 15-20 October 2017, Riva del Garda, Italy, 380p.
- Audemard H., 1991:** Population dynamics of the codling moth. In: Van der Guest LPS, Evenhuis HH, editors. *World Crop Pests: Tortricid Pest, their Biologie, Natural Enemies and Control*. pp. 329-338.
- Arthurs S.P., Lacey L.A. et Miliczky E.R., 2007:** Evaluation of the codling moth granulovirus and spinosad for codling moth control and impact on non-target species in pear orchards. *Biological Control*, 41 (1): 99-109.
- Arzate A., 2005:** Extraction et raffinage du sucre de canne. Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture, Saint-Norbert d'Arthabaska. 41P. Disponible sur : https://www.franceagrimer.fr/fam/layout/set/ajax/content/download/2411/12196/file/Canne_Publiee.pdf.
- Aubry O., 2008:** Lutte attracticide et lâchers inondatifs de trichogrammes contre le carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). Université du Québec à Montréal, Canada, 103P.
- Balachowsky A.S., 1966:** Traité d'entomologie appliquée à l'agriculture. Tome 2, Lépidoptères, Vol.1 Ed. Masson, Paris, pp : 456 – 893.

- Balachowsky A.S., et Bovey P., 1966:** Super Famille des Tortricodea. In *Traité Entomologie appliquée à l'agriculture*, Masson & Cie, 456-893.
- Baldi I., Cordier S., Coumoul X., Elbaz A., Gamet-Payraastre L., Le Bailly P., Multigner L., Rahmani R., Spinosi J. et Van Maele-Fabry G., 2013:** Pesticides - effets sur la santé, Expertise collective, synthèse et recommandations. INSERM, Paris. (fichier pesticide, introduction, système de production, fichier bureau 2018).
- Banga N., Albert P.J., Kapoor N.N. et McNeil J.N., 2003:** Structure, distribution, and innervation of sensilla on the ovipositor of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*, and evidence of a gustatory function for type II sensilla. *Canadian Journal of Zoology*, 81: 2032–2037.
- Barnes M.M., 1991:** Codling moth occurrence, host race formation and damage. In: Van der Guest LPS, Evenhuis HH, editors. *World Crop Pests: Tortricid Pest, their Biologie, Natural Enemies and Control*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. pp: 313-328.
- Bayuelo-Jiménez J.S., Jasso-Plata N., et Ochoa I., 2012:** Growth and Physiological Responses of Phaseolus Species to Salinity Stress. *International Journal of Agronomy*. 13P.
- Beckers G.J. et Conrath U., 2007:** Priming for stress resistance: from the lab to the field. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(4): 425–431.
- Beers E., Brunner J., Willett M. et Warner G., 1993:** Orchard Pest Management: A resource book for the Pacific Northwest. Good Fruit Grower. Yakima, WA.
- Beers E.H., Stuckling D.M., Prokopy R.J. et Avila J., 2003:** Ecology and management of apple arthropod pests. In: Ferree DC, Warrington IJ (Eds.), *Apples: botany, production and uses*, CABI Publishing, Wallingford, UK. pp: 489-514.
- Belkair S.A., 2018:** Lutte biologique par conversation dans les vergers de pommiers : peut-on manipuler les communautés d'araignées pour augmenter leur efficacité contre certains ravageurs. Thèse de doctorat. Université d'Avignon, France. 181P.
- Bellerose S., Chouinard G. et Cormier D., 2011 :** La Résistance du carpocapse aux insecticides utilisés dans les vergers du Québec : mythe ou réalité?. Réduire l'utilisation des pesticides. 2P. Disponible sur : https://irda.blob.core.windows.net/media/5098/bellerose-et-al-2011-resistance_du_carpocapse_aux_insecticides.pdf. Consulté le : Avril 2019.
- Bendhif K., 2018 :** Utilisation de micro-doses de sucres dans la lutte contre la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta* Meyrick) (Lepidoptera ; Gelichiidae) dans la région de Guelma. Mémoire d'Ingénieur en Sciences Agronomiques, Université Batna1, 56P.
- Benhamou N., 1996:** Elicitor-induced plant defence pathways. *Trends in Plant Science*, 1(7): 233–240.
- Benhamou N. 2009:** La résistance chez les plantes. Principes de la stratégie défensive et applications agronomiques. *Phytoprotection*, 90(2): 47–48. DOI : <https://doi.org/10.7202/044021ar>

- Benhamou N. et Picard K., 1999:** La résistance induite : une nouvelle stratégie de défense des plantes contre les agents pathogènes. *Phytoprotection*, 80(3): 137-168.
- Benhamou N. et Rey P. 2012:** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. : II. Intérêt des SDN en protection des cultures. *Phytoprotection*, 92,(1) : 24-35.
- Benhassir A.W., 2009:** Utilisation des sucres exogènes dans la protection des pommiers contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (*Lepidoptera, Tortricidae*), dans la région d'Ain Djasser (W. de Batna). Mémoire d'ingénieur. Institut d'Agronomie. Université de Batna, 105P.
- Benoit M., Cardon J.C., Corroyer B. et Lebon G., 2009:** Le carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* (L.), situation et lutte possible en verger cidricole biologique. Bulletin IFPC, N° 277 : 14-17.
- Bernard J.-L., My J. et Veschambre D., 2012:** Regard du conseil scientifique. Protection des plantes, tradition et macération d'ortie. Conseil scientifique de la SNHF. Société Nationale d'Horticulture de France, 27P.
- Birch A.N.E., Robertson W.M., Geoghegan I.E., McGavin W.J., Alphey T.J.W., Philips M.S., Fellows L.E., Watson A.A., Simmonds M. S. J. et Porter E. A., 1993:** DMDP – a plant derived sugar analogue with systemic activity against plant parasitic nematodes. *Nematologia*, 39:521–535.
- Blanco P.C., 2019:** Impacts de deux insecticides à risques réduits sur un prédateur envahissant et sur son compétiteur indigène. Thèse de doctorat. Université de Québec à Montréal. 210P. Disponible sur : <https://archipel.uqam.ca/12476/1/D3543.pdf>. Consulté le :15/12/2019.
- Bloesch B. et Viret O., 2013:** Stades phénologiques repères des fruits à pépins (pommier et poirier). *Revue suisse Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 45 (2): 128–131.
- Blomfield T.L., Pringle K. L. et Sadie A., 1997:** Field observation on oviposition of codling moth, *Cydia pomonella* L. (*Lepidoptera* : *Tortricidae*), in an unsprayed apple orchard in South Africa. *African Entomology*, 5: 319-336.
- Boivin T., Bouvier J.-C., Chadoeuf J., Beslay D., Sauphanor B., 2003:** Constraint on adaptative mutation in the codling moth *Cydia pomonella* (L.): measuring fitness trade-offs and natural selection. *Heredity*, 90: 107-113.
- Boivin T., Chabert d'Hières C., Bouvier J.-C., Beslay D., Sauphanor B., 2001:** Pleiotropy of insecticide resistance in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 99: 381-386.
- Boivin T., Chadoeuf J., Bouvier J.-C., Beslay D. et Sauphanor B., 2005:** Modelling the interactions between phenology and insecticide resistance genes in the codling moth *Cydia pomonella*. *Pest Management Science*, 61: 53-67.

- Bolouri Moghaddam M.R. et Van den Ende W., 2012:** Sugars and plant innate immunity. *Journal of Experimental Botany*, 63: 3989–3998.
- Bolouri Moghaddam M.R. et Van den Ende W., 2013:** Sweet immunity in the plant circadian regulatory network. *Journal of Experimental Botany*, 64:1439–1449.
- Boudy P., 1952:** Guide du forestier en Afrique du Nord. Ed. La maison rustique, Paris. 505P.
- Boulali S., 2019:** Etude technico-culturelle de la production du pommier (*Malus domestica* Borkh.). Cas de la commune de Hidoussa (W. de Batna). Mémoire de Master en Sciences Agronomiques. Université Batna 1, 44P.
- Bounahouche, 2017:** Utilisation des sucres solubles dans la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) dans un verger du pommier situé dans la région de Merouana (W. Batna). Mémoire de master en Sciences Agronomiques, Université Batna 1, Batna1, 31P.
- Boutin S., 2001 :** Analyse de la gestion des interventions phytosanitaires et de leurs effets non intentionnels en verger de pommiers. Mémoire de DAA Protection des plantes et Environnement, INA-PG, ENSAM, ENSAR, 46P.
- Bovey P., 1966:** *Tortricidae*. pp : 456-693. In **Balachowsky A.S., 1966 :** Traité d'entomologie appliquée à l'agriculture. Tome 2. Lépidoptères. Vol. 1. Masson et Cie. Paris, pp : 697-704.
- 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, 131P.
- Brahim I., Lombarkia N. et Zingg D. 2014:** Application du Madex® (virus de la granuloze) et du saccharose dans la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella* L.) dans la région de Batna (Algérie). 8^{ème} Conférence internationale Francophone d'Entomologie, du 23 au 27 Juin 2014, Tunisie.
- Burghardt M. et Riederer M., 2006:** 'Cuticular transpiration. In : **Riederer M. et Müller C.,** Biology of the plant cuticle, Annual Plant Review, Blackwell Publishing, Oxford. pp: 292-311.
- Butler D.R., 1996:** The presence of water of leaf surfaces and its importance for microbes and insects. In: **Kerstiens, G.,** Plant Cuticles: An Integrated Functional Approach, BIOS Scientific Publishers, Oxford. pp: 267-282.
- Buès R., Boudinhon L. et Toubon J.-F., 2003:** La Toxicité des insecticides sur les différents stades du développement du psylle du poirier (*Cacopsylla pyri* L.). Fruits, Volume 58 , Issue 5, September 2003. pp : 283 – 295. DOI: <https://doi.org/10.1051/fruits:2003016>.
- Cabanat I., 1999:** Étude du comportement de recherche du site alimentaire par les chenilles néonates de *Cydia pomonella* L. lépidoptère ravageur des pommes et des poires en relation avec les

médiateurs biochimiques présents à la surface des organes végétaux du pommier. Mémoire de DEA. Université Paris-Nord. France, 25P.

Chaouia CH., Mimouni N., Trabelsi S., Benrebiha F.Z., Boutekrabt T.F. et Bouchenak F., 2003: Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité importante pour l'agriculture en Algérie: les espèces fruitières, viticoles et phoenicicoles. Alger, pp: 19-28.

Calatayud P-A, Marion-Poll F., Sauvion N. et Thiéry D., 2012: Interactions insectes-plantes. IRD Éditions, Éditions Quae. Marseille, 749P. DOI : 10.4000/books.irdeditions.22185.

Calkins, C.O. et Faust R.J., 2003: Overview of area wide programs and the program for suppression of codling moth in the western USA directed by the United States. *Pest Management Sciences*, 59: 601-604.

Caprile J. et Vossen P., 2005: Codling moth, *Cydia (Laspeyresia) pomonella*, is a serious insect pest of apples, pears, and English walnuts. University of California, division of Agriculture, and Natural Resources. Publication 7412.

CEB-AFPP, 2011. Répertoire terminologique en protection des plantes.

Ceusters N., Wim V.D.E. et Ceusters J., 2016: Exploration of Sweet Immunity to Enhance. Abiotic Stress Tolerance in Plants: Lessons from CAM. Springer International Publishing Switzerland. Progress in Botany, 23P. DOI 10.1007/124_2016_1.

Ceusters N., Wim V.D.E. et Ceusters J., 2017: Exploration of sweet immunity to enhance abiotic stress tolerance in plants: lessons from CAM. *Progress in Botany*, 78: 145-166.

Chambon J.P., 1986: Etude des possibilités d'application de la lutte par la technique de confusion contre le carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.), les tordeuses nuisibles en arboriculture fruitière. Ed .J .B. Baillière, Paris, 173 P.

Charmillot P.J. et Höhn H., 2004: Carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. Agroscope RAC et FAW Wädenswil. Confédération suisse. Fichier : 101. Suisse. 3P.

Charton E., 1992: Pommes et pommiers. Ed. S.A.E.P.,100P.

Chidawanyika F., 2010: Thermal tolerance of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) under ecologically relevant conditions. Master. Faculty of Agrisciences, University of Stellenbosch. 111P.

Chouinard G., Firlej A. et Cormier D., 2016: Going beyond sprays and killing agents: Exclusion, sterilization and disruption for insect pest control in pome and stone fruit orchards. *Scientia Horticulturae*, 208: 13-27. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.014>

Clausen C.P., 1978: Introduced Parasites and Predators of Arthropod Pests and Weeds: a World Review. Agriculture Handbook 480, United States Department of Agriculture, 545 pp.

CMISS, 2017: Bionomics of codling moth, distribution. Disponible sur: <http://ipmnet.org/CodlingMoth/bionomics/distrib.html>. Consulté le : 24 avril 2019.

- Conrath U., 2011:** Molecular aspects of defence priming. *Trends Plant Sci*, 16: 524–531
- Coureau C., 2020:** Fruit 2050 - fruit production forum, l'événement européen des productions fruitières. Le changement climatique va-t-il changer nos pratiques en arboriculture? INFOS CTIFL. LA MORINIÈRE. N°360. pp: 6-9.
- Coutin R., 1960:** Le carpocapse des pommes et des poires (*Laspeyresia pomonella* L.). A.C.T.A., Paris, 48P.
- Cox L. et Steffan S., 2003:** Apple and Pear Insect Control for Homeowners (Codling Moth). Utah state University, USA, 2P.
- Crnjar R., Angioy A.M., Pietra P., Stoffolano J.G., Liscia A. et Barbarossa I., 1989:** Electrophysiological studies of gustatory and olfactory responses of sensilla on the ovipositor of the apple maggot fly, *Rhagoletis pomonella* Walsh. *Bollettino Di Zoologia*, 56: 41–46.
- Curtis C.F., Tebbets J. S. et Clarch J. D., 1990:** Ovipositional behaviour of the codling moth on stone fruit in the field and an improved oviposition cage for use in the laboratory. *Journal of Economic Entomology*, 83: 131-134.
- Curtis C. E., Clark I.D. et Tebbets I.S., 1991:** Incidence of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in packed nectarines. *Journal of Economic Entomology*, 84: 1686-1690.
- Dafri I.F., 2017:** Utilisation des sucres solubles dans la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) dans un verger du pommier situé dans la région de Ain touta (W. Batna). Mémoire de master en Agronomie, Université Batna 1, 39P.
- Dajoz R., 1996:** Précis d'écologie. Ed. Dunod, 551P.
- Damianthe V. et Guihard M.-D., 2010:** Défenses naturelles chez les végétaux. Jardin motoculture. Le magazine référence de l'actualité jardin – espaces verts'officiel jardin motoculture - n°150 janvier/février. 8P.
- Davidson R.H. et Lyon W.F., 1979:** Insect pests of farm, garden and orchard. 7th edn. John Wiley & Sons, New York. 234P.
- DSA (Direction des services agricoles), 2017:** Le pommier, wilaya de Batna.
- DSA (Direction des services agricoles), 2019:** Le pommier, wilaya de Batna.
- DSA (Direction des services agricoles), 2020:** Le pommier, wilaya de Batna.
- Delanghe J.E., Delvosalle L., Duvignon J., Lambinon J., Vanden B. et Bergen C., 1983:** Nouvelle flore de la Belgique, du grand duché du Luxembourg, du nord de la France et des régions voisines. 3ème édition. 15P.
- Deland J.-P., Vanoosthuyse F. et Cormier D., 2014:** Évaluation de l'efficacité des insecticides biologiques azadirachtine et *B. thuringiensis* var. *kurstaki* pour lutter contre la tordeuse des

canneberges dans la production de canneberges. Rapport final projet 10-INNO1-14. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 41P.

Démarat J., 2017: infra dose de sucres Contre carpocapse des pommes. *Arbo Bio Infos*, n°217. 2P.

Denis J.N.C.M. et Schiffermüller I., 1775: *Ankündigung eines systematischen Werkes von den Schmetterlingen der Wienergegend, herausgegeben von einigen Lehrern am k. k. Theresianum.* Vienne. pp : 322. Disponible sur : http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PPN=PPN574458115&DMDID=DMDLOG_0006&LOGID=LOG_0008&PHYSID=PHYS_0178.

Derridj S., 2007: Comment les femelles d'insectes sélectionnent-elles les plantes pour pondre?. Alimentation, agriculture et environnement, institut national de la recherche agronomique.1P.

Derridj S., 2009: L'induction de la résistance à des phyto-agresseurs par des infra dose 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. *Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques à Angers.* pp: 5-8.

Derridj S., 2013: L'induction de résistances de la plante a des phyto-agresseurs par des infra doses de sucres : une nouvelle technologie. *Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB), journées fruits et légumes,* Paris, France.

Derridj S., 2016: Utilisation de micro-doses de sucres en verger de pommier contre le carpocapse. Le trimestriel technique du réseau FRAB ALPC. *Auxiliaire Bio*, n°1: 8-9.

Derridj S., Arnault I., Birch A. N. E., Elad Y., Lombarkia N., Couzi P., Pierre P. et Auger J., 2011a: Les sucres solubles, une opportunité pour l'agriculture durable ? Des expérimentations menées sur maïs, tomate, pomme de terre et pommier. *Phytoma – La Defense des Vegetaux.* pp: 10-14.

Derridj S., Arnault I., Lombarkia N., Ferre E., Galy H., Lambion J. et Auger J., 2011b: Les sucres solubles utilisés comme inducteurs de résistance de la plante aux bio-agresseurs. *A.F.P.P. – 4^{ème} Conférence Internationale sur les Méthodes Alternatives en Protection des Cultures:* 8-10 Mars 2011, Lille, France. pp: 382-387.

Derridj S., Arnault I. et Muller F., 2001: Influence of biochemicals present on maize leaf surface on *Diabrotica virgifera virgifera* egg-laying. *Proceedings XXI IWGO Conference*, Oct. 2001, 5P.

Derridj S., Boutin J.P., Fiala V. et Soldaat L.L., 1996: Composition en métabolites primaires de la surface foliaire du poireau : étude comparative, incidence sur la sélection de la plante hôte pour pondre par un insecte. *Acta Botanica Gallica*, 143: 125-130.

Derridj S., Cabanat I., Cochet E., Couzi P., Lombarkia N. et 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. 5ème Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture*. Montpellier, 7–9 December, pp: 279–286.

Derridj S. et Fiala V., 1983 : Sucres solubles des feuilles de maïs *Zea mays* (L.) et oviposition de la pyrale *Ostrinia nubilalis* (Hbn.). *Académie d'agriculture de France*, 69 : 465-472.

Derridj S., Fiala V. et Jolivet E., 1986: Increase of European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) oviposition induced by a treatment of maize plants with maleic hydrazide: Role of leaf carbohydrate content. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Volume 41 (Issue 3): 305-310. Disponible sur: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1986.tb00542.x>

Derridj S., Fiala V., Barry P., Robert P., Roessingh P. et Städler E., 1992: Role of nutrients found in the phylloplane, in the insect host plant selection for oviposition. Proceedings of the Eighth International Symposium on Insect-Plant Relationships (Ed. by S. B. J. Menjken, J. H. Visser and P. Harrewyn), Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. pp: 139-140.

Derridj S., Gregoire V., Boutin J.P. et Fiala V., 1989: Plant growth stages in the interspecific oviposition preference of the European corn borer and relation with chemicals present on the leaf surface. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 53: 267-276.

Derridj S., Lombarkia N., Clément G., Moulin., F. et Cabanat I., 2009: *Malus domestica* L. and *Cydia pomonella* (Lepidoptera, Tortricidae) relationships and sugar signaling. In *Proceedings of the 25th International Society of Chemical Ecology*, Neuchatel, Switzerland. pp: 242.

Derridj S., Lombarkia N., Garrec J.P., Galy H. et Ferre 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), in *Moths: Types, Ecological Significance and Control*, ed. by Cauterrucio L. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge, NY. pp: 1-38.

Derridj S. et Wu B.R., 1995: Informations biochimiques présentes à la surface des feuilles. Implications dans la sélection de la plante hôte par un insecte. In : **Calatayud P.-A. et Vercambre B.**, Interactions insectes-plantes. Actes des 5èmes journées du groupe de travail relations insectes-plantes. 26-27 oct 1995, Montpellier, France. pp: 43-51.

Dicke M. et van Loon J.J.A., 2014: Chemical ecology of phytohormones: how plants integrate responses to complex and dynamic environments. *Journal of Chemical Ecology*, 40: 653-656.

Djebabra, K. 2010: Utilisation des sucres solubles exogènes dans la protection des pommiers contre le carpocapse, *Cydia pomonella* (Lepidoptera, Tortricidae) dans la région d'El-Hassi. Thèse Ingénieur, Institut des Sciences Vétérinaires et Agromiques, Batna, Algérie, 44P.

Dobrzanski B., Rabcewicz J. et Rybczynski R., 2006: Handling of Apple Transport Techniques and Efficiency Vibration, Damage and Bruising Texture, Firmness and Quality. 1st ed. Dobrzanski Institute of Agrophysics. Polish Academy of Sciences, Poland. 234P.

DSA (Direction des services agricoles), 2017: Le pommier, wilaya de Batna.

- DSA (Direction des services agricoles), 2019:** Le pommier, wilaya de Batna.
- DSA (Direction des services agricoles), 2020:** Le pommier, wilaya de Batna.
- EBIC, 2014:** Plant biostimulants means a material which contains substance(s) and/or micro-organisms whose function when applied to plants or the rhizosphere is to stimulate natural processes to enhance/benefit nutrient uptake, nutrient efficiency, tolerance to abiotic stress, and crop quality, independent of its nutrient content.
- Eigenbrode S.D. et Espelie K.E., 1995:** Effects of plant epicuticular lipids on insect herbivores. *Annual Review of Entomology*, 40: 171-194.
- Endure, 2007:** Carpocapse (*Cydia pomonella*) biologie et stratégie de lutte. Diversity Crop Protection. module C14, food quality and safety, Espagne, 13P.
- Erlandson M. et Goettel M., 2007:** Agriculture et Agroalimentaire Canada. Web (<http://www.biocontrol.ca>). Web du Centre pour la lutte antiparasitaire Agriculture et agroalimentaire au Canada. Disponible sur : http://www.agr.gc.ca/env/pdf/cat_e.pdf.
- Eveland A.L. et Jackson D.P., 2011:** Sugars, signalling and plant development. *Journal of Experimental Botany*, 63: 3367-3377.
- FAO, 2021:** Productions agricoles, cultures primaires. Banques de données statistiques, FAO. STAT. Disponible sur : <Http://www.Fao.org.com>. Consulté le: 29/09/2021.
- Faessel L., Gomy C., Nassr N., Tostivint C., Hipper C. et Dechanteloup A., 2014 :** Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques, rapport d'étude réalisé par Bio by Deloitte et RITMO Agroenvironnement pour le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 148P. Disponible sur: <http://www.agriculture.gouv.fr/ministere/produits-de-stimulation-en-agriculture-visant-ameliorer-les-fonctionnalites-biologiques>.
- Faessel L. et Tostivint C., 2016:** Les produits de stimulation en agriculture. Un état des connaissances sur les nouveaux intrants visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. pp:7-39. In **Cébron D., Claquin P., Hérault B., Pollet P. et Sédillot B.:** Notes et études socio-économiques. Economiques Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt Secrétariat Général Service de la Statistique et de la Prospective Centre d'études et de prospective ; Florent Bidaud, MAAF-SG-SSP-CEP, Centre d'études et de prospective, n° 40, 110P.
- Falcon L.A. et Huber J., 1991:** Biological control of the codling moth, pp. 355-370. In **Van der Geest, L.P.S. et H.H. Evenhuis, eds. 1991.** Tortricid pests: their biology, natural enemies and control. World crop pests. Volume 5. Amsterdam, Elsevier. 808P.

- Fardeau J. et Jonis, M., 2003:** Phytostimulants et éliciteurs pour végétaux - Propriétés et garanties règlementaires. *Séminaire sur les recherches en agriculture biologique INRA-ACTA*. Draveil, France, 20–21 novembre. 8P.
- Farissi M., Bouizgaren A., Faghire M., Bargaz A., Ghou-LAM C., 2011:** “Agro-physiological responses of Moroccan Alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations to salt stress during germination and early seedling stages”. *Seed Science and Technology*, 39 : 389-401.
- Ferré E., 2008:** Utilisation de sucre pour l’optimisation de la lutte contre (*Cydia pomonella* L.) (*Lepidoptera* : *Tortricidae*) en vergers de pommiers. Mémoire d’Ingénieur en Agronomie. Université de Toulouse, France, 73P.
- Ferré E., Galy H., Moulin F., Clement G. et Derridj S., 2008:** Le saccharose inducteur de résistance du pommier contre *Cydia pomonella* L. 8^{ème} Conférence Internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier, France, Octobre 2008, 8P.
- Ferro D.N. et Harwood R. F., 1973:** Intraspecific Larval Competition by the Codling Moth, *Laspeyresia pomonella*. *Environmental Entomology*, 2(5): 783-790. doi.org/10.1093/ee/2.5.783.
- Fiala V., Boutin J.P., Barry P. et Derridj S., 1993:** Les métabolites de surface foliaire (phylloplan) : présence et rôle dans les relations plante-insecte. *Acta Botanica Gallica*, 140 : 207-216. DOI: 10.1080/12538078.1993.10515583.
- Fiala V., Derridj S. et Jolivet E., 1985:** Influence de la teneur en glucides solubles des feuilles de *Zea mays* L. sur le choix du site de ponte de la pyrale, *O. nubilalis* Hbn. (Lépidoptère, Pyralidae). *Agronomie*, 5 (10): 927-982.
- Flor H.H., 1971:** Current Status of the Gene-For-Gene Concept. *Annual Review of Phytopathology*, 9(1): 275–296.
- Garcia-Brugger A., Lamotte O., Vandelle E., Bourque S., Lecourieux D., Poinssot B., Wendehenne D. et Pugin A., 2006:** Early Signaling Events Induced by Elicitors of Plant Defenses. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19(7): 711-724.
- Gautier M., 2001:** La culture fruitière. Les productions fruitières. Volume 2. Ed. Tec et Doc. Paris, 665P.
- Geibel M., Dehmer K.J., Forsline P.L., 2000:** Biological diversity in *Malus sieversii* populations from Central Asia. In: Geibel, M., Fischer, M., Fischer, C. (Eds.), Proceedings of the Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics, Vols 1 and 2. pp: 43-49.
- Geier P.W., 1963:** The life history of Codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), in the Australian Capital Territory. *Australian Journal of Zoology*, 11: 323-367.
- Giordanengo P., Brunissen L., Rusterucci C., Vincent C., van Bel A., Dinant S., Girousse C., Faucher M. et Bonnemain J.-L., 2010:** Compatible plant-aphid interactions: How aphids

manipulate plant responses. (Les pucerons : modèles biologiques et ravageurs des cultures). *Comptes Rendus Biologies*, 333 (6-7): 516–523.

Goldman L. et Tran N., 2002: Toxics and poverty: the impact of Toxic Substances On the Poor in Developing Countries. Washington: World Bank, 18P. Disponible sur: https://www.who.int/ifcs/documents/forums/forum5/poverty_lynn2.pdf.

Goodspeed D., Chehab E.W., Min Venditti A., Braam J. et Covington M.F., 2012: Arabidopsis synchronizes jasmonate-mediated defence with insect circadian behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 109: 4674–4677.

Google Earth, 2019: Cartes. Disponible sur : <http://www.google.com>.

Grisebach H., et Ebel J., 1978: Phytoalexins, chemical defense substances of higher plants?. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 17: 635-647.

Guerfi W., 2014: Utilisation des sucres et virus de la granulose pour la protection des pommiers contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (*Lepidoptera* : *Tortricidae*) dans la région d'Ain Djasser (W de Batna). Mémoire d'Ingénieur. Université de Batna1, 68P.

Guermah D., 2019: Bioécologie du carpocapse du pommier *Cydia pomonella* L. (*Lepidoptera* : *Tortricidae*) et inventaire de la faune arthropodologique dans des vergers de pommier traités et écologique dans la région de Tizi-Ouzou (Sidi Nâamane et Draa Ben Khedda). Thèse de doctorat. Université Tizi-Ouzou, 158P.

Haggoune G., 2010: Utilisation des sucres solubles exogènes dans la protection des pommiers contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (*Lepidoptera*, *Tortricidae*), dans la région de Yabous (W. de Batna). Mémoire d'Ingénieur en Sciences Agronomiques. Université de Batna 1, 65P.

Hammond-Kosack K.E. et Jones J. D., 1996: Resistance gene-dependent plant defense responses. *The Plant Cell*, 8(10): 1773-1791.

Harris S. A., J. P. Robinson, et Juniper B.E., 2002: Genetic clues to the origin of the apple." *Trends in Genetics*, 18(8): 426-430.

Hauagge R. et Cummins J.N., 1991a: Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116: 100–106.

Hauagge R. et Cummins J.N., 1991b: Seasonal variation in intensity of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116: 107-115.

Hermans E., 2018: les impacts des changements climatiques. Disponible sur : <https://www.auxvergerspetit.com/blogue/les-impacts-des-changements-climatiques>. Consulté le 25/06/2022.

- Hmimina M. et 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. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3(2): 5-15.
- Hodge S., Thompson G.A. et Powell G., 2005:** Application of DL- β -aminobutyric acid (BABA) as a root drench to legumes inhibits the growth and reproduction of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae). *Bulletin of Entomological Research*, 95(05): 449-455.
- Hodge S., Ward J. L., Galster A. M., Beale M. H. et Powell G., 2011:** The effects of a plant defence priming compound, β -aminobutyric acid, on multitrophic interactions with an insect herbivore and a hymenopterous parasitoid. *BioControl*, 56(5): 699-711.
- Holtz Y., 2012:** Etude du déterminisme génétique de l'alternance du Pommier. Mémoire Ingénieur. INRA Montpellier, France, 74P.
- Hood Henderson D.E., 1982:** Fine structure and neurophysiology of a gustatory sensillum on the ovipositor of *Metasyrphus venablesi* and *Eupeodes volucris* (Syrphidae). *Canadian Journal of Zoology*, 60: 3187-3195.
- Howell J.F., 1991:** Reproductive biology, pp : 157-175. In : **Vande Geest L.P.S et Evenhuis H.H. (eds).** Tortricid pests: Their biology, Natural enemies and control World crop pests. Ed. Elsevier. Volum 5. Amsterdam, 808P.
- Howell J.F., Knight A. L., Unruh T.R., Brown D.F., Krysan J. L., Sell C. R. et Kirsch P.A., 1992:** Control of codling moth in apple and pear with sex pheromone- mediated mating disruption. *Journal of Economic Entomology*, 85: 918-925.
- Hullé M., Turpeau E. et Leclant, F., 1998:** Les pucerons des arbres fruitiers: cycles biologiques et activités de vol. Editions Quae. 124P.
- INPN, 2017:** *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758). Disponible sur : https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/247462/tab/taxo. Consulté le: 20 juin 2018.
- INRAA, 2006 :** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algerie. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. 92P. Disponible sur : <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Fruitiers/algerie-inventaire-ressources-phylogenetiques.pdf>.
- Ismail M. et Albitar L., 2016:** Mortality factors affecting immature stages of codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera; Tortricidae), and the impact of parasitoid complex. *Biocontrol Science and Technology*, 26(1): 72-85.
- ITAB, 2018:** Fiche d'Usage agricole de la substance de base fructose. URL: <http://substances.itab.asso.fr/wp-content/uploads/2018/08/fructose.pdf>.
- Janick J., Cummins J.N., Brown S.K. et Hemmat M., 1996:** Apples. Fruit Breeding: past, present, and future. In: Tree and Tropical Fruits. Janick J. et Moore J.N., Eds. pp: 1-77.

- Jeffree C.E., 1996:** Structure and ontogeny of plant cuticules, pp: 33-37. In: **Krestiens G.**, plant cuticules : an integrated functional approach. Ed. BIOS. Oxford, 82 P.
- Juniper B.E. et Mabberley D.J., 2006:** The story of the apple. Portland, Oregon, USA, Timber Press, 219P.
- Juniper B.E., Watkins R. et Harris S.A., 1999:** The origin of the apple. *Acta Horticulturae*, 484: 27-33.
- Kang Y., Outlaw W.H.Jr., Andersen P.C. et Fiore G.B., 2007:** Guard-cell apoplastic sucrose concentration - a link between leaf photosynthesis and stomatal aperture size in the apoplastic phloem loader *Vicia faba* L. *Plant Cell Environment*, 30: 551-558.
- Khadri S., 2017 :** Utilisation des sucres dans la lutte contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae) en verger de pommier (*Malus domestica* Borkh) situé dans la région de Theniet El Abed (W. Batna). Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Université Batna 1, 37P.
- Khellaf S., 2017:** Enquête sur les différentes techniques culturales pratiquées sur pommier dans la région de Merouana (Batna). Mémoire de Master. Université de Batna1, 45P.
- Kleckova, I. et Klecka, J., 2016:** Facing the heat: thermoregulation and behavior of lowland species of a cold-dwelling butterfly genus, *Erebia*. *PLoS One* 11(3), 1–16.
- Koch K., 2004:** Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. *Current Opinion in Plant Biology*, 7: 235-246.
- Kolli Z., 2016:** Utilisation des sucres pour la lutte contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae) en verger de pommier situé dans la région de Besbes (W. El-taref). Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Université Batna1, 84P.
- Korban SS, Skirvin RM. 1984:** Nomenclature of the cultivated apple. *Hortscience*, 19(2): 177-180.
- Kosina J., 2008:** Response of two apple cultivars to chemical fruit thinning. *Acta Horticulturae*, 70(4): 389-394.
- Kostal V., 1993:** Physical factors influencing landing and oviposition by the cabbage root fly on host-plant models. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 66:109-118.
- Kovaleski A., Carbonari J. J. et Albuquerque M., 2001 :** Traça-da-maçã, *Cydia pomonella* (L.). Chapitre 12 In *Pragas Introduzidas no Brasil .insetos e acaros*. Editores Evaldo Ferreira Vilela Roberto Antonio Zucchi. pp: 246-261
- Kührt U., Samietz J. et Dorn S., 2006:** Thermal response in adult codling moth. *Physiological Entomology*, 31: 80-88.

- Kunz S., Gardestrem P., Pesquet E. et Kleczkowski L.A., 2015:** Hexokinase 1 is required for glucose-induced repression of bZIP63, At5g22920, and BT2 in Arabidopsis. *Frontiers Plant Science*, 6:525. DOI: 10.3389/fpls.2015.00525.
- Kunz P.E. et Kleczkowski L.A., 2014:** Functional dissection of sugar signals affecting gene expression in Arabidopsis thaliana. *PLoS ONE* 9:e100312.
- Kutinkova H., Samietz G. et Dzhuvinov V., 2010:** Control of codling moth in Bulgaria with a combination of Isomate C plus dispensers and the baculovirus product Madex®. *Journal of plant protection research*, 50 (4): 479-482.
- Kutinkova H., Samietz G., Dzhuvinov V. et Kessler P., 2012:** Successful application of the baculovirus product Madex® for control of *Cydia pomonella* (L.) in Bulgaria. *Journal of plant protection research*, 52 (2): 206-213.
- Lafon J. P., Tharaud-Payer C. et Levy G., 1996:** Biologie des plantes cultivées. 2^{ème} Edition. Tome 1. Organisation et physiologie de la nutrition. Ed. Lavoisier. Tec et Doc. Paris. France, 227P.
- Labuschagne I.F., Louw J.H., Schmidt K. et Sadie A., 2002:** Genetic variation in chilling requirement in apple progeny. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127: 663-672.
- Lakhdari A., 2019:** Utilisation des sucres solubles dans la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) dans un verger du pommier situé dans la région de Ain touta (W. Batna). Mémoire d'Ingénieur en sciences Agronomiques, Université Batna 1, 59P.
- Lalonde S., Wipf D. et Frommer W.B., 2004:** Transport mechanisms for organic forms of carbon and nitrogen between source and sink. *Annual Review of Plant Biology*, 55: 341-372.
- Lasfer H., 2017:** Utilisation du sorbitol dans la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) dans un verger du pommier situé dans la région de Ain touta (W. Batna). Mémoire d'ingénieur en Sciences Agronomiques, Université Batna 1, Batna, 60P.
- Lastdrager J., Hanson J. et Smeekens S., 2014:** Sugar signals and the control of plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 65: 799–807.
- Lateur M., 2002 :** Perspectives de lutte contre les maladies des arbres fruitiers à pépins au moyen de substances naturelles inductrices d'une résistance systémique. *Biotechnology Agronomy Society Environmental*, 6(2): 67–77.
- Lawson T., 2009:** Guard cell photosynthesis and stomatal function. *New Phytologist*, 181:13-34.
- Leraut P.J.A., 1997:** Liste systématique et synonymique des Lépidoptères de France, Belgique et Corse. Deuxième édition. Paris. *Alexanor*, 20, Supplément hors-série: 1-526.

- Li L. et Sheen J., 2016:** Dynamic and diverse sugar signaling. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 33: 116-125.
- Lilian A., 2010:** Un procédé de purification de fructose volarisant les fruits déclassés. Disponible sur : <http://www.blogagroalimentaire.com/procede-purification-fructose-fruits-declasses>. Consulté le : 12/10/2018.
- 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, 131P.
- Lombarkia N. et Derridj S., 2002:** Incidence of apple fruit and leaf surface metabolites on *Cydia pomonella* oviposition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104: 79-87.
- Lombarkia N. et Derridj S., 2008:** Resistance of apple trees to *Cydia pomonella* egg-laying due to leaf surface metabolites. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128: 57-65.
- Lombarkia N., Ioriatti C. et Derridj S., 2005:** Effect of Madex[®] (granulovirus) on *Cydia pomonella* L. egg laying and larval damages on two apple varieties- Relation ships with plant surface metabolites. *Bulletin IOBC*, 28 (7): 419-422.
- Louaar Y., 2011:** Utilisation des sucres soluble exogènes dans la protection des pommiers contre le carpocapse, *Cydia pomonella* (Lepidoptera, Tortricidae) dans la région d'Oum El-Bouaghi. Mémoire d'ingénieur en Sciences Agronomiques, Université Batna 1, Batna, 50P.
- Luby J., 2003:** Taxonomic classification and history. In: Ferree D, Warrington I, eds. Apples, botany, production and uses. Wallingford, UK: CABI Publishing. pp: 1-14.
- MAAF, 2012:** EcophytoPic. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/Presentation-d-EcophytoPIC>. Consulté le: 17/10/2018.
- Mabberley D.J., Jarvis C.E. et Juniper B.E., 2001:** The name of the apple. *Telopea*, 9(2): 421-430.
- Macheix J. J., Fleuriet A., Jay-Allemand C., 2005:** Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 192P.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural en Algérie), 2017:** Statistiques Agricoles», bulletin du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 3P.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural en Algérie), 2018:** «Statistiques Agricoles» : *Série B volet 2*, 7P.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural en Algérie), 2019:** «Statistiques Agricoles», bulletin du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 3P.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural en Algérie), 2020 :** Série B, campagne 2017/2018.

- Maher N., Thiéry D. et Städler E., 2006:** Oviposition by *Lobesia botrana* is stimulated by sugars detected by contact chemoreceptors. *Physiological Entomology*, 31: 14-22. DOI: 10.1111/j.1365-3032.2005.00476.x
- Marchand P.A., 2016:** Basic substances under EC 1107/2009 phytochemical regulation: experience with non-biocide and food products as biorationals. *Journal of Plant Protection Research*, 56(3): 271-277.
- Margaritopoulos J.T., Voudouris C.Ch., Olivares J., Sauphanor B., Mamuris Z., Tsitsipis J.A. et Franck P., 2012:** Dispersal ability in codling moth: mark–release–recapture experiments and kinship analysis. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(4): 399-407. Disponible sur : doi.org/10.1111/j.1461-9563.2012.00582.x.
- Marliac G., 2014 :** Intensification de l’agriculture biologique : conséquences sur la régulation des phytophages en vergers de pommiers. Thèse de doctorat. Biologie végétale. Université d’Avignon, 167P. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01163396>.
- Maumene C., Siah A., Ors M.-E., Couleaud G., Randoux B., Rigolle P., Selim S., Halama P., Reignault P., 2010:** Interaction entre stimulateurs de défense des plantes et génotypes de blé tendre dans la lutte contre la septoriose. Conference: 4th scientific meeting At: Paris, France. Project: FSOV-SDP-SEPTO «Wheat genotypes and plant defense stimulators interaction against *Septoria tritici*, 10P. Disponible sur: <https://www.researchgate.net/>.
- McGuffin K.N.G., 2011:** Susceptibility of codling moth in southwestern Ontario apple orchards to currently recommended insecticides. University of Guelph. 130P.
- McGuffin G.K., Scott I. M., Bellerose S., Chouinard G., Cormier D. et Scott-Dupree C. 2014:** Susceptibility in field populations of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), in Ontario and Quebec apple orchards to a selection of insecticides. *Pest Management Science*, 71(2) : 234–242. Disponible sur : doi.org/10.1002/ps.3787.
- Medici A., 2010:** Les gènes de transporteurs de sucres dans la réponse au déficit hydrique et le rôle des protéines ASR dans la régulation de l’expression du gène du transporteur d’hexoses VvHT1 chez la Vigne (*Vitis vinifera*). Docteur de l’université de Poitiers. 146P.
- 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 (W. Batna). Mémoire de Magister. Institut d’Agronomie, Université de Batna, 84P.
- Mhenna N., 2018:** Utilisation de micro doses de sucres dans la lutte contre la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta* Meyrick) (Lepidoptera ; Gelichiidae) dans la région de Ben S’rour (W. M’sila). Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Université Batna1, 40P.
- Micheletti D., Troggio M., Salamini F., Viola R., Velasco R. et Salvi S., 2011:** On the evolutionary history of the domesticated apple. *Nature Genetics*, 43(11): 1044-1045.

- Mills N., 2005:** Selecting effective parasitoids for biological control introductions: Codling moth as a case study. *Biological Control*, 34: 274-282.
- Mills N., Pickel C., Mansfield S., McDougali S., Buchner R., Capril L., Edstrom L., Elkins R., Hasey L., Kelley K., Krueger B., Olson B. et Stocker R., 2000:** Mass release of *Trichogramma* wasps can reduce damage from codling moth. *California Agriculture*, 54 (6): 22-26.
- Moffit H.R., Drake S.R., Toba H.H. et Hartshell P.L. 1992:** Comparative efficacy of methyl bromide against codling moth (Lepidoptera : Tortricidae) larvae in Bing and Rainier cherries and confirmation of efficacy of a quarantine treatment for Rainier cherries. *Journal of Economic Entomology*, 85: 1855-1858.
- Morisset O., 2010:** Évaluation de l'efficacité et de la compatibilité de *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichomatidae) et du virus de la granulose du carpocapse (CPGV) pour leur utilisation conjointe contre *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) en vergers de pommiers. Université du Québec à Montréal. 101P.
- Morkunas I. et Ratajczak L., 2014 :** The role of sugar signaling in plant defense responses against fungal pathogens. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36:1607–1619. DOI: 10.1007/s11738-014-1559z.
- Morkunas I., Marczak Ł., Stachowiak J. et Stobiecki M., 2005:** Sucrose-stimulated accumulation of isoflavonoids as a defense response of lupine to *Fusarium oxysporum*. *Plant Physiology Biochemistry*, 43:363–373.
- Mudgil, Y., Karve A., Teixeira P.J.P.L., Jiang K., Tunc-Ozdemir M. et Jones A.M., 2016:** Photosynthate Regulation of the Root System Architecture Mediated by the Heterotrimeric G Protein Complex in Arabidopsis. *Frontiers Plant Science*, 7: 1255.
- Nägele T., Stutz S., Hörmiller I.I. et Heyer AG, 2012:** Identification of a metabolic bottleneck for cold acclimation in Arabidopsis thaliana. *Plant Journal*, 72: 102-114.
- 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, 79P.
- Nie G., Hendrix D.L., Webber A.N., Kimball B.A. et Long S.P., 1995:** Increased accumulation of carbohydrates and decreased photo- synthetic gene transcript levels in wheat grown at an elevated CO₂ concentration in the field. *Plant Physiology*, 108: 975-983.
- Nollet M., 2012:** Etude de l'encapsulation de *Cydia pomonella Granulovirus* (CpGV) dans des émulsions doubles. Université Bordeaux 1, France, 232P.
- Nunes C.M. de-J., 2014:** Inhibition of SNF1-related protein kinase1 by trehalose 6-phosphate and other metabolites and the interrelation with plant growth. Ph.D. Universida de Nova de Lisboa, Oeiras. 234P.

- O'donohue M., 2008:** La production de carburants à partir de biomasse lignocellulosique par voie biologique: état de l'art et perspectives. *Oléagineux Corps Gras Lipides*, 15: 172-177.
- Ohlendorf B.L.P., 1999:** Integrated Pest Management for Apples and Pears (2nd Edition). Statewide Integrated Pest Management Project, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, California, US.
- OMAFRA (Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2009:** Integrated Pest Management for Ontario Apple Orchards. Publication 310. Queen's Printer for Ontario, Toronto.
- OMAFRA (Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2010:** Fruit Production recommendations 2010-2011. Publication 360. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Queen's Printer for Ontario, Toronto.
- Ondet S., 2010:** Evaluation de la résistance au virus de la granulose de différentes populations de carpocapse. *GRAB. Arboriculture*, 3P.
- Ondet S.-J., 2016:** Des infra-doses de sucre sur pommiers pour limiter les dégâts de carpocapse (*Cydia pomonella* L.). GRAB, 11P. Disponible sur: http://www.grab.fr/wp-content/uploads/2016/01/1_Infradoses-de-sucre-SJ-Ondet-GRAB.pdf.
- Ondet S.-J. et Gorski C., 2015:** Stratégie de maîtrise du carpocapse du pommier par infra doses de sucre. *Arboriculture, fiche 17.2011.04 AB*. 4P.
- Ondet S.-J., 2019:** Utilisation d'infra doses de sucre contre le carpocapse du pommier. Disponible sur : <https://www.grab.fr/resultat-2019-infra-doses-de-sucre-pour-limiter-les-degats-de-carpocapse-sur-pommes/>. Consulté le: 24/06/2022.
- Ondet S.-J., 2021:** Utilisation d'infra doses de sucre contre le carpocapse du pommier. Disponible sur : <https://www.grab.fr/resultats-2020-carpocapse-et-pommiers/>. Consulté le: 24/06/2022.
- Ondet S.-J. et Salva G., 2005:** Lutte directe en agriculture biologique pour maîtriser *Metcalfa pruinosa*. Comparaison d'insecticides. *Alter Agri 70 (Arboriculture)*: 7-10. Disponible sur: https://abiodoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=188.
- O'Rourke D., 2003:** World Production, Trade, Consumption and Economic Outlook for Apples. In Ferree DC, Warrington IJ. eds. Apples - Botany, Production and Uses. *Cambridge: CABI Publishing*. pp: 15-30.
- Oualid F., 2018:** Monitoring du carpocapse des pommes et diffusion des alertes pas SMS. *Proceeding des résumés de Séminaire national « Smart farming : Un challenge à l'agriculture algérienne »* : 24 au 25 Avril 2018, Batna, Algérie, pp: 26.
- Pajac I., Pejic I. et Baric 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.

- Pajot E. et Regnault-Roger C., 2008:** Stimulation des défenses naturelles des plantes et résistance induite : une nouvelle approche phytosanitaire?. Chapitre 11: 231-259. In : **Regnault-Roger C., Philogène B.J.R. et Vincent C.,** Biopesticides d'origine végétale. 2^{ème} édition, Eds. Tec et Doc, Paris, 546P.
- Penninckx I.A.M.A., Thomma B. P. H. J., Buchala A., Métraux J.-P. et Broekaert W. F., 1998:** Concomitant Activation of Jasmonate and Ethylene Response Pathways Is Required for Induction of a Plant Defensin Gene in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 10(12): 2103-2113.
- Perrin M., 2022 :** Gestion du carpocapse des pommes : Impacts du réchauffement climatique sur la lutte contre *Cydia pomonella* dans les vergers de Provence. Disponible sur : <https://univ-avignon.fr/recherche/soutenance-de-these-marie-perrin-gestion-du-carpocapse-des-pommes-impacts-du-rechauffement-climatique-sur-la-lutte-contre-cydia-pomonella-dans-les-vergers-de-provence-imbe-09-03-2022-39363.kjsp>. Consulté le: 30/06/2022.
- Piasentin J., 2009:** Stimulation des mécanismes de défenses naturelles des plantes - Protection des cultures, production de composés secondaires d'intérêt. Ed. Terres d'innovation, Paris. 134P.
- Picard C., 2007:** Pratiques de protection contre le carpocapse des pommes : stratégies, temporalités et impacts environnementaux. Mémoire de stage d'ingénieur agronome. INRA - Montpellier SupAgro, Avignon, 33P.
- Pieterse C.M.J., Leon-Reyes A., Van der Ent S. et Van Wees S.C.M., 2009:** Networking by small-molecule hormones in plant immunity. *Nature Chemical Biology*, 5: 308–316.
- Piskorski R., Trematerra P. et Dorn S., 2010:** Cuticular hydrocarbon profiles of codling moth larvae, *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae), reflect those of their host plant species. *Biological Journal of The Linnean Society*, 101: 376-384.
- Poovaiah B. W., Reddy A. S. N. et Feldman L., 1993:** Calcium and signal transduction in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 12(3): 185-211.
- Pringle K.L., Eyle D.K. et Brown L., 2003:** Trends in codling moth activity in apple orchards under mating disruption using pheromones in the Elgin area, Western Cape Province, South Africa. *African Entomology Journal*, 11: 65-75.
- Pszezolkowski M.A. et Brown J.J., 2003:** Effect of sugars and non-nutritive sugar substitutes on consumption of apple leaves by codling moth neonates. *Phytoparasitica*, volume 31(3):283-291. DOI : <https://doi.org/10.1007/BF02980837>.
- Pszezolkowski M.A. et Brown J.J., 2005:** Signal experience learning of host fruit selection by Lepidoptera larvae. *Physiology and Behaviour*, 86: 168-175.

- Pszczolkowski M.A., Matos L.F., Brown R. et Brown J.1., 2002:** Feeding and development of *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) larvae on apple leaves. *Annals of the Entomological Society of America*, 95 (5): 603-607.
- Qian G.Z., Liu L.F. et Tang G.G., 2010:** Proposal to conserve the name *Malus domestica* against *M. pumila*, *M. communis*, *M. frutescens*, and *Pyrus dioica* (Rosaceae). *Taxon*, 59(2): 650-652.
- Qubbaj T., Reineke A. et Zebitz C.P.W., 2005:** Molecular interactions between rosy apple aphids, *Dysaphis plantaginea*, and resistant and susceptible cultivars of its primary host *Malus domestica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 115(1): 145–152.
- Quirino B.F., Noh Y.S., Himelblau E. et Amasino R.M., 2000:** Molecular aspects of leaf senescence. *Trends Plant Science*, 5:278-282.
- Ragan W.H., 1905:** Nomenclature of the apple: a catalogue index of the known varieties referred to in American publications from 1804 to 1904. *USDA Bur Plant Ind Bul*, 56.
- Ramaswamy S. B., 1988:** Host finding by moths: sensory modalities and behaviours. *Journal of Insect Physiology*, 34: 235-249.
- Ramaswamy S.B., 1994:** Physiological basis of feeding and ovi- position behaviour in moths. *Functional Dynamics of Phytophagous Insects* (ed. by T. N. Ananthakrishnan). Oxford & IBH Publishing, India. pp: 55-78.
- Reisdorf-Cren M., 2012:** La plante et son environnement biotique, in: *Biologie végétale: croissance et développement*. Dunod, Paris. pp: 187-216.
- Reyes M., Barros-Parada W., Ramírez C.C. et Fuentes-Contreras E., 2015:** Organophosphate resistance and its main mechanism in populations of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from Central Chile. *Journal of Economic Entomology*, 108(1): 277-285. doi.org/10.1093/jee/tou001.
- Reyes M., Franck P., Olivares J., Margaritopoulos J., Knight A. et Sauphanor B., 2009:** Worldwide variability of insecticide resistance mechanisms in the codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Bulletin of Entomological Research*, 99: 359-369.
- Ricci B., 2009:** Dynamique spatiale et dégâts de carpocapse dans la basse vallée de la Durance. Thèse de Doctorat. Ecole doctorale SIBAGHE. INRA Avignon. 224P.
- Ricci B., Lavigne C., Frank P., Sauphanor B., Toubon J.- F. et Bouvier J. C., 2007 :** Impact du paysage sur les populations de carpocapse, ravageur des pommiers et poiriers, à l'échelle d'un bassin de production. INRA. Avignon- Unité plantes et systèmes de cultures horticoles, 6 P.
- RMT Elicitra, 2013:** Projet de RMT Elicitra - Comprendre, développer et promouvoir au sein des filières végétales les stratégies de stimulation de défense des plantes.
- Robert P. et Frerot B., 1998 :** Comportement d'oviposition chez *Sesamia nonagrioides* lefebvre (Lepidoptera: Noctuidae). *Annales de la Société Entomologique*, 34 (2): 189-194.

- Rodriguez M.A., Bosch D., Sauphanor B. et Avilla J., 2010:** Susceptibility to organophosphate insecticides and activity of detoxifying enzymes in Spanish populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 103: 482-491.
- Roitsch T. et Gonzalez M.C., 2004:** Function and regulation of plant invertases: sweet sensations. *Trends Plant Science*, 9: 606-613.
- Rolland F., Winderickx J. et Thevelein J.M., 2002:** Glucose-sensing and -signalling mechanisms in yeast. *FEMS Yeast Research*, 2: 183-201
- Rolland F., Baena-Gonzalez E et Sheen J., 2006:** Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. *Annual Review Plant Biology*, 57:675-709
- Rosa M., Prado C., Podazza G., Hilal M., Interdonato R., González J.A., Hilal M. et Prado F.E., 2009:** Soluble sugars - Metabolism, sensing and abiotic stress. *Plant signaling and behavior*, 4 (5): 388-393.
- Ross A., 1961:** Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plant. *Virology*, Volume 14: 340-358.
- Rouxel T., 1989 :** Les phytoalexines et leur intervention dans la résistance hypersensible aux champignons phytopathogènes. *Agronomie*, 9: 529-545.
- Royer M., 2013:** Etude des relations entre croissance, concentrations en métabolites primaires et secondaires et disponibilité en ressources chez la tomate avec ou sans bioagresseurs. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine, France. 194P.
- Sauge M.-H., Lacroze J.-P., Poëssel J.-L., Pascal T. et Kervella J., 2002:** Induced resistance by *Myzus persicae* in the peach cultivar 'Rubira'. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102(1): 29-37.
- Sauphanor B., Brosse V., Bouvier J-C., Speich P., Micoud A. et Martinet C., 2000:** Monitoring resistance to diflubenzuron and deltamethrin in French codling moth populations (*Cydia pomonella* L.). *Pest Management Science*, 56: 74-82.
- Sauphanor B., Dirwimmer C., Boutin S., Chaussabel A.L., Dupont N., Fauriel J., Gallia V., Lambert N., Navarro E., Parisi L., Plenet D., Ricaud V., Sagnes J.L., Sauvaitre D., Simon S., Speich P. et Zavagli F., 2009:** Analyse comparatives de différents systèmes en arboriculture fruitière. In: INRA, Ecophyto R&D: vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires Rapport d'expertise, Tome IV, INRA, Paris. Disponible sur: agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=FR2014012913.
- Scalla R., 1991:** Les herbicides, mode d'action et principe d'utilisation, Inra, Paris, 450P.
- Scheel D., 1998:** Resistance response physiology and signal transduction. *Current Opinion in Plant Biology*, 1(4): 305-310.

- Schreiber L., 2006:** Characterisation of polar paths of transport in plant cuticles. In : **Riederer M. et Müller C.** (Eds). *Biology of the plant cuticle*. Annual Plant Review, Blackwell Publishing, Oxford. pp: 280-289.
- Schoonhoven L.M., Jermy T. et Van Loon J.J.A., 1998:** Host-plant selection: When to accept a plant. In: *Insect-plant Biology. From physiology to evolution*. Ed. Chapman & Hall. pp: 156-193.
- Seltzer P., 1946:** Climat de l'Algérie. Institut Météorologique et Physique du Globe. Université d'Alger, 219P.
- Senthil-Kumar M. et Mysore K.S., 2013:** Non host resistance against bacterial pathogens: retrospectives and prospects. *Annual review of phytopathology*, Volume 51: 407-427.
- Sheen J., 1994:** Feedback control of gene expression. *Photosynthesis Research*, 39: 427-438.
- Sheen J., Zhou L. et Jang J.C., 1999:** Sugars as signaling molecules. *Current Opinion in Plant Biology*, 2: 410-418
- Shahri W., Ahmad S.S., Tahir I., 2014:** Sugar signaling in plant growth and development, in *Plant Signaling: Understanding the Molecular Crosstalk*, eds Hakeem K. R., Rehman R. U., Tahir I., editors. New Delhi: Springer. pp: 93-116.
- Smeekens S., Ma J., Hanson J. et Rolland F., 2010:** Sugar signals and molecular networks controlling plant growth. *Current Opinion in Plant Biology*, 13: 274-279.
- SRPV d'Ain-Touta** (Station régionale de la protection des végétaux), **2017:** Données sur le carpocapse.
- SRPV d'Ain-Touta** (Station régionale de la protection des végétaux), **2019:** Données sur le carpocapse.
- Städler E., 1984:** Contact chemoreception. In: Bell W.J. & Cadré R.T. (eds), *Chemical Ecology of Insects*. Ed. Chapman & Hall, London, pp: 1-35.
- Städler E., 1986:** Oviposition and feeding stimuli in leaf surface waxes. In: Juniper B.E. & Southwood T.R.E. (eds), *Insects and plant surfaces*. Ed. Edward Arnold, London, pp: 105- 121.
- Städler E., 2002:** Plant chemical cues important for egg deposition by herbivorous insects. In: **Hilker M. et Meiners T.,** *Chemoecology of Insect eggs and egg deposition*, Blackwell Publishing, Berlin, 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, 172P.
- Sticher L., Mauch-Mani B. et Métraux J. P., 1997:** Systemic acquired resistance. *Annual review of phytopathology*, 35(1), pp: 235-270.

- Stuart J., 2015:** Insect effectors and gene-for-gene interactions with host plants. *Current Opinion in Insect Science*, (9): 1-6.
- Thaler R., Brandstatter A., Meraner A., Chabicovski M., Parson W., Zelger R., Dalla Via J. et Dallinger R., 2008:** Molecular phylogeny and population structure of the codling moth (*Cydia pomonella*) in Central Europe: II. AFLP analysis reflects human-aided local adaptation of a global pest species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48: 838-849.
- Thireau C., Fortier A.M. et Lefebvre M., 2016:** Evaluation d'insecticides biologiques et d'insecticides à faible risque pour lutter contre la drosophile à ailes tachetées (DAT) dans la culture de la framboise d'automne. Volet 4, Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement. 2P.
- Tomaš, V., Šimić, D., Mihaljević, I., Dugalić, K., Viljevac Vuletić M., Vuković D., Zdunić Z., Barić, B., Brmež, M., 2018:** The efficiency of biological control treatments of codling moth (*Cydia pomonella* L.) on three different apple varieties. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(2):1293-1303. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aer/1602_12931303.
- Thiéry D. et Gabel B., 1993:** Inter-specific avoidance of egg-associated semiochemicals in four tortricids. *Experientia*, 49: 998 -1001.
- Thiéry D., Derridj S., Calatayud P-A., Maher N. et Marion-Poll F., 2012:** L'insecte au contact des plantes (Chapitre 23), pp: 347-368. In: **Calatayud P-A., Marion-Poll F., Sauvion N. et Thiéry D., 2012:** Interactions insectes-plantes. IRD Éditions, Éditions Quae. Marseille. 749P. DOI : 10.4000/books.irdeditions.22185.
- Trematerra P., 2003 :** Catalogodei Lepidoptera:Tortricidae della fauna italiana. *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*, II 35 (Suppl. 1): 1-270
- Treder W., 2010:** Crop loading studies with 'Jonagold' apple tree. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 18(1): 59-69.
- Trillot M., Masseron A., Mathieu V., Bergognoux F., Hutin C. et Lespinasse Y., 2002:** Le poirier, Monographie. Edition Centre technique Interprofessionnel des fruits et légumes. Paris, 289P.
- Trouvelot S., Héloir M.C., Poinssot B., Gauthier A., Paris F., Guillier C., Combier M., Trdá L., Daire X. et Adrian M., 2014:** Carbohydrates in plant immunity and plant protection: roles and potential application as foliar sprays. *Frontiers in Plant Sciences*, 5 (592): 1-14.
- Tukey Jr.-H.B., 1970:** The leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 21: 305-324.
- Udayagiri S. et Masson C.E., 1995:** Host-plant constituents as oviposition stimulants for a generalist herbivore : European corn borer. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 76: 59-65.

- Vail P.U., Tebbets L.S., Curtis C.E. et Jenner K.E., 1993:** Infestation rates and biological observations after harvest of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in stored inshell walnuts. *Journal of Economic Entomology*, 86: 1761-1765.
- Van Breusegem F. et Dat J. F., 2006:** Reactive Oxygen Species in Plant Cell Death. *Plant Physiology*, 141: 384-390.
- Van Breusegem F., Vranová E., Dat J. F. et Dirk I., 2001:** The role of active oxygen species in plant signal transduction », *Plant Science*, Volume 161 : 405-414.
- Vavilov N.I., 1930:** Wild progenitors of the fruit trees of Turkestan and the Caucasus and the problem of the origin of fruit trees. *In Proceedings of the 9th International Horticultural Congress*. London. pp: 271-286.
- Van Etten H.D., Mansfield J. W., Bailey J.A. et Farmer E.E., 1994:** Two classes of plant antibiotics: phytoalexins versus "phytoanticipins". *The Plant Cell*, 6(9): 1191-1192.
- Van Loon, J.J.A., 1996:** Chemosensory basis of feeding and oviposition behavior in herbivorous insects: a glance at the periphery. *Entomologia Experimentalis et applicata*, 80: 7–13.
- Velasco R., Zharkikh A., Affourtit J., Dhingra A., Cestaro A., Kalyanaraman A., Fontana P., Bhatnagar S.K., Troggio M., Pruss D., 2010 :** The genome of the domesticated apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Nature Genetics*, 42(10): 833-839.
- Vrieling K. et Derridj S., 2003:** Pyrrolizidine alkaloids in and on the leaf surface of *Senecio jacobaea* L. *Phytochemistry*, 64: 1223-1228.
- Waladde S.M., 1983:** Chemoreception of adult stem-borers: tarsal and ovipositor sensilla on *Chilo partellus* and *Eldana saccharina*. *Insect Science and its Application*, 4: 159-165.
- Waladde S.M. et Ochieng S.A., 1991:** Tarsi and ovipositor gustatory sensilla of *Maruca testulalis*: coding properties and behavioural responses. Proceedings of the Seventh International Symposium on Insect–Plant Relationships (ed. by A. Szentesi and T. Jermy). *Symposia Biologica Hungarica*, Hungary. pp: 551-552.
- Walters D.R., Ratsep J. et Havis N.D., 2013:** Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future. *Journal of Experimental Botany*, 64(5): 1263-1280.
- Wang C.J. et Liu Z.Q. 2007:** Foliar uptake of pesticides – Present status and future challenge. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 87: 1-8.
- Watkins C.B., Kupferman E. et Rosenberger D.A., 2002:** Apple: Postharvest Quality Maintenance Guidelines. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Crops. Agriculture Handbook 66. USDA, Agricultural Research Service, Beltsville Area, USA. 792P.
- Way R.D., Aldwinckle H.S., Lamb R.C., Rejman A., Sansavini S., Shen T., Watkins R., Weswood M.N. et Yoshida Y., 1990:** Apples. *Acta Horticulturae*, 290: 1-62.

- Wearing C.H., Hansen J.D., Whyte C., Miller C.E. et Brown J., 2001:** The potential for spread of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) via commercial sweet cherry fruit: a critical review and risk assessment. *Crop Protection*, 20: 465-488.
- Webster A.D., 1995:** Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity, and yield productivity. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 23: 373–382.
- Welter S.C., 2006:** Codling Moth (*Cydia pomonella*) and Its Control. *Extension Entomologist* (Guide H). pp: 412-427.
- Who, 2006:** Pesticides are a leading suicide method. Disponible sur: <http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2006/np24/en/>. Consulté le: 10/08/2019.
- Who, 2008:** The global burden of disease: 2004 update. Geneva, WHO. Disponible sur: <http://www.who.int/evidence/bod>. Consulté le: 10/08/2019.
- Willemoes J.G., Beltrano J. et Montaldi E.R., 1988:** Diagravitropic growth promoted by high sucrose contents in *Paspalum vaginatum*, and its reversion by gibberellic acid. *Canadian Journal of Botany*, 66: 2035–2037.
- Willett M.J., Neven L. et Charles Miller E., 2009:** The Occurrence of Codling Moth in Low Latitude Countries: Validation of Pest Distribution Reports. *Hort Technology*, Volume 19 (Issue 3): 633-637.
- Williams L.E., Lemoine R. et Sauer N., 2000:** Sugar transporters in higher plants - a diversity of roles and complex regulation. *Trends in plant science*, 5: 283-290.
- Xu L., Zhu H., Ozkan H.E., Bagley W.E. et Krause Ch. R., 2011:** Droplet evaporation and spread on waxy and hairy leaves associated with type and concentration of adjuvants. *Pest Management Science*, 67: 842-851. DOI: 10.1002/ps.2122
- Yamada K., Saijo Y., Nakagami H. et Takano Y., 2016:** Regulation of sugar transporter activity for antibacterial defense in Arabidopsis. *Science*, 354: 1427-1430.
- Yokoyama V.Y. et Miller G.T., 1999:** Host status of fresh preunes by potential quarantine pests in laboratory tests and evaluation of packinghouse culls. *Journal of Economic Entomology*, 92: 485-489.
- Yu S., Li C., Zhou C.M., Zhang T.Q., Lian H., Sun Y., Wu J., Huang J., Wang G. et Wang J.W., 2013:** Sugar is an endogenous cue for juvenile-to-adult phase transition in plants. *eLife*, 2: e00269. Disponible sur : <https://doi.org/10.7554/eLife.00269.001>.
- Zeghiche M., 2018:** Utilisation des sucres solubles dans la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) dans un verger du pommier situé dans la région de Tazoult (W. Batna). Mémoire d'ingénieur en Agronomie, Université Batna 1, Batna, 47P.

Zhang W., Zhang J. et Hu X., 1993: Distribution and Diversity of *Malus Germplasm* Resources in Yunnan, China. *Hortscience*, 28(10): 978-980.

Zhao L., Hou P., Zhu G., Li M., Xie T. et Liu Q., 2015: Mapping the disjunct distribution of introduced codling moth *Cydia pomonella* in China. *Agricultural and Forest Entomology*, 17: 214-222. Doi: 10.1111/afe.12104.

Zuskin E., Mustajbegovic J., Schachter E.N., Kern J., Deckovic-Vukres V., Trosic I. et Chiarelli A., 2008: Respiratory function in pesticide workers. *Journal of Occupational Environment Medicine*, 50(11): 1299-1305.

Annexes

Annexe 1 : Caractérisation de différentes variétés étudiées

Espèce et Variété	Variétés de Pommier		
	Anna	Golden Delicious	Starkrimson
Origine	Israël en 1959	Etats Unis en 1890	Etats Unis en 1881
Calibre	Moyen (80 et 120 g)	Considérable	Gros
Texture	Croquante-juteuse	Croquante-juteuse	Croquante
Couleur	Jaune striée ou rouge sur fond vert claire	Jaune doré	Rouge violacé Piqueté de blanc
Forme	Hétérogène, allongée	Arrondie à tronconique	
Goût	Sucrée-acidulé	Sucrée	Sucrée-acidulé
Floraison	2 ^{ème} décade de février et peut s'étaler jusqu'à mi-mars	Mars	Fin Mars
Besoin en froid	besoin en froid (150 à 200 heures de froid)	besoin moyen en froid (600 à 1000 heures de froid).	Besoin en froid élevé (entre 600 et 800 heures).
Sensibilité aux maladies	Tavelure, l'oïdium, feu bactérien	Tavelure, l'oïdium, feu bactérien	Tavelure, l'oïdium, feu bactérien
Productivité	Moyenne	Moyenne	Forte à très forte
Maturité	Juin	Septembre	Septembre
Récolte	Mi-Juillet	À partir de la 2 ^{ème} décade de Septembre	Fin Septembre- début Octobre
Caractéristiques phénologiques Dans la région d'étude	<p>Débourrement : Février</p> <p>Floraison : 2^{ème} décade de mois de mars</p> <p>Maturité : Du début de juin à la 2^{ème} décade de Juillet</p> <p>Récolte : Quelques jours avant la maturité (fruits jaunissant) jusqu'à 20 juillet selon la destination du produit (Conservation / consommation directe).</p>	<p>Débourrement : à partir de 2^{ème} décade de Mars.</p> <p>Floraison : 1^{ère} décade de mois d'Avril.</p> <p>Maturité : De la 2^{ème} décade de Septembre jusqu'à la 2^{ème} décade d'Octobre.</p> <p>Récolte : Quelques jours avant la maturité (fruits jaunissant) jusqu'à la fin Novembre. Selon la destination du produit (Conservation / consommation directe).</p>	<p>Débourrement : à partir de 2^{ème} décade de Février.</p> <p>Floraison : deuxième semaine de Mars.</p> <p>Maturité : Début d'Août jusqu'à la 1^{ère} semaine de Septembre.</p> <p>Récolte : à partir de la deuxième semaine de mois d'Août. Selon la destination du produit (Conservation / consommation directe).</p>
Fruit mûr (Photos personnelle)			

(Chaouia *et al.*, 2003 ; ANDRE, 1987 ; Gautier, 2001; Trillot *et al.*, 2002).

Annexe 2 : Caractéristiques des sucres de commerce (Saccharose et fructose)

(<https://www.cevital-agro-industrie.com/fr/download-fiche-technique/149>, 2016)

A. Sucre blanc raffiné (Saccharose)

1. Description générale :

Le sucre blanc raffiné produit par les raffineries de sucre de Cevital Agro est fabriqué à partir du sucre roux de canne, après refonte, épuration, décoloration et cristallisation du sirop. Le sucre est composé de cristaux transparents d'apparence blanche.

2. Composition du produit :

Le sucre blanc raffiné est composé de saccharose.

3. Spécifications physico-chimiques :

Caractéristiques	Spécifications	Unité	Normes d'essai
Cendres Conductimétriques	≤ 0.027	%	Icumsa GS 2/3/9-17 (2011)
Type de couleur	≤ 9	Points Européens	SNFS -Ch 2/1 (2000)
Nombre de point	Européen	≤ 22	Points Européens
Coloration en solution	≤ 45	U. ICUMSA	Icumsa GS 2/3-9 (2005)
Polarisation	≥ 99.7	°Z	Icumsa GS 2/3-1 (2011)
Humidité	≤ 0.06	%	Icumsa GS 2/1/3/9-15 (2007)
Teneur en sucre inverti	≤ 0.04	%	Icumsa GS 2/3/9-5 (2011)
Teneur en anhydride sulfureux SO ₂	≤ 10	ppm	Icumsa GS 2/1/7/9 - 33 (2011)
Granulométrie	OM : 0.45 à 0.80 CV : ≤ 50 Fines (Ø < 0,2mm) : ≤ 5	mm % %	SNFS Ch 2 Méthode 7 (2000)

4. Caractéristiques organoleptiques:

Odeur : Exempte d'odeur étrangère

Saveur : Exempte de saveur étrangère

5. Aspect microbiologique :

Le sucre blanc raffiné est un produit qui présente une humidité très faible.

Les analyses montrent que l'activité de l'eau (aw) du sucre est située entre 0,2 et 0,3. Ces valeurs sont largement inférieures à la limite de développement des micro-organismes (0,6 – 0,7).

Désignation	Spécifications	Unité	Normes d'essai
Germes aérobies	200	ufc/10g	GS 2/3-41 : 2011
Germes acidifiants	50	ufc/10g	GS 2/3-45 : 2002
Levures	10	ufc/10g	GS 2/3-47 : 1998
Moisissures	10	ufc/10g	GS 2/3-47 : 1998
Anaérobies Sulfito-réducteurs	1	ufc/g	ISO 15213

6. Caractéristiques relatives aux contaminants

Contaminants	Spécifications	Unité
Arsenic	0,1 Max	mg/Kg
Cuivre	0,1 Max	mg/Kg
Plomb	0,1 Max	mg/Kg
Fer	0,1 Max	mg/Kg
Cadmium	0,1 Max	mg/Kg
Mercuré	0,01 Max	mg/Kg

B. Fructose

Sucre simple.

1. Caracteres generaux

1.1. Spécificité organoleptique - Aspect physique

Poudre cristalline, inodore de saveur sucrée.

1.2. Origine

Sucre présent naturellement dans les fruits, le miel et certaines plantes (Topinambour, chicorée). Il représente près de la moitié de l'extrait sec du miel. Il compose, en combinaison avec le Glucose, l'essentiel du sucre de canne et de betterave.

1.3. Description Chimique

Poids moléculaire : 180

Formule brute : $C_6 H_{12} O_6$

2. Caractéristiques physico-chimiques

Teneur en Fructose (sur sec) : 99.5% min

Humidité (Karl Fisher) : 0,2 % max

Cendres (four à 650°C pendant 2H au minimum : 0,01 % au maximum

pH en solution à 10 % : 5.0 à 7,0

Pouvoir rotatoire spécifique : -91 à -93,5° (sucre LEVOGYRE)

Arsenic : 0.5 ppm au maximum

Métaux lourds : 1 ppm au maximum

Plomb : 0,1 ppm au maximum

3. Conditionnement / Stockage

Emballage :

Boîte de 1 kg en polyéthylène.

Conditions de conservation : à l'abri de l'humidité (HR de 60% au maximum) de la chaleur (température d'environ 25°C) et dans un endroit exempt d'odeur, en emballage fermé.

Péremption :

Durée de vie de 2 ans minimum en conditionnement d'origine.

Annexe 3 : Calendrier des traitements réalisés (Variété Anna, Parcelle 2)

Traitements	Dates des traitements		
	Année 2017	Année 2018	Année 2019
1^{ère}	13 avril 2017	26 /04/2018	10 et 13/04/2019**
2^{ème}	03/05/2017	16/5/2018	03/05/2019
3^{ème}	23/05/2017	05/6/2018	23/05/2019
4^{ème}	12/06/2017	27 au lieu de 25 /06/2018*	12/06/2019
5^{ème}	02/07/2017	17/07/2018	04 au lieu 02/07/2019**
6^{ème}	22/07/2017	06/08/2020	24/07/2019
Récolte	5-9/8/2017	10/08/2018	06-09/08/2019

* Pour cette date les traitements ont été réalisés le 27/06/2018 au lieu du 25/06/2018 suite aux vents.

** Pour ces dates, les traitements ont été réalisés le 13/04/2019 et le 04/07/2019 au lieu du 10/04/2019 et le 02/07/2019 respectivement, suite aux vents et à la pluie tombée durant toute la journée.

Annexe 4: Calendrier des traitements réalisés (Variété Anna, Parcelle 1)

Traitements	Dates des traitements		
	Année 2017	Année 2018	Année 2019
1^{ère}	13 avril 2017	26 et 28/04/2018*	10 et 13/04/2019**
2^{ème}	03/05/2017	18/5/2018	03/05/2019
3^{ème}	23/05/2017	27/6/2018	23/05/2019
4^{ème}	12/06/2017	17/07/2018	12/06/2019
5^{ème}	02/07/2017	06/08/2018	02/07/2019
6^{ème}	22/07/2017	/	22/07/2019
Récolte	5-9/8/2017	15/08/2018	07-09/08/2019

* Le traitement du 26/04/2018 a été repris le 28/04/2018 suite aux pluies tombées juste après la fin de la réalisation du premier traitement. Notons aussi que cette année a été exceptionnelle, et connue des basses températures durant le mois d'avril ce qui a conduit à un retard de la floraison

** Le traitement du 10/04/2019 a été repris 13/04/2019 suite aux pluies tombées une heure après la fin de la réalisation des traitements et aux vents enregistrés durant les jours d'après (11 et 12/04/2019).

Annexe 5 : Calendrier des traitements réalisés (Variété Golden Delicious, Parcelle 3)

Traitements	Dates des traitements		
	Année 2017	Année 2018	Année 2019
1 ^{ère}	09/05/2017	12 /05/2018	07/05/2019
2 ^{ème}	29/05/2017	02 au lieu du 01/6/2018*	27/05/2019
3 ^{ème}	18/06/2017	22/6/2018	16/06/2019
4 ^{ème}	08/07/2017	12/07/2018	06/07/2019
5 ^{ème}	28/07/2017	01/08/2018	26/07/2019
6 ^{ème}	17/08/2017	25 au lieu du 22/08/2018	15/08/2019
7 ^{ème}	06/09/2017	/	04/09/2019
Récolte	12/09/2017	15/09/2018	14 et 15/09/2019

* : Pour cette date, le traitement a été réalisé le 2/06/2018 au lieu du 1/06/2018 suite aux vents.

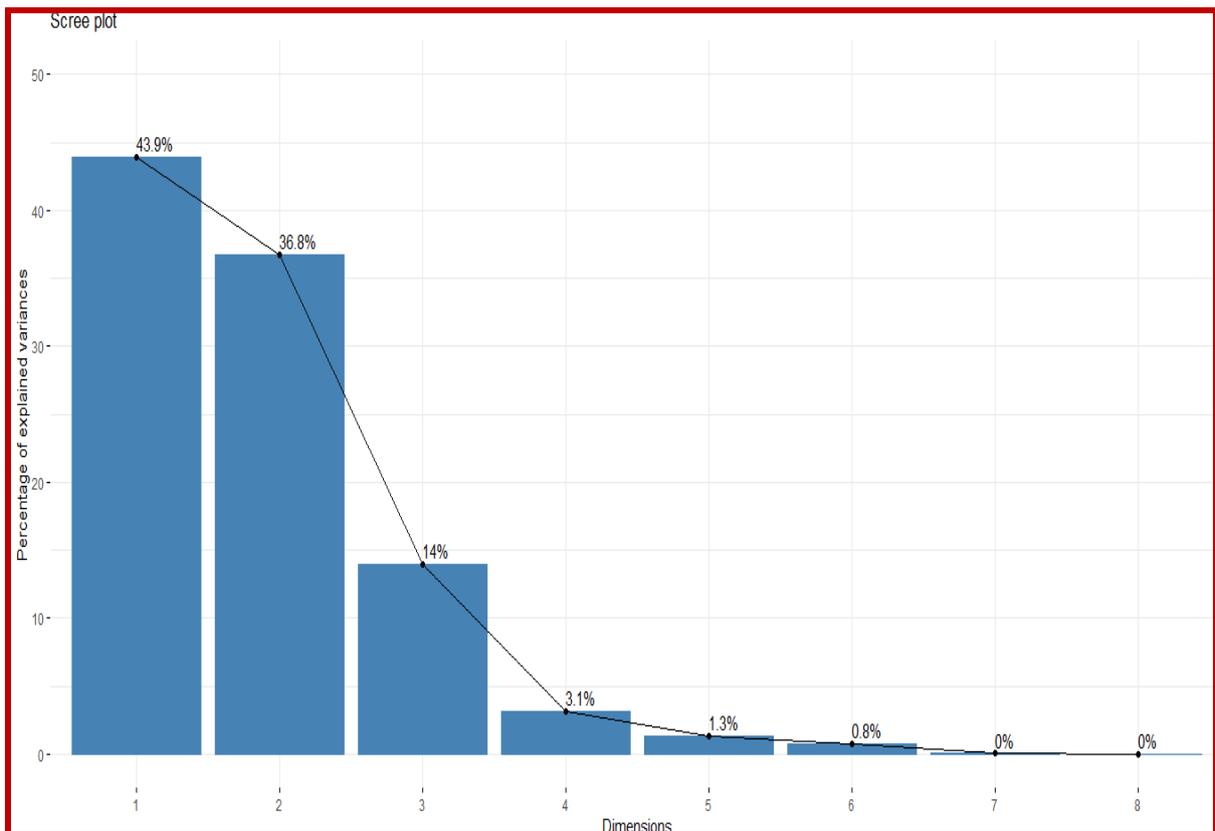
Annexe 6 : Calendrier des traitements de l'essai de Gosbat (Variété Anna, Parcelle 4)

Traitements	Dates des traitements	Observations
1 ^{ier}	10/04/2017	Réalisé
2 ^{ème}	1/05/2017	Réalisé
3 ^{ème}	21/05/2017	Réalisé
4 ^{ème}	10/06/ 2017	Réalisé
5 ^{ème}	30/06/2017	A cause du vent, ce traitement n'a pas été réalisé
Récolte 06 et 07 /07/2017		

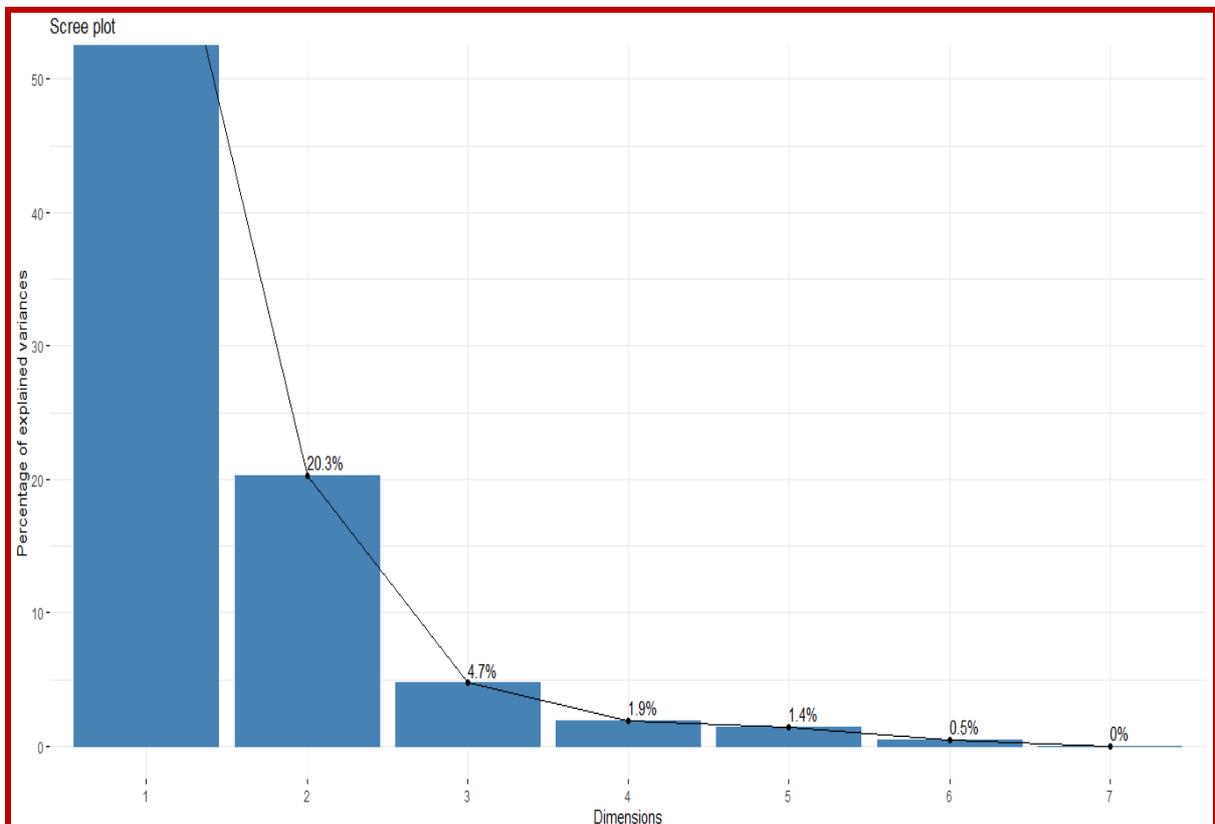
Annexe 7: Calendrier des traitements réalisés (Variété Starkrimson, Parcelle 5)

Traitements	Dates des traitements	Observations
1 ^{ier}	27/04/2017	/
2 ^{ème}	17/05/2017	/
3 ^{ème}	06/06/2017	Non réalisé à cause des pluies et reporté 07/06/2017
4 ^{ème}	27/06/2017	/
5 ^{ème}	17/07/2017	/
6 ^{ème}	06/08/2017	/
Récolte 25 /08/2017		

Annexe 8 : Valeurs d'inertie des axes de l'ACP de taux d'infestation des fruits attaqués



Annexe 9 : Valeurs d'inertie des axes de l'ACP de l'efficacité des modalités testées



Annexe 10: les températures moyennes mensuelles en °C pendant les années 2017, 2018 et 2019

Températures	Année 2017			Année 2018			Année 2019		
	M	m	(M+m)/2	M	m	(M+m)/2	M	m	(M+m)/2(°C)
Janvier	9,7	0,3	5	15,1	-0,4	7,3	10,5	-1,5	4,5
Février	11,4	1,2	6,3	11,7	-0,7	5,5	13,1	-1,0	6,1
Mars	14,4	3	8,7	17,1	4,7	10,9	17,2	1,5	9,4
Avril	18,4	5,3	11,85	21,9	6,6	14,3	21,1	5,5	13,3
Mai	23,3	9,5	16,4	23,9	9,6	16,7	23,8	7,0	15,4
Juin	28,9	14,2	21,55	31,5	13,3	22,4	36,1	16,2	26,1
Juillet	33,4	17	25,2	35,6	24,9	29,3	38,0	17,7	27,8
Août	32,4	16,7	24,55	32,0	15,7	23,9	36,9	18,2	27,6
Septembre	27,4	13,8	20,6	30,2	15,4	22,8	30,6	15,1	22,9
Octobre	20,9	9	14,95	20,3	9,2	15,6	25,2	09,2	17,2
Novembre	14,8	4,5	9,65	18,0	3,6	10,8	15,7	4,8	10,3
Décembre	10,8	1,4	6,1	15,3	-0,7	7,3	15,3	2,5	8,9

(Station météo d'Ain skhouna Batna, 2020)

M (C°): Température moyenne maximale; **m (C°):** Température moyenne minimale;

(M+m)/2 (C°): Température moyenne.

Annexe 11 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) durant les années 2017, 2018 et 2019.

Mois Précipitation	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Année 2017	35	7,4	0	20,5	4,1	24,4	0,2	4,8	4,7	22,1	26	20,5	169
Année 2018	0,7	17,1	38,8	47,6	56,2	0,4	3,9	57,3	27,5	64,6	0,2	4,7	319
Année 2019	32,2	17,2	60	36	51,9	0	4	13,4	31,8	25,6	44,6	22,1	338,8

(Station météo Ain skhouna, Batna, 2020)

Annexe 12 : Nombre de jours où la température a été supérieure à 35°C, durant les années 2017, 2018 et 2019.

Mois Nombre de jours	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Année 2017	0	0	0	0	0	12	22	15	2	0	0	0	51
Année 2018	0	0	0	0	0	5	27	6	6	0	0	0	44
Année 2019	0	0	0	0	0	21	28	21	01	0	0	0	71

(Station météo Ain skhouna, Batna, 2020)

Evaluation d'infra-doses des métabolites primaires comme stimulateurs des défenses naturelles de la plante, sur pommier contre le Carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera ; Tortricidae).

Résumé

Pour combattre le carpocapse des pommes, le ravageur le plus redoutable des vergers pomicoles dans le monde et même en Algérie, minimiser les effets nocifs de l'utilisation des insecticides sur l'environnement et la santé humaine, soulèverait une urgence d'avoir des méthodes alternatives et moins coûteuses. L'utilisation des stimulateurs de défenses naturelles (SDN) est une nouvelle voie biologique, dont la défense liée aux sucres est un nouveau concept nouvellement explorée. Cette étude comprend des essais menés durant la période 2017-2019, dans la wilaya de Batna (régions de Tilatou, Lambiridi et Gosbat). Et visant à comparer l'effet des pulvérisations de deux sucres ; Fructose et Saccharose, seuls, en alternance ou en mélange, à une dose de 100 et 50 ppm sur pommier (variétés Golden Delicious, Anna et Starkrimson), vis-à-vis des attaques de *C. pomonella* et les larves diapausantes. Les traitements ont été appliqués dès la fin de floraison et jusqu'à la récolte, tous les 21 jours (au début, au pic et la fin de photosynthèse) avant 07h00 et en deux phases de la journée (10h 00-12h 00 et 16h00-18h00), à l'aide d'un pulvérisateur à dos. Les résultats ont été analysés par une analyse de la variance (ANOVA) suivie par le test de Fisher L.S.D. ($P < 0.05$). Ces résultats montrent que toutes les modalités testées réduisent les attaques dues au *C. pomonella* vs. le témoin quelque soit la variété, l'année d'étude et le mode d'application avec une efficacité variable arrive jusqu'à 72%. Les dégâts larvaires sont beaucoup plus stoppés que cicatrisés et actifs. Ils diminuent significativement les populations larvaires de carpocapse, avec une efficacité arrive à 78%. Les meilleurs résultats sont engendrés par le saccharose et même le fructose seuls (100 ppm), pulvérisés tôt le matin. Cette nouvelle technologie démontre une alternative prometteuse basée sur l'utilisation de la voie de signalisation des sucres. L'application foliaire des deux sucres seuls, en alternance ou en mélange, en infra-doses induit des résistances chez le pommier vis-à-vis du carpocapse qui s'avère particulièrement difficile à réguler dans notre région.

Mots clés : Carpocapse, pommier, stimulateurs de défenses naturelles, SDN, sucres, métabolites primaires.

Evaluation of sub-doses of primary metabolites as stimulators of the plant's natural defenses against codling moth on apple trees (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera ; Tortricidae).

Summary

To control apple codling moth, the most important pest of apple orchards in the world and even in Algeria on the one hand. To minimize the harmful effects of the use of insecticides on the environment and human health on the other hand, would raise an urgency to have alternative and less expensive methods. The use of natural defenses stimulators (NDS) is a new biological way, Sweet defense is a newly explored concept. The stimulation of immunity and plant defenses is used to strength and accelerate the process of Sweet Immunity, this by a physiological change on leaves surface. This study presents the results of trials conducted during 2017-2019, carried out in the regions of Tilatou, Lambiridi and Gosbat (Batna, Algeria). And to compare the effect of spraying two sugars; Fructose and Sucrose, alone, alternately or in mixture, at 100 and 50 ppm on apple trees (Golden Delicious, Anna and Starkrimson varieties), against *C. pomonella* attacks and diapausing larvae. Treatments were applied from the end of flowering stage until harvest, every 21 days (at the beginning, the peak, and end of photosynthesis) before 07:00 a.m., in two phases of the day (10:00 12:00 a.m. and 4:00-6:00 p.m.), using a backpack sprayer. Results were analyzed by analysis of variance (ANOVA) followed by the Fisher L.S.D. test ($P < 0.05$). These results show that all the tested modalities reduce *C. pomonella* damages vs. the control whatever the variety, the year of study and the mode of application with variable efficiency arrives up to 72%. Significantly reduce codling moth larvae populations, with an efficiency reaching 78%. Larval damage is much more stopped than scarred and active. The best results are generated by sucrose and even fructose alone (100 ppm) sprayed very early in the morning. This new technology demonstrates a promising alternative based on the use of the sugar signaling pathway. The foliar application of the two sugars alone, alternately or in mixture, in low doses induces resistance in apple trees towards codling moth which is particularly difficult to control in our region.

Key words: Codling moth, Apple, natural defense stimulators, NDS, sugars, Sweet Immunity, primary metabolites.

تقييم جرعات منخفضة من نواتج الايض الأولية كمحفزات للدفاعات طبيعية للنبات، على التفاح ضد دودة التفاح

المخلص

للمكافحة دودة التفاح، أكثر آفات بساتين التفاح في العالم وحتى في الجزائر، والتقليل من الآثار الضارة لاستخدام المبيدات الحشرية على البيئة وصحة الإنسان إلى أدنى حد. هناك ضرورة ملحة للحصول على طرق بديلة وأقل تكلفة. يشكل استخدام محفزات الدفاع الطبيعي (SDN) مسارا بيولوجيا جديدا الى جانب الدفاع باستخدام السكر الذي يعد مفهوم جديد يجري استكشافه. ويستخدم لتحفيز وتعزيز حصانة دفاعات النباتات لتسريع عملية الحصانة المرتبطة بالسكر، وذلك من خلال تعديل فسيولوجي لسطح الأوراق. تعرض هذه الدراسة نتائج الاختبارات التي أجريت خلال الفترة الممتدة بين 2017-2019، في ولاية باتنة (مناطق تيلاطو، ليمبيريدي وقصبات). من خلال مقارنة تأثير رذاذ سكرين؛ الفركتوز والسكروز، لوحدهما، بالتناوب أو مزيجهما، بجرعة 100 و 50 جزء في المليون على التفاح (الأصناف قولدن، أنا وستاركريمسون)، في مواجهة الهجمات دودة التفاح واليرقات. طبقت هذه العلاجات من نهاية الازدهار وحتى الجني، كل 21 يوم (في بداية و ذروة ونهاية عملية التمثيل الضوئي) قبل 07:00 صباحا و أثناء فترتين من النهار (10:00-12:00 و 16:00-18:00)، وذلك باستخدام البخاخ الظهري. حلت نتائج الدراسة بتحليل للاختلاف تبعه اختبار لفيشر P.L.S.D. (أقل من 0.05). وأظهرت هذه النتائج أن جميع السكريات التي تم اختبارها تعمل على الحد من الهجمات الناجمة عن دودة التفاح مقارنة بالشاهد مع كفاءة متغيرة تصل إلى 72%. في حين أن اليرقات تظهر آثار متوقفة أكثر منها سطحية و عميقة. كما يؤدي إلى انخفاض كبير في عدد اليرقات، حيث تصل كفاءتها إلى 78%. نذكر أن أفضل النتائج سجلت من رش السكروز وحتى الفركتوز وحدهما (100 جزء من المليون) في الصباح الباكر. وتظهر هذه التكنولوجيا الجديدة بديلا واعداد يستند إلى استخدام مسار الإشارات للسكر. رش السكرين وحدهما، بالتناوب أو مزيجهما على الأوراق، بجرعات صغيرة جدا في تحفيز المقاومة المستحثة لشجرة التفاح لمجابهة دودة التفاح التي يصعب مجابتهها بشكل خاص في منطقتنا.

الكلمات المفتاحية : دودة التفاح، التفاح، محفزات الدفاع الطبيعي، السكريات، نواتج الايض الأولية.