

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOUBAKR BELK AÏD – TLEMCCEN
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers



Département d'Ecologie et Environnement
Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels

Thèse de Doctorat

Spécialité : **Ecologie animale**

Présenté par :

Melle SALAH Zahra

Thème

Biodiversité des mécanismes et des molécules mis en œuvre en réponse aux agressions parasitaires chez *Citrus sinensis* dans la région de Tlemcen (Ouest-Algérien)

Jury :

Président	: Mr Amrani Sidi Mohammed	Professeur	Université de Tlemcen
Encadreur	: Mme Gaouar Benyelles Nassira	Professeur	Université de Tlemcen
Examineurs :	Mr Gherib Mohammed	MCA	Centre Universitaire Naama
	Mr Bellahcène Miloud	Professeur	Centre Universitaire Ain Temouchent
	Melle Damerdji Amina	Professeur	Université de Tlemcen

Année Universitaire 2019 – 2020

المخلص: دراسة العلاقة بين حساسية الحمضيات الصينية لذبابة الفاكهة *Ceratitis Medfly capitata* وتكوين ثمرة فاكهة البرتقال للبوليفينولات لفهم التفاعل بينهما لتتفيد استراتيجيات رقابة فعالة.

سمحت دراسة البيئة الحيوية لهذه الذبابة خلال ثلاث سنوات (2011, 2012 و 2013) بتحديد ظهور جيلين لهذه الحشرة أكد هذا الجزء من الدراسة على ان الجزء الجنوبي للأشجار المثمرة يحتوي على اكبر معدل لتقوُب التعشيش والفاكهة الساقطة على الارض لهذه الحشرة في كلا منطقتي الدراسة بمنطقة الرمشى و الحناية.

تم تحديد المحتوى الكمي للمركبات الفينولية بواسطة تقنيات طيفية تحتوي مستخلصات قشرة البرتقال المصابة بخرق عقيم و خصب على اكثر تركيز للمركبات الفينولية مقارنة بقشرة حبات البرتقال الصحية (0,008± 0,197 ; 0,009 ± 0,292) بالنسبة للفلافونيدات و (0,004± 0,126 ; 0,005 ± 0,086) بالنسبة للمركبات الفينولية التركيبية في حين تم تحديد 0,004± 0,086 ملغ من المادة الجافة بالنسبة للمركبات الفينولية التركيبية و 0,197 ± 0,008 من المادة الجافة بالنسبة للفلافونيدات.

التحليل النوعي والكمي لمركبات البوليفينول بواسطة UHPLC اثبت ظهور مركب جديد في القشر الفاكهة المصابة بتقوُب خصبة مقارنة بالقشرة الفاكهة الصحية وكذا المصابة بالتقوُب العقيمة وذلك في زمن قدره 7,307بالإضافة الى زيادة كميات بعض المركبات الأخرى.

تحليل بواسطة تقنية GC-MS اثبت وجود مركبات من عائلات مختلفة على وجه الخصوص الاحماض الدسمة : (1) 9,12-octadécadiénoïque (Z, Z) (6,446%); (2); 9,12-hexadécadiénoate d'éthyle (4,052%); (3); l'acide n-hexadécanoïque (1,855%) في دفاع النباتات عن نفسها ضد بعض الحشرات الضارة في دراسات سابقة.

ان استعمال مستخلصات القشرة للفواكه الصحية و المصابة كمبيدات حيوية ضد ذبابة الفاكهة اثبت ان لهذه المستخلصات تاثير فعال مقارنة بالتجارب الشاهدة, مما سمح من تقدير قيمة DL₅₀

الكلمات المفتاحية : المركبات الفينولية, الدفاع الكيموحيوي, الاحماض الدسمة, *Ceratitis capitata*, *Citrus sinensis*, تلمسان, UHPLC, GC-MS

Résumé : La relation entre la sensibilité de l'oranger *Citrus sinensis* à la Mouche Méditerranéenne des fruits (Medfly) *Ceratitis capitata* et la composition en polyphénols de ses fruits mûrs a été étudiée pour comprendre l'interaction entre eux et savoir si l'oranger est doté d'un pouvoir allélochimique, afin de préconiser une stratégie de lutte efficace.

L'étude bioécologique de *Ceratitis capitata* (Diptera ; Tephritidae), durant trois ans (2011, 2012 et 2013), nous a permis d'identifier l'apparition de deux générations par an et que la partie sud de l'arbre a présenté les moyennes les plus élevées de trous de ponte et de fruits chutés pour les deux stations d'étude, Remchi et Hennaya.

L'analyse quantitative des polyphénols déterminée par des techniques spectrophotométriques a permis d'enregistrer une très forte concentration en flavonoïdes (0,292 ± 0,009 ; 0,197 ± 0,008) mg CE / g D.M. et en tanins (0,126 +/- 0,005 ; 0,086 +/- 0,004) mg CE / g D.M. dans les fruits attaqués par piqûres stériles et fertiles respectivement ; alors que dans les fruits sains nous avons enregistré une valeur de 0,086 ± 0,004 mg CE/g D.M. pour les tanins et 0,197 ± 0,008 mg CE / g D.M. pour les flavonoïdes.

L'analyse par UHPLC a montré l'apparition d'un nouveau composé phénolique à un temps de rétention de 7,307 dans l'extrait des fruits attaqués par les piqûres fertiles et une augmentation de la quantité des autres composées. L'analyse par GC-MS nous a permis d'identifier des acides gras tels que (1); Acide 9,12-octadécadiénoïque (Z, Z) (6,446%); (2); 9,12-hexadécadiénoate d'éthyle (4,052%); (3); l'acide n-hexadécanoïque (1 855%) qui ont un rôle dans la défense des plantes contre certains insectes selon plusieurs études.

Les tests de toxicité effectués sur les adultes et les larves de *Ceratitis capitata* ont montré qu'il existe une différence entre les extraits et les témoins ; nous avons pu déterminer leurs DL₅₀.

Mot clés : *Citrus sinensis*, *Ceratitis capitata*, composés allélochimiques, défense biochimique, polyphénols, acide gras, UHPLC, GC-MS.

Abstract: The relationship between the susceptibility of orange citrus fruit *Citrus sinensis* to the Mediterranean fruit fly (Medfly) *Ceratitis capitata* and the polyphenol composition of its ripe fruit has been studied to understand the interaction between them, in order to advocate an effective control strategy.

The bioecological study of *Ceratitis capitata* (Diptera, *Tephritidae*), during three years (2011, 2012 and 2013), allowed us to identify the appearance of two generation and the southern part of tree presents the highest averages of nesting holes and fallen fruit for the two study stations Remchi and Hennaya.

Quantitative analysis of the polyphenols, determined by spectrophotometric techniques yielded, a very high concentration of flavonoids (0.292 ± 0.009, 0.197 ± 0.008) mg EC / g DM and tannins (0.126 +/- 0.005, 0.086 +/- 0.004 mg CE / g DM in fruit attacked by sterile and fertile puncture successively; while in healthy fruits we recorded a value of 0.086 ± 0.004 mg EC / g DM for tannins and 0.197 ± 0.008 mg EC / g DM for flavonoids.

Analysis by UHPLC showed the appearance of a new phenolic compound at a retention time of 7.307 in the fruit extract attacked by the fertile bites and an increase in the amount of the other compounds. GC-MS analysis allowed us to identify fatty acids such as (1); 9,12-octadecadienoic acid (Z, Z) (6.446%); (2); Ethyl 9,12-hexadecadienoate (4.052%); (3); n-hexadecanoic acid (1855%) which they have a role in the defense of plants against certain insects according to several studies.

The toxicity tests carried out on adults and larvae of *Ceratitis capitata* showed that there is a difference between the extracts and the controls and we were able to determine an LD₅₀

Key words: *Citrus sinensis*, *Ceratitis capitata*, allelochemical compounds, biochemical defense, polyphenols, fatty acid, UHPLC, GC-MS.

Avant-propos:

Notre étude a été menée grâce à la contribution de quatre Laboratoires.



L'étude de la dynamique des populations de la Cératite dans les conditions de laboratoire, l'extraction des métabolites secondaires, le dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes ainsi que l'activité anti-oxydante ont été réalisés au Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels « **LECGEN** ». Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers (SNV/STU), Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen.



Plusieurs sorties sur terrain ont été programmées en collaboration avec l'Institut National de la Protection des Végétaux de Tlemcen

L'activité insecticide a été réalisée dans le Centre National des Sciences Technologiques et Nucléaires CNSTN en Tunisie



Les analyses par UHPLC, LCMS et GCMS ont été réalisées au Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Bio-Géo Ressources « **LBVBGR** » Faculté de la Manouba en Tunisie.



LBVBGR-LR11ES31

L'analyse par HPLC a été effectuée dans le Laboratoire des Microorganismes et Biomolécules Actives « **LMBA** », Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie



J'exprime ma profonde reconnaissance aux responsables de ces laboratoires pour m'avoir apporté les moyens humains et matériels me permettant de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

REMERCIEMENTS

Merci à Dieu le tout puissant de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la Science.

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur : **Mme GAOUAR-BENYELLES N.**, Professeur à l'Université de Tlemcen pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse et qui a suivi et veillé rigoureusement sur le bon déroulement de ce travail avec ses critiques constructives et sa surveillance étroite des résultats obtenus. Je lui suis reconnaissante pour la confiance et le soutien permanent qu'elle m'a témoigné dans ce travail ainsi que pour sa disponibilité et pour la grande autonomie qu'elle m'a accordé.

Je suis également très redevable à **Mr MOSBAH A.** Maître de Conférences au Centre de Biotechnologie de Sidi Thabet, Université de Manouba à Tunis pour son aide précieuse dans la réalisation d'une partie de ce travail, pour toutes ses orientations, ses encouragements, son soutien, et surtout sa disponibilité et l'aide qu'il n'a cessé de m'apporter. Je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance et mon plus profond respect.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à **Mr AMRANI S.M.**, Professeur au Département d'Agronomie pour m'avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury.

Je remercie très sincèrement **Melle DAMERDJI A.**, Professeur au Département d'Ecologie et Environnement, Faculté SNV-STU, Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'être examinatrice de ce travail. Je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance et mon plus profond respect.

Je suis très sensible à l'honneur que me fait **Mr BELLAHCENE M.**, Professeur au Centre Universitaire de Ain Temouchent, en acceptant d'être parmi les examinateurs externes de ce travail, je suis très heureuse de bénéficier de ses observations ; je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance.

Je tiens à remercier aussi **Mr GHERIB Mohammed** Maître de Conférences au centre universitaire de Naama, pour avoir accepté d'être examinateur externes de ce travail, je suis très heureuse de bénéficier de ses observations et de ses ajouts ; je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance et mon plus profond respect.

Je tiens particulièrement à adresser ma profonde reconnaissance à **Mr AMEUR CHERIF**, Professeur et Directeur du Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Bio-Géo Ressources « LBVBGR ». Université de Manouba de Tunis, pour m'avoir accueillie au sein de son laboratoire et pour son aide précieuse pour la réalisation d'une partie de ce travail, ainsi que pour sa surveillance étroite des résultats obtenus.

Mes vifs remerciements vont également à **Mr JAOUANI A.** Maître de Conférences à l'Université de Tunis El Manar et à toute son équipe pour m'avoir accueillie dans leur Laboratoire et de m'avoir permis de réaliser les analyses préliminaires par HPLC.

Je remercie vivement **Mme M'SAAD GUERFALLI M.** et tous les membres de l'Unité de la Mouche Stérile du Centre National des Sciences Technologiques et Nucléaires CNSTN de Tunisie pour leur aide précieuse, leur gentillesse, leur présence, leurs conseils ainsi que leur disponibilité.

Je voudrais également adresser mes remerciements à toute l'équipe de Mr Ameur C. et celle de MOSBAH A. qui m'ont aidé à travailler en toute confiance dans leur laboratoire.

Je remercie aussi Monsieur **BEGHDAD C.** Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen pour son aide précieuse et sa disponibilité

Enfin je remercie les responsables de la ferme pilote MOUSADEK ABDELKADER Remchi et le propriétaire privé Berouigate ainsi Monsieur **BELLOUT T** directeur de l'INPV- Tlemcen pour m'avoir facilité la tâche et la réalisation de mes sorties sur terrain.

J'adresse ma profonde reconnaissance à toutes les personnes ayant participé d'une façon ou d'une autre, de loin ou de près à la réalisation de cette thèse.

Je ne pouvais finir sans remercier très fortement mes parents pour la confiance et la liberté qu'ils m'ont toujours accordées dans mes choix et pour leur inquiétude quant à l'avancée de mes travaux. Merci à mes frères, mes sœurs pour leur soutien et leurs encouragements.

Liste des tableaux

Tableau 01 : Dates d'apparition et de répartition de <i>Ceratitis capitata</i> dans le monde.....	08
Tableau 02 : Principaux ravageurs des agrumes.....	16
Tableau 03 : Protéines défensives des plantes contre les insectes herbivores.....	31
Tableau 04 : Répartition des agrumes dans la Wilaya de Tlemcen.....	36
Tableau 05 : Régime saisonnier des pluies à la station de Zenata.....	38
Tableau 06 : Etude de l'interaction Orientation-Années.....	64
Tableau 07 : Etude de l'interaction stations – années.....	64
Tableau 08 : Etude de l'interaction stations - orientations	65
Tableau 09 : Coefficient de corrélation entre le nombre de piqûres et les fruits chutés (R).	68
Tableau 10 : Etude de l'interaction orientations – années.....	69
Tableau 11 : Etude de l'interaction stations – années.....	69
Tableau 12 : Etude de l'interaction stations – orientations.....	70
Tableau 13 : Taux de la matière sèche et le rendement pour les fruits sains (FS), les fruits attaqués par les piqûres stérile (FM') et ceux attaqués par les piqûres fertiles (FM).....	78
Tableau 14 : Rendement en extraits secs chez les fruits sains (FS), les fruits attaqués par les piqûres stériles (FM') et ceux attaqués par les piqûres fertiles (FM).....	78
Tableau 15 : Tests phytochimiques.....	79
Tableau16 : Temps de rétention pour les trois types d'échantillons.....	87
Tableau 17 : Composés chimiques identifiés chez les fruits attaqués par les piqûres fertiles.....	91

Liste des figures

Figure 01 : A : Les adultes de la cératite ; B : Les larves ; C : Les pupes.....	04
Figure 02 : Aspect général du mâle et de la femelle de <i>Ceratitis capitata</i>	05
Figure 03 : Cycle biologique de la cératite.....	06
Figure 04 : Schéma représentant le nombre de génération possibles en Algérie.....	07
Figure 05 : parasitoïdes de la cératite (A) : <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> ; (B): <i>Opius concolor</i> et (C): <i>Fopius arisanus</i>	09
Figure 06 : Cycle de développement du parasitoïde <i>Fopius arisanus</i>	10
Figure 07 : Pièges Maxitrap (a, b, c) et MacPhail(d) (Hassani, 2017).....	11
Figure 08 : aspect général de l'arbre de l'oranger <i>Citrus sinensis</i>	13
Figure 09 : Evolution de la production des agrumes en Algérie.....	15
Figure 10 : Attraction des parasitoïdes par les odeurs émises par des feuilles de maïs : A : attaquées par une chenille, B : brisées mécaniquement, C : brisées mécaniquement + régurgitations de chenilles.....	17
Figure 11 : Structure des éliciteurs produits par les insectes herbivores	20
Figure 12 : Changement des évènements biochimiques après une attaque des insectes herbivores.....	20
Figure 13 : Classification des traits défensifs chez les plantes selon leur mode d'interaction avec les insectes.....	23
Figure 14 : Production de nectar extra-floral sur la partie végétative des plantes.....	24
Figure 15 : volatils végétaux induits par les herbivores (HIPV)	25
Figure 16 : Illustration des défenses directes et indirectes induites en réponse à l'herbivorie dans le système <i>Brassica-Pieris</i>	26
Figure 17 : (A) : Trichomes sur des fleurs et des tiges, (B) : des épines sur les branches	27
Figure 18 : Mécanisme de résistance induite chez les plantes. POD, peroxydase ; PPO, polyphénol oxydase ; PAL, phenylalanine ammonia lyase ; TAL, tyrosine alanine ammoniac lyase ; LOX, lipoxygénase; SOD, superoxyde dismutase; APX, ascorbate peroxydase; HIPV, herbivores induits par les plantes.....	28
Figure 19 : structures chimiques des principales familles des flavonoïdes.....	31
Figure 20 : Structure des tanins hydrolysables et les acides associés	32

Figure 21 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen.....	35
Figure 22 : Situation géographique des deux stations d'étude (Photographie satellitaire googleearth.com).....	36
Figure 23 : Valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie pour la période 1986-2016 à la station de Zenata.....	38
Figure 24 : Valeurs moyennes mensuelles de la température pour la période 1986-2016 à la station de Zenata.....	39
Figure 25 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953) (1986-2016) pour la station de Zenata.....	40
Figure 26 : Climagramme d'Emberger pour la station météorologique de Zenata (1986-2016).....	42
Figure 27 : Matériel d'élevage au laboratoire.....	45
Figure 28 : Protocole de travail.....	47
Figure 29 : Etapes de l'extraction	49
Figure 30 : Forme réduite du radical DPPH*	54
Figure 31 : Pupes des souches à déterminisme sexuel a : pupes mâle ; b : pupes femelle	56
Figure 32 : Bio-essais contre les adultes.....	56
Figure 33 : Bio-essais contre les larves L1 et L2.....	57
Figure 34 : pupes issues des larves traitées.....	57
Figure 35 : ponte des œufs.....	58
Figure 36 : œufs avant alignement.....	58
Figure 37 : œufs après alignement.....	58
Figure 38 : œufs avant éclosion.....	58
Figure 39 : œufs après éclosion	58
Figure 40 : larves au troisième jour après éclosion des œufs.....	59
Figure 41 : Moyennes des trous de ponte par orange selon l'année.....	60
Figure 42 : Moyennes des trous de ponte par orange selon l'orientation.....	61
Figure 43 : Moyennes des trous de ponte par orange selon les stations.....	61
Figure 44 : Variation du nombre de piqûres par arbre selon les années dans la station de Remchi.....	62
Figure 45 : Variation de nombre de piqûres par arbre selon les années dans la station de Hennaya.....	63
Figure 46 : Moyennes des fruits chutés selon l'année.....	65

Figure 47 : Moyennes des fruits chutés selon l'orientation.....	66
Figure 48 : Moyennes des fruits chutés selon la station.....	66
Figure 49 : Variation du nombre de fruits chutés selon les années dans la station de Remchi.....	67
Figure 50 : Variation de nombre de fruits chutés dans la station de Hennaya.....	68
Figure 51 : Répartition temporelle (cinétique) de nombre de piqures.....	71
Figure 52 : Répartition temporelle (cinétique) des fruits chutés.....	71
Figure 53 : Taux de mortalité larvaire chez <i>Ceratitidis capitata</i> à partir des élevages.....	72
Figure 54 : Durées moyennes de pupaison chez <i>Ceratitidis capitata</i> à partir des élevages....	73
Figure 55 : Taux de mortalité nymphale chez <i>Ceratitidis capitata</i> à partir des élevages.....	73
Figure 56 : Sex-ratio chez <i>Ceratitidis capitata</i> à partir des élevages.....	74
Figure 57 : Longévité moyenne des adultes de <i>Ceratitidis capitata</i> à partir des élevages.....	74
Figure 58 : Droite de régression relative à la relation entre les larves et les pupes.....	75
Figure 59 : Droite de régression relative à la relation entre les larves et les adultes.....	76
Figure 60 : Droite de régression relative à la relation entre les pupes et les adultes.....	76
Figure 61 : A : Fruit attaqué ; B : Fruit sain (G : 10×40).....	77
Figure 62 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	80
Figure 63 : Taux des polyphénols totaux pour les fruits sains FS, les fruits infectés par des piqures stériles FM' et ceux infectés par des piqures fertiles FM.....	80
Figure 64 : Taux des polyphénols totaux pour les années 2013 et 2014.....	81
Figure 65 : taux des polyphénols selon les arbres échantillonnés.....	81
Figure 66 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour les tanins condensés.....	82
Figure 67 : Taux en tanins condensés pour les fruits sains, les fruits infectés par des piqures stériles et ceux infectés par des piqures fertiles.....	82
Figure 68 : Taux en tanins condensés pour les années 2013 et 2014.....	82
Figure 69 : Taux des tanins condensés selon les arbres échantillonnés.....	83
Figure 70 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes.....	83
Figure 71 : Teneurs en flavonoïdes pour les fruits sains FS, les fruits infectés par les piqures stériles FM' et ceux infectés par les piqures fertiles FM.....	84
Figure 72 : Teneurs en flavonoïdes pour les années 2013 et 2014.....	84
Figure 73 : Teneurs en flavonoïdes selon les arbres échantillonnés.....	84
Figure 74 : Profil chromatographique de la phase acétate d'éthyle de l'échantillon FS.....	85
Figure 75 : Profil chromatographique de la phase acétate d'éthyle de l'échantillon FM'...	85

Figure 76 : Profil chromatographique de la phase acétate d'éthyle de l'échantillon FM....	86
Figure 77 : Soustraction de l'aire de pic de FS à partir de FM'	87
Figure 78 : Soustraction de l'aire de pic de FS à partir de FM.....	88
Figure 79 : Soustraction de l'aire de pic de FM' à partir de FM.....	88
Figure 80 : Profil chromatographique de la phase aqueuse de l'échantillon FS.....	89
Figure 81 : Profil chromatographique de la phase aqueuse de l'échantillon FM'.....	89
Figure 82 : Profil chromatographique de la phase aqueuse de l'échantillon FM.....	90
Figure 83 : Spectre GC-MS.....	90
Figure 84 : Structure chimique des molécules identifiées par GC- MS (NIST Database)	93
Figure 85 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour la détermination de la capacité antioxydante.....	94
Figure 86 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations pour l'arbre 1.....	95
Figure 87 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations pour l'arbre 2.....	95
Figure 88 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations pour l'arbre 3.....	95
Figure 89 : Valeurs de la CI_{50} des extraits bruts à partir des trois types de fruits.....	96
Figure 90 : moyennes de mortalité des adultes.....	97
Figure 91 : Moyennes de mortalité larvaire des stades L1.....	97
Figure 92 : Moyennes de mortalité larvaire des stades L2.....	98
Figure 93 : Taux d'émergence des adultes à partir des larves L1 traitées.....	98
Figure 94 : Taux d'émergence des adultes à partir des larves L2 traitées.....	99
Figure 95 : Nombre des œufs pondus par des femelles issues des larves L1 traitées.....	99
Figure 96 : Nombre des œufs pondus par des femelles issues des larves L2 traitées.....	100
Figure 97 : Taux d'éclosion des œufs issus des larves L1 traitées.....	100
Figure 98 : Taux d'éclosion des œufs issus des larves L2 traitées.....	100

Liste des abréviations

- ABA** : acide abscisique
- APX** : Ascorbate peroxydase
- BA** : acide benzoïque
- CA** : Corps alimentaires
- Ca²⁺** : Ion de calcium
- COV** : Composés organiques volatils
- EFN** : Nectar extra-floral
- ET** : Ethylène
- FAC** : Acide gras-acide aminé
- FAO** : Organisation Mondiale de l'Agriculture
- GOX** : Glucose oxydase
- H₂O₂** : Eau oxygénée
- HIPV** : Herbivores induits par les plantes
- HPR** : Résistance des plantes hôtes
- HR** : Humidité relative
- IP** : Inhibiteurs de protéase
- JA** : acide jasmonique
- LOX** : Lipoxygénase
- LOXs** : Lipoxygenases
- PAL** : Phenylalanine Ammonia Lyase
- PIs** : Inhibiteurs de la protéinase
- POD** : Peroxidases
- PPOs** : Polyphénols oxydase
- PRP** : Protéines de résistance des plantes
- ROS** : Espèces réactives de l'oxygène
- SA** : acide salicilique
- SOD** : Superoxide dismutase
- TAL** : Tyrosine alanine ammoniac lyase
- UV** : Rayonnements ultra-violet
- V_m** : potentiel transmembranaire

Table des Matières

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction générale.....	01
Partie I : La mouche méditerranéenne des fruits : <i>Ceratitis capitata</i>.....	04
1. Généralités	04
2. Position systématique.....	04
3. Cycle de vie de la mouche méditerranéenne.....	05
4. Nombre de générations.....	06
5. Répartition géographique de la cératite.....	08
6. Moyens de lutte contre la cératite.....	08
6.1 Méthodes préventives et culturales.....	09
6.2.Lutte biologique.....	09
6.3.Lutte biotechnique	10
6.3.1. Anéantissement des mâles.....	10
6.3.2. Confusion sexuelle.....	10
6.3.3. Piégeage massif	11
6.3.4. Technique de l’Insecte Stérile (TIS)	12
6.4. Lutte chimique.....	12
Partie II : Généralités sur les agrumes.....	13
1. Généralités.....	13
2. Position systématique.....	13
3. Ecologie et phénologie des agrumes.....	14
3.1.Ecologie.....	14
3.2.Phénologie.....	14
4. Production des agrumes en Algérie.....	15
5. Principaux ravageurs des agrumes.....	16
Partie III- interactions plantes-Insectes.....	17
Introduction.....	17
1. Signalisation dans les interactions plantes-insectes.....	17
1.1. Reconnaissance de l'attaque des insectes herbivores.....	17
1.1.1. Sécrétions orales d'insectes.....	18
1.1.2. Fluides de l’oviposition.....	19
1.2. Premiers événements de l'interaction plante-insecte.....	20
1.2.1. Signalisation électrique.....	20
1.2.2. Ca_2^+ homéostasie.....	21
2. Classification des traits de défense.....	21
2.1. Défense indirecte induite.....	23
2.1.1. Production du nectar extra-floral.....	23
2.1.2. Production de volatils.....	24
2.2. Défense directe induite.....	26
2.2.1. Structures morphologiques.....	26
2.2.2. Corps alimentaires.....	27
2.2.3. Sites de nidification et de refuge.....	27
2.2.4. Métabolites secondaires et défense des plantes.....	28
2.2.4.1. Définition et fonction.....	28
2.2.4.2. Phénols végétaux.....	29

2.2.4.3. Flavonoïdes.....	30
2.2.4.4. Tanins.....	31
1.2.5. Protéines végétales.....	32
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	
Partie I : Etude du milieu.....	35
1. Présentation de la zone d'étude.....	35
1.1. Situation géographique de la Wilaya de Tlemcen.....	35
1.1.1. Situation de la Daïra de Remchi.....	37
1.1.2. Situation géographique de la daïra de Hennaya.....	37
1.2. Climatologie.....	38
1.2.1. Précipitations.....	38
1.2.2. Températures.....	39
1.2.3. Synthèse bioclimatique.....	39
1.2.3.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953).....	39
1.2.3.2. Indice d'aridité de De Martonne.....	40
1.2.3.3. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger.....	41
Partie II: Etude entomologique.....	43
1. Introduction.....	43
2. Echantillonnage.....	43
3. Mise en élevage.....	44
4. Etude statistique.....	45
4.1.Coefficient de corrélation linéaire.....	45
4.2. Droite de régression.....	45
Partie III: Etude biochimique.....	46
1. Echantillonnage.....	46
2. Préparation des échantillons.....	46
3. Plan de travail au laboratoire.....	47
4. Détermination du taux de la matière sèche.....	47
5. Extraction.....	48
6. Calcul des rendements en extrait secs.....	48
7. Analyses phytochimiques.....	49
7.1.Tanins.....	49
7.2. Flavonoïdes.....	50
7.3.Terpenoïdes.....	50
7.4. Saponosides : réaction de Libermann-Burchard.....	50
7.5. Coumarines.....	50
7.6. Alcaloïdes.....	50
8. Quantification de quelques classes phénoliques dans les extraits.....	51
8.1. Polyphénols totaux.....	51
8.2. Flavonoïdes totaux.....	51
8.3. Tanins condensés.....	52
9. Tests statistiques.....	52
10. Détermination qualitative des composées phénoliques par UHPLC.....	52
10.1. Préparation des échantillons.....	52
10.2. Analyse par UHPLC.....	53
10.3. Analyse par GC MS.....	53
11. Estimation des activités biologiques.....	53
11.1. Activité antioxydante.....	53
11.2. Activité insecticide.....	55
11.2.1. Bio-essais contre les adultes.....	56
11.2.2. Bio-essais contre les larves des deux stades L1 et L2.....	57

11.3. Calcul des taux d'émergence.....	57
11.4. Test d'éclosion.....	58

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Partie I : Resultats et Interpretation.....	60
1. Etude entomologique.....	60
1.1. Etude de l'infestation en fonction des trous de ponte.....	60
1.1.1. Etude statistique à un seul facteur.....	60
✓ Effet de la date.....	61
✓ Effet de l'orientation.....	61
✓ Effet de la station : Remchi (124m d'altitude) Hennaya (429m)	61
✓ Effet de l'arbre.....	62
1.1.2. Etude statistique à deux facteurs.....	63
1.2. Etude de l'infestation en fonction des fruits chutés.....	65
1.2.1. Etude statistique à un seul facteur.....	65
✓ Effet de la date.....	65
✓ Effet de l'orientation.....	66
✓ Effet de la station.....	66
✓ Effet de l'arbre.....	67
1.2.2. Etude statistique à deux facteurs.....	69
✓ Etudes de la cinétique des infestations.....	71
1.3. Biologie des populations de <i>Ceratitis capitata</i> à partir des élevages menés au laboratoire.....	72
1.3.1. Mortalité larvaire.....	72
1.3.2. Développement nymphal.....	72
1.3.3. Mortalité nymphale.....	73
1.3.4. Sex-ratio.....	73
1.3.5. Longévité.....	74
1.3.6. Parasitisme.....	74
1.4. Relation entre les caractères liés à l'infestation	75
1.4.1 Taux d'émergence des pupes estimé à partir des larves : corrélation entre les pupes et les larves	75
1.4.2. Taux d'émergence des adultes estimé à partir des larves	75
1.4.3. Taux d'émergence des adultes à partir des pupes.....	76
2. Etude biochimique.....	77
2.1. Introduction.....	77
2.2. Détermination du taux de matière sèche.....	77
2.3. Rendement en extraits secs.....	78
2.4. Résultats des tests phytochimique.....	79
2.5. Détermination quantitative des métabolites secondaires.....	79
2.5.1. Teneur en polyphénols totaux.....	79
2.5.2. Teneur en tanins condensés.....	81
2.5.3. Teneur en flavonoïdes	83
2.6. Analyse par HPLC.....	85
2.6.1. Chromatogrammes de la phase Acétate d'Ethyle.....	85
2.6.2. Chromatogrammes de la phase aqueuse.....	89
2.7. Analyse par GC MS.....	90
2.8. Capacité antioxydante.....	94
2.9. Tests de toxicité	96
Partie II : Discussion.....	102
Conclusion générale.....	117
Références bibliographiques.....	119

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Près de la moitié du million d'espèces d'insectes connus à ce jour sont des herbivores ; ils se nourrissent de plantes vivantes (**Wu et Baldwin, 2010**). Chez les insectes phytophages, la sélection des sites de ponte peut être considérée comme une forme d'investissement maternel dans lesquels les femelles emploient temps et énergie pour sélectionner les sites où la progéniture est plus susceptible de survivre (**Díaz-Fleischer et al., 2000**).

Les Tephritidae contient plus de 4 000 espèces dont beaucoup constituent d'énormes menaces pour la production de fruits et légumes dans le monde entier, provoquant des pertes tant quantitatives que qualitatives (**Elhassani et Billah, 2007**). Beaucoup d'espèces de Tephritidés sont polyphages, attaquant des cultures légumières et les fruits économiquement importants dont les agrumes, mangue, pêche, pomme, poire, goyave, avocat, tomate, poivron et cucurbitacées (**Liu et al., 2013**).

L'Algérie, à travers son verger agrumicole, dispose d'une richesse non négligeable pour contribuer au développement économique nationale ; de plus, elle jouit d'une situation géographique exceptionnelle du fait qu'elle soit à proximité du marché européen dont la consommation en agrumes est la plus importante. Mais ces dernières années, elle est menacée par plusieurs ravageurs qui provoquent de graves problèmes de santé à court, moyen et long terme ; d'où la nécessité de parvenir à une protection à la fois efficace, d'un coût raisonnable, respectueuse de l'environnement et réalisable d'un point de vue socio-économique.

Actuellement, le contrôle de la Mouche Méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* est fait, presque exclusivement, par des produits chimiques qui sont nocifs pour la santé humaine et l'environnement (**Bolognesi et Merlo, 2011**). L'utilisation intensive des pesticides a conduit au développement de la résistance d'au moins 570 espèces d'arthropodes (**Whalon et al., 2010**). Une résistance au malathion a été rapportée dans les populations de *Ceratitis capitata* par **Magaña et al., (2007 et 2008)**, et une résistance croisée à différents insecticides (lambdacyhalothrine, méthyl-chlorpyrifos et lufénuron) actuellement approuvés pour le contrôle de *C. capitata* (**Couso Ferrer et al., 2011**). Par conséquent, de nouvelles approches dans les systèmes de lutte antiparasitaire sont fortement encouragées. Les pesticides chimiques sont connus aussi par leur action non cible, ce qui nous a incité à rechercher les autres moyens mis en place par *Citrus sinensis* pour se défendre contre *Ceratitis capitata*, à savoir les métabolites secondaires en particulier les flavonoïdes, les tanins et autres.

INTRODUCTION GENERALE

Les techniques du contrôle biologique de la mouche méditerranéenne des fruits ne peuvent se faire sans une compréhension de sa biologie, en particulier de sa dynamique des populations ainsi que de son comportement d'une part ; il est nécessaire de révéler l'existence naturelle de l'agent de contrôle quel qu'il soit dans la région d'étude.

Les plantes sont fréquemment attaquées par les herbivores et les agents pathogènes et ont donc acquis des défenses constitutives et induites au cours de leur évolution. Les plantes sont censées être bien défendues si elles ont les capacités de s'échapper à la préférence de l'herbivore pendant leur attaque, ou diminuer les performances des herbivores ou leur santé après l'attaque (**Zakir, 2011**). Au cours des années, les preuves ont été accumulées que les profils de métabolismes primaire et secondaire de la plante influencent les capacités de colonisation des insectes herbivores. Certaines plantes peuvent ne pas produire suffisamment de nutriments nécessaires pour la survie des insectes et leur reproduction (**Chiozza et al., 2011**). En outre, les métabolites secondaires peuvent dissuader les insectes de l'alimentation ou de la ponte (**Poelman et al., 2009**), lorsque d'autres plantes produisent des tanins comme substances défensives contre les herbivores (**Barbehenn et Constabel, 2011 ; Salminen et Karonen, 2011**).

Dans cette étude, nous cherchons à savoir si *Citrus sinensis* utilise un moyen de résistance par son pouvoir allélochimique pour se défendre contre la mouche méditerranéenne des fruits et cela en se basant sur une identification quantitative et qualitative de ses métabolites secondaires, afin de développer des stratégies de contrôle de ce ravageur. Les métabolites secondaires ont été quantifiés et analysés par UHPLC et GC-MS chez les oranges Washington navel de notre région.

Dans ce cadre, notre travail est scindé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une revue bibliographique qui englobe tout ce qui concerne les agrumes dont *Citrus sinensis*, leur taxonomie, les principales variétés et les ennemis qui peuvent s'attaquer à ces plantes. D'autre part, une étude sur le phytoparasite *Ceratitis capitata* a été effectuée car il est nécessaire de connaître sa taxonomie, sa biologie, sa répartition dans le monde, sa gamme d'hôte et enfin une présentation succincte de **l'interaction plante-insecte** permettant de définir les processus biochimiques qui y sont impliqués.

INTRODUCTION GENERALE

- Nous présentons au second chapitre les principaux matériels et méthodes utilisés pour l'étude entomologique (échantillonnage, élevage et analyse statistique des données) ; ainsi que ceux utilisés pour l'étude biochimique de *Citrus sinensis* et de la variété Washington navel en particulier.
- Le troisième chapitre présente les résultats et leur discussion :
 - ❖ **Une étude entomologique** : concernant les attaques de *Ceratitis capitata* sur la variété Washington navel des oranges *Citrus sinensis*, et l'impact des facteurs écologiques tels que : la date d'observation, l'orientation, l'arbre échantillonné. Des élevages des mouches menés au laboratoire, permettant de connaître leur cycle de développement, leur dynamique des populations, la nature du parasitoïde et le degré de leur parasitisme ;
 - ❖ **Une étude biochimique** : qui consiste à mettre en évidence les différences quantitatives et qualitatives des métabolites secondaires entre les fruits infestés et les fruits sains ainsi que l'étude de la différence de la capacité antioxydante entre les fruits sains et infestés ;
 - ❖ **Des bio-essais** par les extraits de l'oranger *Citrus sinensis* sur les stades larvaires et les adultes de la cératite.
- Une conclusion finale clôture ce travail

Chapitre I

Etude bibliographique

Partie I : La Mouche Méditerranéenne des fruits :

Ceratitis capitata

1. Généralités

La mouche méditerranéenne *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera ; Tephritidae) compte parmi les ravageurs de fruits les plus nuisibles au monde, de par sa capacité à tolérer les climats tropicaux mieux que la plupart des mouches de fruits et son caractère polyphage puisqu'elle attaque une large gamme d'espèce hôtes (250 espèces végétales) dont la majorité est représentée par les arbres fruitiers (Quilici, 1999). En effet, les femelles pondent les œufs dans les fruits dont les larves se développent aux dépens de la pulpe (Fig. 1 et 2), induisant la chute et le pourrissement des fruits (Tison et al., 2003).



Figure 1 : A : Adultes de la cératite ; B : Larves ; C : Pupes

2. Position systématique

Ceratitis capitata est une espèce qui a été décrite sous plusieurs noms depuis le 19^{ème} siècle (Dridi, 1990 ; Fellah, 1996). Elle porta le nom de *Trypeta capitata* en 1824 par Wiedmann, *Petalophora capitata* (Macepi, 1825). D'après Balachowsky et Mesnil (1935) le nom qui a été retenu est *Ceratitis capitata* Wiedmann 1924. Selon Hendel (1927), Seguy (1950) et Dyck (2005) *Ceratitis capitata* est positionnée comme suit dans la systématique

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Règne	Animal
Embranchement	Arthropoda
Sous-embranchement	Hexapoda
Classe	Insecta
Sous-classe	Pterygota
Super-ordre	Holometabola
Ordre	Diptera
Sous ordre	Brachycera
Division	Cyclorrhapha
Super Groupe	Schizophora
Famille	Tephritidae
Genre	<i>Ceratitis</i>
Espèce	<i>Ceratitis capitata</i> Wiedmann (1824)

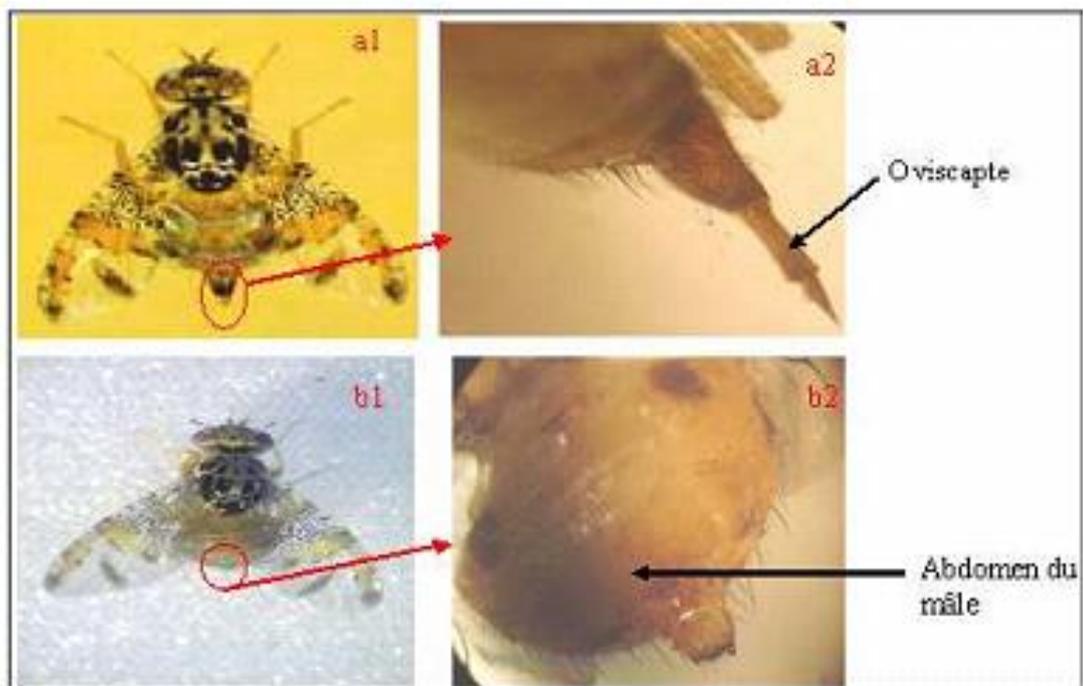


Figure 2 : Aspect général du mâle et de la femelle de *Ceratitis capitata*. **a1, b1 :** (Originale) ; **a2, b2,** (Rigamonti, 2005)

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

3. Cycle de vie de la mouche méditerranéenne

D'après **Delrio (1985)**, la durée du cycle de développement de la cératite (**Fig. 3**) dans la zone méditerranéenne varie de 20 jours en été à 2 ou 3 mois en hiver.

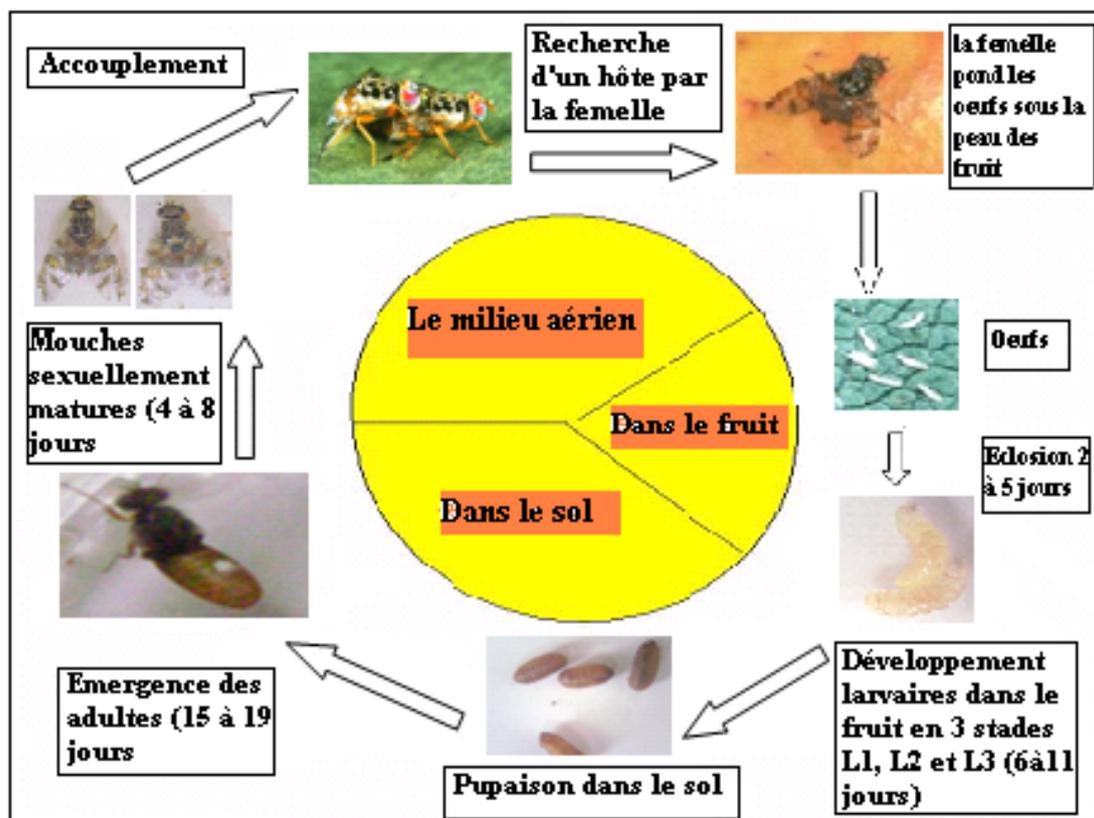


Figure 3 : Cycle biologique de la cératite (Fellah, 1996)

4. Nombre de générations

La cératite est une espèce polyvoltine ; insecte holométabole, son évolution complète est très variable pour une même région. Elle dépend des facteurs climatiques, particulièrement la température et l'hygrométrie mais également des espèces fruitières sur lesquelles ont lieu les pontes (**Khoury, 1998 ; Ramade, 2003**).

Ceratitis capitata est plus connue sur les agrumes que sur les autres espèces fruitières car la multitude variétale du genre *Citrus*, échelonnée sur une durée de huit à neuf mois, de la fin septembre pour les variétés précoces de *Citrus clementina*, à janvier ou février pour les variétés précoces de *Citrus sinensis* telles que Thomson navel et Washington navel et avril à mai pour les variétés les plus tardives de *Citrus sinensis* comme la Portugaise et Valencia-late (**Settaoui et al., 2017**). On dénombre 12 à 13 générations à Honolulu, 12 à Calcutta, 9 au Caire, 6 à 7 dans le Sud de l'Italie, 5 sur le littoral algérien, 3 ou 4 à Nice et 2 dans la

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

région parisienne (**Balachowsky et Mesnil, 1935**). **Oukil (1995)** a résumé le nombre de générations possibles en Algérie comme suit (**Fig. 4**).

- La première génération qui a lieu en mars–avril ne se trouve que sur les oranges tardives ;
- la deuxième génération est composée d'individus peu nombreux et passe presque inaperçue au cours du mois de mai ;
- la troisième génération apparaît en juillet où on assiste à des pertes sur des fruits à noyaux (pêche, abricot, prune) ;
- la quatrième génération s'étale de la fin août jusqu'au début du mois de septembre ;
- les deux dernières générations se développent sur les agrumes.

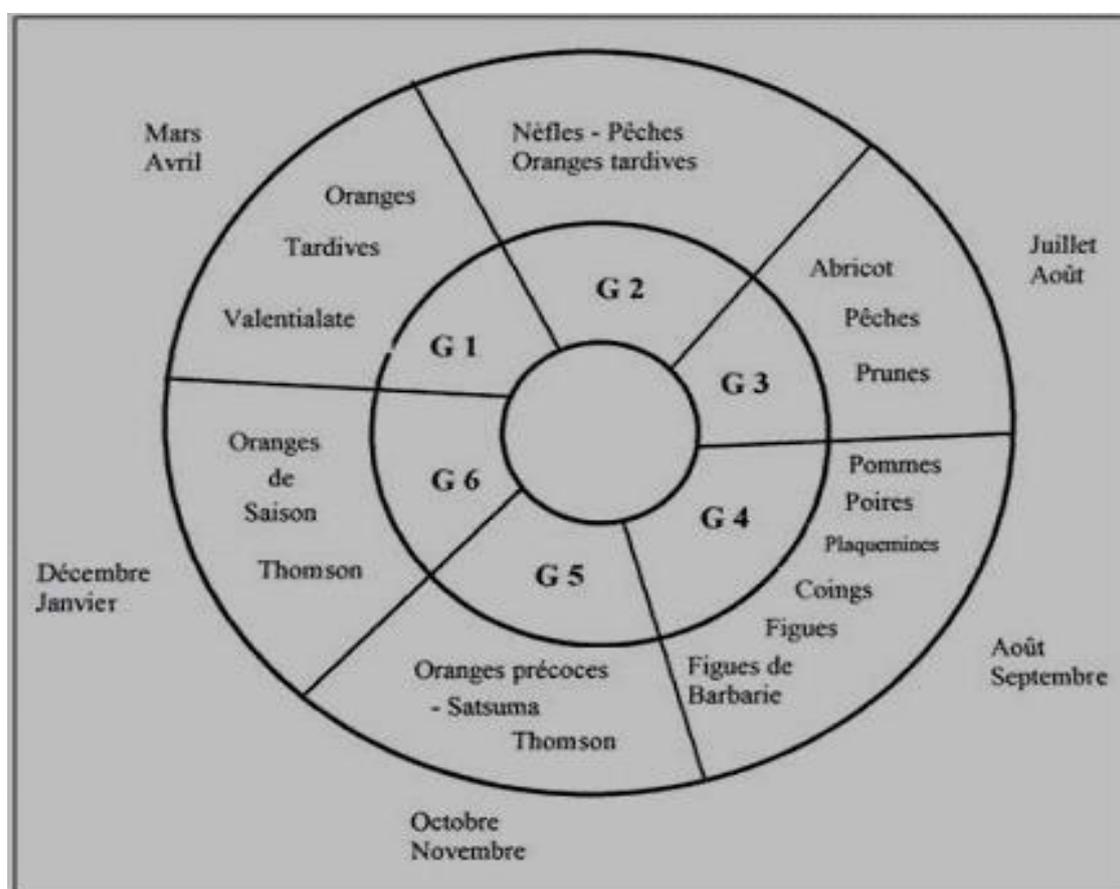


Figure 4 : Schéma représentant le nombre de génération possibles en Algérie (**Oukil, 1995**)

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

5. Répartition géographique de la cératite

Tableau 1 : dates d'apparition et répartition de *Ceratitis capitata* dans le monde (O.E.P.P 1996)

Continent	Pays	Année d'apparition
Afrique	Algérie	1858
	Tunisie	1885
	Afrique de sud	1889
	Egypte	1904
Europe	Espagne	1842
	Italie	1863
	Sicile	1878
	France	1900
	Turquie	1904
Proche Orient	Palestine	1904
	Liban	1904
Pacifique	Australie	1898
	Tasmanie	1900
Amérique du sud	Brésil	1901
	Argentine	1905
	Paraguay	1955
	Pérou	1956
	Chili	1963
Amérique centrale	Costa Rica	1955
	Nicaragua	1961
	Panama	1963
	Salvador	1975
	Guatemala	1975
	Equateur	1976
	Mexique	1977
Amérique du Nord	Hawaii	1910
	Floride	1929
	Texas	1966
	Californie	1975

6. Moyens de lutte contre la cératite

La lutte contre la cératite demeure un problème très préoccupant compte tenu de la gravité et de l'ampleur des dégâts associés à la difficulté d'intervention. Plusieurs techniques ont été mises au point depuis le début du siècle, sans arriver à éradiquer ce ravageur très polyphage et polyvoltine (**Lachiheb, 2008**).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

6.1. Méthodes préventives et culturales

Elles consistent à éviter l'infestation ou à briser le cycle de la cératite par des mesures prophylactiques. Dans les régions endémiques on recommande, lors de la création du verger, d'éviter de mettre en place des cultures hôtes ou variétés à maturités chevauchantes. Il est également conseillé d'éviter la présence d'autres plantes hôtes dans les vergers agrumicoles, à savoir les néfliers, les bigaradiers, les figuiers de Barbarie, les haies d'*Abelia* et de *Lycium*. Le ramassage des fruits non commercialisables ainsi que ceux infestés sur et sous les arbres est indispensable. Le ramassage doit se faire aux périodes opportunes avant la sortie des larves des fruits (**Bodenheimer, 1951**). De plus, il est conseillé de ne pas laisser les fruits mûrs sur l'arbre. Les fruits ramassés doivent être enfouis dans le sol à une profondeur de 50cm, ou mis dans des sacs en plastique fermés hermétiquement et exposés au soleil pendant deux mois au minimum (**Delanoue et Soria, 1962**).

6.2. Lutte biologique

La lutte biologique reste la méthode la plus respectueuse de l'environnement. Elle consiste à utiliser des ennemis naturels de l'insecte nuisible afin de minimiser l'effectif des populations du ravageur. Du point de vue efficacité, cette méthode pose beaucoup de problèmes concernant les difficultés dans l'élevage de l'insecte ennemi ainsi que la difficulté de la relation hôte-parasite (**Aboussaid et al., 2007**). Il existe plusieurs parasitoïdes pour la cératite comme *Opius concolor* (**Fig. 5**), *Opius incis* et *Opius kraisi* qui ont pu atténuer l'effectif de la population du ravageur. D'autres parasitoïdes comme *Diachasmimorpha tryoni* (**Fig. 5**) et *Fopius arisanus* (**Fig. 5 et 6**) ont été utilisés en Australie, Hawaï et dans le sud et le centre de l'Amérique, ils ont montré une efficacité satisfaisante (**Wong et al., 1992**).



Figure 5 : parasitoïdes de la cératite (A) : *Diachasmimorpha longicaudata*, (**Meirelles, 2013**) ; (B): *Opius concolor* (**González et al., 1996**) (C): *Fopius arisanus* (**Carmichael, 2008**)

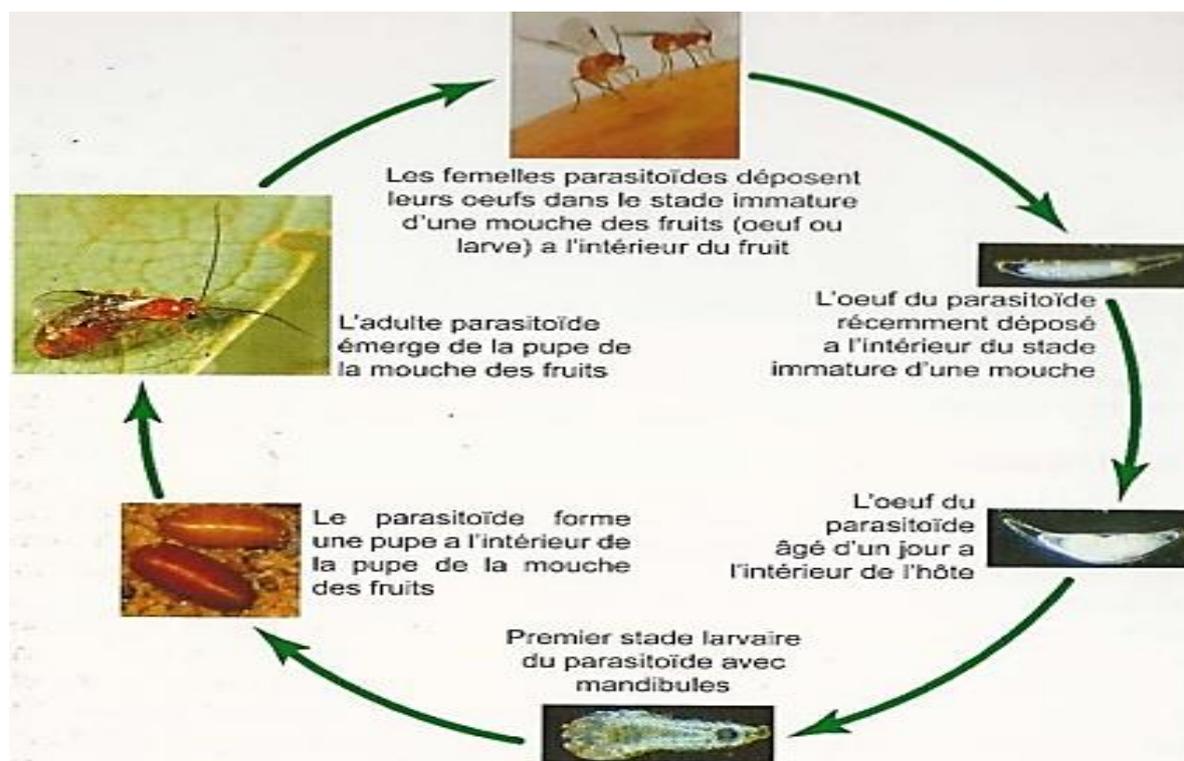


Figure 6 : Cycle de développement du parasitoïde *Fopius arisanus* (Ekesi et Billah, 2006)

6.3. Lutte biotechnique

Selon Boller (1983), le principe de la lutte biotechnique consiste à utiliser des stimuli physiques et chimiques ou agents qui agissent sur le comportement ou le développement des insectes nuisibles.

6.3.1. Lutte par anéantissement des mâles

C'est une méthode basée sur l'utilisation des attractifs sexuels mélangés avec des insecticides. Ces attractifs attirent les mâles et les tuent par contact. En visant sélectivement les mâles, le sex-ratio de la population est perturbé et diminue ainsi le nombre des œufs fécondés. Bien que la théorie montre l'efficacité de cette méthode, les données expérimentales prouvent que cette méthode n'a pas été probante envers la cératite (Aboussaid et al., 2007).

6.3.2. Lutte par confusion sexuelle

D'après Carey et Dowell (1989), le principe de cette méthode consiste à diffuser dans l'atmosphère du verger des quantités importantes de phéromones sexuelles de synthèse pour désorienter les mâles et empêcher ainsi la rencontre des deux sexes. Cette méthode présente l'inconvénient du coût élevé des phéromones sexuelles.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

6.3.3. Piégeage massif

En raison des problèmes rencontrés par l'utilisation des insecticides (efficacité, environnement, maintien de la biodiversité...), plusieurs auteurs se sont intéressés à l'étude des facteurs biotiques et abiotiques pouvant affecter les populations de mouches via les perturbations des organes olfactifs et visuels. Le piégeage de masse est une technique largement développée qui permet de réduire les populations et de capturer un nombre impressionnant d'adultes par l'utilisation d'un ensemble de stimuli, par le biais d'un grand nombre de pièges (**Warlop, 2003**). L'utilisation des pièges Mc-Phail appâtés avec des attractifs alimentaires et des chimio-stérilisants réduit significativement l'infestation. Cette technique permet de réduire aussi bien la densité de la population que le taux d'infestation des fruits sous certaines conditions climatiques (température, pluviométrie...). Les pièges appâtés à l'attractif alimentaire et à la phéromone sexuelle capturent plus de femelles que ceux appâtés uniquement à la phéromone.

En piégeage de masse (**Fig. 7**), la combinaison des deux types d'attractifs sur le même piège est plus performante (**Barclay et Bell, 1988**). Le piégeage peut apporter une réponse satisfaisante dans un certain nombre de cas (**Warlop, 2003**) :

- Pression suffisamment faible pour que les captures entraînent une réduction significative des pontes et dégâts ;
- parcelle suffisamment grande pour limiter les « effets de bordure » qui génèrent une attraction forte des populations voisines et une réinfestation dommageable ;
- parcelle de surface quelconque mais bien isolée de toute autre source d'inoculum ;
- coût de la pose inférieur au coût des pertes : ce coût est lié à plusieurs éléments : coût du matériel, temps de pose, nombre de pièges/ha, nombre de poses annuelles (1 ou 2), temps de retrait des pièges avant récolte...etc.



Figure 7 : Pièges Maxitrap (a, b, c) et MacPhail(d) (**Hassani, 2017**)

6.3.4. Lutte par la technique de l'Insecte Stérile (TIS)

La lutte biologique via l'utilisation de la Technique de l'Insecte Stérile (TIS) s'avère une méthode très respectueuse de l'environnement et efficace (**Roessler, 1994**). Elle consiste à lâcher un nombre important de mâles stériles parmi la population sauvage de la cératite afin d'impliquer une forte probabilité d'accouplement entre mâles stériles et femelles sauvages de la cératite. Le principe consiste à traiter des mouches mâles avec de faibles doses d'irradiations (rayons Gamma), capables de stériliser l'insecte (**Knipling, 1955**). Les étapes de cette technique sont l'élevage de masse de l'insecte puis la stérilisation et la dispersion des insectes stériles dans le champ. Cette technique a été largement utilisée pour la lutte contre la cératite au Costa Rica, en Espagne, aux États-Unis, en Italie, au Mexique, au Nicaragua et au Pérou (**Roessler, 1994**). L'Algérie s'est inscrite dans le programme régional de la lutte contre la cératite par TIS qui visait l'éradication de ce ravageur en Algérie, en Libye, au Maroc et en Tunisie (**Bounfour et Nafil, 1994**).

6.4. Lutte chimique

Les produits utilisés comme pesticides pour lutter contre les insectes ravageurs sont multiples, ils appartiennent également à plusieurs groupes selon leur mode d'action et selon leur composition. Les principales familles d'insecticides utilisées actuellement dans l'agriculture et le domaine de la santé publique sont (**Kumar, 1991**) :

- ❖ Les organochlorés comme le chlordane, l'aldrine, la dieldrine ;
- ❖ les organophosphorés comme le parathion, la TEPP, le diazinon et le malathion ;
- ❖ les carbamates comme le Sevin, l'ortho-Bux, l'Elocron et le Baygon ;
- ❖ les insecticides organiques d'origine végétale comme le pyrèthre, la roténone... ;
- ❖ les hormones et phéromones sont également considérées comme des insecticides.

Partie II : Généralités sur les agrumes

1. Généralités

Les agrumes, encore appelés Hespérides dans la mythologie grecque (Bailey et al., 2006), sont originaires du sud-est asiatique, dans les régions allant du nord-est de l'Inde au nord de la Birmanie et celle du sud de l'île de Hainan (Ollitrault et al., 1997). Ce sont des arbres de la famille des Rutacées composée de 156 ou de 16 espèces selon que les auteurs ont ou non pris en compte les hybrides (Swingle, 1967).

D'après Virbel-Alonso (2011), les variétés d'agrumes sont très nombreuses (Fig. 8), Elles sont en augmentation car de nouveaux hybrides apparaissent régulièrement sur les marchés de l'agrumiculture des pays du Bassin méditerranéen.



Figure 8 : aspect général de l'oranger *Citrus sinensis*, a : les fruits b : l'arbre entier

2. Position systématique

D'après Swingle (1948), la position taxonomique des agrumes se présente comme suit :

Embranchement	Ambryophyteae
Sous embranchement	Angiospermeae
Classe	Eudicots
Sous-classe	Archichlomydeae
Ordre	Gerraniales
Sous-ordre	Greniineae
Famille	Rutacées
Sous-famille	Orantioideae
Tribu	Citreae
Genre	<i>Citrus</i>
Espèce	<i>Citrus sinensis</i>

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

3. Ecologie et phénologie des agrumes

3.1. Ecologie

Les agrumes présentent une grande capacité d'adaptation à des conditions pédoclimatiques très différentes. La culture des agrumes est possible partout où la température moyenne de l'année est supérieure à 13°C et inférieure à 39°C. Les agrumes préfèrent les climats maritimes des zones subtropicales. En terme de besoins en eau, 120 mm par mois, soit 1200 à 1500 mm par an, représentent une quantité d'eau au-dessous de laquelle la culture des agrumes nécessite une irrigation (**Larousse et Mazoyer, 2002**).

La lumière a une action très remarquable sur la qualité et la coloration des fruits. Les arbres fruitiers sont plus exigeants sur les caractéristiques physiques du sol et non sur les caractéristiques chimiques qui peuvent être corrigées par des apports d'engrais et d'amendements. Les sols doivent être profonds et de préférence légers (sablo-argileux ou argilo-sableux), bien drainés. Les agrumes redoutent les eaux salines (au-dessus de 0,5%). Le pH idéal est situé entre 5,5 et 7,5 (**Van Ee, 2005**). C'est à cet effet que le choix du porte-greffe est un des facteurs essentiels de réussite car il peut conférer à la plante une tolérance à des maladies et à des contraintes abiotiques (salinité, pH, froid, sécheresse, calcaire...).

L'optimum d'altitude pour un bon développement des agrumes se situe entre 1000 et 1300 m car ces derniers ne doivent pas être trop exposés aux vents. **Loussert (1989)** signale qu'au-dessous de 800 m, les fruits manquent de saveur. La peau des oranges reste verte, les cloisons deviennent plus épaisses.

3.2. Phénologie

Le développement de la frondaison des agrumes se fait sous forme de flux végétatif ou poussée foliaire (flush). Ces flux végétatifs succèdent à des périodes d'arrêt végétatif. Ce phénomène s'observe même en climat tropical humide où les conditions permettent une activité végétative continue (**Praloran, 1971**). Il existe généralement trois flux végétatifs par an.

Ils commencent avec le début des pluies ; le premier flux, qui est de loin le plus important (longueur et nombre de rameaux émis), débute en mars avec le retour des pluies. Le second se fait au mois d'août, il est également déclenché par le retour des pluies. Le dernier survient en octobre.

La floraison se produit en même temps que la pousse qui suit le repos végétatif. Les fleurs sont isolées ou en grappes et se forment sur le bois de l'année précédente (**Praloran 1971**). La floraison est continue tout au long de l'année sur les citronniers et limettiers. Sur les autres espèces, on peut avoir une ou deux périodes de floraison par an. Sur un même arbre, on peut ainsi retrouver des feuilles, des fleurs et des fruits de différents âges (**Van Ee, 2005**). Dans la

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

zone forestière humide du Cameroun, deux principales périodes de floraison sont observées. La première a lieu entre mars et juin et la seconde de septembre à décembre (**Kuate et al., 1997**).

4. Production des agrumes en Algérie

La culture des agrumes revêt une importance stratégique en sa qualité de source d'approvisionnement en fruits frais et des débouchés sur le marché international des produits agrumicoles. Des statistiques officielles estiment que l'agrumiculture est l'une des principales activités de l'arboriculture algérienne ; elle représente 9,8 % des surfaces arboricoles, occupant ainsi la quatrième place après l'olivier (35,9%), les espèces à noyaux (24,9%) et le palmier dattier (21,7%) (**Hadj Sahraoui, 2007**).

Les grandes zones de production par ordre d'importance sont la plaine de la Mitidja, 44% avec un chiffre d'affaires de 10 milliards de dinars environ en production totale d'agrumes en Algérie, suivie par Habra Mascara 25%, le périmètre Bounamoussa et la plaine de Saf Saf Skikda 16% et le périmètre de la Mina et le bas Chéelif 14%. Le Centre du pays occupe une surface de 39.305 ha d'agrumes soit 62%, l'Ouest représente 26% soit 16.453 ha, l'Est 9,7% représenté par 6.134 ha et 1.404 ha pour le Sud soit 2,2% (**Biche, 2012**)

Pays exportateur d'agrumes juste après l'indépendance, l'Algérie n'arrive plus aujourd'hui à satisfaire ses besoins nationaux, mais la quantité des fruits produits pouvait assurer jusqu'à 1200.000 quintaux entre la clémentine et l'orange navel (**Fig. 9**) pour le marché national vers les années 2014 (**Biche, 2012**).

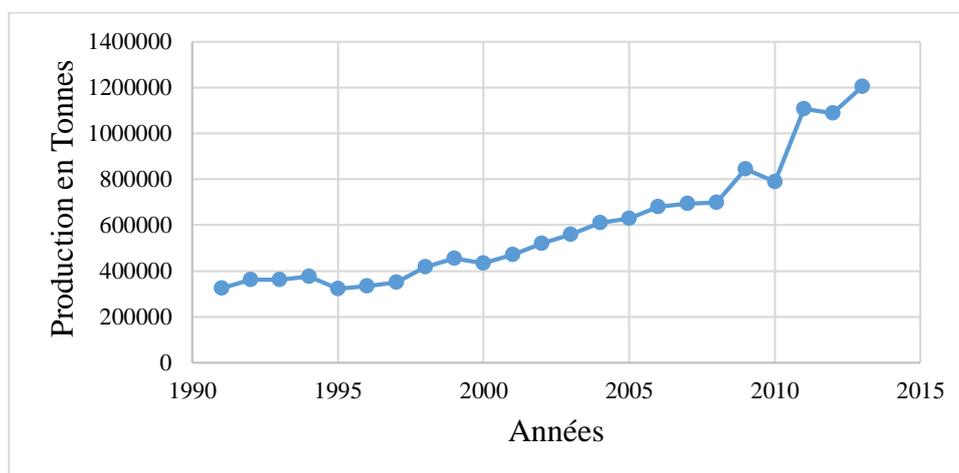


Figure 9 : Evolution de la production des agrumes en Algérie (**FAO, 2015**)

Les agrumes représentent 27,5% de la production totale de la wilaya de Tlemcen avec 501972 quintaux ; le potentiel agrumicole est concentré essentiellement au niveau de la vallée de la Tafna (Remchi), l'Isser, la plaine de Hennaya, Chetouane et Maghnia. D'après **Mohammedi**

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

(2004), la surface agrumicole dans la wilaya est de 1825 ha avec une production de 133,613qx et un rendement moyen de 73,21qx/ha.

5. Principaux ravageurs des agrumes

Les agrumes peuvent être attaqués par plusieurs ravageurs à savoir les insectes, les nématodes, les acariens et autre (Tableau, 2).

Tableau 2 : principaux ravageurs des agrumes (Biche, 2012)

	Ravageurs	Nom		Dégâts	
		Scientifique	Commun		
Insectes		<i>Aonidiella aurantii</i>	Pou de Californie	Attaque les feuilles, les rameaux et les fruits, développement de la fumagine, chute de feuilles et dépérissement des fruits	
		<i>Lepidosaphes beckii</i>	La cochenille moule		
		<i>Lepidosaphes glowerii</i>	La cochenille virgule		
		<i>Chysomphalus dictyospermi</i>	Pou rouge de Californie		
		<i>Parlatoria ziziphi</i>	Pou noir de l'oranger		
		<i>Parlatoria pergandie</i>	Cochenille blanche		
		<i>Saissitia oleae</i>	Cochenille H		
		<i>Icerya purshasi</i>	Cochenille australienne		
		<i>Coccus hesperidum</i>	Cochenille plate		
		<i>Ceroplastes sinensis</i>	Cochenille chinoise		
		<i>Psedococcus citri</i>	Cochenille farineuse		
		<i>Aphis speraecola</i>	Puceron vert de citrus		Avortement des fleurs et déformation des très jeunes feuilles,
		<i>Aphis gossypii</i>	Puceron vert de citronnier		
		<i>Toxoptera aurantii</i>	Puceron noir des agrumes		
			<i>Myzus persicae</i>		Puceron vert de pécher
		<i>Dialeurodes citri</i>	L'aleurode de Citrus	Provoque de la nuisance et développe de la fumagine	
		<i>Phyllocnistis cetrilla</i>	La mineuse des agrumes	Attaque les feuilles et les jeunes pousses	
		<i>Ceratitis capitata</i>	Mouche méditerranéenne des fruits	Provoque la pourriture des fruits	
Nématodes		<i>Tylenchulus smipenetrans</i>	Nématode des agrumes	Croissance ralentie des arbres : pas des symptômes scientifique des cette espèce	
Acariens		<i>Teranychus cinnabarinus</i>	Acarien tisserand	Provoque des nécroses, décoloration et chute des feuilles, des fruits et des bourgeons	
		<i>Hemitarsonemus latus</i>	Acarien ravisseur		
		<i>Aceria sholdoni</i>	Acarien des bourgeons		

Partie III- interactions plantes-Insectes

Introduction

Les plantes et les insectes vivent ensemble depuis plus de 350 millions d'années en co-évolution, les deux ont développé des stratégies pour éviter les systèmes de défense les uns des autres. Cette course aux armements évolutive entre plantes et insectes a permis le développement d'un système de défense subtile chez les plantes qui a la capacité de reconnaître les molécules non-soi ou les signaux des cellules endommagées, tout comme les animaux et active la réponse immunitaire contre les herbivores (Howe et Jander, 2008 ; Hare, 2011).

1. Signalisation dans les interactions plantes-insectes

Dès qu'un insecte herbivore commence à se nourrir sur une plante, plusieurs signaux de défense sont induits, conduisant à des réponses de défense différentes. Avant de décrire le mécanisme de signalisation, il est important de souligner la capacité de la plante à reconnaître l'alimentation d'un insecte herbivore.

1.1. Reconnaissance de l'attaque des insectes herbivores

Les plantes ont la capacité de distinguer entre les dommages herbivores et mécaniques tels que la grêle et le vent, ainsi que de reconnaître l'oviposition. Cette caractéristique est nécessaire pour éviter de gaspiller des ressources de défense coûteuses, puisque la production et la libération de réponses de défense ne bénéficient qu'aux plantes soumises à des attaques herbivores (Tumlinson et al., 1993).

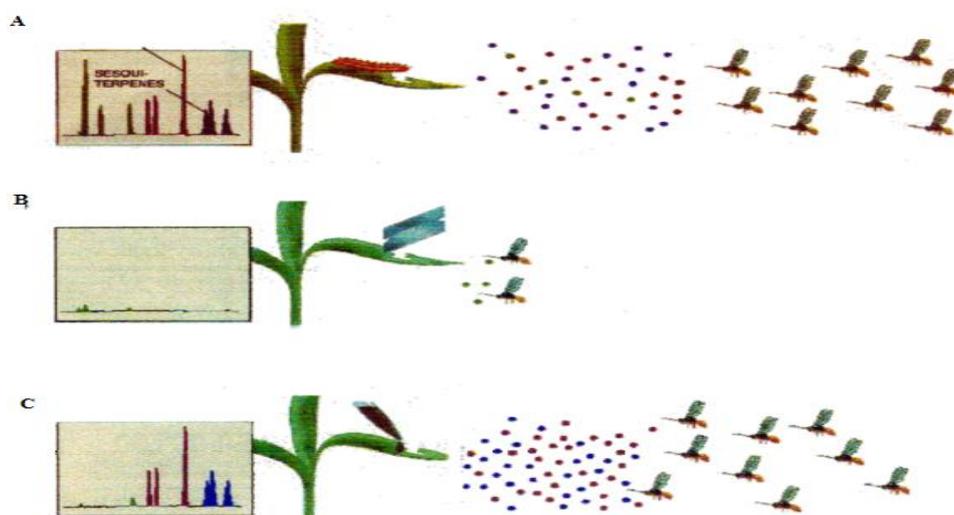


Figure 10 : Attraction des parasitoïdes par les odeurs émises par des feuilles de maïs : **A :** attaquées par une chenille, **B :** brisées mécaniquement, **C :** brisées mécaniquement + régurgitations de chenilles (Tumlinson et al., 1993).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1.1. Sécrétions orales des insectes

Les plantes sont également capables de reconnaître des composés dans les sécrétions buccales des insectes, qui provoquent des réponses plus intenses que les dommages mécaniques seuls (Arimura et al., 2004 ; De Moraes et al., 2001).

La conjugaison des précurseurs dérivés de plantes et d'herbivores aboutit à la formation de conjugués acide gras-acide aminé (FAC). La N-17-hydroxylinolenoyl-L-glutamine (volectine, **Figure 11**), identifiée pour la première fois dans les sécrétions orales de *Spodoptera exigua* (légionnaire de betterave) (Turlings et al., 1993), est l'une des nombreuses FAC habituellement présentes dans les sécrétions orales des larves de lépidoptères [Alborn et al., 1997 ; Halitschke et al., 2001], comme *Pieris brassicae* (chenille du grand papillon blanc du chou) (Mattiacci et al., 1995). La volicitine est sélectivement liée à la membrane plasmique, ce qui suggère l'existence d'un récepteur FAC (Truitt et al., 2005). Chez le *Zea mays* (maïs), la volicitine active indole-3-glycérol phosphatase lyase (IGL) catalyse la formation d'indoles libres réactifs à partir de l'indole-3-glycérol (Frey et al., 2000). Cependant, certaines plantes, dont *Arabidopsis thaliana* (thale cress), *Gossypium hirsutum* (coton mexicain), *P. lunatus* et *Vigna unguiculata* (niébé) ne répondent pas aux FAC appliquées de manière exogène (Schmelz et al., 2009).

Jusqu'à présent, aucun récepteur n'a été identifié pour les inceptines. Les caeliférines (**Fig.11**), acides gras disulfoxy, ont été identifiées dans les sécrétions orales de *Shistocerca americana* (sauterelle d'Amérique) et d'autres espèces de sauterelles (Alborn et al., 2007). Les caeliférines, comme les FAC, commencent à libérer les terpénoïdes volatils des plantules de maïs, mais le mode d'action exact de ces substances volatiles n'est pas encore connu. Cependant, la synthèse récente et réussie des caeliférines permet d'étudier plus avant leur fonction ainsi que d'identifier les récepteurs des plantes qui activent les réponses immunitaires (O'Doherty et al., 2011). Les bruchins (**Fig. 11**), α , ω -diols à chaîne longue, estérifiés au niveau d'un ou des deux atomes d'oxygène par l'acide 3-hydroxypropanoïque, sont une autre classe d'éliciteurs isolés de *Bruchus pisorum* (charançon du pois) et de *Callosobruchus maculatus* (niébé) (Doss et al., 2000). Ils sont aussi l'un des composants trouvés dans les fluides de ponte.

D'autres éliciteurs ont été découverts tels que les inceptines (**Fig. 11**), qui sont des peptides à liaison disulfure, formés par des fragments protéolytiques de la sous-unité γ ATP synthase chloroplastique, produite par la digestion des protéines végétales dans l'intestin de *Spodoptera frugiperda* (légionnaire d'automne) (Schmelz et al., 2007). Enfin, la β -glucosidase dans la sécrétion orale des larves de *P. brassicae* provoque la libération de composés organiques volatils qui attirent la guêpe parasite *Cotesia glomerata* (Mattiacci et al., 1995).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Contrairement aux exemples donnés ci-dessus, quelques éliciteurs dérivés des sécrétions orales suppriment effectivement les réponses de défense. Par exemple, la glucose oxydase salivaire (GOX) sécrétée par *Helicoverpa zea* (ver de l'épi du maïs) et les protéines identifiées dans les glandes salivaires de *Myzus persicae* (puceron vert du pêcher) s'ajoutent à l'explosion oxydative et réduisent la réponse immunitaire des plantes (**Eichenseer et al., 1999 ; Bos et al., 2010**). De plus, les protéines de *Myzus persicae* induisent la chlorose et la mort cellulaire chez *Nicotiana benthamiana* (**Eichenseer et al., 1999**).

1.1.2. Fluides de l'oviposition

Les fluides de ponte des insectes peuvent aussi donner des réponses de défense à la plante, ce qui attire la progéniture qui absorbe les œufs ou renforce sa défense en cas de future attaque d'herbivores par les insectes (**Hilker et Meiners, 2006**). La ponte de *Diprion pini* (tenthrède) sur *Pinus sylvestris* (pin sylvestre) entraîne une augmentation de la production de substances terpénoïdes et une diminution de la libération d'éthylène (**Schroder et al., 2007**). L'oviposition de *P. brassicae* sur *A. thaliana* déclenche aussi l'expression de gènes liés à la défense (**Little et al., 2007**). Cependant, les produits chimiques responsables de la réponse de la défense n'ont été identifiés que chez *B. pisorum*. Son liquide de ponte contient des bruchines qui, lorsqu'elles sont ajoutées au *Pisum sativum* (pois), provoquent des croissances de type tumoral qui empêchent les larves d'entrer dans la gousse (**Fatouros et al., 2005**).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

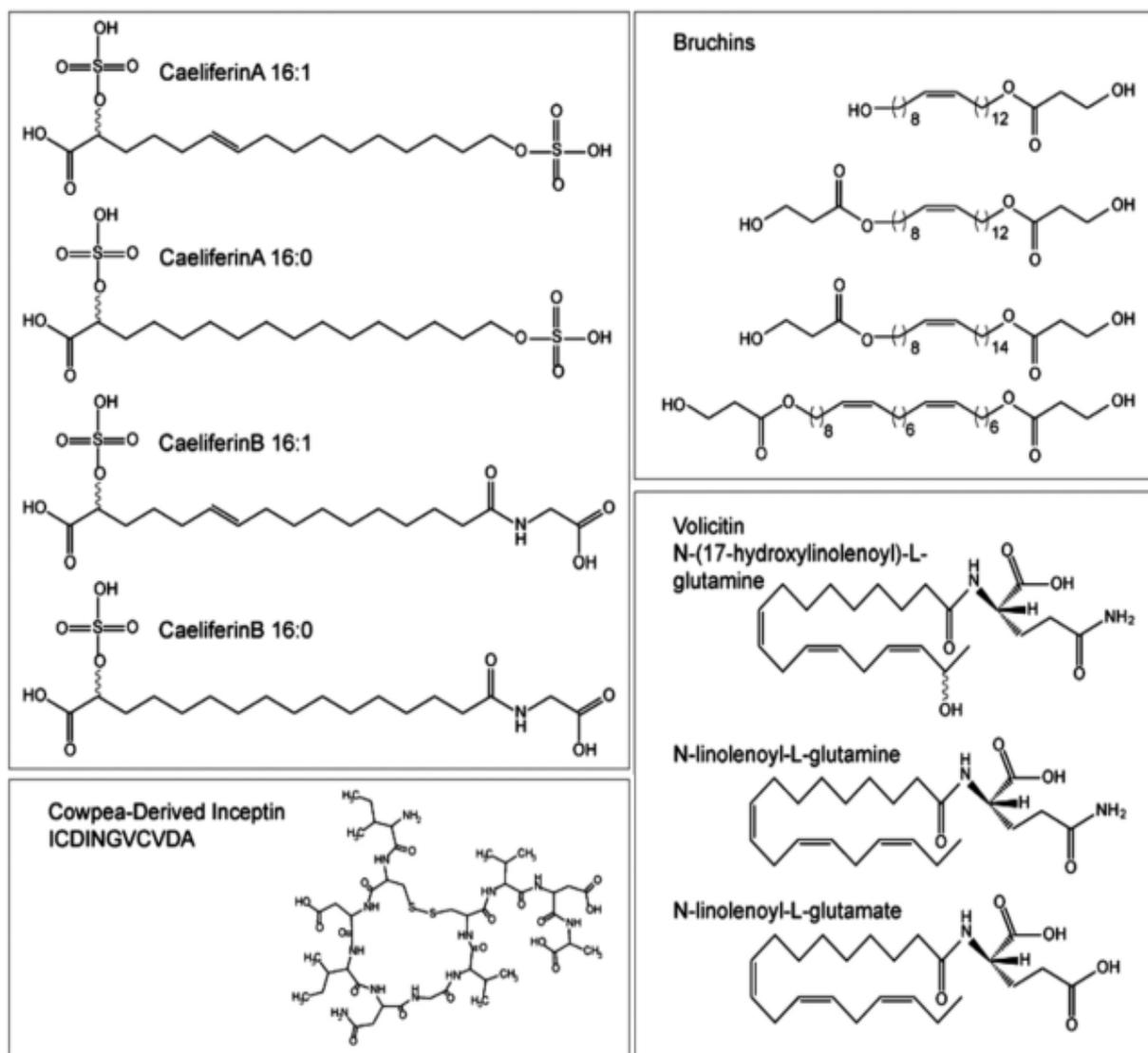


Figure 11 : Structure des éliciteurs produits par les insectes herbivores (Felton et Tumlinson, 2008)

1.2. Premiers événements de l'interaction plante-insecte

Jusqu'à présent, la plupart des recherches sur l'interaction plante-insecte se sont concentrées principalement sur la génomique et la protéomique des événements tardifs de la défense des plantes. Les événements précoces, la reconnaissance et le déclenchement de la transduction du signal (**Figure 12**) sont en revanche mal compris (Fürstenberg-Hägg et al, 2013).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

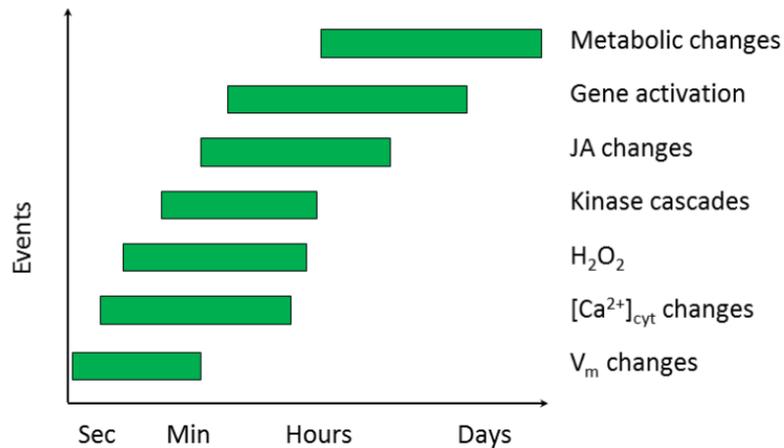


Figure 12 : Changement des évènements biochimiques après une attaque des insectes herbivores (Mithöfer et Boland, 2008).

Les changements dans le potentiel transmembranaire (V_m) apparaissent immédiatement après les attaques par herbivores et sont étroitement suivis par des changements dans la concentration intracellulaire de Ca^{2+} et la génération de H_2O_2 . Les kinases et l'acide phytohormone jasmonique (JA) sont détectables en quelques minutes. Après environ une heure, on observe une activation génique suivie de changements métaboliques (Mithöfer et Boland, 2008).

1.2.1. Signalisation électrique

Le stress biotique et abiotique conduira à un changement immédiat du potentiel de la membrane cellulaire (V_m), ou modulera le flux ionique au niveau de la membrane plasmique (Figure 12) (Ebel et Mithöfer, 1998 ; Shabala, 2006). Les changements de V_m induits par l'herbivorie sont suivis d'un signal électrique rapide (potentiel d'action), qui traverse la plante entière à partir du point où le signal a été induit (Maffei et Bossi, 2006). Le V_m est affecté par différentes molécules de signal. Un exemple est le fort H_2O_2 dépolarisant qui peut être induit par l'alimentation des insectes (Peiffer et Felton, 2005). La dépolarisation V_m (Maffei et al., 2004) et le flux ionique (Maischak et al., 2007) ont été démontrés avec des sécrétions orales d'herbivores, mais pas avec des éliciteurs connus comme la volicitine et l'inceptine. Il est néanmoins émise l'hypothèse que des éliciteurs inconnus affectent les activités des différents canaux et induisent ainsi des signaux électriques (Maffei et al., 2007).

1.2.2. Ca^{2+} homéostasie

Les ions calcium fonctionnent comme un second messager dans plusieurs voies de signalisation chez les plantes. Dans les cellules saines, la concentration de Ca^{2+} cytosolique est 10 000 fois plus faible que dans le liquide apoplastique, et 100 000 fois plus faible par rapport aux organites cellulaires. Cela crée une force motrice pour l'influx de Ca^{2+} dans le cytosol, via les

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

protéines canal (**Verret et al., 2010**), où il agit comme un second messenger (**Lecourieux et al., 2006**). Le signal peut apparaître quelques secondes après l'attaque des herbivores (**Fig. 12**) sous la forme d'un seuil transitoire, d'oscillations ou de pointes répétées avec une localisation subcellulaire spécifique, un temps de retard, une amplitude et une fréquence (**Maffei et al., 2007**). Le signal diffère également en fonction de l'organe, du tissu ou du type cellulaire (**Evans et al., 2001**). Après l'afflux, les ions Ca^{2+} sont réinjectés dans les organites et les apoplastes par l'intermédiaire des ATPases de pompage de Ca^{2+} (**Verret et al., 2010**).

Le signal Ca^{2+} active la calmoduline et d'autres protéines sensibles au calcium, telles que les protéines de type calmoduline, les protéines de type calcineurine B et les protéine-kinases de liaison au Ca^{2+} (CDPK). Cela favorise une cascade d'effets en aval, comme une modification de la phosphorylation des protéines et des modèles d'expression génique (**Howe et Jander, 2008 ; Sanders et al., 2002**). Au moins deux voies de signalisation CDPK semblent exister, une qui est impliquée dans la diaphonie avec des protéines kinases activées par mitogène (MAPK), conduisant à la formation de jasmonates (JAs), et qui active les facteurs de transcription des gènes de défense indépendamment de la voie de jasmonate et de l'éthylène (**Ludwig et al., 2005 ; Wu et al., 2007**).

2. Classification des traits de défense

Les traits de défense chez les plantes selon leur mode d'interaction avec les insectes sont classés comme suit (**Fig. 13**) :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

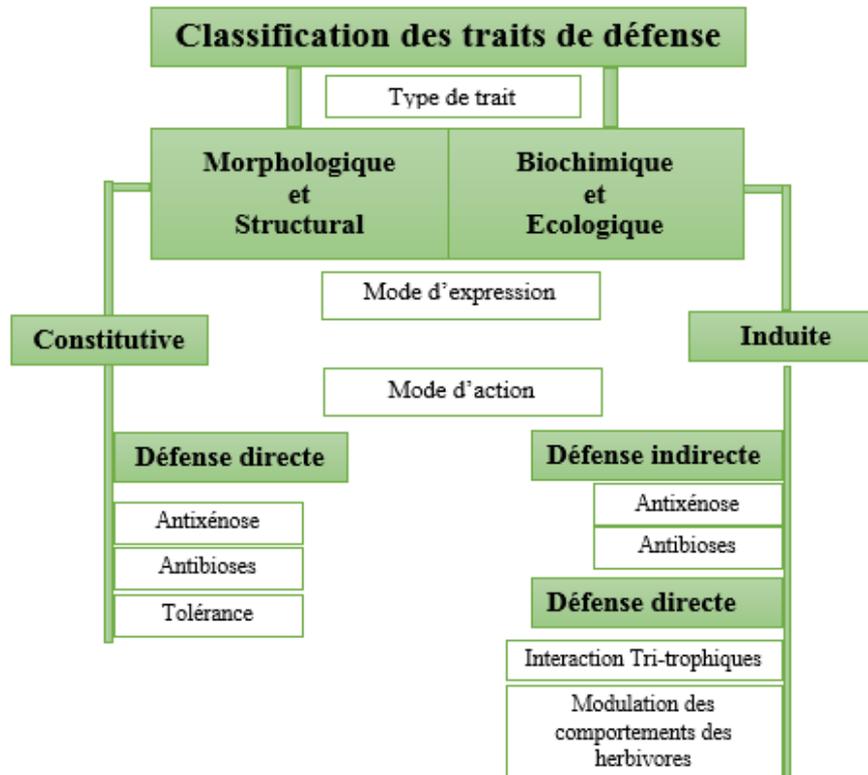


Figure 13 : Classification des traits défensifs chez les plantes selon leur mode d'interaction avec les insectes (Modifié à partir de Schaller, 2008)

2.1. Défense indirecte induite

Le terme «défense indirecte» est utilisé lorsque les plantes attirent, nourrissent ou hébergent d'autres organismes pour réduire la pression de l'ennemi (Dicke et Sabelis, 1988). Cela se fait en produisant des matières volatiles, du nectar extrafloral, des corps de nourriture et des sites de nidification ou de refuge.

2.1.1. Production du nectar extra-floral.

L'alimentation des herbivores induit la défense des plantes en produisant le nectar extra-floral (EFN) qui est exploité comme source de nourriture alternative par les arthropodes carnivores (Heil, 2008). La production d'EFN a été décrite chez à peu près 1000 espèces végétales appartenant à au moins 93 familles différentes (Karban et Baldwin, 1997). De nombreuses plantes attirent les fourmis ainsi que d'autres prédateurs et parasitoïdes dans leurs parties aériennes en sécrétant des nectars extra-floraux afin d'augmenter leur propre aptitude à la reproduction (Fig. 14). Dans le contexte de la production d'EFN, les parties végétatives des plantes telles que la tige et les feuilles ainsi que les fleurs sont activement impliquées (Wäckers et al., 2001 ; Röse et al., 2006 ; Wäckers et al., 2007 ; Arimura et al., 2009 ; Heil et al., 2010).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE



Figure 14 : Production de nectar extra-floral sur la partie végétative des plantes (Staab et al., 2017)

2.1.2. Production des volatils

Une deuxième stratégie de défense indirecte induite est la production de composés organiques volatils (COV) en réponse à divers stimuli, par exemple infestation d'herbivores, infection pathogène, dommages mécaniques, etc. Les COV produits spécifiquement en réponse à l'infestation par les herbivores sont connus sous le nom de plantes volatiles induites par les herbivores (HIPVs). Ces HIPVs émanent des parties herbacées exposées (probablement des feuilles et des fleurs et des fruits) et fournissent des signaux aériens (informations chimiques) qui attirent les arthropodes carnivores (prédateurs et parasitoïdes) (**Figure 15**) ou qui découragent la ponte des femelles sur leurs plantes hôtes (**Dicke et Sabelis, 1988; Kessler et Baldwin, 2001 ; Arimura et al., 2005; Dudareva et al., 2006 ; Turlings et Ton, 2006 ; Zakir et al., 2009 ; Arimura et al., 2009 ; Dicke et Baldwin, 2010 ; Hare, 2011**). Les HIPV sont les composés lipophiles à pression de vapeur plus élevée à partir des feuilles, des fleurs et des fruits dans l'atmosphère ; et dans le sol à partir des racines par les plantes en réponse à l'attaque herbivore (**Dudareva et al., 2006**). Les HIPVs produites varient selon les espèces végétales et herbivores, le stade de développement et l'état des plantes et des herbivores (**Arimura et al., 2009 ; Dicke et al., 2009 ; Maffei, 2010 ; Clavijo McCormick et al., 2012**). Une quantité optimale de composés volatils est normalement libérée par les plantes dans l'atmosphère, alors qu'un mélange différent de substances volatiles est produit en réponse à l'herbivorie (**Arimura et al., 2009**). Le mélange volatil libéré par les plantes en réponse à l'attaque des insectes est spécifique à un système d'insecte-plante, y compris les ennemis naturels et les plantes voisines (**Engelberth et al., 2004 ; Arimura et al., 2009**). Les HIPVs médient les interactions entre les plantes et les arthropodes, les micro-organismes, les dommages des plantes voisines ou la signalisation intra-plantaire prévient les sites non endommagés au sein de la plante (**Arimura et al., 2000 ; Heil et Silva Bueno, 2007 ; Arimura et al., 2009 ; Karban, 2011**). Selon les modes d'alimentation des insectes nuisibles, différentes voies de signalisation de la défense sont activées, ce qui induit la production de

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

composés volatils spécifiques (Walling, 2000). Les HIPV comprennent les terpènes, les volatiles verts (GLV), l'éthylène, le salicylate de méthyle et d'autres COV (Dudareva et al., 2006 ; Maffei, 2010).

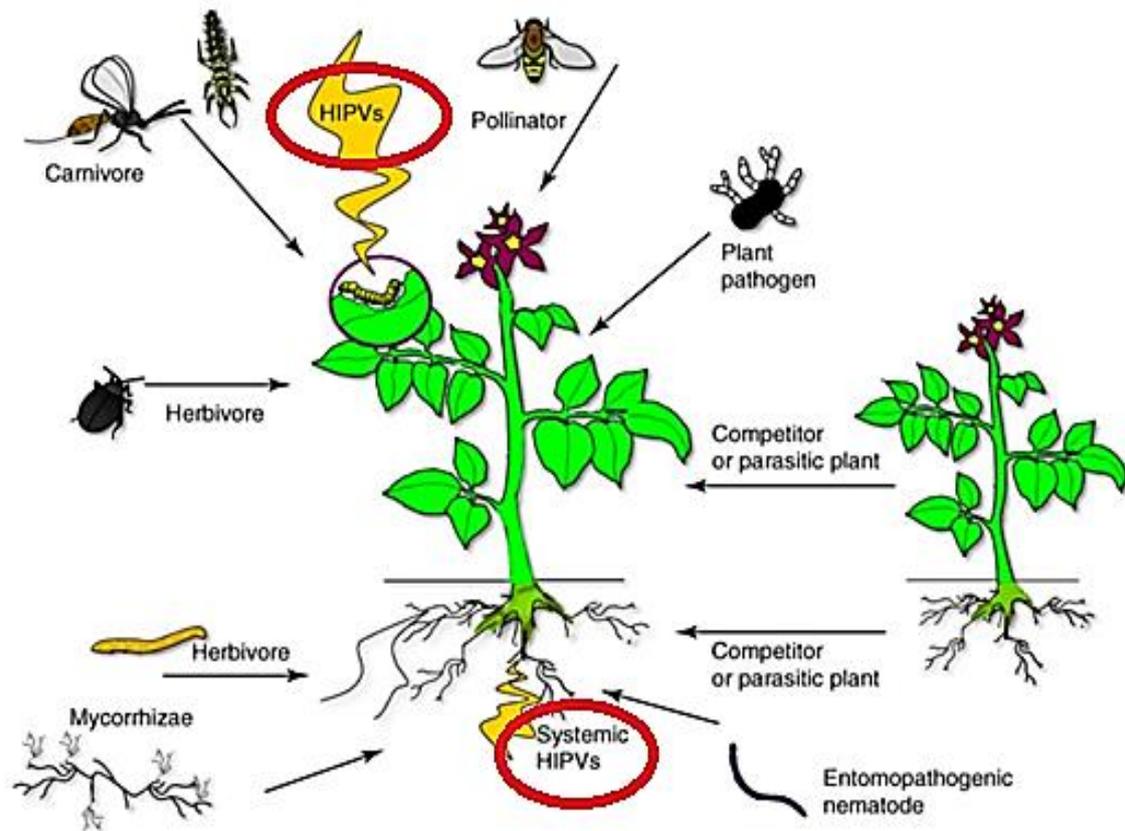


Figure 15 : volatils végétaux induits par les herbivores (HIPV) (Dicke et Baldwin, 2010)

Ce sont des interactions associées entre différents organismes (récepteurs de signal) autour d'une plante endommagée (Dicke et Baldwin, 2010).

Ainsi, les plantes utilisent leurs défenses directes induites pour modifier la préférence (sélection du site d'oviposition) ou la performance (alimentation larvaire) des herbivores attaquants. Par exemple, les plants de chou *Brassica oleracea* réduisent la préférence de ponte des femelles adultes de *Pieris rapae* et la performance larvaire après infestation (Fig. 15). De même, les HIPV aident les plantes attaquées à réduire l'attaque herbivore de deux manières :

- par la défense directe induite, en dissuadant les femelles ovipares du chou cabus *P. rapae* ;
- par la défense indirecte induite, en attirant le parasitoïde larvaire *Cotesia glomerata* (Fig. 16).

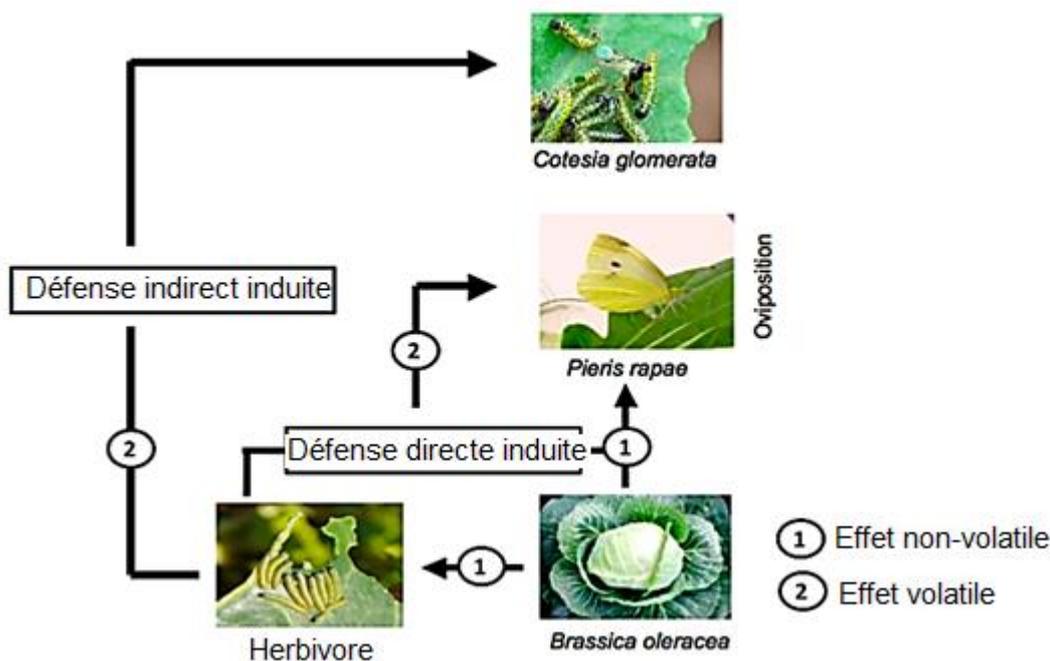


Figure 16 : Illustration des défenses directes et indirectes induites en réponse à l'herbivorie dans le système *Brassica-Pieris* (Modifié d'après **Bruinsma et Dicke, 2008**)

2.2. Défense directe induite

La défense est dite directe si les réponses induites affectent l'interaction entre l'herbivore et son hôte directement. Elle se fonde sur les dispositifs morphologiques comme les épines, les trichomes, les cristaux épi-cuticule du film de cire, dureté de tissu, aussi bien que les structures sécréteuses, les latex et les résines contenus dans les canaux. Elle inclue également des composés pour la défense chimique, comme les métabolites secondaires, réduisant la digestibilité des protéines et des enzymes anti nutritives (**Howe et Schaller, 2008**).

2.2.1. Structures morphologiques

Les structures végétales constituent la première ligne de défense contre les herbivores et jouent un rôle important dans la résistance aux insectes. La première ligne de défense est l'érection d'une barrière physique soit par la formation d'une cuticule cireuse (**Hanley et al., 2007 ; Agrawal et al., 2009**) et / ou le développement d'épines, de soies et de trichomes (**Sharma et al., 2009 ; He et al., 2011**). Les défenses structurales comprennent les caractéristiques morphologiques et anatomiques qui confèrent un avantage de conditionnement physique à la plante en dissuadant directement les herbivores de se nourrir (**Agrawal et al., 2009**) et vont de protubérances proéminentes sur une plante à des changements microscopiques de l'épaisseur de la paroi cellulaire résultant de la lignification et de la subérisation (**Hanley et al., 2007 ; He et al., 2011**). Les épines (spinescence), les trichomes (pubescence), les feuilles trempées ou durcies (sclérophylle), l'incorporation de minéraux granulaires dans les tissus végétaux et les

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

ramifications divarquées (pousses à tiges raides à grands angles axillaires) jouent un rôle prépondérant dans la protection des plantes (Hanley et al., 2007 ; He et al., 2011 ; Chamarthi et al., 2010). La sclerophyllie se réfère aux feuilles durcies et joue un rôle actif dans la défense des plantes contre les herbivores en réduisant la palatabilité et la digestibilité des tissus, réduisant ainsi les dommages causés par les herbivores (Handley et al., 2005 ; Hanley et al., 2007). La densité des trichomes (Fig. 17) affecte négativement le comportement ovipositif, l'alimentation et la nutrition larvaire des insectes nuisibles (Handley et al., 2005). De plus, les trichomes denses affectent mécaniquement l'herbivorie, interfèrent avec le mouvement des insectes et d'autres arthropodes sur la surface des plantes, réduisant ainsi leur accès à l'épiderme des feuilles (Agrawal et al., 2009).

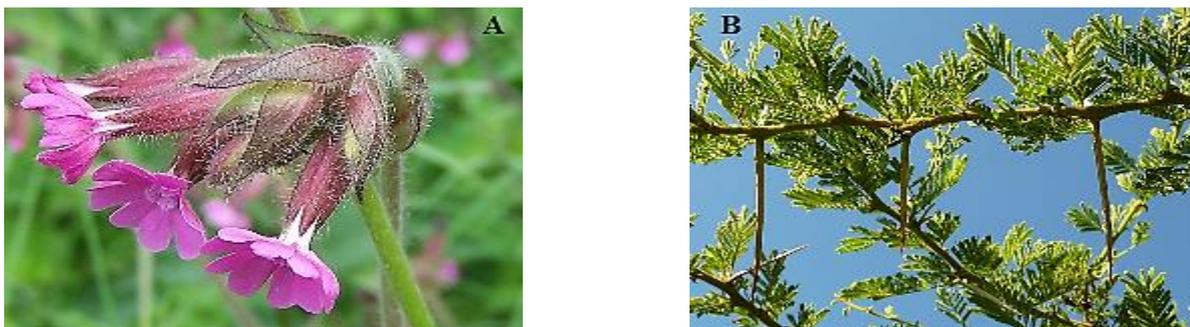


Figure 17 : (A) : Trichomes sur des fleurs et des tiges, (B) : des épines sur les branches (Lebon, 2014)

2.2.2. Corps alimentaires

Les corps alimentaires (CA) sont des structures cellulaires contenant principalement des hydrates de carbone, des protéines et des lipides (O'Dowd, 1982). Ils servent de nourriture aux fourmis et sont ainsi utilisés pour attirer les prédateurs. En raison de la haute teneur en lipides et en protéines des CA, ils sont considérés comme une forme de défense coûteuse.

2.2.3. Sites de nidification et de refuge

Les plantes peuvent offrir aux prédateurs comme les fourmis, les acariens et les punaises des petites chambres à la jonction de la nervure médiane et la veine utilisée comme sites de nidification ou de refuge (domatia : sous forme de cavités ou de touffes de trichome pour les fourmis et les acariens) (Heil, 2008). De la même manière que les CA, la domatia est inductible par les fourmis, ce qui a été montré sur l'arbre de la forêt tropicale *Vochysia vismiaefolia* (Gaume et al., 2005).

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

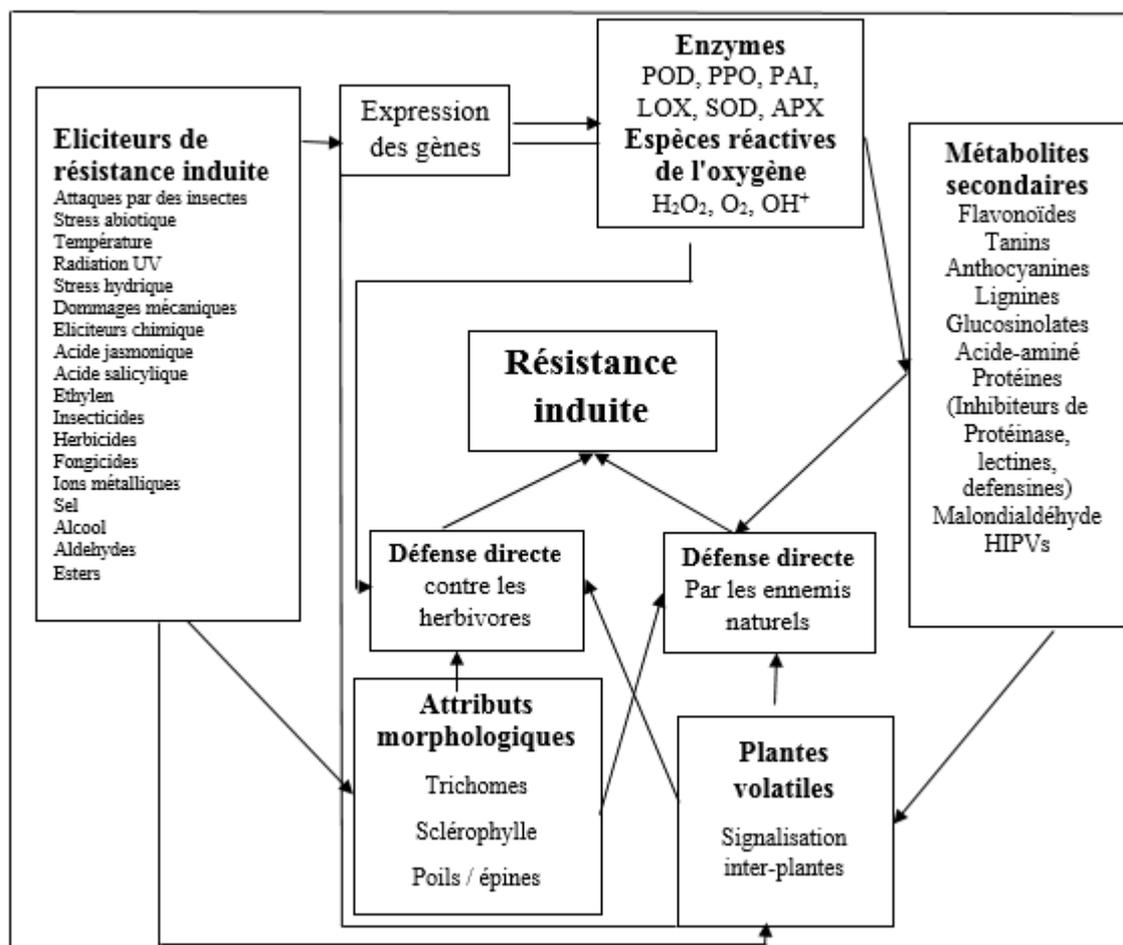


Figure 18 : Mécanisme de résistance induite chez les plantes. POD, peroxydase ; PPO, polyphénol oxydase ; PAL, phenylalanine ammonia lyase ; TAL, tyrosine alanine ammoniac lyase ; LOX, lipoxygénase ; SOD, superoxyde dismutase ; APX, ascorbate peroxydase ; HIPV, herbivores induits par les plantes (War et al., 2012)

2.2.4. Métabolites secondaires et défense des plantes

2.2.4.1. Définition et fonction

Les métabolites secondaires sont un groupe de molécules qui interviennent dans l'adaptation de la plante à son environnement ainsi que la régulation des symbioses et d'autres interactions plantes-animaux, la défense contre les prédateurs et les pathogènes, comme agents allélopathiques ou pour attirer les agents chargés de la pollinisation ou de la dissémination des fruits (Judd et al., 2002). En général, les termes métabolites secondaires, xénobiotiques, facteurs antinutritionnels, sont utilisés pour déterminer ce groupe, il existe plus de 200.000 composés connus qui ont des effets antinutritionnels et toxiques chez les mammifères. Comme ces composés ont des effets toxiques, leur incorporation dans l'alimentation humaine peut être

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

utile pour la prévention contre plusieurs maladies (cancer, maladies circulatoires, infections virales...), car la différence entre toxicité et effet bénéfique est généralement soit dose ou structure- dépendante (**Makkar et al., 2007**).

Les métabolites secondaires sont les composés qui n'affectent pas la croissance et le développement normaux d'une plante, mais qui réduisent la palatabilité des tissus végétaux dans lesquels ils sont produits (**Howe et Jander, 2008**). Les métabolites défensifs (secondaires) peuvent être soit constitutifs stockés en tant que formes inactives, ou induits en réponse à l'attaque des insectes ou des microbes. Les premiers sont connus comme phytoanticipines et les derniers comme phytoalexines. Les phytoanticipines sont principalement activées par la β -glucosidase au cours de l'herbivorie, qui intervient à son tour dans la libération de divers métabolites aglycones biocides (**Morant et al., 2008**). Les exemples classiques de phytoanticipines sont les glucosinolates hydrolysés par les myrosinases (β -thioglucoside glucohydrolases endogènes) lors de la rupture tissulaire. D'autres phytoanticipines comprennent les benzoxazinoïdes (BX), qui sont largement distribués parmi les Poaceae (**Morant et al., 2008**). Les phytoalexines comprennent les isoflavonoïdes, les terpénoïdes, les alcaloïdes, etc., qui influencent la performance et la survie des herbivores (**War et al., 2012**)

2.2.4.2. Phénols végétaux

Parmi les métabolites secondaires, les phénols végétaux constituent l'un des groupes défensifs les plus répandus, ils jouent un rôle majeur dans la résistance des plantes hôtes (les HPR) contre les herbivores, y compris les insectes (**Sharma et al., 2009 ; Usha Rani et Jyothsna, 2010; War et al., 2011b**). Les phénols agissent comme mécanisme défensif non seulement contre les herbivores, mais également contre les micro-organismes et les plantes concurrentes. Les altérations qualitatives et quantitatives des phénols et l'élévation des activités de l'enzyme oxydative en réponse aux attaques d'insectes sont un phénomène général (**Barakat et al., 2010; War et al., 2011a; 2011b**).

La lignine, un hétéropolymère phénolique joue un rôle central dans la défense des plantes contre les insectes et les agents pathogènes (**Barakat et al., 2010**). Elle limite l'entrée des agents pathogènes en bloquant physiquement ou en augmentant la ténacité des feuilles qui réduit l'alimentation des herbivores et diminue également le contenu nutritionnel des feuilles (**Johnson et al., 2009**). L'augmentation de l'expression des gènes associés à la lignine chez les plantes infectées par des organismes nuisibles et pathogènes. La synthèse de lignine est induite par une attaque herbivore ou pathogène et son dépôt rapide réduit la croissance du pathogène ou la fécondité des herbivores (**Barakat et al., 2010**). L'oxydation des phénols catalysée par la polyphénol oxydase (PPO) et la peroxydase (POD) est un mécanisme de défense potentiel chez les plantes contre les insectes herbivores. Les quinones formées par l'oxydation des phénols se lient par covalence aux protéines des feuilles et inhibent la digestion des protéines chez les

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

herbivores (**Bhonwong et al., 2009**). De plus, les quinones présentent également une toxicité directe pour les insectes (**Duffey et Stout, 1996 ; Bhonwong et al., 2009**). L'alkylation des acides aminés réduit la valeur nutritionnelle des protéines végétales pour les insectes, ce qui affecte négativement leur croissance et leur développement. Les phénols jouent également un rôle important dans la réduction cyclique des espèces réactives de l'oxygène (ROS) telles que les radicaux hydroxydes, H₂O₂ et l'oxygène singulier (O₂) qui, à leur tour, activent une cascade de réactions. Les phénoliques simples (salicylates) agissent comme anti-nutriments pour les insectes herbivores (**War et al., 2012**).

2.2.4.3. Flavonoïdes

Le terme « flavonoïde » est généralement employé pour décrire une large famille de produits naturels qui incluent le cadre de carbone C6-C3-C6. Selon la position en C-3 central, ce groupe de produits naturels peut être divisé en trois classes (**Fig. 19**) : les flavonoïdes (2-phenylbenzopyrans), isoflavonoïdes (3-benzopyrans), et les néoflavonoïdes (4-benzopyrans) (**Jannie et al., 2006**).

Les flavonoïdes jouent un rôle central dans diverses facettes de la vie végétale, en particulier dans les interactions plante-environnement. Ils protègent les plantes contre divers stress biotiques et abiotiques, notamment les rayonnements UV, les agents pathogènes et les insectes nuisibles (**Treutter, 2006**). Les flavonoïdes sont cytotoxiques et interagissent avec différentes enzymes par complexation. Les flavonoïdes et les isoflavonoïdes protègent la plante contre les insectes nuisibles en influençant le comportement, la croissance et le développement des insectes (**Simmonds, 2003**). En outre, les flavonoïdes absorbent les radicaux libres, y compris les ROS, et réduisent leur formation (**Treutter, 2006**). Les flavonoïdes sont divisés en différentes classes comprenant les anthocyanes, les flavones, les flavonols, les flavanones, les dihydroflavonols, les chalcones, les aurones, les flavanes et les proanthocyanidines (**Treutter, 2006**). Plus de 5 000 flavonoides ont été signalés chez les plantes. Un certain nombre de flavones tels que les flavonols, les flavones, les proanthocyanidines, les flavan-3-ols, les flavanones, les flavanes et les isoflavonoïdes ont été étudiés en tant que moyens de dissuasion contre de nombreux insectes nuisibles (**War et al., 2012**).

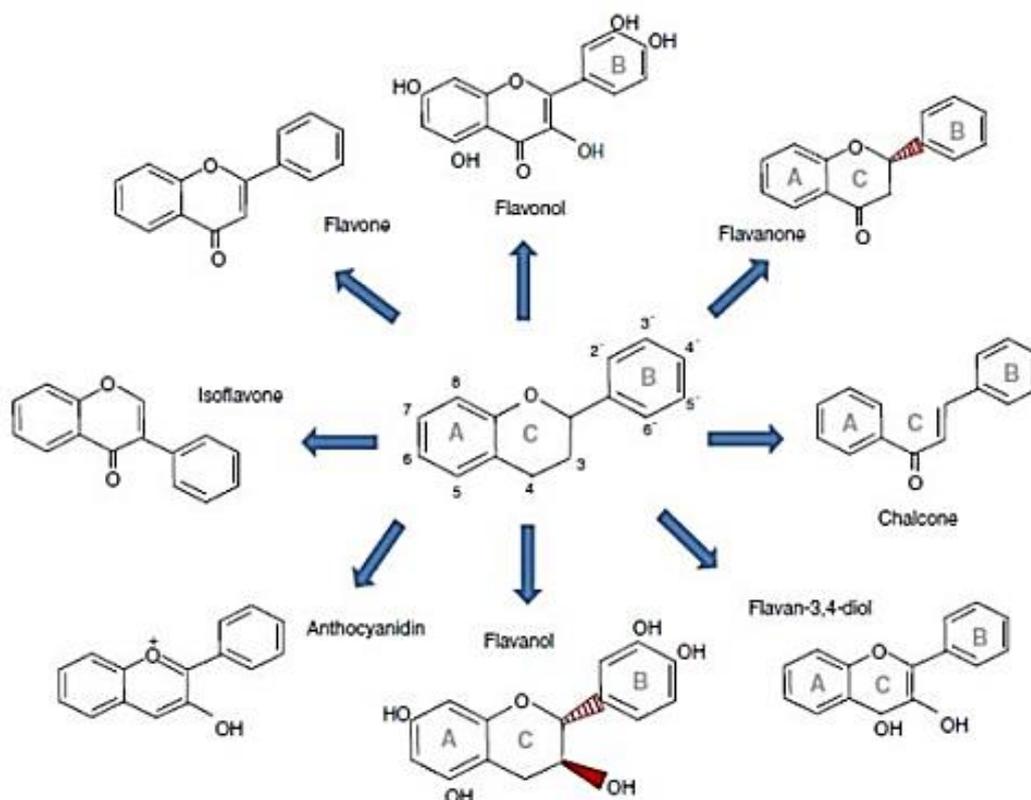


Figure 19 : structures chimiques des principales familles des flavonoïdes (Fraga et Oteiza, 2011)

2.2.4.4. Tanins

Les tanins (**Figure 20**) ont un fort effet délétère sur les insectes phytophages et affectent la croissance et le développement des insectes en se liant aux protéines, en réduisant l'efficacité de l'absorption des nutriments et en provoquant des lésions au mésogastre (**Sharma et Agarwal, 1983; Sharma et al., 2009 ; Barbehenn et Peter Constabel, 2011**). Les tanins sont astringents ce sont des polyphénols amers dissuasifs contre de nombreux insectes nuisibles. Ils précipitent les protéines de manière non spécifique (y compris les enzymes digestives des herbivores), par liaison hydrogène ou liaison covalente des groupes protéine-NH₂. En outre, les tanins chélatent également les ions métalliques, réduisant ainsi leur biodisponibilité pour les herbivores. Lorsqu'ils sont ingérés, les tanins réduisent la digestibilité des protéines, diminuant ainsi la valeur nutritive des plantes et des parties de plantes pour les herbivores.

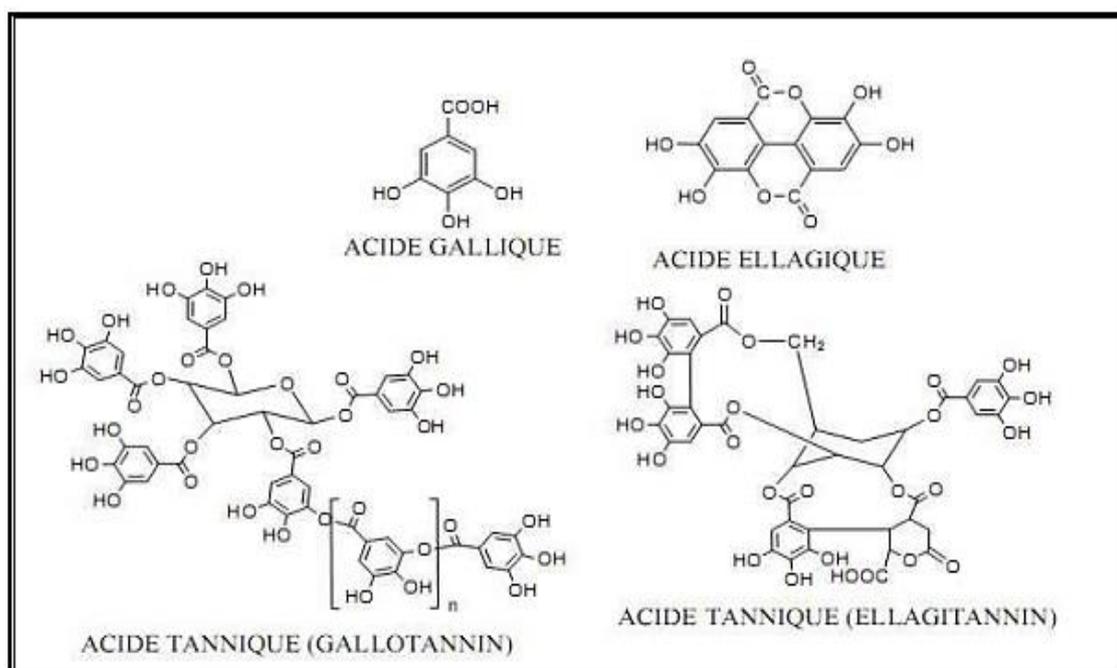


Figure 20 : Structure des tanins hydrolysables et les acides associés (Peronny, 2005).

2.2.5. Protéines végétales

Ecologiquement, dans l'interaction insecte-plante, l'interrelation entre les deux est importante pour leur survie. Les insectes recherchent toujours une plante-hôte véritable et saine qui leur procure une nourriture adéquate et qui pourrait convenir à l'accouplement, à la ponte et à la nourriture des progénitures. Les besoins nutritionnels des insectes sont similaires à ceux des autres animaux et tout déséquilibre dans la digestion et l'utilisation des protéines végétales par les insectes entraîne des effets drastiques sur la physiologie des insectes. L'altération de l'expression des gènes sous stress, y compris les attaques d'insectes, entraîne des changements qualitatifs et quantitatifs dans les protéines qui, à leur tour, jouent un rôle important dans la transduction du signal et la défense oxydative (Tableau 3) (Gulsen et al., 2010; Usha Rani et Jyothsna, 2010). De nombreuses protéines végétales ingérées par les insectes sont stables, restent intacts dans l'intestin moyen et également se déplacent à travers la paroi intestinale dans l'hémolymphe. Une altération de la teneur ou de la séquence en acides aminés de la protéine influence la fonction de cette protéine. De même, l'activité anti-insecte d'une protéine toxique sensible à la protéolyse peut être améliorée par l'administration d'inhibiteurs de protéase (IP), qui empêchent la dégradation des protéines toxiques, et leur permet d'exercer leur fonction défensive. Une meilleure compréhension de la structure des protéines et des modifications post-traductionnelles contribuant à la stabilité de l'intestin des herbivores aiderait à prédire la toxicité et le mécanisme des protéines de résistance des plantes (PRP). Des progrès récents dans les approches micro-array et protéomique ont révélé qu'un large éventail de PRP est

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

impliqué dans la défense des plantes contre les herbivores (Chen et al., 2005 ; Chen et al., 2009). En raison de diverses habitudes alimentaires des arthropodes, de multiples voies de signalisation comprennent l'acide jasmonique (JA), SA et/ou éthylène (ET) régulant les protéines inductibles par les arthropodes (Tab. 3) (Arimura et al., 2009).

Tableau 3 : Protéines défensives des plantes contre les insectes herbivores

Protéine de défense putative	plants	Insecte phytophage	Références
Inhibiteurs de la protéinase (PIs)	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Schizaphis graminum</i>	Zhu et al. 2004
	Tomate	<i>Manduca sexta</i>	Chen et al. 2005
	<i>Gossypium</i>	<i>Helicoverpa</i>	Dunse et al. 2010
	<i>hirsutum</i>	<i>armigera</i>	Hartl et al. 2010
	<i>Solanum nigrum</i>	<i>Manduca sexta</i>	Steppuhn et al. 2007
	<i>Nicotiana attenuata</i>	<i>Spodoptera littoralis</i>	De Leo et al. 2001
	Transgenic	<i>Spodoptera exigua</i>	De Leo et al. 2001
	Arabidopsis/oil seed rape	<i>Spodoptera exigua</i> <i>Plutella xylostella</i>	
	Transgenic Arabidopsis/ tabac	<i>Mamesrra brassicae</i> <i>Spodoptera littoralis</i>	
Lipoxygenases (LOXs)	<i>Cucumis sativus</i>	<i>Spodoptera littoralis</i>	Reymond et al. 2004
	<i>Nicotiana attenuata</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	Kempema et al. 2007
	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Agelastica alni</i>	Zhao et al. 2009
	Blé	<i>Sitobion avenae</i>	Tscharntke et al. 2001
	Tomate	<i>Macrosiphium</i>	Fidantsef et al. 1999
	<i>Nicotiana attenuata</i>	<i>euphorbiae Myzus</i> <i>persicae</i> <i>Myzus nicotianae</i>	Voelckel et al. 2004
Peroxydases (POD)	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Agelastica alni</i>	Tscharntke et al. 2001
	Arabidopsis	<i>Bemisia tabaci</i>	Kempema et al.2007
	Buffalograss	(whitefly)	Gulsen et al.2010
	Poplar	<i>Blissus oxiduus</i>	Huang et al.2007
	<i>Medicago sativa</i>	<i>Lymantria dispar</i>	Chen et al. 2009
	Corn	<i>Aphis medicaginis</i>	Stout et al. 2009
	Rice	<i>Spodoptera littoralis</i>	

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

		<i>Spodoptera frugiperda</i>	
	Tomato	<i>Manduca sexta</i>	Chen et al. 2005
Polyphénols oxydase (PPOs)	Buffalograss	<i>Blissus oxiduus</i>	Bhonwong et al. 2009
	Tomate	<i>Spodoptera frugiperda, Helicoverpa armigera</i>	Heng et al. 2004
Chitinases	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Schizaphis graminum</i>	Zhu et al. 2004
Hevein-like protéine	Arabidopsis	<i>Bemisia tabaci</i>	Kempema et al. 2007
Catalase	Bufallograssses	<i>Blissus oxiduus</i>	Heng-Moss et al.2004
Superoxide dismutase SOD	<i>Medicago sativa</i>	<i>Aphis medicaginis</i>	Stout et al. 2009

Chapitre II

Matériel et Méthodes

Partie I : Etude du milieu

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique de la Wilaya de Tlemcen

La wilaya de Tlemcen se situe à l'extrême nord-ouest de l'Algérie, entre 34° et 35° de latitude nord et 1° et 2° de longitude ouest. Elle occupe une position originale, à la fois frontière et côtière ; elle est limitée par la Mer Méditerranée au nord, par la wilaya de Ain Témouchent au nord-est, par la wilaya de Naâma au sud, par la wilaya de Sidi Bel Abbès à l'est et par la frontière algéro-marocaine à l'ouest. La wilaya de Tlemcen s'étend sur une superficie de 9017,69Km², elle comprend 20 daïras subdivisées en 53 communes (Fig. 21).

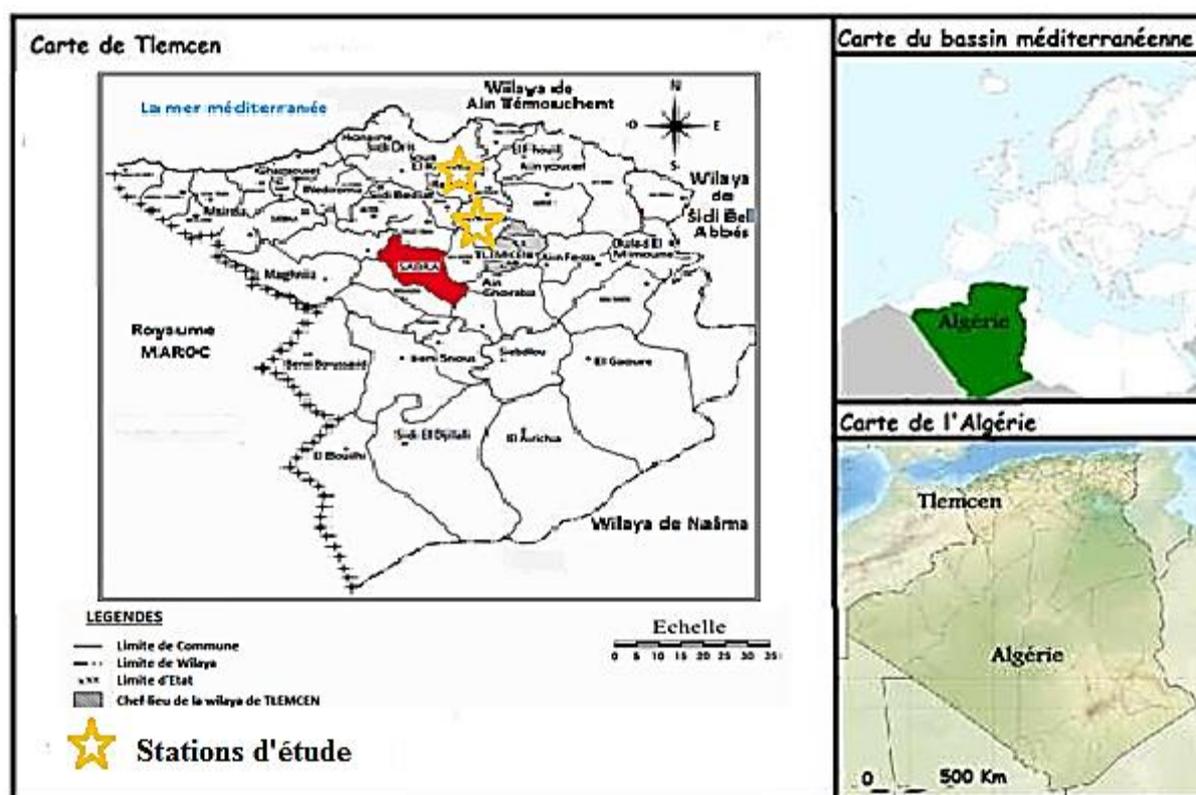


Figure 21 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen (P.D.A.U., 2013)

C'est une région essentiellement agricole avec une production très variée (légumes, légumes secs, fruits, céréales...) et une production animale, principalement avicole.

MATERIELS ET METHODES

L'agrumiculture dans cette région est assurée par une superficie totale de 350.000ha, elle est caractérisée par la production des agrumes dont les superficies occupées sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4: Répartition des agrumes dans la Wilaya de Tlemcen (DSA, 2015)

Espèces		Ferme pilote	Secteur privé	Total général
Citronnier	Superficie (Ha)	02	150	152
	Production (Qx)	100	7700	7800
Oranger	Superficie (Ha)	43	1430	1473
	Production (Qx)	900	88600	89500
Mandarinier	Superficie (Ha)	00	23	23
	Production (Qx)	00	1450	1450
Clémentinier	Superficie (Ha)	08	304	312
	Production (Qx)	350	20900	21250
Total agrumes	Superficie (Ha)	53	1907	19600
	Production (Qx)	1350	118650	120000

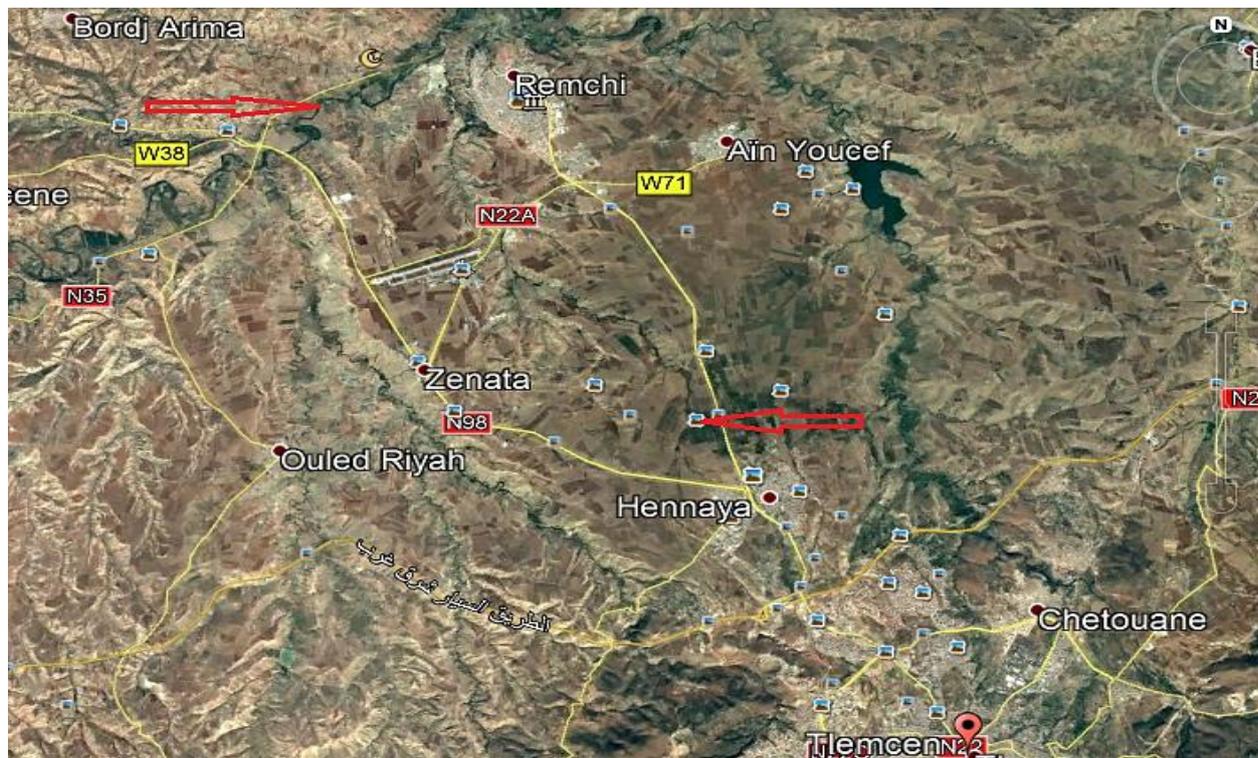


Figure 22 : Situation géographique des deux stations d'étude (Photographie satellitaire googleearth.com)

MATERIELS ET METHODES

1.1.1. Situation de la Daïra de Remchi

La région de Remchi à laquelle appartient notre première station d'étude s'étend sur une surface de 13600 ha ; elle est à 25 Km au nord du chef-lieu de la wilaya et se trouve au pied de deux zones montagneuses : les Traras orientaux et Sebaa Chioukh.

La commune de Remchi est limitée au nord par Beni-Saf, au sud par la commune de Hennaya et à l'est par la commune de Souk EL khmis, Beni Ouarsous et Zenata. Elle est située à une altitude de 200m environ et une pente de 15 à 20%. Elle est constituée de plaines et de plateaux intérieurs, entaillés par les cours d'eau de Oued Tafna et Oued Isser. Elle présente un carrefour de transit obligatoire entre Tlemcen au sud, Maghnia à l'ouest, Oran et Ain Temouchent au nord-est.

❖ Situation de la station de la ferme Pilote

La ferme pilote « Moussadek Abdelkader » est située à 4km au nord-ouest de Remchi et à 2km du croisement de Maghnia (**Figure 22**).

Elle est traversée par la route nationale RN35, reliant Remchi et Maghnia et par Oued Tafna ; elle est délimitée :

- Au nord, par la commune de Beni Ouarsous ;
- Au sud, par le secteur privé de Zenata ;
- A l'est, par le secteur privé de Remchi ;
- A l'ouest, par la commune de Fellaoucene.

Elle est située à une altitude de 124m.

1.1.2. Situation géographique de la daïra de Hennaya

Notre deuxième station se trouve à la daïra de Hennaya, elle s'étend sur une superficie 10 823 ha. Elle est située à 34° 57' 0" de latitude nord et 1° 22' 0" de longitude ouest, à une altitude de 429 m. Elle délimitée au nord par la daïra de Remchi, les communes de Zenata et Ain youcef, à l'ouest par la commune de Beni Mester, à l'est par la commune de Amieur et au sud par les daïras de Tlemcen et Chetouane.

❖ Situation de la station d'étude

Elle appartient à un propriétaire privé dénommé Berouigate, elle est délimitée au nord et à l'ouest par des vergers d'oranger, à l'est par la route de wilaya RW45 et au sud par un village d'El-Taawouniya.

MATERIELS ET METHODES

1.2. Climatologie

Cette étude a été réalisée à partir des données météorologiques fournies par la station météorologique de l'Office National de la Météorologie (ONM) de Zenata, qui est la plus proche et la plus représentative de notre aire d'étude. Elle est située au sud-ouest de la Daira de Remchi dont les coordonnées sont 35°-01 nord et 01°-25 ouest, avec une altitude de 284m.

1.2.1. Précipitations

Selon **Benfekih (1993)**, le facteur hydrique est un facteur discriminant majeur, ses variations ont un caractère d'autant plus imprévisible que l'on se place dans les zones de plus grande aridité (**Fig.23**).

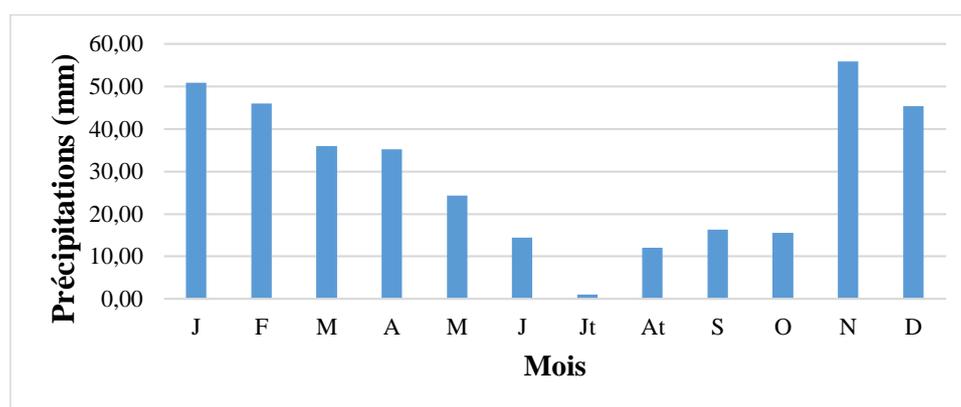


Figure 23 : Valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie pour la période **1986-2016** à la station de Zenata

❖ Régimes saisonniers

Daget (1977) a défini la notion de régime saisonnier, il a calculé la somme des précipitations par saison et a effectué le classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante en désignant chaque saison par son initiale : P : printemps ; H : hiver ; E : été ; A : automne (**Tab.5**).

Tableau 5 : Régime saisonnier des pluies à la station de Zenata

Période	Répartition saisonnière des pluies				Total pluviométrique	Régime saisonnier
	H	P	E	A		
1986-2016	142,34	95,59	27,50	87,71	353,15mm	HPAE

Notre station présente un régime HPAE, nous remarquons qu'il y'a une abondance pluviale en hiver, printemps et automne et une sécheresse estivale.

MATERIELS ET METHODES

1.2.2. Températures

La température constitue un facteur écologique fondamental et un élément vital pour la végétation et tous les autres êtres vivants dont principalement les arthropodes.

Péguy (1970) a défini la température comme étant une qualité de l'atmosphère. Les températures moyennes annuelles et mensuelles réagissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques : l'insolation, le déficit hygrométrique, les précipitations, le phénomène d'évapotranspiration etc...

Les températures moyennes mensuelles, interannuelles, calculées sur la période allant de 1986 à 2016 se présentent comme suit (**Figure 24**).

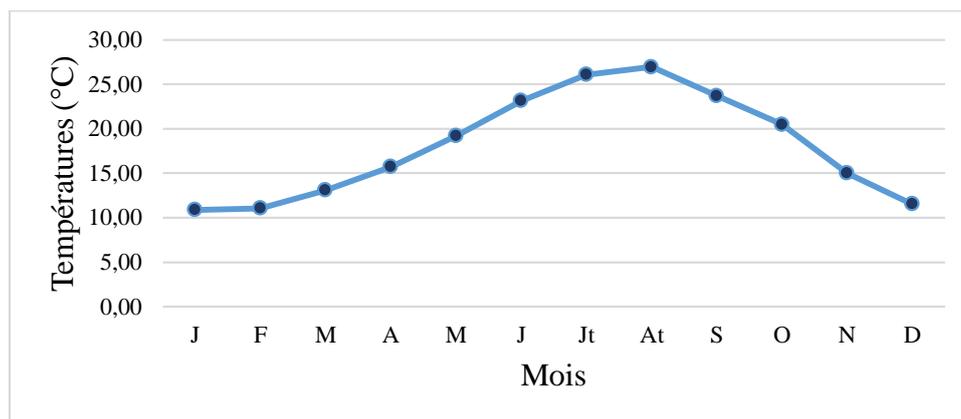


Figure 24 : Valeurs moyennes mensuelles de la température pour la période 1986-2016 à la station de Zenata

1.2.3. synthèse bioclimatique

1.2.3.1. diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Le type de climagramme le plus répandu est celui conçu par **Bagnouls et Gaussen (1953)**. La représentation sur un même graphique des précipitations moyennes mensuelles, exprimées en mm, et des températures moyennes mensuelles, exprimées en °C, avec en abscisses les mois, permet d'obtenir le diagramme ombrothermique, amélioré et systématisé par **Lieth et al., (1999)** à l'échelle mondiale. Ce dernier permet une visualisation immédiate de la durée et de l'intensité de la saison sèche (NMS), à condition que les échelles prises en ordonnées soient de telle sorte que 1°C corresponde 2 mm (**Charre, 1997 ; Richard, 1997 ; Guyot, 1999**). Ce diagramme ombrothermique, qui montre la marge mensuelle des précipitations et des températures, permet aussi d'évaluer la longueur de la saison pluvieuse (**Ozenda, 1997 ; Le Houérou, 2004 ; Bouma, 2005**). La surface du polygone est utilisée comme «indice d'intensité de sécheresse» (**Panini et Amandier, 2005**). Ce diagramme

MATERIELS ET METHODES

climatique montre ainsi la durée de la période défavorable à la croissance des végétaux et présente une signification écologique précise (Labat, 1985).

L'analyse du diagramme permet de visualiser une période pluvieuse qui s'étend généralement d'octobre à la fin avril et une période sèche qui s'étend sur 6 à 7 mois pour le reste de l'année. Toutefois, les mois de juin, juillet et août demeurent les mois les plus secs pour la région d'étude (Fig. 25)

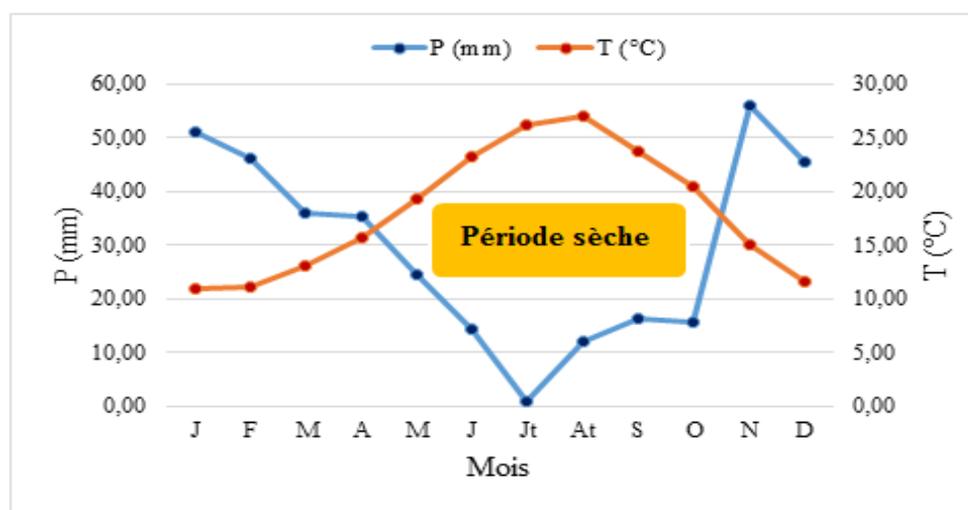


Figure 25 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) (1986-2016) pour la station de Zenata

1.2.3.2. Indice d'aridité de De Martonne

L'indice de De Martonne permet d'étudier les rapports du climat avec la végétation forestière et de positionner les stations météorologiques dans le climat précis, ceci grâce à un abaque préétabli.

De Martonne a essayé de définir l'aridité du climat par un indice qui associe les précipitations moyennes annuelles aux températures moyennes annuelles. Cet indice est d'autant plus grand lorsque le climat est plus humide. Ainsi, **De Martonne (1926)** a défini cet indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprimé par la relation suivante :

$$I = P \text{ (mm)} / T \text{ (}^\circ\text{C)} + 10$$

Avec :

I : indice de De Martonne.

P : pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en (°C).

MATERIELS ET METHODES

De Martonne (1926) propose la classification suivante :

$I < 5$ ----- climat hyperaride.

$5 < I < 10$ ----- climat désertique.

$10 < I < 20$ ----- climat semi aride.

$I > 20$ ----- climat humide.

L'indice de De Martonne calculé est de 12,69 mm/°C, ce qui montre l'appartenance de la station météorologique de la région d'étude à un régime semi-aride à écoulement temporaire.

1.2.3.3. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger

Emberger en 1952, a établi un quotient pluviothermique «Q2», spécifique au climat méditerranéen. Il est plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord et en France méditerranéenne.

À partir du Q2, **Emberger (1930)** a classé la région méditerranéenne en cinq étages bioclimatiques (Saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide). Ce quotient nous permet de situer et voir schématiquement l'évolution du climat au niveau de nos stations météorologiques (stations d'étude et stations de référence) en fonction des étages de végétation et permet aussi d'apprécier l'aridité des régions méditerranéennes sur le Climagramme Pluviothermique d'Emberger. Les valeurs du Q2 étant d'autant plus basses quand le climat est plus sec (**Fig.26**). Le quotient (Q2) a été formulé de la façon suivante :

$$Q2 = 2000P / (M^2 - m^2)$$

P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (K°).

m : Moyenne des minima du mois le plus froid (K°).

$$1K = T^{\circ}C + 273$$

En utilisant les deux valeurs « Q2 » et « m », en se référant au climagramme d'Emberger qui définit l'étage bioclimatique.

Les données pour la période 1986-2016 sont :

$$P = 353.15 \text{ (mm)}$$

$$M = 33.41 + 273 = 306.41 \quad M^2 = 93888.86 \text{ (}^{\circ}\text{K)}$$

$$m = 5.69 + 273 = 278.69 \quad m^2 = 77670.09 \text{ (}^{\circ}\text{K)}$$

$$M^2 - m^2 = 16218.77 \text{ (}^{\circ}\text{K)}$$

$$Q2 = 43,54$$

MATERIELS ET METHODES

Après avoir calculé le quotient d'Emberger, on déduit que notre région d'étude correspond à un bioclimat semi-aride inférieur à hiver tempéré (Fig. 26).

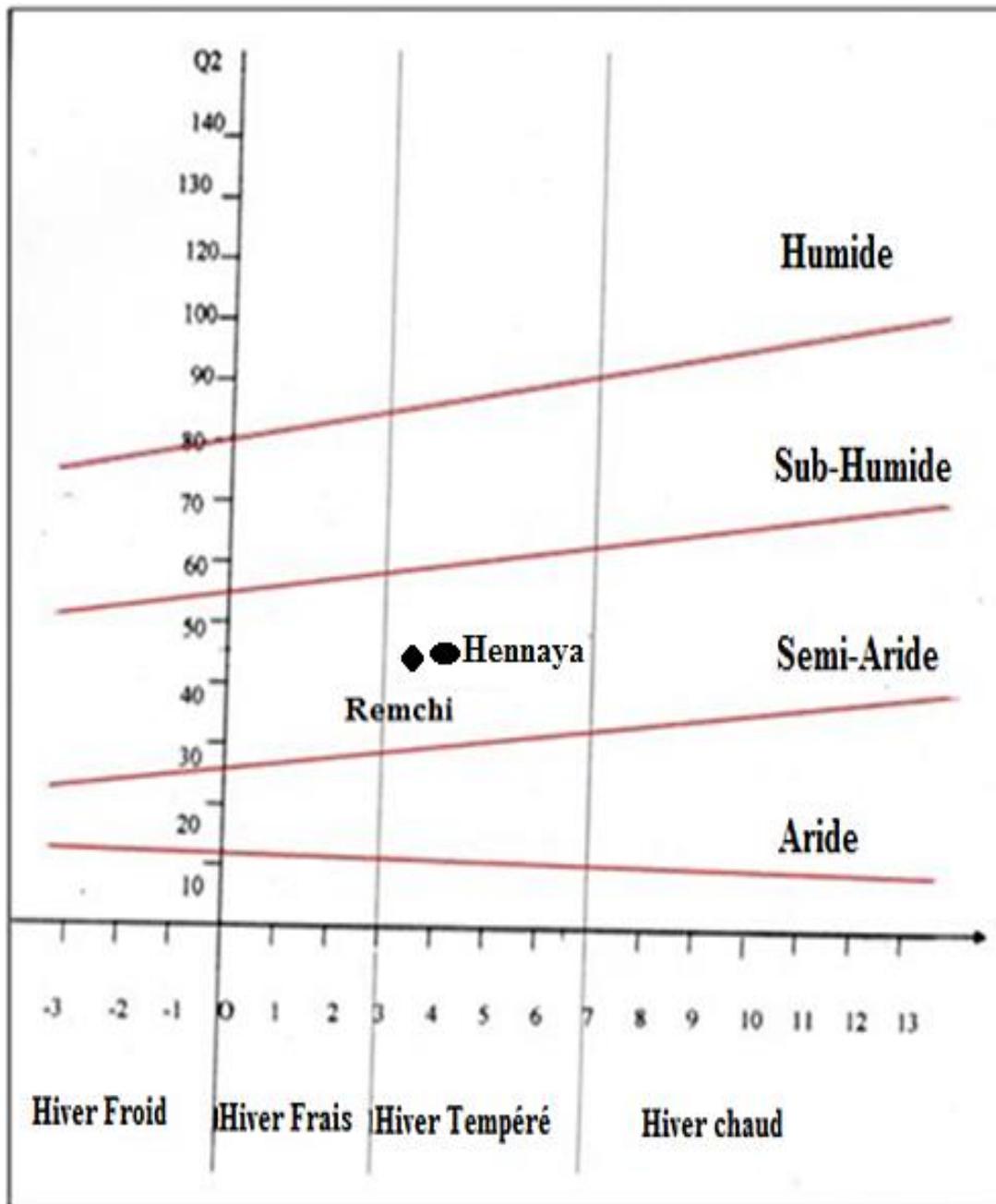


Figure 26 : Climagramme d'Emberger pour la station météorologique de Zenata (1986-2016).

Partie II : Etude entomologique

1. Introduction

Dans l'objectif d'étudier le ravageur d'importance économique majeure *Ceratitis capitata* et en raison des dégâts importants qu'il provoque aux cultures fruitières, particulièrement dans la Wilaya de Tlemcen, les agrumes ont été choisis comme modèle biologique à cette étude.

Les principaux caractères étudiés sont :

- * Taux d'infestation des agrumes par *Ceratitis capitata* estimés à partir des trous de ponte et des fruits chutés.
- * L'étude bioécologique de ce phytophage dans notre région, réalisée à partir des élevages effectués au laboratoire.

2. Echantillonnage

Les systèmes naturels sont d'une complexité si effarante qu'on ne peut en acquérir une perception acceptable que dans la mesure où les buts de l'étude sont clairement définis.

Un plan d'échantillonnage adéquat dans le temps, notamment en ce qui concerne les échelles temporelles d'observation et les impératifs du traitement des données, est à prévoir en fonction du problème écologique que l'on veut résoudre. La nécessité de contrôler des surfaces importantes conduit à l'échantillonnage systématique qui est une technique qui consiste à tirer au hasard une unité $i^{\text{ème}}$ parmi les K premières d'une population à N unités numérotées de 1 à N puis on prend de ce premier élément chacune des $K^{\text{ièmes}}$ suivantes. Selon **Debouzie et al. (1987)** ; **Gaouar et Debouzie (1995)** ; et **Gaouar (1996)**, l'échantillonnage systématique est plus apte à détecter les structures spatiales et temporelles des attaques des ravageurs.

Dans notre verger rangé en lignes et en colonnes, nous avons procédé à l'échantillonnage systématique à deux dimensions où les unités (arbres) sont réparties régulièrement sur une grille rectangulaire virtuelle (échantillons alignés) pour lesquelles non seulement l'abscisse et l'ordonnée du premier point sont tirés au hasard, mais aussi le décalage horizontal et vertical des deux points voisins.

MATERIELS ET METHODES

Dans nos vergers qui contiennent 110 arbres appartenant à la variété Washington navel, nous avons choisi une grille rectangulaire de neufs arbres, dont 3 arbres sur l'axe des abscisses et 3 sur l'axe des ordonnées. A chaque date, on tire au hasard le premier arbre. Les prélèvements seront effectués de façon à ce qu'il y ait un décalage d'un arbre en abscisse et d'un arbre en ordonnée.

Neuf prélèvements par an ont été effectués au niveau des deux stations d'étude, durant trois années successives 2011, 2012 et 2013, du mois de novembre au mois de janvier, date de récolte des fruits, à raison d'un prélèvement par semaine à dix jours. Pour chaque sortie, seize à vingt-cinq arbres ont été inspectés.

Les prélèvements sont effectués selon un échantillonnage systématique de façon à pouvoir évaluer l'incidence de certains facteurs sur les taux d'infestation de Citrus à savoir :

- La date de l'observation ;
- l'orientation des fruits dans les arbres ;
- l'arbre échantillonné.

Au niveau de chaque arbre, les fruits sont observés à hauteur de portée, de 1 à 2,5 mètres. Les piqûres sont comptabilisées pour les quatre orientations (nord, sud, est et ouest). Cet examen est pratiqué sur trois fruits infestés, non chutés, par orientation, pour chacun des arbres ; un total de douze fruits non chutés par arbre est échantillonné. Ceux trouvés par terre ont été aussi comptabilisés. Des fruits chutés sont mis dans des sachets et transportés au laboratoire pour être mis en élevage.

Des tests statistiques ANOVA I et ANOVA II ont été réalisés pour comparer l'effet des paramètres étudiés à savoir l'effet de la date, l'effet de l'orientation et de la région d'étude ; aussi un test de corrélation entre le nombre des piqûres et le nombre des fruits chutés par arbre a été utilisé pour connaître la nature de corrélation entre ces deux paramètres. Pour cette étude statistique nous avons utilisé le logiciel Genstate.

3. Mise en élevage

Pour estimer le taux d'infestation au sein de notre verger comportant des oranges *Citrus sinensis* var. *Washington navel* nous nous sommes limités à l'étude des fruits chutés puisqu'ils ont perdu leur valeur marchande. La méthode d'élevage au laboratoire est simple, elle consiste à mettre des oranges dans des cuvettes contenant du sable (**Figure 27A**) pour permettre l'enfouissement des nymphes et des larves issues de ces fruits. Une éponge mouillée assure l'hygrométrie nécessaire au développement des différents stades de l'insecte.

MATERIELS ET METHODES

Ces fruits sont préalablement observés pour dénombrer le total des larves qui vont nous informer sur les taux de mortalité larvaire et pupal, ainsi que sur les taux d'infestation relatifs à ces stades. On peut estimer les taux d'infestation à partir des trous de ponte, des larves, ou larves plus pupes plus trous de sortie, représentant le total des larves.

Chaque cuvette est recouverte de tulle pour éviter toute perturbation externe et empêcher les futurs imagos de s'envoler ; l'émergence de ces derniers est contrôlée quotidiennement pour les dénombrer et les nourrir par une substance sucrée (miel industriel + eau) afin de les maintenir en vie dans des bocaux un maximum de temps, et d'estimer leur longévité aux conditions de laboratoire (**Figure 27B**).

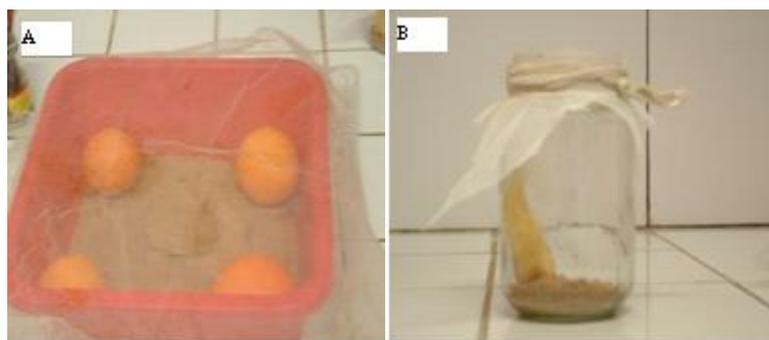


Figure 27 : Matériel d'élevage au laboratoire

4. Etude statistique

4.1. Coefficient de corrélation linéaire

Pour savoir s'il existe une liaison entre les larves et les adultes, les larves et les pupes et les pupes et les adultes, nous avons calculé les coefficients de corrélation linéaire, deux à deux.

Principe : pour établir une relation d'indépendance X et Y, il suffit de calculer le coefficient de corrélation.

Si le $F_{obs.} > F_{th.}$, la corrélation entre les deux variables est jugée significative ; il existe alors une dépendance statistique entre elles.

4.2. Droite de régression

S'il existe une corrélation significative entre les variables X et Y, on peut établir une droite de régression. Elle permet d'estimer des valeurs de Y connaissant certaines valeurs de X. Ce qui nous permet de prédire l'évolution ou l'effectif de l'un des stades en connaissant ceux de l'autre, si r^2 est positif. L'étude statistique est réalisée à l'aide du logiciel Genstate.

Partie III : Etude biochimique

1. Echantillonnage

Le choix de l'échantillonnage aléatoire a été choisi pour effectuer les prélèvements des fruits d'orange *Citrus sinensis L.* de la variété Washington navel au niveau de la station de Hennaya en fin Janvier des années 2013 et 2014. Trois arbres ont été choisis pour l'échantillonnage des fruits. Les prélèvements ont été répartis en trois lots différents

- **Premier lot** : lot de fruits sains, des fruits qui ne sont pas attaqués par la cératite (FS) ;
- **Deuxième lot** : lot de fruits attaqués par des piqûres stériles avec absence des œufs (FM') ;
- **Troisième lot** : lot de fruits attaqués par des piqûres fertiles avec présence des œufs (FM).

L'objectif de notre travail est d'étudier la différence quantitative de la production des métabolites secondaires entre les trois lots étudiés.

2. Préparation des échantillons

Les fruits ont été soigneusement lavés sous l'eau courante du robinet et secoués. L'écorce de quelques fruits de chaque lot a été soigneusement enlevé avec un éplucheur manuel et coupé en petits morceaux puis séchés dans un four à 40 ° C pendant une semaine selon la technique décrite par **Ma et al. (2009)**. Les échantillons ont été broyés en poudre fine dans un broyeur à café et stockés dans des récipients hermétiques, scellés, étiquetés et stockés à l'abri de la lumière à une température de 4° C pour une utilisation ultérieure.

MATERIELS ET METHODES

3. Plan de travail au laboratoire

Pour cette étude phytochimique nous avons réalisé le plan suivant (Fig.28)

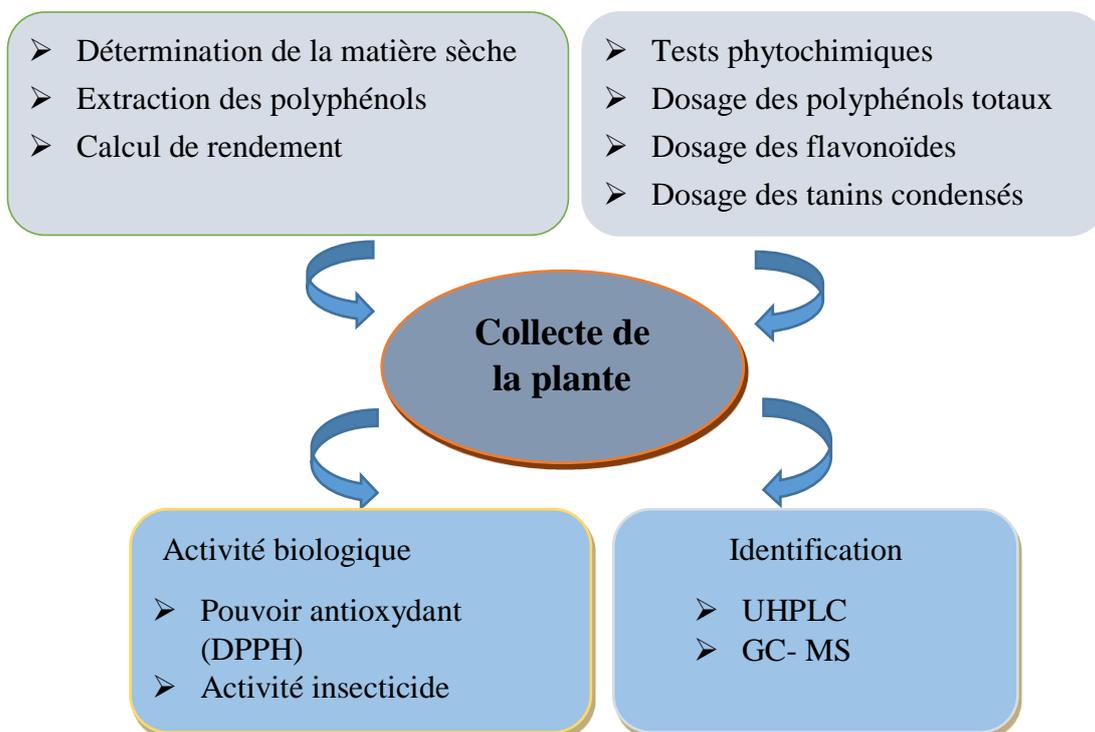


Figure 28 : Protocole de travail

4. Détermination du taux de la matière sèche

Principe :

On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve à une température de 100°C à 105°C sous la pression atmosphérique jusqu'à obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'opérer dans des vases de tare, placés dans un dessiccateur (AOAC, 1990).

Mode d'opérateur :

- ❖ Sécher à l'étuve les vases de tare pendant 30min à 100°C ;
- ❖ laisser refroidir dans un dessiccateur durant 20 à 30 min puis peser les vases de tare avec les couvercles, c'est **P1** ;

MATERIELS ET METHODES

- ❖ mettre dans chaque vase 2g d'échantillon moulu, fermer les couvercles et peser, c'est **P2** ;
- ❖ placer les vases qui contiennent l'échantillon dans l'étuve pendant 3h à 105°C ;
- ❖ laisser refroidir dans le dessiccateur pendant 15min et peser c'est **P3** ;
- ❖ remettre les vases dans l'étuve durant 1h et peser comme précédemment ;
- ❖ la différence entre deux pesées doit être inférieure à 2 mg sinon l'opération est renouvelée jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Le taux d'humidité (%) d'un échantillon de matériel végétal est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité \%} = ((P3-P2) / (P1-P2)) * 100$$

Dont :

P1 : masse en gramme du vase de tare

P2 : masse en gramme de la prise d'essai avant séchage

P3 : masse en gramme de la prise d'essai après séchage

A partir de la teneur en humidité on peut déterminer le taux de matière sèche qui est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de matière sèche \%} = 100 - \text{Taux d'humidité \%}$$

5. Extraction

Cinq grammes de poudre séchée ont été extraits avec 50 ml de méthanol-eau (800: 200, v / v) à température ambiante, pendant 22 h sous agitation. Ensuite, l'extrait a été filtré en utilisant du papier Whatman N° 1 ; le résidu a été repris avec 50 ml d'acétone-eau (700: 300, v / v). Les volumes des deux filtrats obtenus ont été mélangés puis centrifugés à l'extrait organique aqueux obtenu, concentrés sous 3060 xg pendant 5 min. L'extrait organique aqueux obtenu a été concentré sous évaporateur rotatif sous vide (40° C), jusqu'à évaporation complète du solvant organique, puis reconstitué dans du méthanol pur. Le volume final a été de 3 ml, puis stocké à 4° C dans l'obscurité jusqu'à utilisation (**Lagha Benamrouche et Madani, 2013**) (**Fig. 29**).

MATERIELS ET METHODES

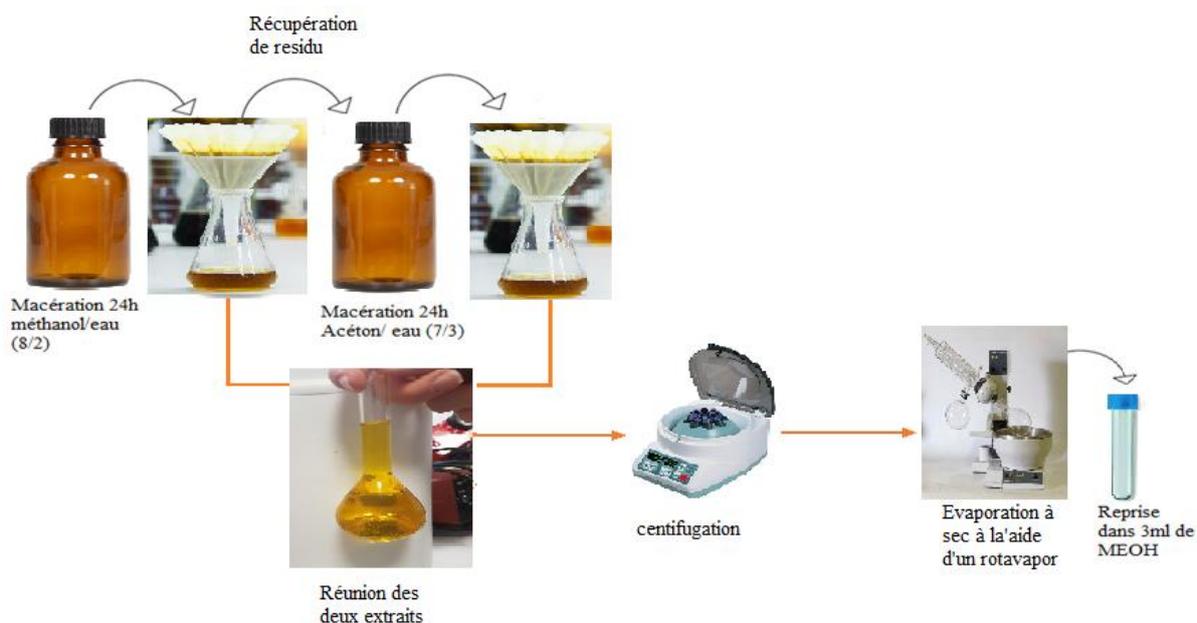


Figure 29 : Etapes de l'extraction (Iagha Benamrouche et Madani, 2013)

6. Calcul des rendements en extrait secs

On a déterminé le rendement (Rdt) des fruits en extrait sec en calculant le rapport suivant :

$Rdt\% = (P1 - P2 / P3) * 100$ dont :

P1 : poids du ballon après évaporation ;

P2 : poids du ballon vide ;

P3 : poids de la matière végétale sèche de départ.

Les extraits secs ont été repris dans quelques millilitres de méthanol pour le dosage des différents composés phénoliques, pour l'analyse par UHPLC et GC-MS et aussi pour évaluer l'activité antioxydante, ainsi que l'activité insecticide.

7. Analyses phytochimiques

Dans le but de connaître la composition chimique globale de l'écorce de *Citrus sinensis*, il est nécessaire d'effectuer des analyses phytochimiques des différents extraits préparés afin de mettre en évidence la présence ou l'absence de certains constituants chimiques.

MATERIELS ET METHODES

7.1. Tanins

A 2ml de l'extrait, on ajoute 2 à 3 gouttes de la solution de FeCl_3 à 1% après quelques minutes d'incubation, un test positif est révélé par l'apparition d'une coloration bleue ou verte foncée (Trease et Evans, 1987).

7.2. Flavonoïdes

Traiter 5ml de l'extrait avec quelques gouttes de HCL concentré. Ajouter quelques milligrammes de tournure de magnésium. La présence des flavonoïdes est confirmée par l'apparition d'une couleur rose ou rouge.

7.3. Terpenoïdes

A 5ml de notre extrait, on ajoute 2ml de chloroforme et 3ml de H_2SO_4 concentré. La présence des terpenoïdes est révélée par l'apparition de deux phases et une couleur marron en interphase.

7.4. Saponosides : réaction de Libermann-Burchard

A 5 ml de l'extrait, on ajoute 5ml d'anhydre acétique, plus 20 gouttes d' H_2SO_4 concentré. Les stéroïdes donnent avec cette réaction une coloration violacée virant au vert.

7.5. Coumarines

Solubiliser quelques milligrammes de l'extrait dans 2ml d'eau chaude. La solution obtenue est divisée en deux parties égales dont :

- ❖ La première représente un témoin ;
- ❖ La deuxième est traitée avec 0,5ml de NH_4OH à 10% ;

L'examen est réalisé sous la lumière ultraviolette et l'apparition d'une fluorescence intense révèle la présence de coumarines.

7.6. Alcaloïdes

A 0,2ml de l'extrait, on ajoute 5ml d'HCL à 1%, après incubation au bain-marie, on divise l'extrait obtenu en deux parties. On ajoute à l'un le réactif de Mayer et à l'autre le réactif de Wagner. L'apparition d'un précipité blanc ou brun révèle la présence des alcaloïdes (Sofowara, 1993).

8. Quantification de quelques classes phénoliques dans les extraits

8.1. Polyphénols totaux

Le réactif utilisé est le Folin-Ciocalteu qui est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et l'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Il est réduit lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxyde bleu de tungstène et molybdène. La coloration produite dans l'absorption maximum est comprise entre 700 et 760 nm, elle est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (**Boizot et Charpentier, 2006**).

Les polyphénols totaux ont été dosés par colorimétrie avec le réactif de Folin-Ciocalteu selon la méthode décrite par **Singleton et al. (1999)**. 100 μ L de chaque échantillon d'extrait ou acide gallique ont été mélangés avec 2000 μ L de solution de carbonate de sodium à 2% fraîchement préparée, le tout est agité par un vortex. Après 5min, 100 μ L de réactif Folin-Ciocalteu (1N) ont été ajoutés. Le mélange a été laissé reposer pendant 30 minutes et les polyphénols ont été déterminés contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre UV-VIS à 700 nm.

Une gamme d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique comme contrôle positif à différentes concentrations initiales (0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 mg/ml). Les teneurs en polyphénols totaux des extraits sont alors exprimées en milligramme équivalent acide gallique par gramme de la matière végétale sèche (mg EAG/g MS).

8.2. Flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé en utilisant une méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium $AlCl_3$ et la soude (NaOH). Le trichlorure d'aluminium forme un complexe jaune avec les flavonoïdes et la soude forme un complexe de couleur rose qui absorbe dans le visible à 510nm.

La teneur totale en flavonoïdes a été déterminée à l'aide d'un dosage colorimétrique (**Trabelsi et al., 2010**). Une aliquote (250 μ L) d'échantillon dilué ou de solution étalon de catéchine a été ajoutée à 75 μ L de solution de $NaNO_2$ (7%) et mélangée pendant 6 min avant d'ajouter 150 μ L d' $AlCl_3$ (10%). Après 5 min, 500 μ L de solution de NaOH (1 M) ont été ajoutés. Le volume final a été ajusté à 2,5 ml, soigneusement mélangé, et l'absorbance du mélange a été déterminée à 510 nm.

MATERIELS ET METHODES

Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine comme contrôle positif à différentes concentrations (0 ; 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 mg/ml). La teneur totale en flavonoïdes a été exprimée en mg d'équivalent catéchine par gramme de poids sec (mg EC/.g MS).

8.3. Tanins condensés

La teneur en tanins a été mesurée en utilisant le test colorimétrique décrit par **Sun et al., (1998)**. Brièvement, 50 µL de solution d'extrait ont été mélangés avec 3000 µL d'une solution de vanilline-méthanol à 4% et 1,5 ml d'acide chlorhydrique concentré. Le mélange a été laissé au repos pendant 15 minutes. L'absorbance a été lue à 510 nm contre le blanc (mélange sans échantillon). La teneur en tanins a été exprimée en mg d'équivalent catéchine (CE) par gramme de poids sec (mg EC/g MS),

Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine comme contrôle positif à différentes concentrations (0 ; 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 mg/ml).

9. Tests statistiques

Les données ont été analysées par ANOVA à un facteur avec le test de différence la moins significative (LSD) de Tukey. Les moyennes et les écarts-types des données ont été calculés ; pour chaque analyse, un niveau de signification de 5% a été supposé. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec Statgraphics 5.1 (Statpoint Technologies Inc., USA).

10. Détermination qualitative des composées phénoliques par UHPLC

10.1. Préparation des échantillons

Une extraction liquide-liquide pour l'extrait brut a été effectuée en mélangeant ce dernier avec le même volume de l'acétate d'éthyle et de l'eau distillée dans une ampoule à décanter (l'opération a été répétée trois fois). Après agitation et décantation, la phase d'acétate d'éthyle a été récupérée puis séchée par un évaporateur rotatif sous pression réduite à 40°C et les résidus secs de différents échantillons ont été repris par 1 ml d'acétonitrile à 10%. La phase aqueuse a été utilisée pour la solubilité différentielle des protéines. Comme chaque protéine est plus ou moins soluble en solution selon sa composition, on peut en séparer plusieurs en fonction de leur tendance à précipiter plus ou moins vite quand on change la force ionique de la solution qui les contient. Pour cela nous avons utilisé le sulfate

MATERIELS ET METHODES

d'ammonium (NH₄)₂SO₄. Sa solubilisation n'affecte pas la température de la solution, il ne dénature pas les protéines et ne coûte pas cher.

Les deux préparations (phase AE et Aqueuse) ont été analysées par la suite par Ultra chromatographie en phase liquide à haute performance (UHPLC).

10.2. Analyse par UHPLC

L'analyse HPLC des deux phases de différents échantillons a été réalisée par une UHPLC couplée à une détecteur Diod Array detector (DAD 3000 RS et MWD 3400 RS), ainsi une détection de fluorescence (FLD 3100 RS et FLD 3400 RS) (Ultimate 3000) en utilisant une column C18 (5µm 4,6*250 mm). C/N5020- 03946, S/N 3FF37044 GL sciences Lnc. Japan) column compartements. (TCC 3000 SD et TCC 3000 RS) équipée d'un autoinjecteur (WPS 3000 SL et WPS 3000 RS), une pompe (SRD 3* 00), on a opté pour un débit de 1ml/ min et une température fixé à 25 °C avec un volume d'injection de 10µl. Les longueurs d'ondes ont été fixées à 280, 300 470 et 594 nm.

La phase mobile était constituée de deux solvants : l'eau bi-distillée et l'acétonurile avec un graduant (90 / 40) en respectant les étapes suivantes : Etape 1 : 10% d'ACN pendant 2min ; Etape 2 : de 10% à 90% d'ACN pendant 40 min ; Etape 3 : de 90% à 95% d'ACN pendant 1min ; Etape 4 : 95% d'ACN pendant 5min ; Etape 5 de 95% à 10% pendant 1min ; Etape 6 : 10% d'ACN pendant 3min.

10.3. Analyse par GC MS

Les extraits de la phase d'acétate d'éthyle ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse (Agilent: GC 7890B). Système de chromatographie en phase gazeuse (GC) à piège à ions MS 240, équipé d'un détecteur MS et d'une colonne capillaire HP-5MS (30 m × 250 µm, 0,25 µm d'épaisseur de film). La température de l'injecteur a été réglée à 280°C et la température du four à GC a été programmée à 40°C pendant 2 min, puis une pente à 50° C jusqu'à 250° C a été maintenue pendant 20 min. L'analyse a été effectuée dans un mode de balayage complet pendant 60 minutes. L'hélium était le gaz porteur à un débit de 1mLmin⁻¹, 1µL d'échantillons a été injecté avec le mode de division et la gamme d'ionisation de 50 à 1000 mV.

11. Estimation des activités biologiques

11.1. Activité antioxydante

Les antioxydants sont des molécules qui, lorsqu'elles sont présentes à faibles concentrations par rapport aux substrats oxydables, retardent ou stoppent le processus d'oxydation. La capacité antioxydante de molécules peut être évaluée soit *in vivo*, sur des organismes vivants, soit *in vitro*, en utilisant des tests qui miment le phénomène physiologique. Pour évaluer le

MATERIELS ET METHODES

pouvoir antioxydant *in vitro* des extraits naturels, différentes méthodes ont été développées. Dans notre travail, nous avons opté pour celle du piégeage du radical DPPH* (2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl) à une température ambiante, le radical DPPH* présente en solution alcoolique, une intense coloration violette qui disparaît au contact d'une substance donneuse de protons (**Fig. 30**). Cette décoloration met en évidence le pouvoir antioxydant d'un échantillon par sa capacité à piéger le radical libre et se traduit par une diminution de l'absorbance à 517nm (**Masuda et al., 1999**).

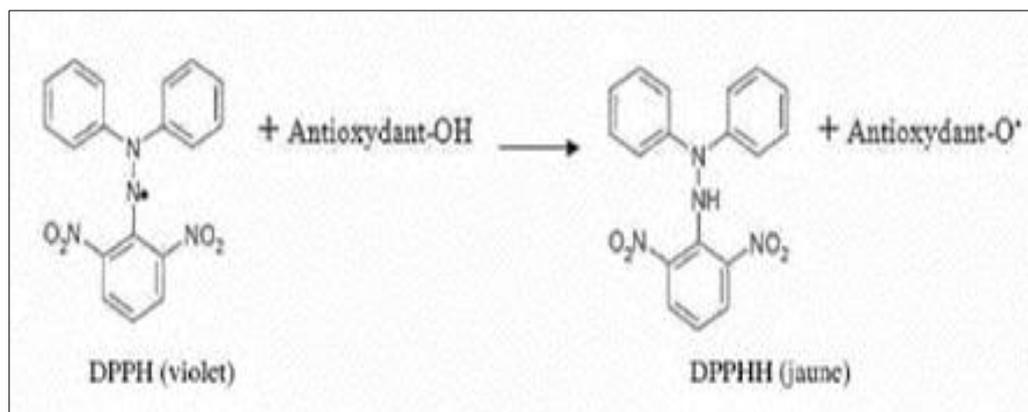


Figure 30 : Forme réduite du radical DPPH*

La méthode de piégeage du radical libre DPPH* a été choisie car c'est l'une des méthodes les plus simples, les plus rapides et les plus efficaces à cause de la grande stabilité du radical (**Bozin et al., 2008**).

L'activité antioxydante des extraits est mesurée en terme de donneur d'hydrogène ou la capacité de piégeage, à l'aide de radical stable DPPH*(2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl) (**Brand-Williams et al., 1995**).

En présence d'un donneur d'hydrogène, le DPPH* est réduit à la forme non radicalaire de couleur jaune pâle (forme hydrazine). Ce changement de couleur est accompagné d'une diminution de l'absorbance (DO) qui peut s'exprimer par pourcentage de réduction de DPPH*.

Conventionnellement, une grande capacité de piégeage (réduction) des radicaux libres est considérée comme une grande activité antioxydante (**Lee et al., 2004**).

Un volume de 30 µL de différentes concentrations de chaque extrait (62,5 ; 125 ; 250 ; 500 ; 750 et 1000 µg / ml) a été ajouté à un volume égal (3ml), d'une solution méthanolique de DPPH* (0,2 mM) fraîchement préparée. Après 30 min d'incubation à l'obscurité à une

MATERIELS ET METHODES

température ambiante, l'absorbance a été enregistrée à 517 nm et comparée à un standard (quercétine). Le pourcentage d'activité de piégeage a été calculé comme le rapport de l'absorption de l'échantillon réactif au contrôle (solution de DPPH* 0,1 mM sans extrait).

Pour chaque dilution, on prépare un blanc pour calibrer l'appareil, il est constitué de 3ml de MEOH additionné à 30µl de la solution de l'échantillon.

On prépare un contrôle négatif par l'addition de 4 ml de solution de DPPH* à 30µL de méthanol.

La quercétine a été utilisée comme contrôle positif dont l'absorbance est mesurée dans les mêmes conditions opératoires que celles de l'échantillon.

L'activité de piégeage radicalaire a été exprimée en pourcentage d'inhibition et a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$\text{Pourcentage d'Inhibition} = ((AC(0) - AC(t)) / AC(0)) * 100$$

Dont :

AC(0) : l'absorbance du contrôle négatif à t = 0 min

AC(t) : l'absorbance de l'antioxydant après incubation à t

A partir de la variation du pourcentage d'inhibition de DPPH* en fonction de la concentration de l'extrait phénolique, nous pourrions déterminer graphiquement « IC50 » (noté aussi EC50 : efficient concentration), nécessaire pour réduire ou inhiber 50% du DPPH*. La valeur d'IC50 la plus faible représente la plus grande activité de piégeage (**Brand-williams et al., 1995**).

Il a été suggéré que l'inverse d'IC50 nommé le pouvoir anti-radicalaire (ARP : Anti-radical Power) indique clairement et directement le potentiel de piégeage des radicaux.

$$\text{ARP} = 1 / \text{IC50} \text{ (**Brand-williams et al., 1995**).$$

11.2. Activité insecticide

Les tests de bio-essais ont été réalisés au Centre National des Sciences et Technologie Nucléaire (CNSTN) en Tunisie. La souche de *Ceratitis capitata* utilisée est celle dénommée Vienna 8. C'est une souche à sexage génétique qui a été développée dans le but de séparer les sexes afin de faciliter la manipulation des individus dans le laboratoire et de ne lâcher que des mâles stériles dans les vergers.

MATERIELS ET METHODES

La souche est élevée dans le laboratoire de la mouche stérile CNSTN (Tunisie) dans un milieu de culture dont 100 Kg sont composés de : 28% de son de blé, 7% de levure, 14% de sucre, 1,7 L de HCL, 200g benzoate de sodium et 50% d'eau); dans des conditions environnementales standard (25 ± 2 ° C, 60 ± 5 % RH, dans l'obscurité). Elle a été utilisée pour faire des bio-essais par les différents extraits bruts effectués sur les stades larvaires L1 et L2 ainsi que les adultes.



Figure 31 : Pupae des souches à déterminisme sexuel **a** : pupa mâle ; **b** : pupa femelle (**Franz et Kerremans, 1993**)

11.2.1. Bio-essais contre les adultes

Des cohortes de 10 adultes dont 5 mâles et 5 femelles âgés de 24 heures ont été placés dans des récipients en plastique (**Fig. 32**) contenant une alimentation artificielle (levure, sucre) et 5 ml d'eau préalablement mélangés avec des concentrations de 20 ; 30 et 40 mg/ml d'extrait brut.



Figure 32 : Bio-essais contre les adultes

MATERIELS ET METHODES

11.2.2. Bio-essais contre les larves des deux stades L1 et L2

Des cohortes de 10 larves L1 et L2 âgées d'un jour ont été mises en élevage dans des récipients en plastique contenant une alimentation artificielle préalablement mélangée avec des concentrations de 20 ; 30 et 40 mg/ml d'extrait brut (**Fig. 33**).



Figure 33 : Bio-essais contre les larves L1 et L2

11.3. Calcul des taux d'émergence

Les pupes issues des larves L1 et L2 traitées par les extraits ont été comptées et mises dans des récipients en présence d'une alimentation et de l'eau pour dénombrer les adultes qui en ont émergés (**Fig. 34**).



Figure 34 : pupes issues des larves traitées

MATERIELS ET METHODES

11.4. Test d'éclosion

Ce test consiste à récolter les œufs pondus par les femelles émergées à partir des pupes issues des larves traitées par les extraits (**Fig. 35**) et cela chaque 24 heures pendant trois jours successifs.



Figure 35 : ponte des œufs

Les œufs récoltés chaque 24 heures ont été alignés, nous les avons comptés puis conservés à une température de 24 à 25°C pendant 3 jours, temps nécessaire pour l'éclosion. Par la suite, nous avons compté les œufs non éclos pour faire la différence et calculer le taux d'éclosion (**Figures 36 à 40**).



Figure 36 : œufs avant alignement

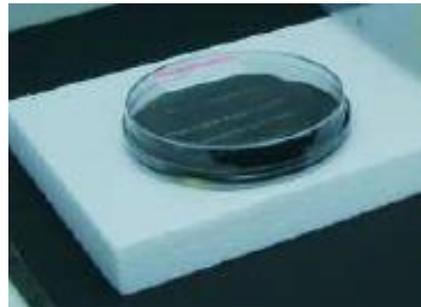


Figure 37 : œufs après alignement

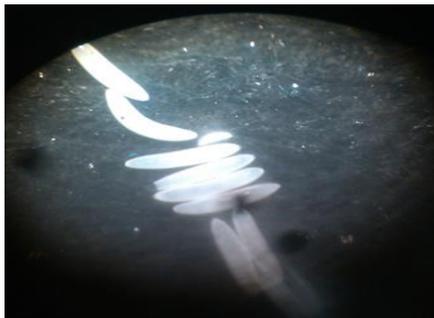


Figure 38 : œufs avant éclosion



Figure 39 : œufs après éclosion

MATERIELS ET METHODES

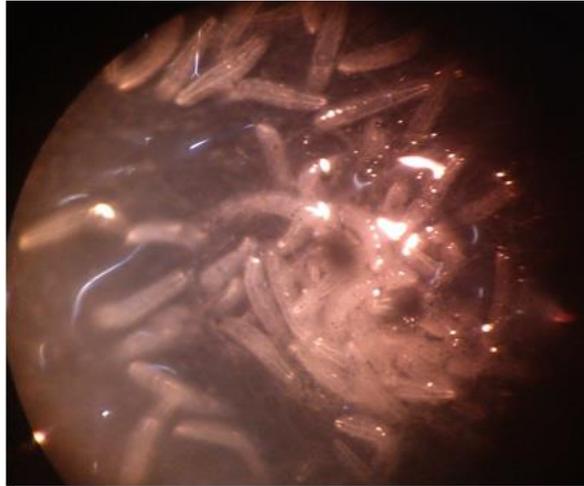


Figure 40 : larves au troisième jour après éclosion des œufs

Pour ces bio-essais, on s'est intéressé au taux de mortalité des larves et des adultes, le poids et le taux d'émergence des pupes.

Chapitre III

Résultats et Discussion

RESULTATS ET DISCUSSION

PARTIE I : RESULTATS ET INTERPRETATION

1. Etude entomologique

L'estimation des taux d'infestation a été faite à partir des nombres de trous de ponte et ceux des fruits chutés. Des élevages ont été menés au laboratoire à partir des fruits chutés, ramassés sous les arbres échantillonnés. Ces élevages avaient pour but de connaître le cycle biologique de la mouche ; à savoir les durées des développements larvaire et nymphal ; les taux de mortalité ; le sex-ratio et enfin d'estimer la longévité des adultes ainsi obtenus dans les condition de laboratoire.

1.1. Etude de l'infestation en fonction des trous de ponte

Les taux d'infestation des fruits ont été estimés à partir des nombres des trous de ponte, comptabilisés sur trois fruits d'orange de chaque orientation (nord, sud, est et ouest) durant trois années successives 2011, 2012 et 2013.

1.1.1. Etude statistique à un seul facteur

✓ Effet de la date

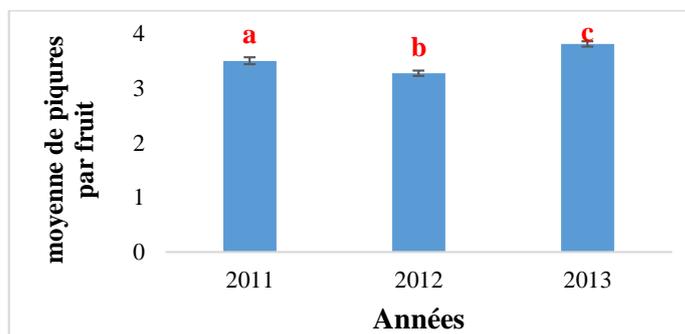


Figure 41 : Moyennes des trous de ponte par orange selon l'année

L'analyse de variance à un facteur ANOVA I a montré que les infestations variaient d'une manière hautement significative d'une année à une autre avec $P < 0.001$.

RESULTATS ET DISCUSSION

✓ Effet de l'orientation

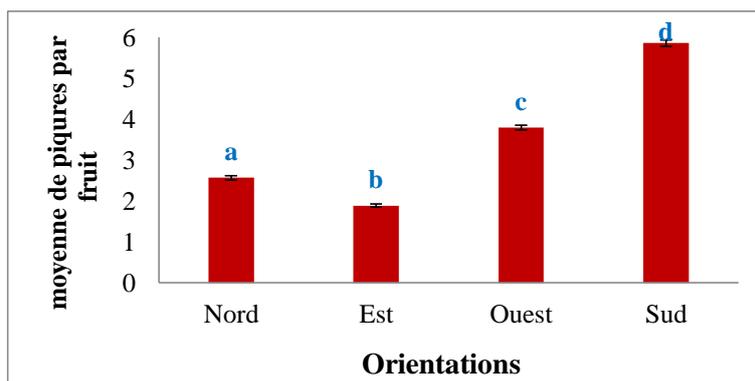


Figure 42 : Moyennes des trous de ponte par orange selon l'orientation

Les résultats obtenus ont montré que l'orientation influence grandement les attaques de la cératite, la partie sud présentait la moyenne la plus élevée de trous de ponte ($5,86 \pm 0,08$) suivie par les orientations ouest, nord et est ; ce qui a été confirmé par les analyses de variance avec $P < 0.001$ (**Fig.42**) ; cela serait dû à la durée de l'exposition des fruits au soleil, ce qui rend leur zest plus mou, donc facile à être piqué par la cératite, dans la partie sud plus que dans les autres orientations.

✓ Effet de la station : Remchi (124m d'altitude) Hennaya (429m)

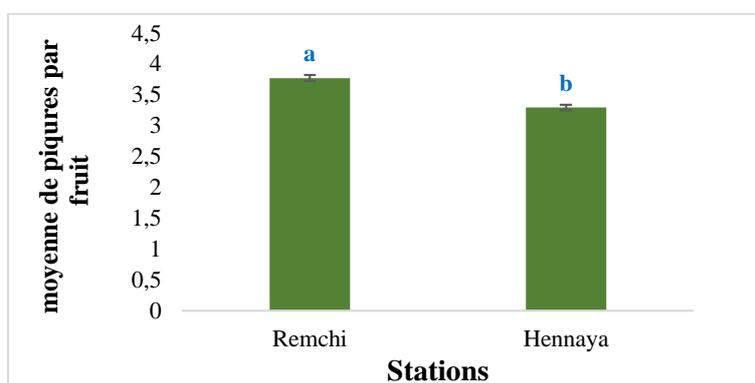


Figure 43 : Moyennes des trous de ponte par orange selon les stations

Les analyses de variance ont montré que les infestations variaient d'une manière hautement significative d'une station à une autre avec $P < 0.001$. On a enregistré une moyenne du nombre de piqures pour la région de Remchi de $3,77 \pm 0,05$ alors qu'elle était de $3,29 \pm 0,04$ pour la région de Hennaya, cela revient peut être au microclimat car la région de Remchi est un peu plus chaude que celle de Hennaya ainsi qu'au travail du sol au niveau de la station de

RESULTATS ET DISCUSSION

Hennaya. En effet, le labourage est une technique très utilisée pour détruire les pupes des insectes phytophages qui se trouvent dans le sol, les empêchant ainsi de donner de nouvelles générations.

✓ Effet de l'arbre

L'étude de la variation de nombre de piqûres par arbre a prouvé qu'il y avait une variation significative d'un arbre à un autre avec $p = 0,003$ et des moyennes qui variaient de 6,08 à 27,58 pour la région de Remchi et entre 2,34 et 23,56 pour $p = 0,008$ pour la région de Hennaya (**Fig. 44 et 45**).

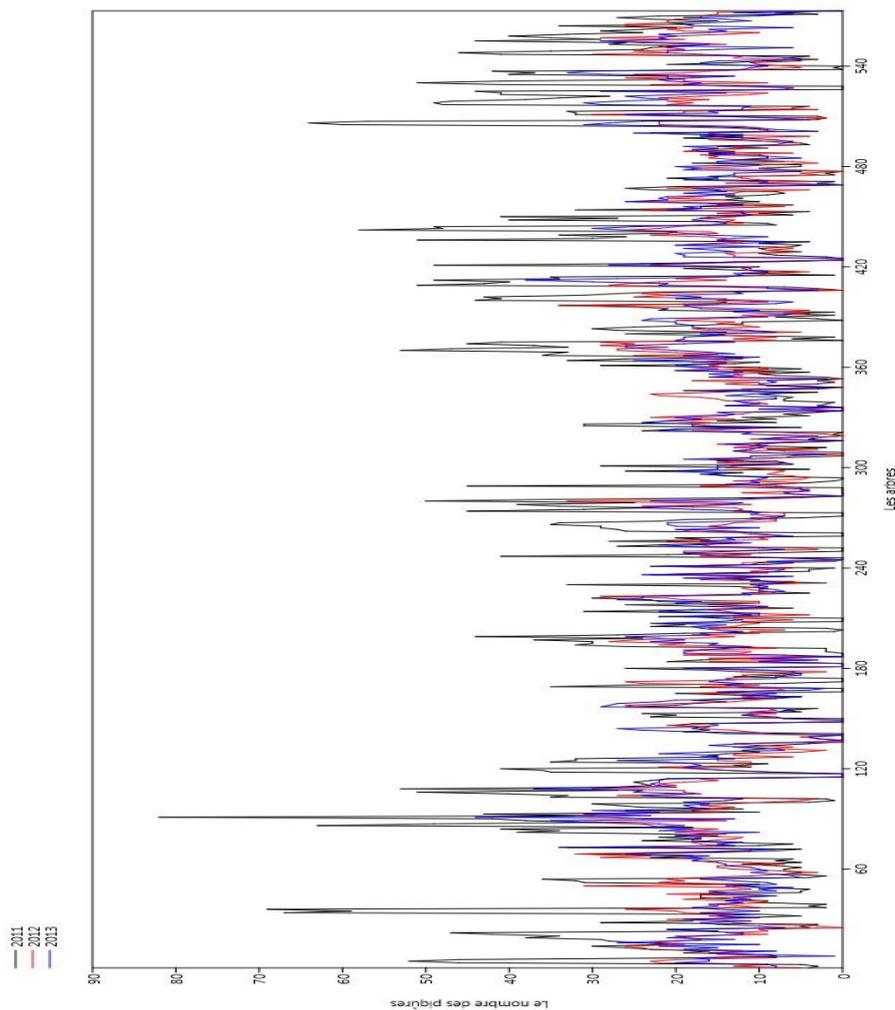


Figure 44 : Variation du nombre de piqûres par arbre selon les années dans la station de Remchi

RESULTATS ET DISCUSSION

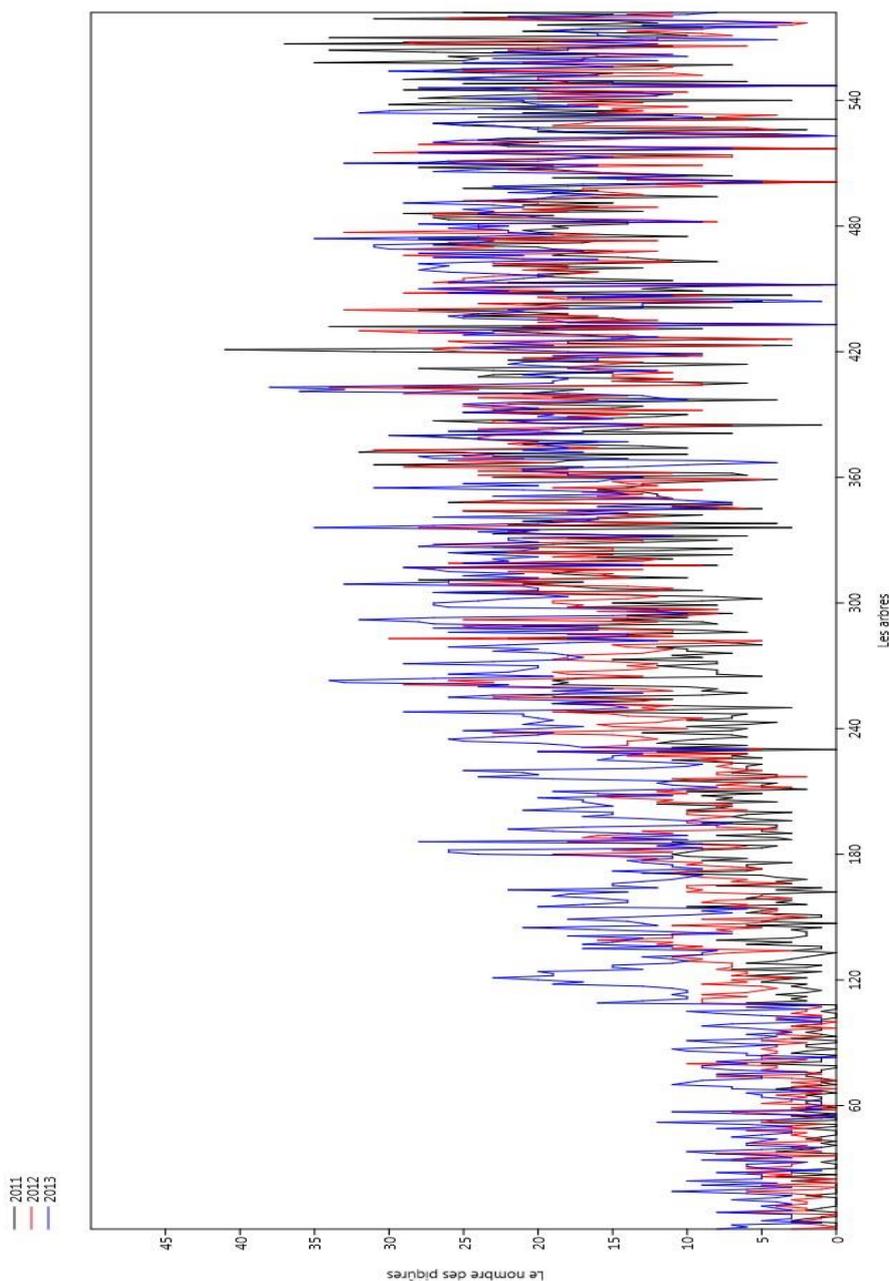


Figure 45 : Variation de nombre de piqûres par arbre selon les années dans la station de Hennaya

1.1.2. Etude statistique à deux facteurs

L'étude de l'interaction années-orientations a montré une différence hautement significative d'une orientation à une autre et d'une année à une autre avec un $P < 0.001$. Nous avons enregistré la moyenne la plus élevée de $7,03 \pm 0,12$ pour le sud en 2013 suivie par une moyenne de $5,9 \pm 0,13$ pour l'année 2012, tandis que la moyenne la plus faible de $1,26 \pm 0,04$ a été enregistrée en 2012 pour l'orientation est. D'autre part, nous avons obtenu une des résultats similaires pour les orientations nord et est en 2011 avec les moyennes $3 \pm 0,13$ et

RESULTATS ET DISCUSSION

2,78 ±0,11 respectivement, ainsi qu'une autre similitude entre les années 2011 et 2013 pour les orientations nord et ouest (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Etude de l'interaction Orientations-Années

	2011	2012	2013
Sud	4,66 ± 0,14 ^{aB}	5,9 ± 0,13 ^{bB}	7,03 ± 0,12 ^{cB}
Nord	3 ± 0,13 ^{aA}	1,85 ± 0,06 ^{bA}	2,87 ± 0,07 ^{aA}
Est	2,78 ± 0,11 ^{aA}	1,26 ± 0,04 ^{bC}	1,63 ± 0,04 ^{cC}
Ouest	3,56 ± 0,12 ^{aC}	4,08 ± 0,09 ^{bD}	3,73 ± 0,09 ^{aD}

*Chaque point de donnée représente la moyenne M ± SE. Chaque donnée avec la même lettre est non pas significativement différente (p>0,05). Les lettres en majuscule indiquent des différences statistiquement significatives entre les différentes ORIENTATIONS de la même ANNÉE. Les petites lettres indiquent des différences statistiquement significatives entre différentes ANNÉES pour la même ORIENTATION

L'analyse de variance a montré qu'il existait également une différence significative entre 2011 et 2012 pour la région de Remchi (P < 0.001) et une similitude entre la moyenne du nombre de piqures pour les années 2012 et 2013. Tandis que la différence est hautement significative d'une année à une autre pour la région de Hennaya avec P < 0.001, nous avons noté une augmentation des moyennes du nombre de piqures d'une année à une autre (**Tab. 7**).

Tableau 7 : Etude de l'interaction stations-années

	2011	2012	2013
Remchi	4,3 ± 0,10 ^{aA}	3,4 ± 0,07 ^{bA}	3,62 ± 0,07 ^{bA}
Hennaya	2,71 ± 0,07 ^{aB}	3,15 ± 0,07 ^{bB}	4 ± 0,07 ^{cB}

*Chaque point de donnée représente la moyenne M ± SE. Chaque donnée avec la même lettre est non pas significativement différente (p>0,05). Les lettres en majuscule indiquent des différences statistiquement significatives entre les différentes REGIONS pour la même ANNÉE. Les petites lettres indiquent des différences statistiquement significatives entre différentes ANNÉES pour la même REGION.

L'analyse de variance à deux facteurs a montré qu'il y avait aussi une différence hautement significative d'une région à une autre pour les trois années d'étude, nous avons enregistré les moyennes les plus élevées en 2011 et 2012 pour la région de Remchi qui sont respectivement : 4,3 ± 0,1 et 3,4 ± 0,07, alors que la moyenne la plus élevée pour l'année 2013 a été enregistrée pour la région de Hennaya 4 ± 0,07 (**Tableau 8**).

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 8 : Etude de l'interaction stations - orientations

	Nord	Sud	Est	Ouest
Remchi	3,21 ± 0,10 ^{aA}	5,94 ± 0,11 ^{bA}	2,45 ± 0,08 ^{cA}	3,65 ± 0,09 ^{dA}
Hennaya	1,95 ± 0,05 ^{aB}	5,79 ± 0,11 ^{bB}	1,34 ± 0,03 ^{cB}	3,92 ± 0,08 ^{dB}

*Chaque point de donnée représente la moyenne $M \pm SE$. Chaque donnée avec la même lettre est non pas significativement différente ($p > 0,05$). Les lettres en majuscule indiquent des différences statistiquement significatives entre les différentes REGIONS et la même ORIENTATION. Les petites lettres indiquent des différences statistiquement significatives entre différentes ORIENTATIONS pour la même REGION.

Le test ANOVA II a permis de montrer une différence hautement significative avec $P < 0.001$, d'une orientation à une autre, pour les deux régions de Remchi et Hennaya pour lesquelles on a constaté que l'orientation sud présentait les moyennes les plus élevées $5,94 \pm 0,11$ et $5,79 \pm 0,11$ respectivement, suivies par l'orientation ouest pour les deux régions.

L'analyse de variance a montré qu'il existait aussi une différence significative ($P < 0.001$) entre les deux régions pour les autres orientations, où les moyennes les plus élevées pour le nord et l'est ont été enregistrées à Remchi et à l'orientation ouest pour Hennaya.

L'analyse de variance a montré que l'interaction des trois facteurs étudiés présentait une différence hautement significative avec $P < 0.001$.

1.2. Etude de l'infestation en fonction des fruits chutés

Les taux d'infestation des fruits ont été estimés aussi à partir du nombre de fruits chutés, comptabilisés pour les quatre orientations, durant trois années successives (2011, 2012 et 2013).

1.2.1. Etude statistique à un seul facteur

✓ Effet de la date

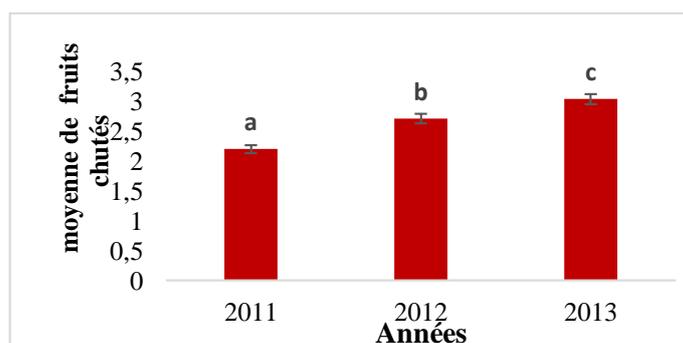


Figure 46 : Moyennes des fruits chutés selon l'année

RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse de variance ANOVA I a montré que les infestations variaient d'une manière hautement significative d'une année à une autre avec $P < 0.001$.

✓ Effet de l'orientation

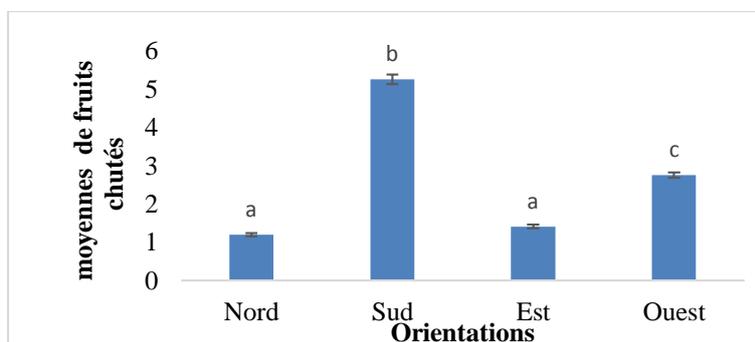


Figure 47 : Moyennes des fruits chutés selon l'orientation

Les résultats obtenus ont montré que l'orientation influençait grandement les attaques de la cératite ; d'après la **figure 47**, la partie sud a présenté la moyenne la plus élevée ($5,25 \pm 0,08$) de fruits chutés ; ce qui est confirmé par les analyses de variance avec $P < 0.001$.

✓ Effet de la station

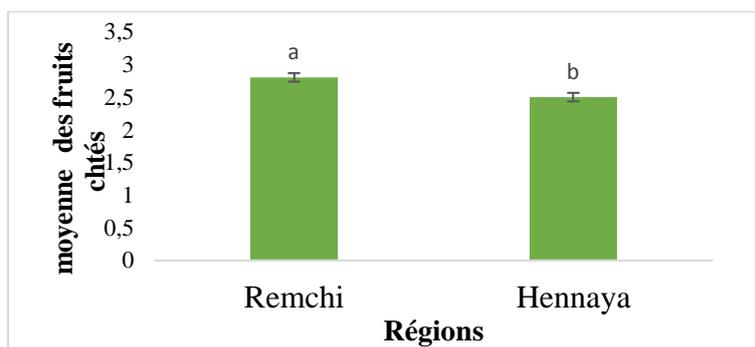


Figure 48 : Moyennes des fruits chutés selon la station

Les analyses de variance ont montré que les infestations variaient d'une manière hautement significative d'une station à une autre avec $P < 0.001$, nous avons enregistré une moyenne de fruits chutés de $2,5 \pm 0,06$ pour la région de Hennaya alors qu'elle était de $2,8 \pm 0,07$ pour la région de Remchi.

RESULTATS ET DISCUSSION

✓ effet de l'arbre

Les figures 49 et 50 ont montré une variation très importante des moyennes des fruits chutés selon les arbres échantillonnés durant les trois années d'étude, aussi bien pour les vergers de Hennaya que pour ceux de Remchi, ces variations sont hautement significatives avec $P < 0.001$.

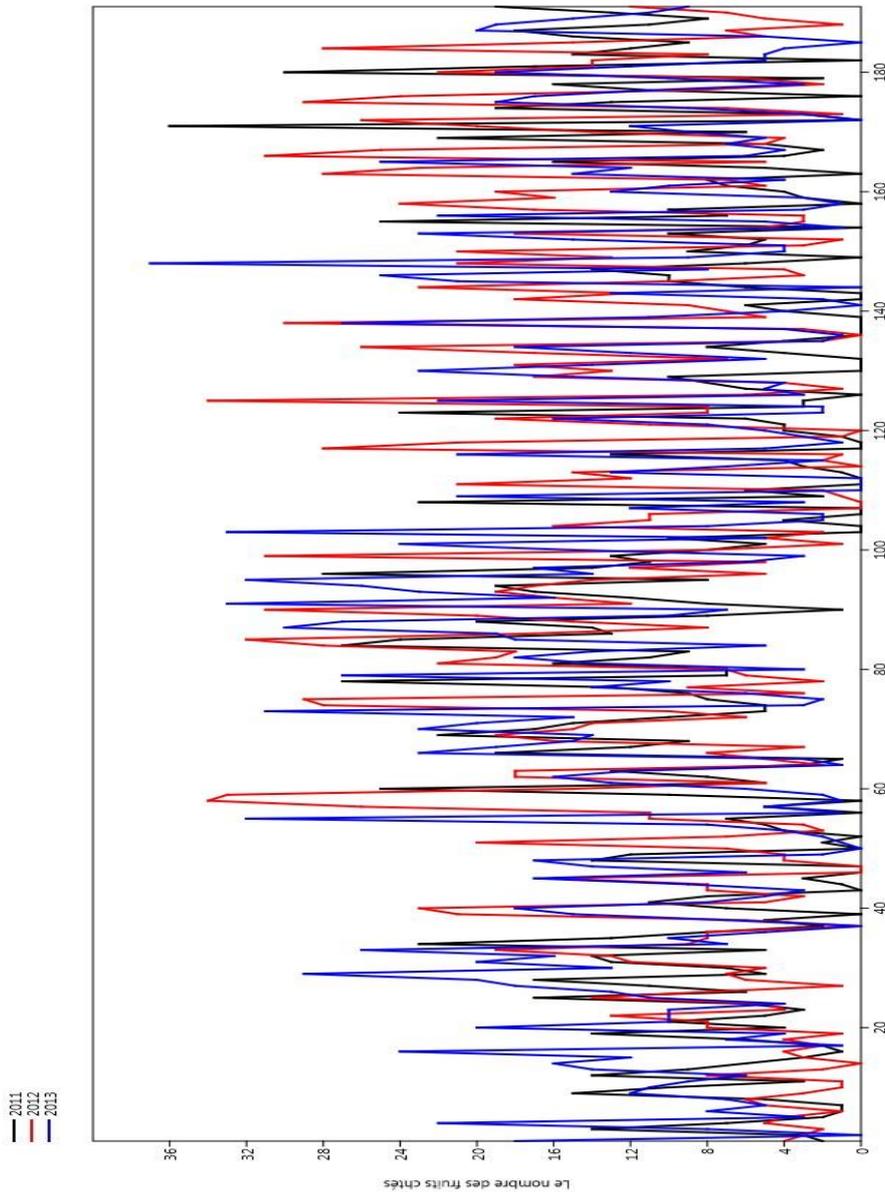


Figure 49 : Variation du nombre de fruits chutés selon les années dans la station de Remchi

RESULTATS ET DISCUSSION

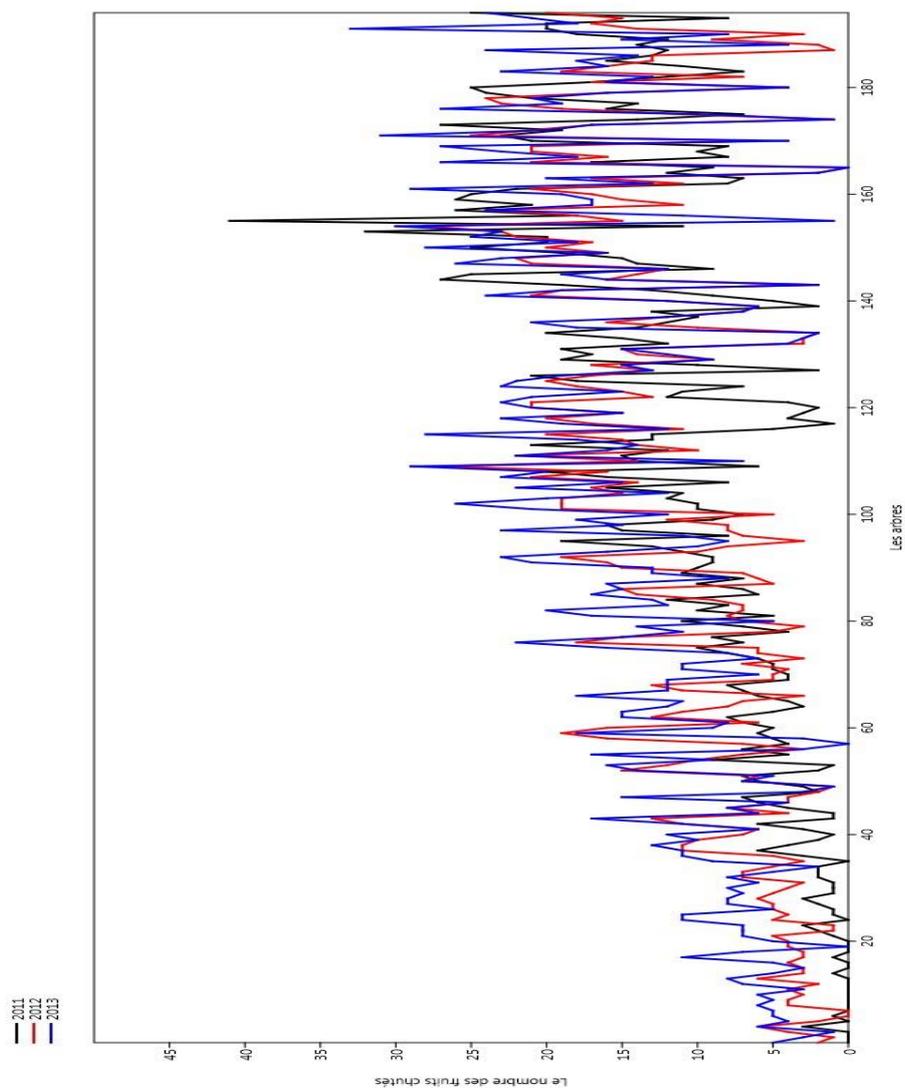


Figure 50 : Variation de nombre de fruits chutés dans la station de Hennaya

Pour les deux régions, on remarque que le nombre de fruits chutés a varié de la même manière que le nombre de piqûres ; on peut dire qu'il existe une corrélation positive entre ces deux facteurs étudiés (**Tableau 9**).

Tableau 9 : Coefficient de corrélation entre le nombre de piqûres et les fruits chutés (R)

	2011	2012	2013
Remchi	0,510	0,589	0,681
Hennaya	0,562	0,550	0,573

RESULTATS ET DISCUSSION

1.2.2. Etude statistique à deux facteurs

Tableau 10 : Etude de l'interaction orientations - années

	2011	2012	2013
Sud	3,93 ± 0,19 ^{aB}	5,46 ± 0,21 ^{bB}	6,35 ± 0,21 ^{cB}
Nord	1,31 ± 0,09 ^{aA}	1,12 ± 0,07 ^{aA}	1,17 ± 0,07 ^{aA}
Est	1,4 ± 0,09 ^{aA}	1,41 ± 0,07 ^{aA}	1,44 ± 0,07 ^{aA}
Ouest	2,15 ± 0,11 ^{aC}	2,86 ± 0,13 ^{bC}	3,23 ± 0,14 ^{cC}

*Chaque point de donnée représente la moyenne $M \pm SE$. Chaque donnée avec la même lettre est non pas significativement différente ($p > 0,05$). Les lettres en majuscule indiquent des différences statistiquement significatives entre les différentes ORIENTATIONS et la même ANNÉE. Les petites lettres indiquent des différences statistiquement significatives entre différentes ANNÉES pour la même ORIENTATION

Les résultats obtenus ont montré que l'orientation influençait grandement les attaques de la cératite. D'après le **tableau 10**, les analyses de variance ont montré que les infestations variaient d'une manière hautement significative d'une année à une autre avec $P < 0.001$, pour les orientations sud et ouest, nous avons constaté une augmentation des moyennes du nombre de fruits chutés d'une année à une autre, alors que nous avons enregistré une similitude de moyennes pour le nord et l'est.

Pour les trois années d'étude, nous avons constaté une différence entre les orientations ce qui a été confirmé par l'analyse ANOVA I ; durant les trois années, l'orientation sud a présenté les moyennes les plus élevées suivies par l'ouest.

L'analyse de variance a montré que pour chaque année d'étude, il existait une différence significative d'une orientation à une autre avec $P < 0.001$. Les moyennes de chaque orientation peuvent être classées dans un groupe isolé, l'orientation sud ayant présenté les moyennes les plus élevées durant les trois années.

Tableau 11 : étude de l'interaction stations - années

	2011	2012	2013
Remchi	2,01 ± 0,09 ^{aA}	2,73 ± 0,12 ^{bA}	2,76 ± 0,12 ^{bA}
Hennaya	2,38 ± 0,11 ^{aB}	2,61 ± 0,11 ^{bB}	3,32 ± 0,12 ^{cB}

*Chaque point de donnée représente la moyenne $M \pm SE$. Chaque donnée avec la même lettre est non pas significativement différente ($p > 0,05$). Les lettres en majuscule indiquent des différences statistiquement significatives entre les différentes ORIENTATIONS pour la même ANNÉE. Les petites lettres indiquent des différences statistiquement significatives entre différentes ANNÉES pour la même ORIENTATION

RESULTATS ET DISCUSSION

Pour les deux régions, d'une année à une autre, on remarque une augmentation de la moyenne des fruits chutés pour les trois années d'étude. L'analyse de l'ANOVA 1 a montré qu'il existait une différence significative entre les deux régions.

L'analyse de variance a montré qu'il y avait aussi une différence significative d'une année à une autre pour les deux régions ($P < 0.001$), avec une similitude entre la moyenne de piqures pour les années 2012 et 2013 pour la région de Remchi et des résultats similaires enregistrés entre 2011 et 2013 pour celle de Hennaya.

Tableau 12 : Etude de l'interaction stations - orientations

	Nord	Sud	Est	Ouest
Remchi	$1,25 \pm 0,07^{aA}$	$4,71 \pm 0,17^{bA}$	$1,5 \pm 0,07^{aA}$	$2,54 \pm 0,11^{cA}$
Hennaya	$1,16 \pm 0,06^{aA}$	$5,77 \pm 0,17^{bB}$	$1,33 \pm 0,06^{aA}$	$2,95 \pm 0,10^{cB}$

*Chaque point de donnée représente la moyenne $M \pm SE$. Chaque donnée avec la même lettre est non pas significativement différente ($p > 0,05$). Les lettres en majuscule indiquent des différences statistiquement significatives entre les différentes REGIONS pour la même ORIENTATION. Les petites lettres indiquent des différences statistiquement significatives entre différentes ORIENTATIONS pour la même STATION.

L'analyse de variance a montré qu'il y avait une différence significative ($P < 0.001$), la région de Hennaya présentant les moyennes les plus élevées pour les orientations sud et ouest tandis qu'il y avait une similitude des moyennes pour les orientations nord et est pour les deux régions (**Tab. 12**).

Pour les deux régions d'étude, nous avons enregistré les moyennes les plus élevées dans la partie sud, suivies par la partie ouest où la différence est hautement significative avec $P < 0.001$

Le test ANOVA II nous a permis d'enregistrer une différence hautement significative pour $P < 0.001$, d'une orientation à une autre pour les deux régions de Remchi et Hennaya, pour lesquelles on a constaté que l'orientation sud présentait les moyennes les plus élevées suivie par l'orientation ouest pour les deux stations.

L'analyse de variance a montré qu'il existait une différence significative ($P < 0.001$), la région de Remchi présentant les moyennes les plus élevées pour les orientations nord, est et ouest tandis qu'il y avait une similitude des moyennes pour l'orientation sud des deux régions.

RESULTATS ET DISCUSSION

✓ Etude de la cinétique des infestations

Il existe une variation irrégulière du nombre de trous de ponte et des fruits chutés en fonction des dates d'échantillonnage.

La cinétique des infestations par date présente un premier pic important (**Fig. 51**) qui coïncide avec la 3^{ème} sortie (le début du mois de décembre) et un pic pour les fruits chutés (**Fig. 52**) celui qui coïncide avec la 5^{ème} sortie (3^{ème} décade du mois de décembre), puis un deuxième pic pour les piqûres, moins important à la huitième sortie correspondant à la troisième décade du mois de janvier (**Fig. 51**); les fruits ne chutant que beaucoup plus tard. Ces pics correspondent à l'apparition de nouvelles générations de *C. capitata* ; nous pouvons donc en déduire que ce ravageur présente deux générations durant cette période d'étude.

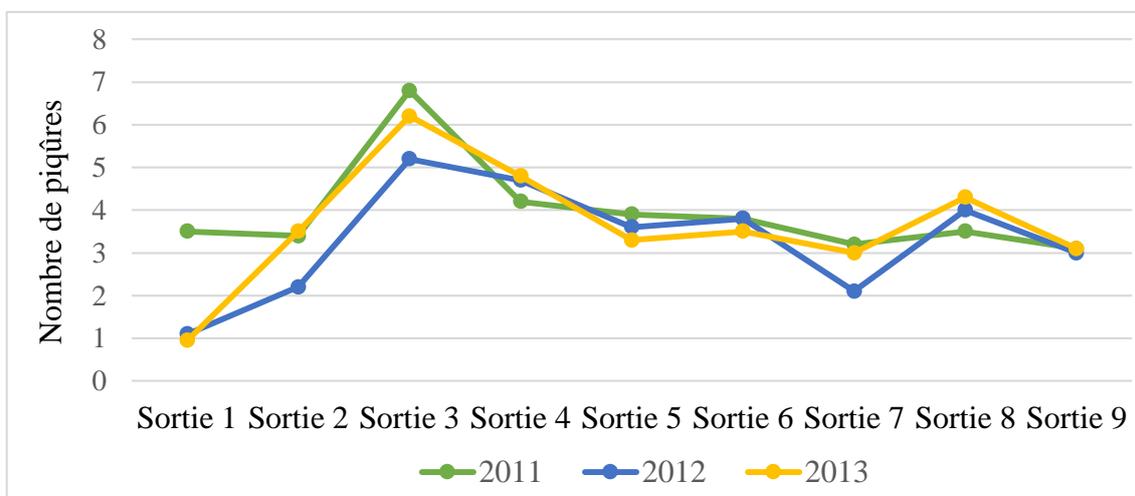


Figure 51 : Répartition temporelle (cinétique) de nombre de piqûres

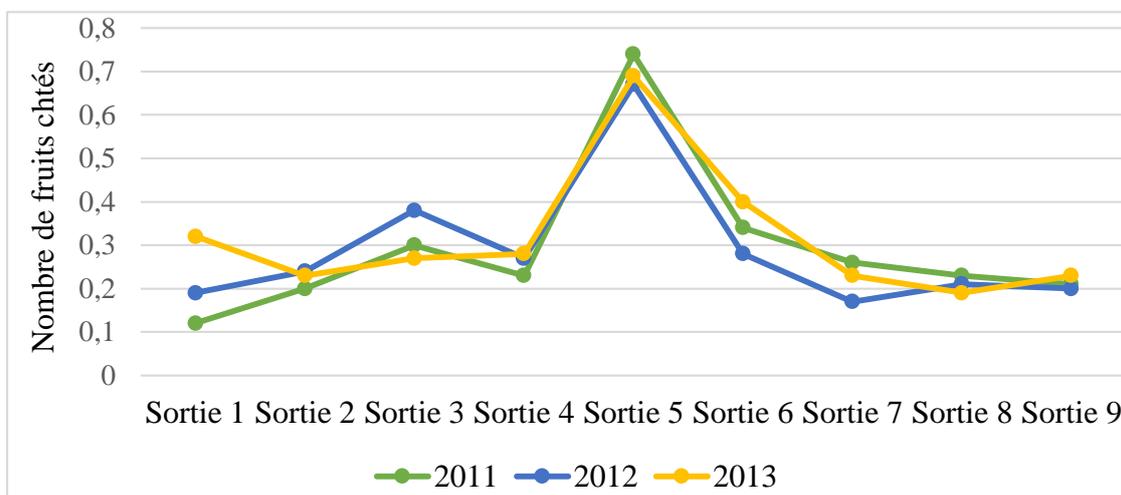


Figure 52 : Répartition temporelle (cinétique) des fruits chutés.

RESULTATS ET DISCUSSION

1.3. Biologie des populations de *Ceratitis capitata* à partir des élevages menés au laboratoire

Les élevages nous ont permis de connaître la durée des développements larvaire et nymphal, leurs mortalités ainsi que la date d'émergence des adultes, leur sex-ratio et leurs longévités aux conditions de laboratoire.

1.3.1. Mortalité larvaire

Durant la période d'élevage, les pupes obtenues à partir des larves contenues dans les oranges chutées représentaient 78,3 % ; donc la mortalité larvaire était de 21,7 % (**Fig. 53**).

Dans les fruits, les larves les plus grosses et les plus actives ont entraîné la mort des larves les plus jeunes et les plus faibles, cela est dû à la compétition intraspécifique (**Duyck, 2005**).

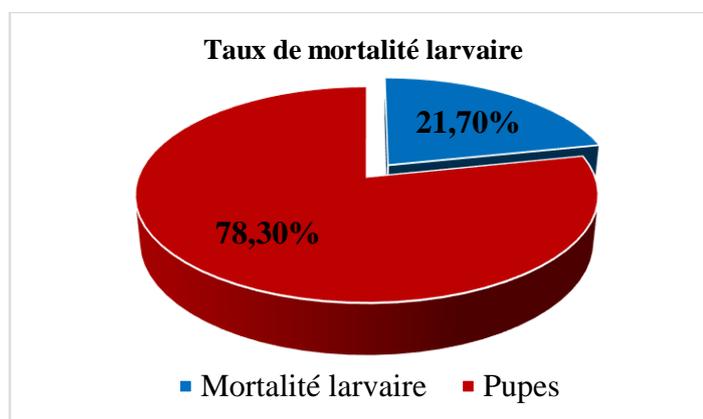


Figure 53 : Taux de mortalité larvaire chez *Ceratitis capitata* à partir des élevages

1.3.2. Développement nymphal

Les élevages menés au laboratoire ont permis de connaître la durée de la nymphose qui a varié selon la date de mise en élevage (**Fig.54**) et d'obtenir de jeunes mouches (imagos) de *Ceratitis capitata*. La pupaison a duré $19,98 \pm 2,23$ jours en moyenne.

RESULTATS ET DISCUSSION

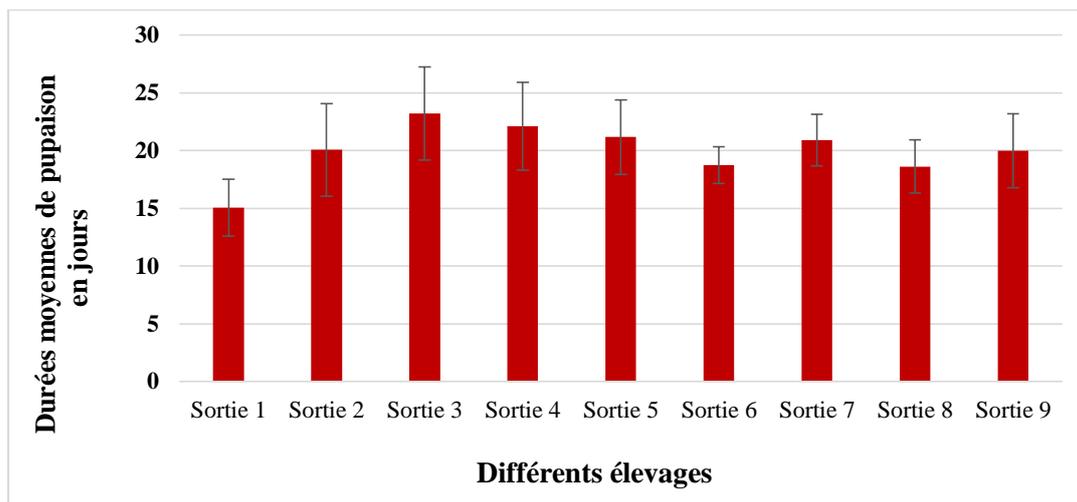


Figure 54 : Durées moyennes de pupaison chez *Ceratitiss capitata* à partir des élevages

1.3.3. Mortalité nymphale

Le taux d'émergence des adultes était de 52,27 %, donc la mortalité nymphale chez *Ceratitiss capitata* estimée à partir des élevages effectués au laboratoire a été de 47,73 % (**Fig. 55**).

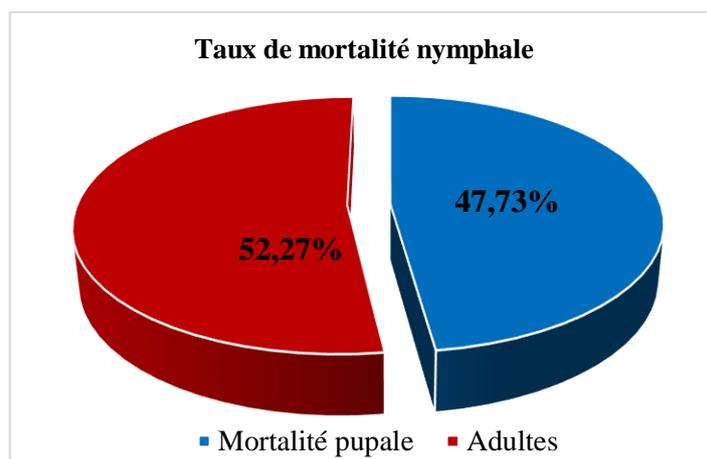


Figure 55 : Taux de mortalité nymphale chez *Ceratitiss capitata* à partir des élevages

1.3.4. Sex-ratio

Le sex-ratio permet de connaître le nombre de mâles et de femelles émergés, obtenus lors des élevages (**Fig. 56**). Le rapport femelles/mâles est égal à 1.

RESULTATS ET DISCUSSION

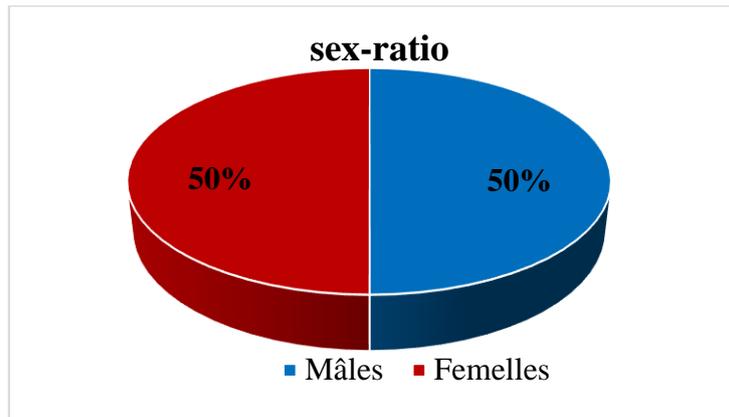


Figure 56 : Sex-ratio chez *Ceratitits capitata* à partir des élevages

1.3.5. Longévité

La durée moyenne de vie de *Ceratitits capitata* aux conditions de laboratoire a été de $14,55 \pm 6,97$ jours en moyenne avec un maximum de 70 jours et un minimum de 06 jours.

La longévité des mouches a varié considérablement selon la date de prélèvement des échantillons (Fig. 57).

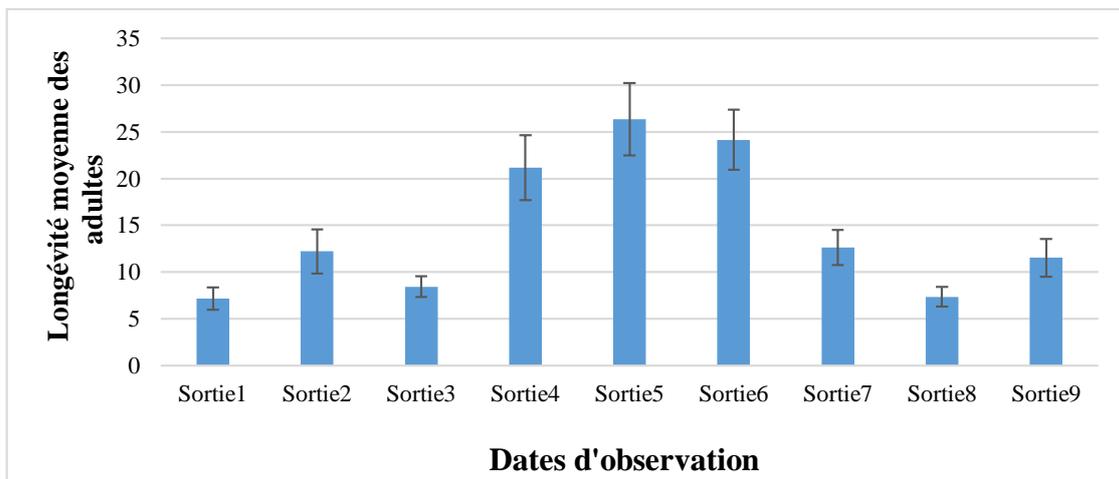


Figure 57 : Longévité moyenne des adultes de *Ceratitits capitata* à partir des élevages

1.3.6. Parasitisme

Les élevages effectués à partir des oranges chutées de la variété Washington navel ont permis de savoir s'il existait un parasite de ce phytophage. Le taux de parasitisme a été

RESULTATS ET DISCUSSION

estimé à partir des émergences obtenues lors des élevages au laboratoire ; ainsi, nous avons constaté qu'il était nul.

1.4. Relation entre les caractères liés à l'infestation

La relation entre les caractères liés à l'infestation des oranges par *Ceratitis capitata* a été analysée par la recherche de corrélations linéaires.

1.4.1. Taux d'émergence des pupes estimé à partir des larves : corrélation entre les pupes et les larves

L'étude de corrélations linéaires (**Fig. 58**) a montré qu'il existait une relation significative entre le nombre de pupes et de larves avec $Y=1,0921X + 4,451$ et $R^2=87,4\%$; ce qui implique que nous pouvons prédire le taux de nymphes à partir de celui des larves et inversement.

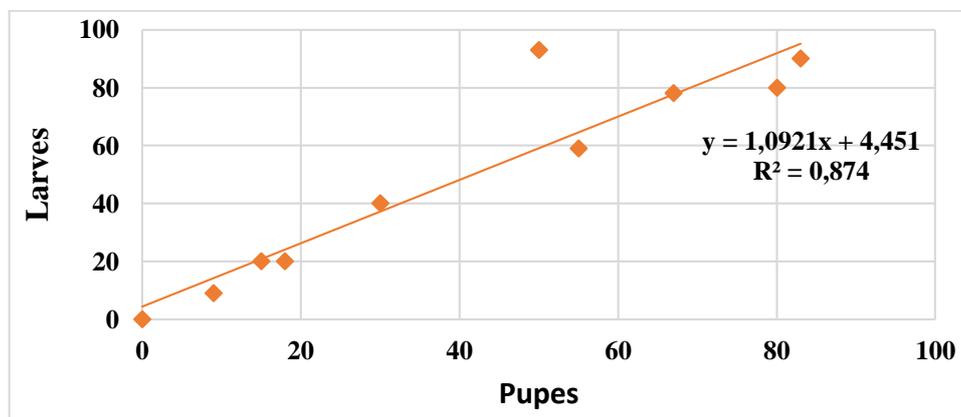


Figure 58 : Droite de régression relative à la relation entre les larves et les pupes

1.4.2. Taux d'émergence des adultes estimé à partir des larves

La biologie de *Ceratitis capitata* dépend du bioclimat dans lequel l'insecte se développe. Aux conditions de laboratoire dans lesquelles nous avons effectué les élevages, la température était en moyenne de 25°C.

Selon la date de mise en élevage, les résultats étaient toujours variables, ils semblent liés au degré de maturité des fruits.

L'étude des corrélations linéaires a montré qu'il n'existait pas une relation significative entre le nombre d'adultes et celui des larves, ce qui a été confirmé par la droite de régression linéaire (**Fig.59**) avec $R^2 = 44,75\%$, donc on ne peut pas prédire le nombre d'adultes qui vont émerger à partir du nombre de larves.

RESULTATS ET DISCUSSION

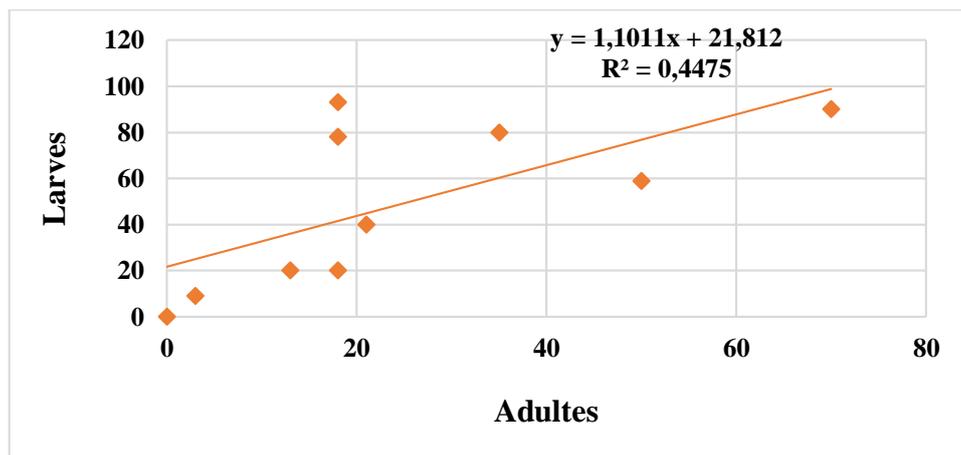


Figure 59 : Droite de régression relative à la relation entre les larves et les adultes

Ce résultat est décevant car si on avait pu estimer le nombre d'adultes d'une population en connaissant le nombre de larves, cela nous aurait été utile lors d'un programme de lutte.

1.4.3. Taux d'émergence des adultes à partir des pupes

Les résultats de la droite de régression linéaire (**Fig.60**) ont montré qu'il n'existait pas une relation significative entre les nombres de pupes et des adultes obtenus avec : $Y = 17,019 + 1,020 X$ et $R^2 = 48,59\%$, ce qui ne nous permet pas de prédire le nombre d'adultes à partir du nombre de pupes.

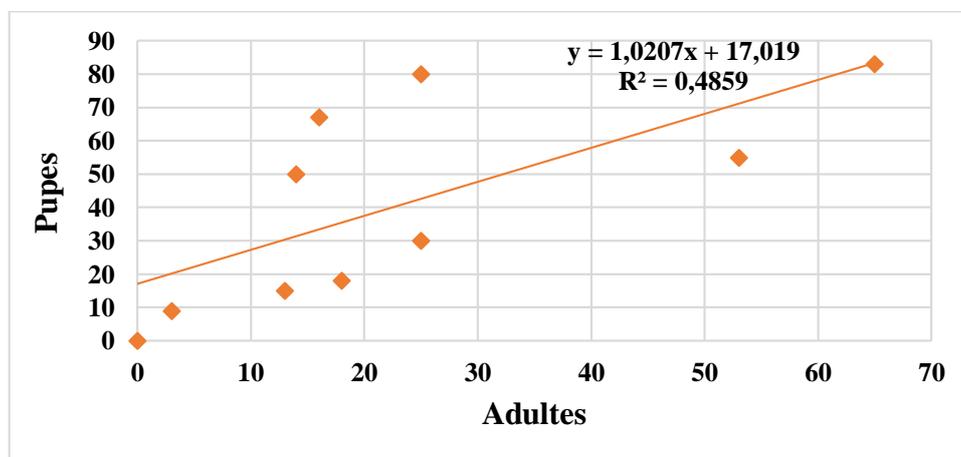


Figure 60 : Droite de régression relative à la relation entre les pupes et les adultes

RESULTATS ET DISCUSSION

2. Etude biochimique

2.1. Introduction

Afin de connaître les métabolites secondaires utilisés par les oranges pour leur défense allélopathique contre leurs bio-agresseurs, nous avons effectué les différentes analyses nécessaires dont nous présentons les principaux résultats. Les oranges servant à nos analyses ont été prélevées sur trois arbres pris d'une manière aléatoire au niveau du verger (**Fig. 61**).

L'extraction par macération est l'une des méthodes les plus utilisées pour la détermination de la teneur de *Citrus sinensis* en métabolites secondaires. Pour cela, une fois finement broyée, la poudre de l'écorce de *Citrus sinensis* a subi une extraction par un mélange méthanol/eau puis acétone/eau. Les extraits obtenus ont été utilisés pour le dosage des composés phénoliques en employant une spectrophotométrie, une UHPLC, une identification par GC-MS ainsi que pour l'évaluation des activités anti-oxydantes et insecticides contre la cécidomyie.

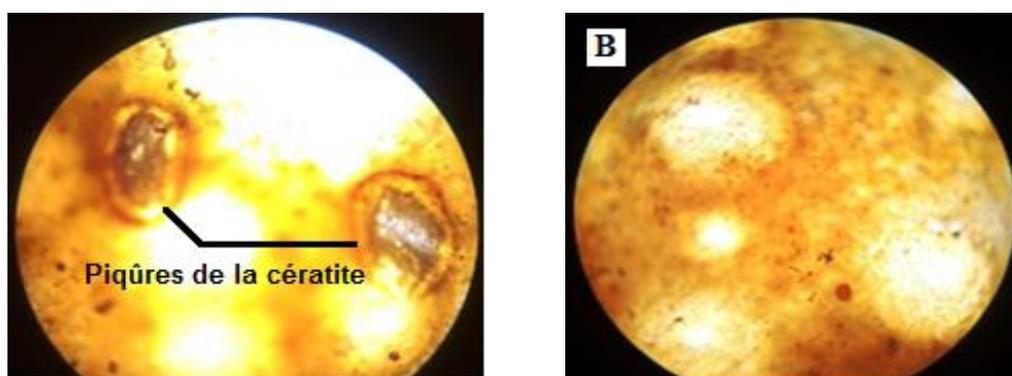


Figure 61 : **A** : Fruit attaqué ; **B** : Fruit sain (G: 10×40)

2.2. Détermination du taux de matière sèche

L'analyse de variance a montré qu'il existait une différence hautement significative ($P < 0.001$) en matière sèche entre les trois types des fruits, fruits sains FS, les fruits attaqués par les piqûres stériles FM' et ceux attaqués par les piqûres fertiles FM. Nous avons enregistré les moyennes les plus élevées de 37.41 ± 0.67 en 2013 et 37.27 ± 0.66 en 2014 pour les FM avec une légère augmentation des moyennes pour l'année 2014 par rapport à 2013 ; l'étude statistique montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les deux années avec ($p = 0,56$) (**Tab. 13**).

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 13 : Taux de matière sèche pour les fruits sains (FS), les fruits attaqués par les piqûres stériles (FM') et ceux attaqués par les piqûres fertiles (FM)

	Matière sèche (%)	
	2013 ^A	2014 ^A
Fruits sains FS	27.35 ± 0.74^a	26 ± 0.62^a
Fruits attaqués par des piqûres stériles (FM')	32.4 ± 0.76^b	31.68 ± 0.87^b
Fruits attaqués par des piqûres fertiles (FM)	37.41 ± 0.67^c	37.27 ± 0.66^c

*Les petites lettres représentent la différence entre les trois types de fruit (FS, FM' et FM) pour la même année. Les grandes lettres représentent la différence entre les années (2013, 2014)

2.3. Rendement en extraits secs

L'analyse de variance a montré qu'il existait une différence significative ($P < 0.05$) du rendement en extraits secs entre les trois types de fruits FS, FM' et FM, pour lesquels nous avons enregistré la moyenne la plus élevée de $5.619 \pm 0.242\%$ en 2013 pour les fruits infestés par les piqûres fertiles alors qu'elle est hautement significative ($P < 0.001$) pour l'année 2014 entre les trois types de fruits. Bien que l'on ait enregistré une petite élévation des moyennes pour l'année 2014 par rapport à 2013, l'étude statistique a montré qu'il n'y avait pas une différence significative entre les deux années avec ($p = 0,56$) (**Tab. 14**).

Tableau 14 : Rendement en extraits secs chez les fruits sains (FS), les fruits attaqués par les piqûres stériles (FM') et ceux attaqués par les piqûres fertiles (FM)

	Rendement (%)	
	2013	2014
Fruits sains (FS)	4.648 ± 0.164^{aA}	5.032 ± 0.187^{aA}
Fruits attaqués par des piqûres stériles (FM')	5.296 ± 0.123^{bA}	5.614 ± 0.077^{bA}
Fruits attaqués par des piqûres fertiles (FM)	5.619 ± 0.242^{cA}	5.890 ± 0.111^{cA}

*Les petites lettres représentent la différence entre les trois types de fruit (FS, FM' et FM) pour la même année. Les grandes lettres représentent la différence entre les années (2013, 2014)

RESULTATS ET DISCUSSION

2.4. Résultats des tests phytochimiques

Tableau 15 : Tests phytochimiques

	Tanins	Flavonoïdes	Alcaloïdes	Saponines	Coumarines	Anthocyanine	Terpenoïdes
A1	FS	+	+++	-	-	+	+
	FM ²	+	+++	-	+	+	+
	FM	+	+++	++	+	++	+++
A2	FS	+	++	-	+	+	+
	FM ²	+	+++	-	+	+	++
	FM	++	+++	-	-	+	+++
A3	FS	+	+++	-	-	++	+
	FM ²	++	++	-	+	++	+
	FM	+++	+++	+	+	++	+++

(-) : Test négatif (absence de turbidité, de floculation et de précipitation)

(+) : Test faiblement positif (si le réactif présente une légère opacité)

(++) : Test positif (si le réactif produit une turbidité et non une floculation)

(+++): Test fortement positif (si le réactif produit une floculation ou une un précipité lourd).

2.5. Détermination quantitative des métabolites secondaires

Les composés phénoliques sont des molécules bioactives très recherchées, ils sont réputés pour leurs excellentes propriétés biologiques, ainsi ils ont un rôle dans la défense des plantes contre les phyto-pathogènes. Pour ces raisons, des dosages des polyphénols totaux (PPT) et des flavonoïdes (Flv) ainsi que des tanins condensés ont été effectués par des méthodes spectrophotométriques, en utilisant les équations de régressions linéaires des courbes d'étalonnage.

2.5.1. Teneur en polyphénols totaux

Dans le but de déterminer la teneur totale en phénols de nos échantillons, un dosage biochimique a été effectué au niveau des extraits bruts. Une courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant l'acide gallique comme référence (**Fig.62**). La formule de la régression est de $y = 1,4043 X + 0,0352$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,992$

RESULTATS ET DISCUSSION

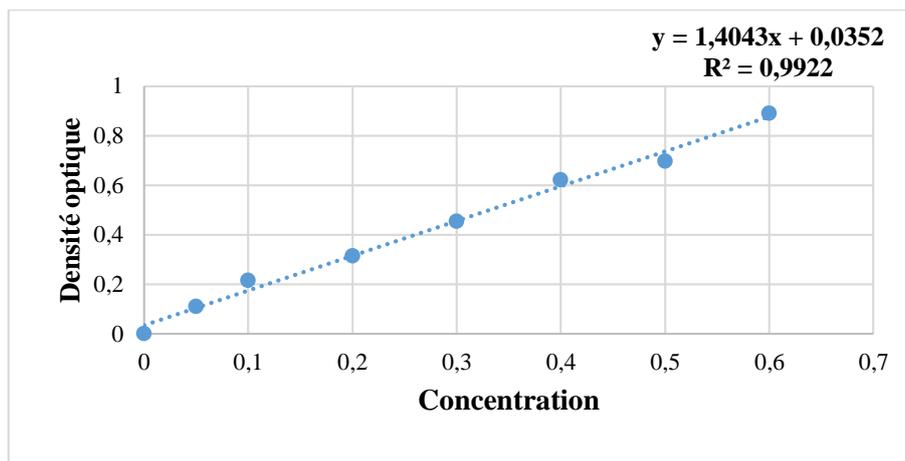


Figure 62 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

Bien qu'il y ait eu une augmentation de la teneur en polyphénols totaux chez les fruits infectés par rapport aux fruits non infectés, l'étude statistique a montré qu'il n'y avait pas eu une différence significative ($P= 0,47$) ; nous avons enregistré une teneur de $0,424 \pm 0,01$ mg GAE / g D.M. chez les fruits infectés par des piqûres fertiles **FM** ; de $0,403 \pm 0,025$ mg AGE / g D.M. chez ceux infestés par des piqûres stériles **FM'** alors qu'elle est de $0,395 \pm 0,028$ mg GAE / g D.M. chez les fruits sains **FS** (**Fig. 63**).

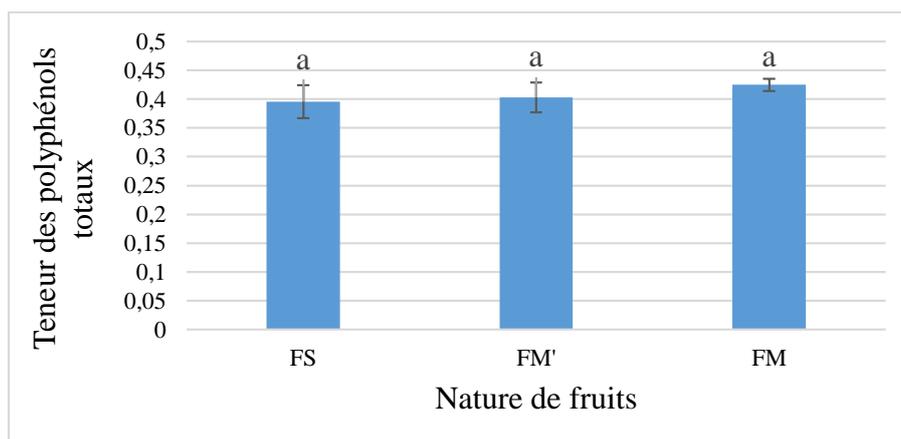


Figure 63 : Taux des polyphénols totaux pour les fruits sains **FS**, les fruits infectés par des piqûres stériles **FM'** et ceux infectés par des piqûres fertiles **FM**

La différence n'a pas été significative entre les teneurs des polyphénols totaux pour les deux années 2013 et 2014 ($p = 0,65$) (**Fig. 64**).

RESULTATS ET DISCUSSION

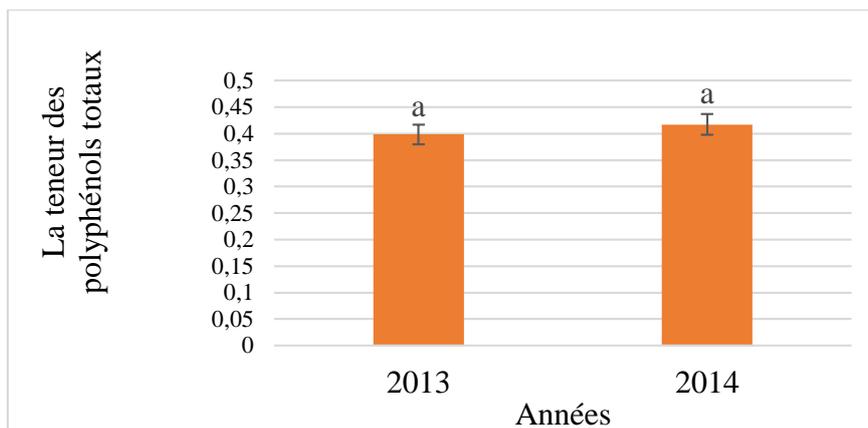


Figure 64 : Taux des polyphénols totaux pour les années 2013 et 2014

L'analyse statistique a montré qu'il n'y avait pas une différence significative entre les trois arbres échantillonnés pour lesquels nous avons enregistré un $p = 0,812$ (**Fig. 65**).

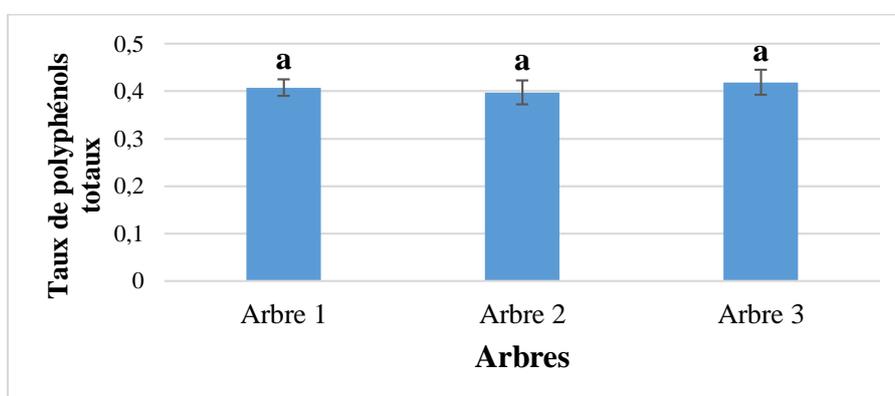


Figure 65 : taux des polyphénols selon les arbres échantillonnés

2.5.2. Teneur en tanins condensés

Afin de déterminer la teneur des tanins condensés, le composé utilisé pour l'établissement d'une courbe d'étalonnage est la catéchine. La formule de régression linéaire est : $y = 0,791 X + 0,028$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,990$ (**Fig.66**).

RESULTATS ET DISCUSSION

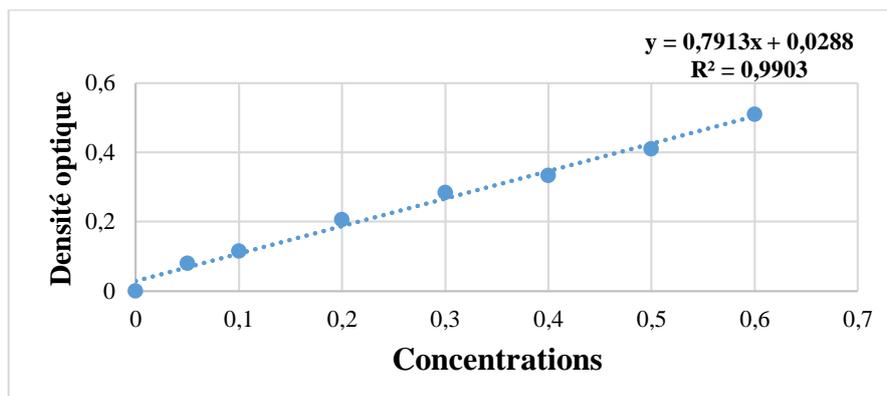


Figure 66 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour les tanins condensés

La concentration en tanins condensés chez les fruits attaqués par les piqûres fertiles était de $0,126 \pm 0,005$ mg CE / g D.M. ; chez ceux infectés par les piqûres stériles était de $0,101 \pm 0,001$ mg CE / g D.M., alors que chez les fruits sains elle était de $0,086 \pm 0,004$ mg CE/g D.M. L'analyse de variance a confirmé qu'il existait une différence hautement significative entre les trois types de fruits avec $p < 0,001$, tandis qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux années d'étude 2013 et 2014 avec $P = 0,49$ (Fig. 67 et 68).

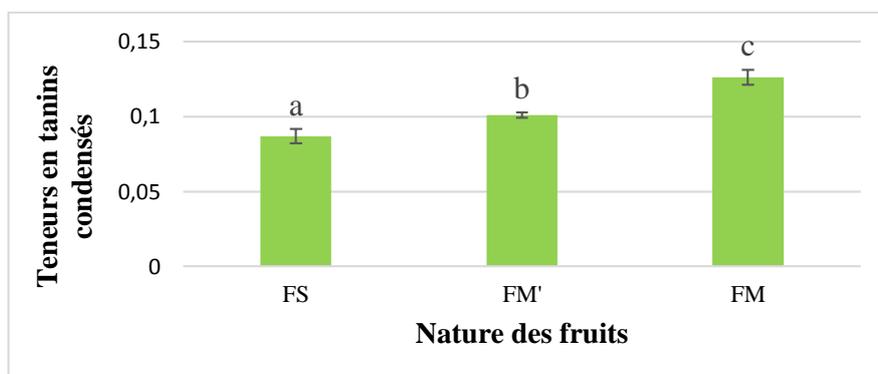


Figure 67 : Taux en tanins condensés pour les fruits sains, les fruits infectés par des piqûres stériles et ceux infectés par des piqûres fertiles

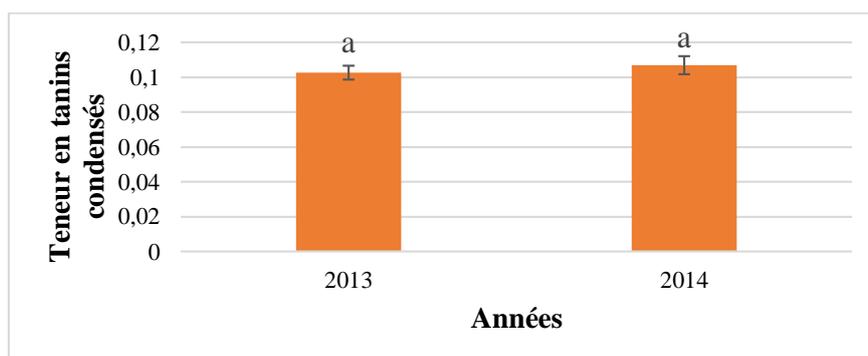


Figure 68 : Taux en tanins condensés pour les années 2013 et 2014

RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse statistique a montré qu'il n'y avait pas une différence significative des taux en tanins condensés entre les trois arbres échantillonnés avec $p = 0,422$ (**Fig.69**).

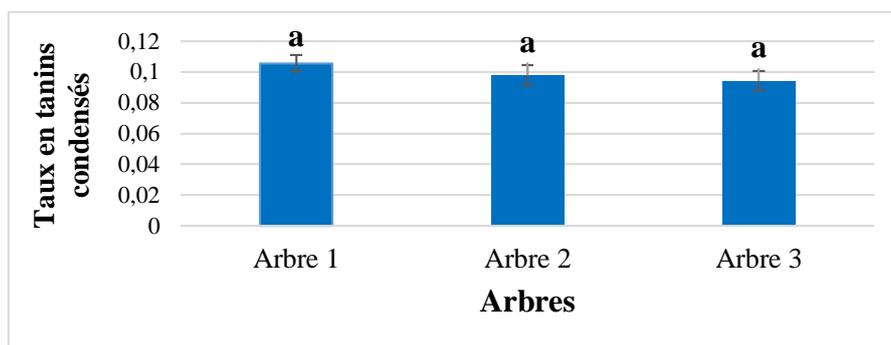


Figure 69 : Taux des tanins condensés selon les arbres échantillonnés

2.5.3. Teneur en flavonoïdes

Le composé de référence utilisé pour l'établissement de cette courbe est la catéchine. La formule de régression linéaire est de $y = 3,096 X + 0,0005$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,990$ (**Fig.70**).

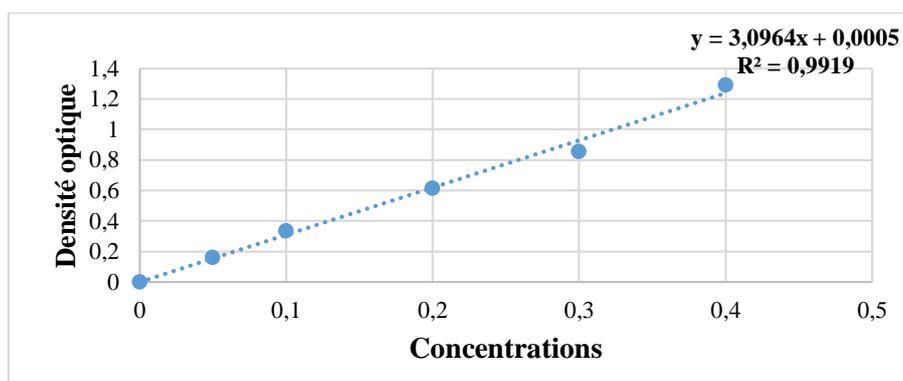


Figure 70 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes

L'analyse de variance a montré qu'il y avait une différence hautement significative entre les teneurs en flavonoïdes chez les trois types de fruits. Les fruits infestés par les piqûres fertiles présentaient une teneur de $0,292 \pm 0,009$ mg CE / g D.M., ceux attaqués par les piqûres stériles $0,247 \pm 0,004$ mg CE / g D.M. tandis que les fruits sains avaient une teneur de $0,197 \pm 0,008$ mg CE / g D.M. La différence était très significative entre les trois types de fruits, FS, FM 'et FM ($p < 0,001$), mais il n'y avait pas de différence significative entre les deux années 2013 et 2014 ($P = 0,72$) (**Fig. 71 et 72**).

RESULTATS ET DISCUSSION

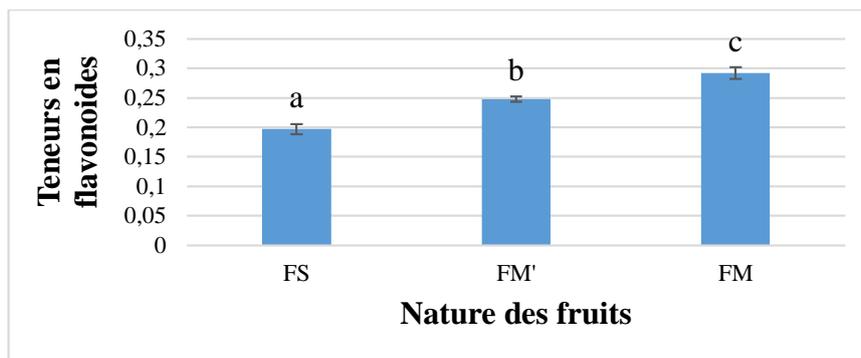


Figure 71 : Teneurs en flavonoïdes pour les fruits FS, FM' et FM

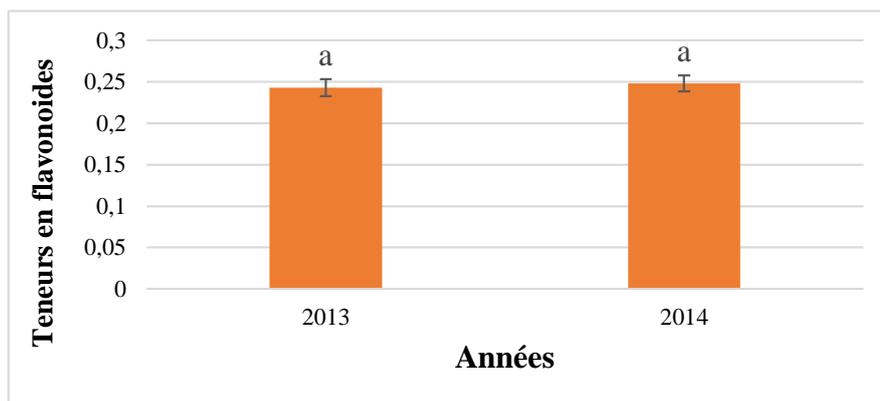


Figure 72 : Teneurs en flavonoïdes pour les années 2013 et 2014

L'analyse statistique a montré qu'il n'y avait pas une différence significative des taux de flavonoïdes entre les trois arbres échantillonnés avec $p = 0,855$.

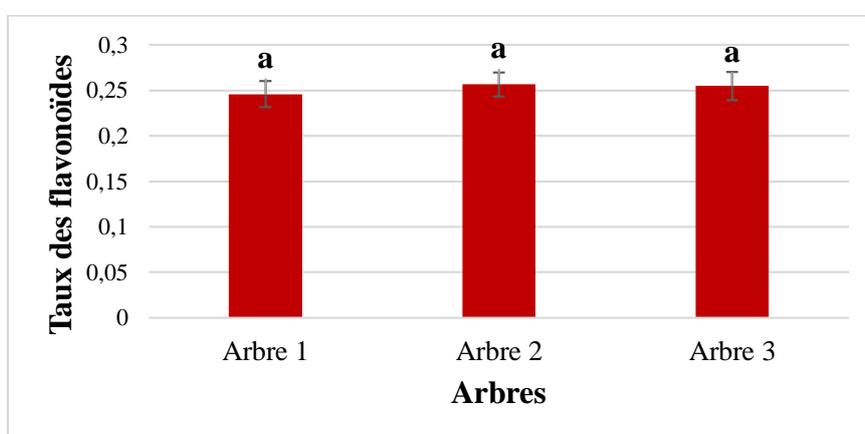


Figure 73 : Teneurs en flavonoïdes selon les arbres échantillonnés

RESULTATS ET DISCUSSION

2.6. Analyse par HPLC

Les résultats de la séparation des différents extraits de fruits de *Citrus sinensis* par la chromatographie liquide à haute performance UHPLC sont illustrés par les spectres représentés dans les **figures 74, 75 et 76**. L'analyse UHPLC de la phase acétate d'éthyle a montré qu'il y avait une nette différence entre les échantillons FS, FM' et FM pour lesquels nous avons observé une apparition de nouveaux pics chez les échantillons FM' et FM par rapport aux FS en particulier, nous notons l'apparition des nouveaux pics chez les fruits attaqués par les piqûres stériles et ceux attaqués par les piqûres fertiles par rapport aux fruits sains.

2.6.1. Chromatogrammes de la phase Acétate d'Ethyle

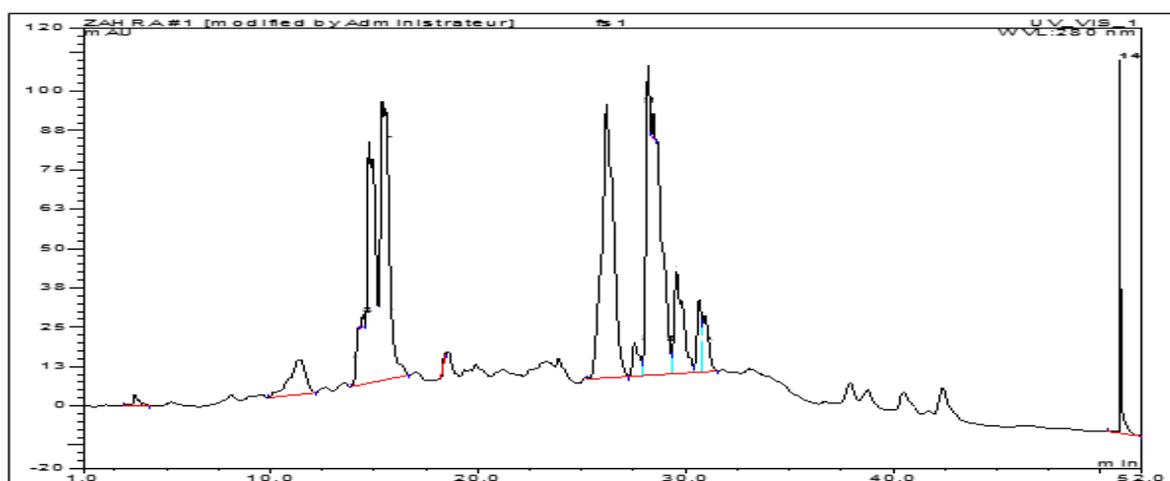


Figure 74 : Profil chromatographique de la phase acétate d'éthyle de l'échantillon FS

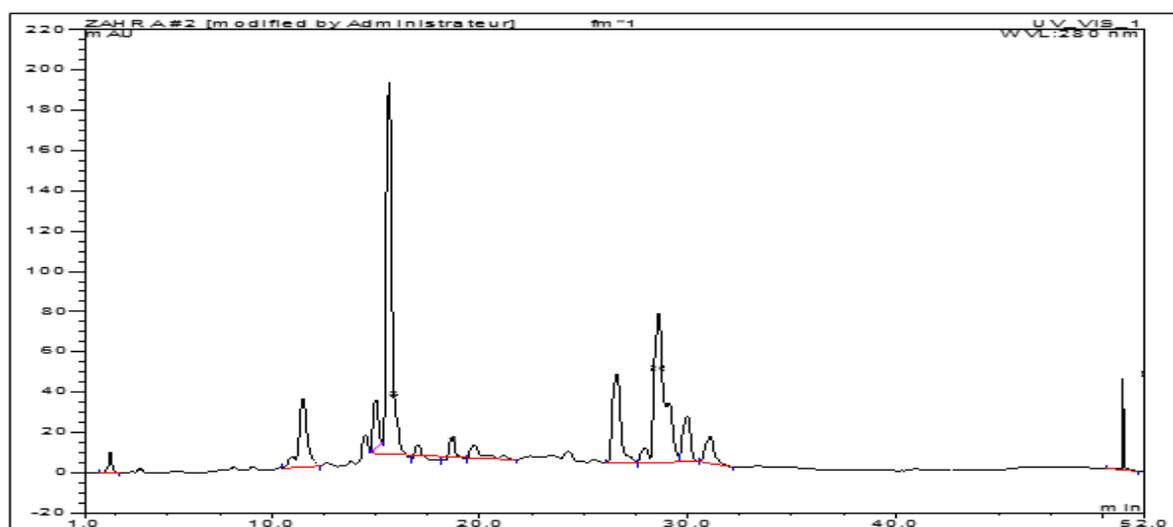


Figure 75 : Profil chromatographique de la phase acétate d'éthyle de l'échantillon FM'

RESULTATS ET DISCUSSION

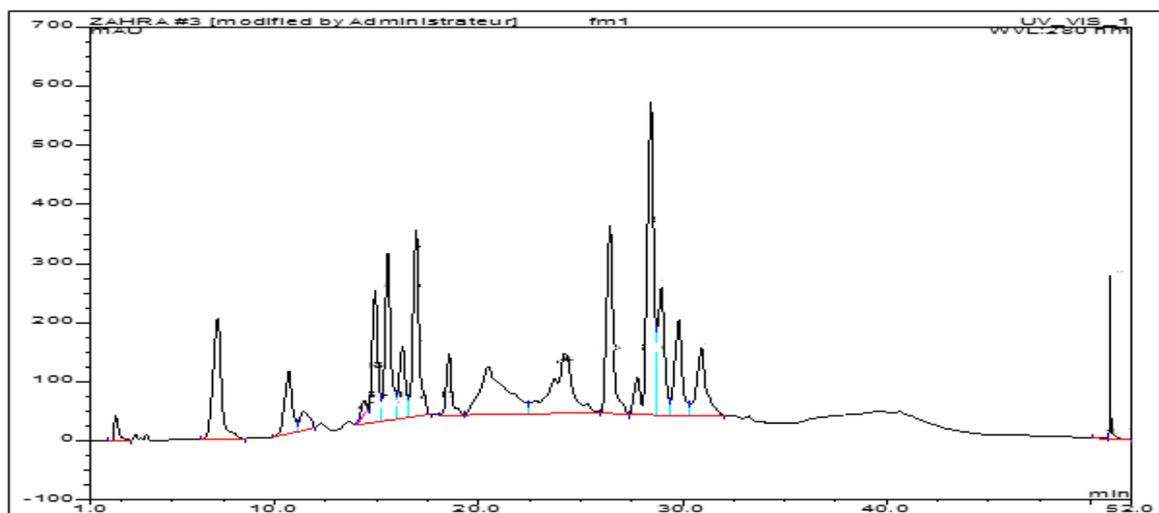


Figure 76 : Profil chromatographique de la phase acétate d'éthyle de l'échantillon FM

L'analyse par UHPLC était basée sur la comparaison entre les profils métaboliques de l'extrait des fruits attaqués par les piqûres stériles (FM ') et l'extrait des fruits attaqués par les piqûres fertiles (FM) afin de révéler la différence de leurs profils métaboliques. Nous avons utilisé comme contrôle l'extrait des fruits sains (FS). En effet, nous avons caractérisé chaque pic des différents chromatogrammes en fonction de son temps de rétention et de sa surface (**Tableau 16**). Les chromatogrammes ont montré une différence importante dans l'expression des pics par rapport au témoin.

Cette différence a révélé la présence de métabolites spécifiques dans chaque échantillon. Nous avons suivi la modification de la zone des 18 pics dans les différents profils UHPLC en soustrayant les pics du contrôle (FS) de la zone de chaque extrait de (FM ') et (FM) de chaque sommet afin d'obtenir des pics spécifiques aux piqûres stériles et fertiles. Ensuite, nous avons procédé à la soustraction de la zone de chaque échantillon de piqûre stérile à partir d'un échantillon de piqûre fertile afin de révéler les pics liés aux œufs pondus par les piqûres fertiles dans les fruits attaqués. Les valeurs positives dans les histogrammes indiquent l'expression des pics (**Fig. 77, 78, 79**).

RESULTATS ET DISCUSSION

Table 16 : Temps de rétention pour les trois types d'échantillons

Numéro de pic	temps de rétention FS	temps de rétention FM'	temps de rétention FM
Pic 1	2,260	2,060	2,253
Pic 2	7,303	7,303	7,307
Pic 3	10,993	10 ,930	10,840
Pic 4	11,493	11,437	11,563
Pic 5	14,553	14 ,443	14,557
Pic 6	15,047	14,957	15,060
Pic 7	15,680	15,587	15,690
Pic 8	16,303	16,443	16,377
Pic 9	17,137	17,133	17,076
Pic 10	18,720	18,600	18,720
Pic 11	19,790	19,710	19,860
Pic 12	24,340	24,203	24,403
Pic 13	25,577	25,427	25,577
Pic 14	26,640	26,560	26,650
Pic 15	28,007	27,850	28,010
Pic 16	28,660	28,503	28,670
Pic 17	30,037	29,880	30,043
Pic 18	31,133	30,980	31,143

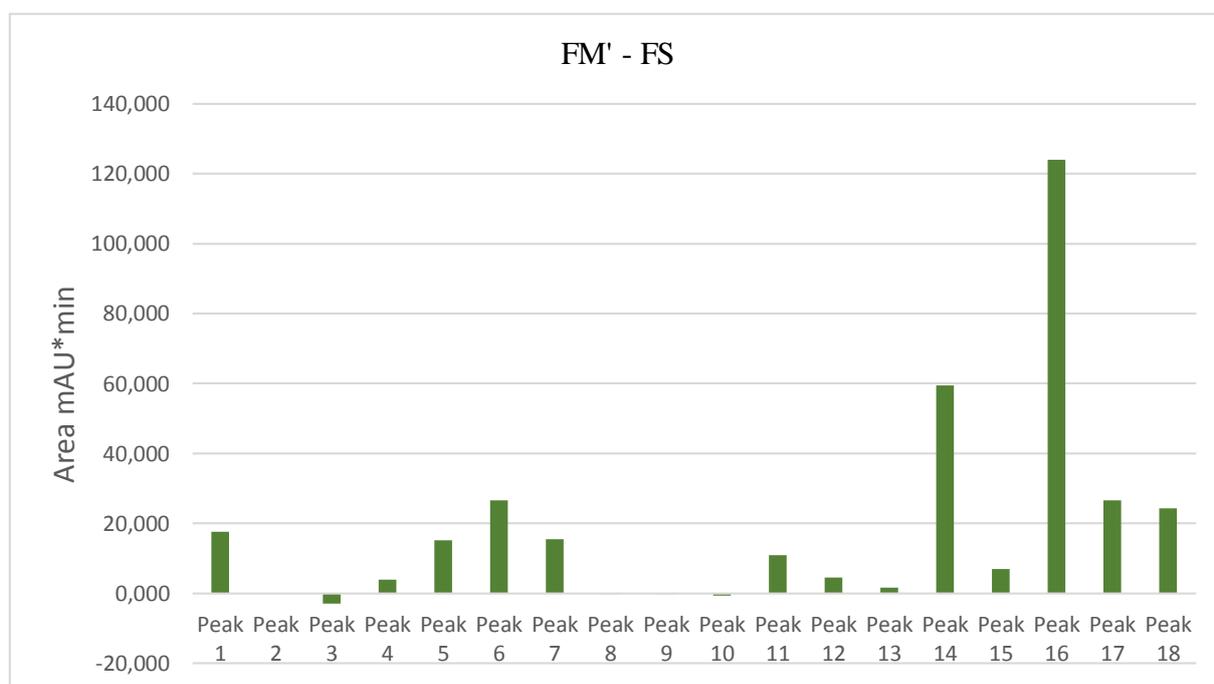


Figure 77 : Soustraction de l'aire de pic de FS à partir de FM'

RESULTATS ET DISCUSSION

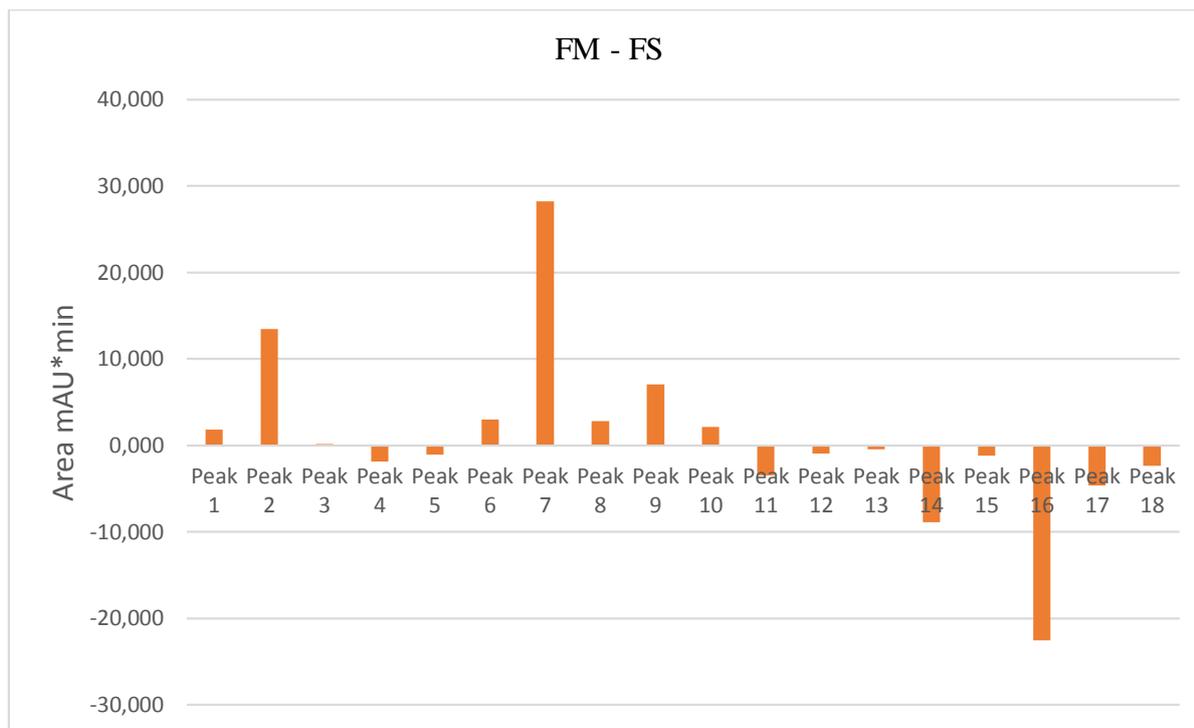


Figure 78 : Soustraction de l'aire de pic de FS à partir de FM

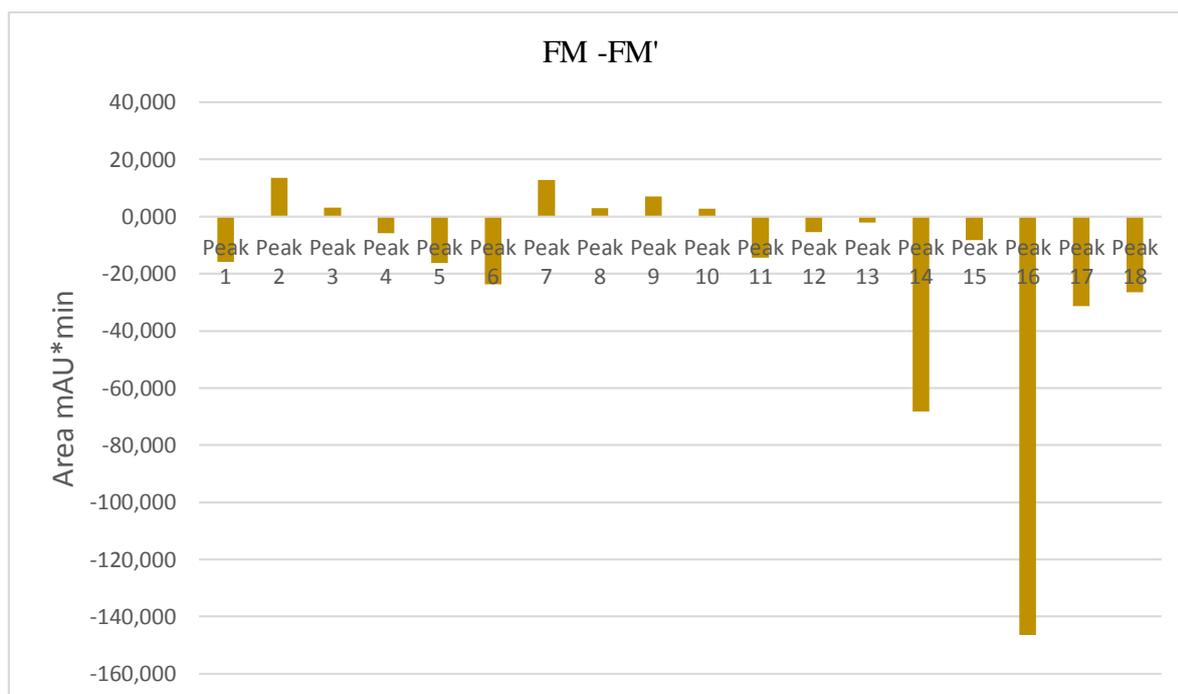


Figure 79 : Soustraction de l'aire de pic de FM' à partir de FM

RESULTATS ET DISCUSSION

2.6.2. Chromatogrammes de la phase aqueuse

L'analyse HPLC de la phase aqueuse a montré qu'il n'y avait pas une nette différence entre les échantillons sains et les échantillons présentant des piqûres stériles ainsi ceux présentant des piqûres fertiles (Fig. 80, 81 et 82).

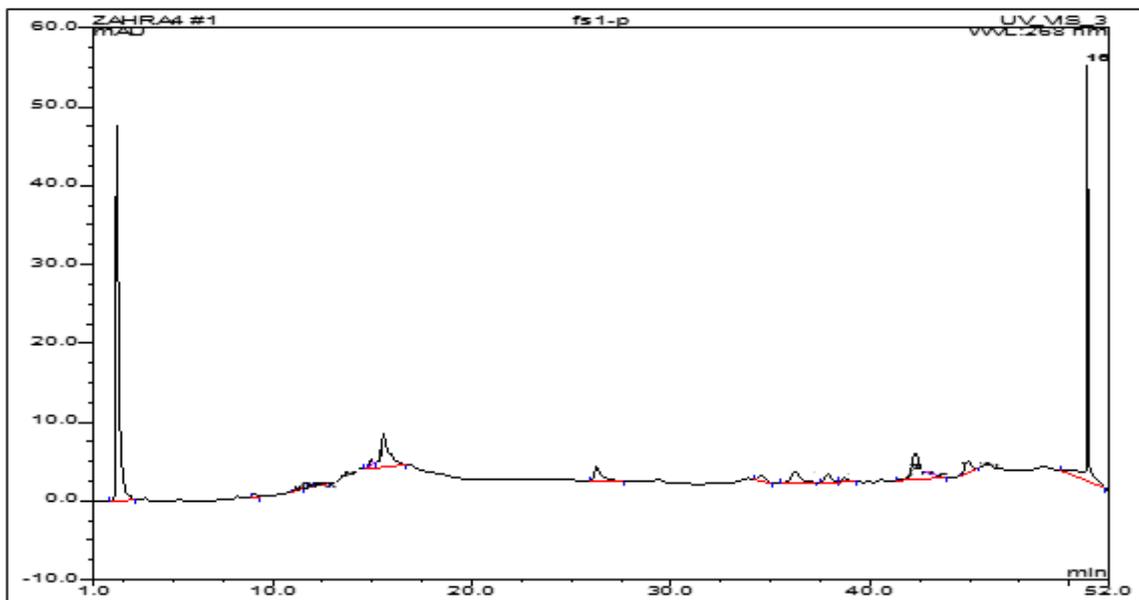


Figure 80 : Profil chromatographique de la phase aqueuse de l'échantillon FS

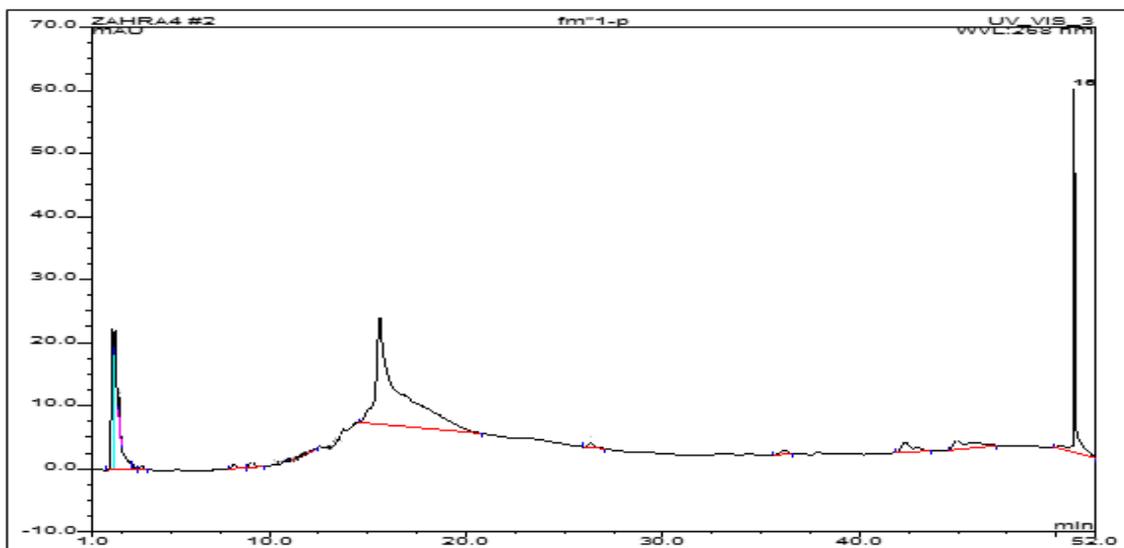


Figure 81 : Profil chromatographique de la phase aqueuse de l'échantillon FM

RESULTATS ET DISCUSSION

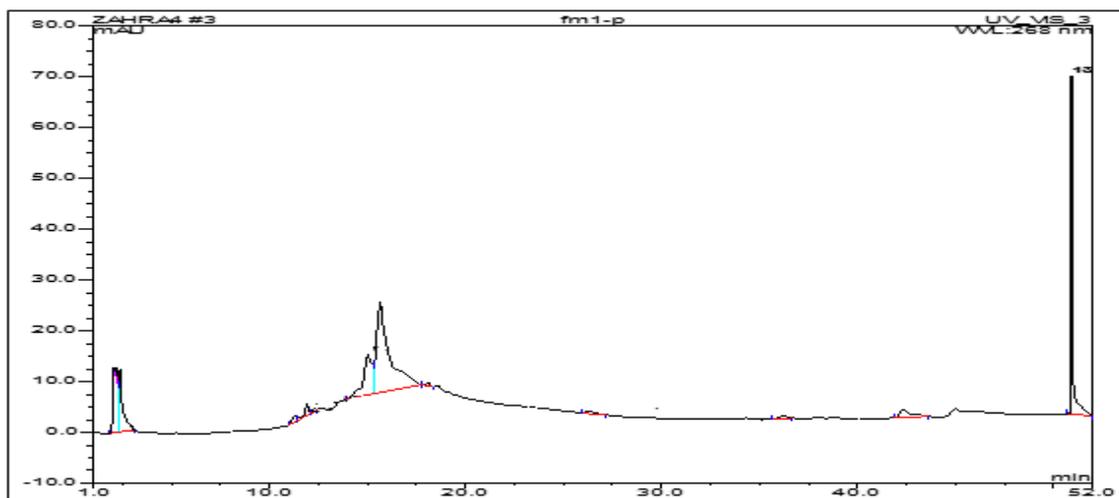


Figure 82 : Profil chromatographique de la phase aqueuse de l'échantillon FM

2.7. Analyse par GC MS

L'analyse par GC-MS (**Fig. 83**) nous a permis d'identifier les composés phénoliques comme (1); L'acide 2-propénoïque, 3- (4-hydroxy-3-méthoxyphényle) (17,195%); (2); 2-méthoxy-4-vinylphénol (11,620%); (3) benzaldéhyde, 3-méthyle (3,281%); L'éthanone, le 1- (3,4-diméthoxyphé) (2,129%), les acides gras tels que (1); Acide 9,12-octadécadiénoïque (Z, Z) (6,446%); (2); 9,12-hexadécadiénoate d'éthyle (4,052%); (3); l'acide n-hexadécanoïque (1 855%); et un alcaloïde Heptanediamide, N, N'-di-benzo (12,792%) (**Tab.17**). Plusieurs de ces composés ont un rôle dans la défense des plantes contre certains insectes selon plusieurs études.

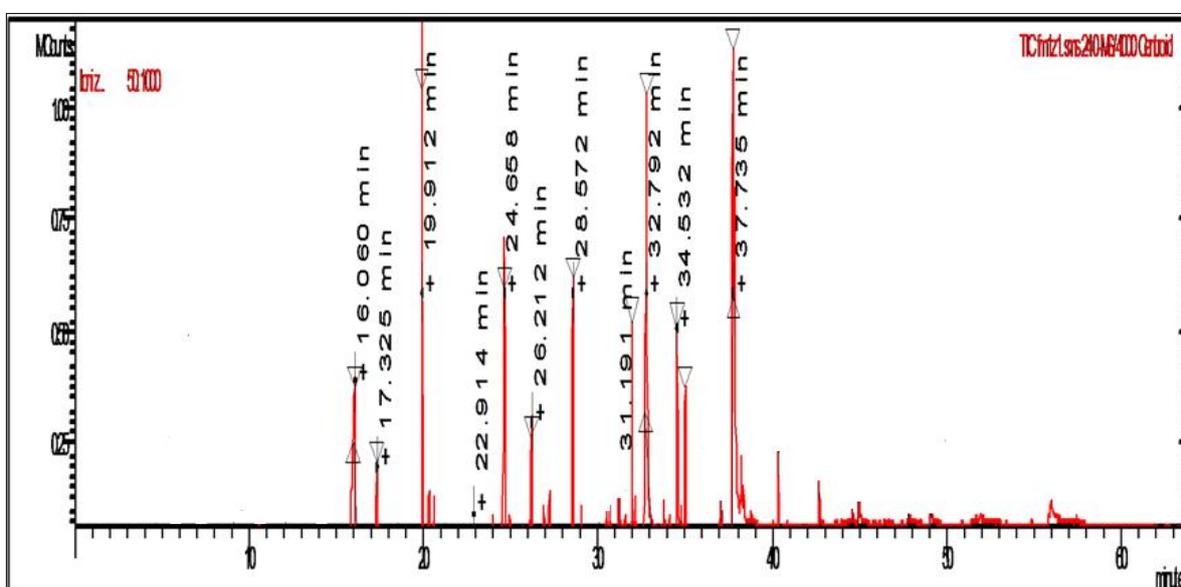


Figure 83 : Spectre GC-MS

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 17 : composés chimiques identifiés chez les fruits attaqués par les piqures fertiles

N° de pic	composés	Rt (min)	Amount	Area	Molecular formula*	CAS Number	Biological activity
01	Heptanediamide,N,N-benzoyloxy	16,060		886065	C21H22N2O6	NONE	**
02	Benzaldehyde, 3-methyl	17,325	3,281%	227240	C8H8O	620-23-5	Food additives, Flavoring
03	2-Methoxy-4-vinylpheno	19,912	11,620%	804874	C9H10O2	7786-61-0	Antioxydant (Bi et al 2016)
04	Benzeneethanol, 4-hydrxy	22,914	1,595%	1110493	C8H10O2	501-94-0	**
05	1-Cyclohexene-1-carboxylic acid-4-(1-methylethenyl)	22,914	1,665%	115301	C10H14O2	7694-45-3	**
06	2,4-Di- tert-butylphenol	24,939		95560	C14H22O	96-76-4	Plant defences (Laznik et Trdan, 2016).
07	Ethanone,1-(3,4-dimethoxyphenyl)	26,212	2,129%	147442	C10H12O3	1131-62-0	**
08	Dodecanoic acid	26,134	1,302%	90166	C12H24O2	143-07-7	Antimicrobial (PubMed)

RESULTATS ET DISCUSSION

09	5- Acetoxymethyl bicyclo [2.2.1] hept-2-ene-1carboxylic acid methyl ester	31,191	1,445%	100070	C12H16O4	NONE	**
10	2-Propenoic acid, 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)	32,792	17,195%	1.191e+6	C10H10O4	1135-24-6	Antioxydant (Graf 1992), hepatoprotective (Rukkumani et al 2004), anticarcinogénique, anti-inflammatoire (Akihisa et al 1992), antimicrobien, antiviral, vasodilatateur effect, antithrombotic anti-allergique, (Ou et al 2004).
11	n-Hexadecanoic acid	34,532	1,855%	128513	C16H32O2	57-10-3	Anti-inflammatoire (Aparna et al 2012), Antioxydant, hypocholestérolémique, nématoicide, pesticide, anti-androgénique flavor, hémolytique, 5-Alpha réductase inhibiteur (Kumar and al 2010), puissant moustique larvicide (Rahuman et al 2000), apoptotique effect (Hua et al 2015).
12	Hexadecanoic acid, ethyl ester	35,165		5054	C18H36O2	628-97-7	**
13	9,12-Octadécadiénoïque acide (Z,Z)	37,735	6,446%	446475	C18H32O2	60-33-3	Induce protéase inhibiteur in plants Farmer, et Clarence 1992
14	Ethyl 9,12hexadécadiénoïque acide	37,836	4,052%	280651	C18H32O2	NONE	**
15	Linoléique acide éthyle ester	38,230		44113	C20H36O2	544-35-4	**

*: la formule chimique selon NIST Database ; **: n'est pas connue

RESULTATS ET DISCUSSION

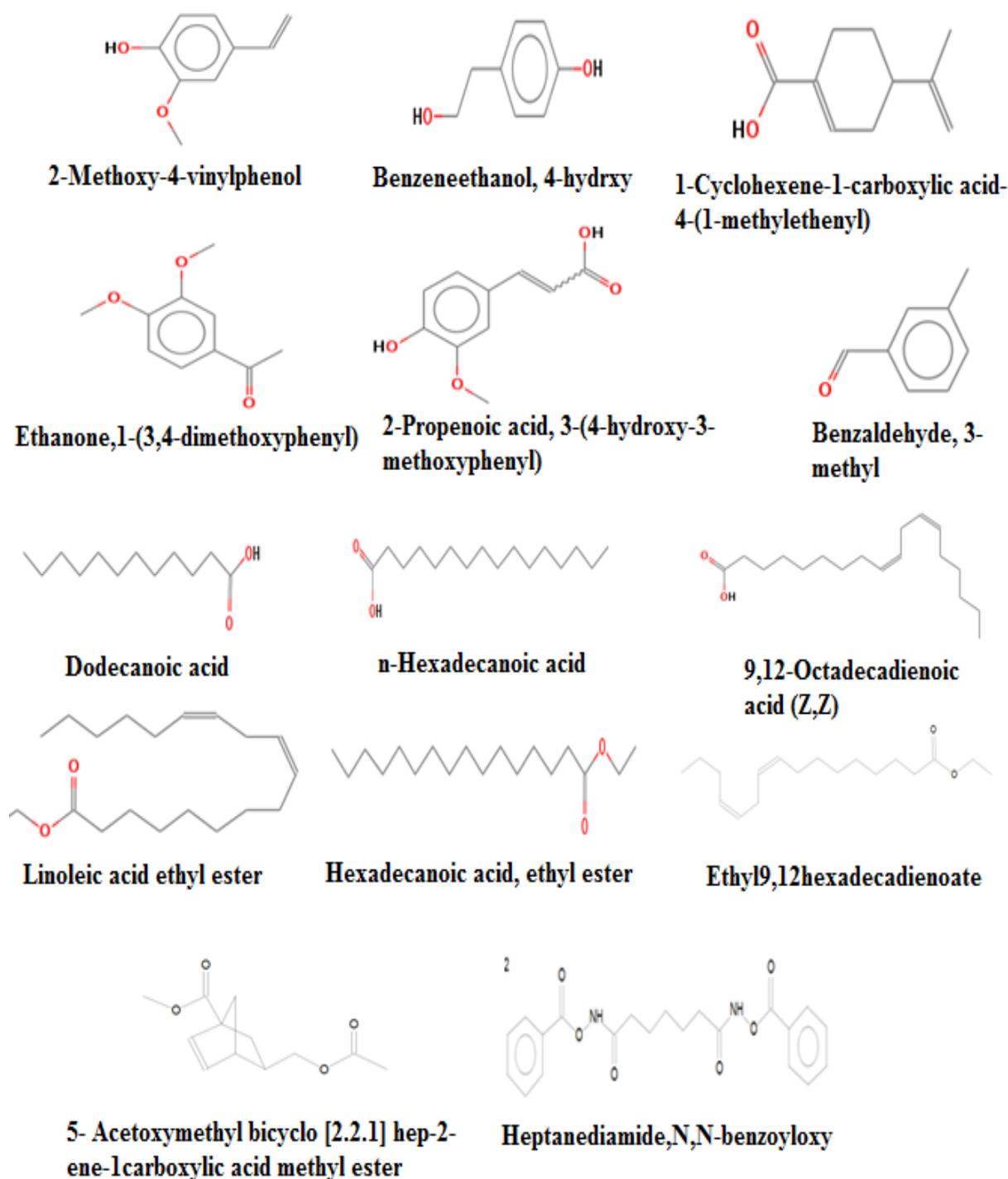


Figure 84 : Structure chimique des molécules identifiées par GC- MS (NIST Database)

RESULTATS ET DISCUSSION

2.8. Capacité antioxydante

L'étude de la variation de l'activité anti-radicalaire en fonction de la concentration des extraits a permis de déterminer la concentration qui correspond à 50% d'inhibition (CI50)/ une faible valeur de CI50 ayant une grande efficacité.

La capacité anti-oxydante des extraits est exprimée en mg équivalent quercétine par gramme de matière sèche (mg EQ.g⁻¹ MS) à partir d'une courbe d'étalonnage établie en utilisant la quercétine comme référence ($y = 0,0563x + 8,4572$, $R^2 = 0,9845$).

✓ Piégeage du radical DPPH'

Ce test a été déterminé par la diminution de l'absorbance d'une solution alcoolique de DPPH' à 517 nm, réduite par les extraits des plantes, pendant 30 min à l'obscurité. Par des dilutions en cascade des extraits des trois types de fruits, ainsi que celui de la quercétine, une gamme de concentrations a été réalisée en allant de 62,5 à 1000 µg ml⁻¹ et pour la quercétine et pour les extraits (**Fig. 85**).

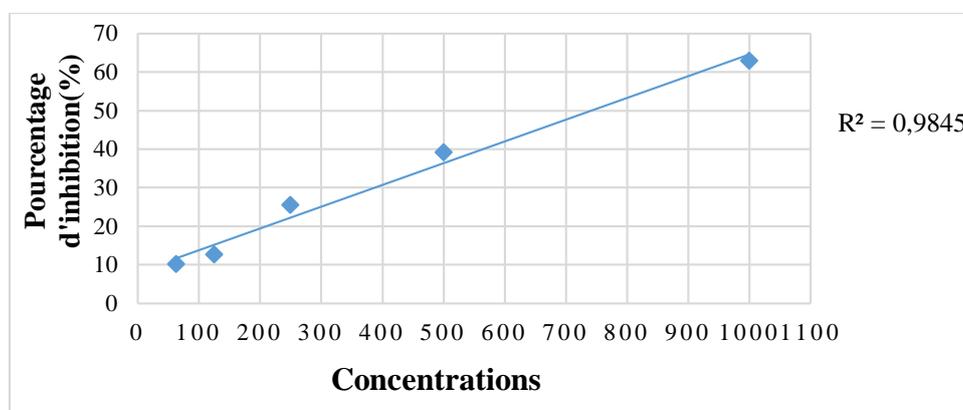


Figure 85 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour la détermination de la capacité antioxydante

Les résultats ont montré une augmentation proportionnelle des pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations des extraits ; ils ont permis l'obtention des courbes linéaires avec R^2 compris entre 0,94 et 0,99 (**Fig. 86 et 87 et 88**).

RESULTATS ET DISCUSSION

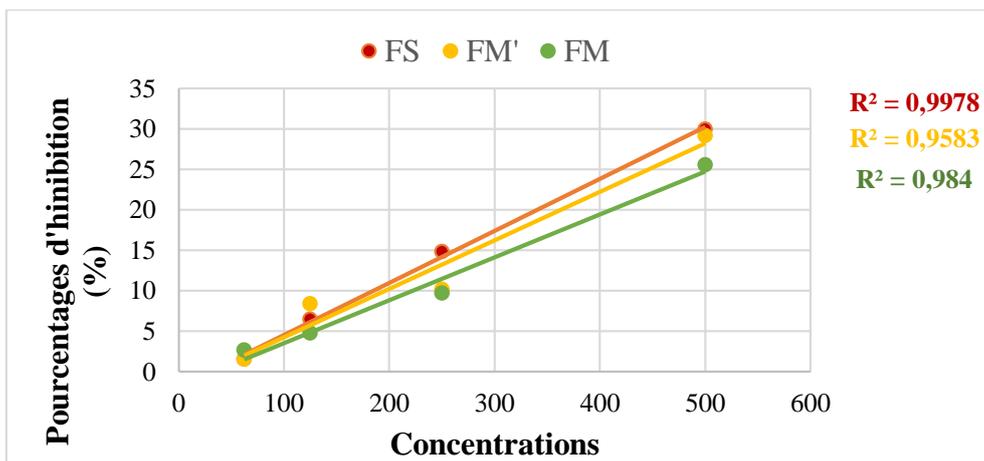


Figure 86 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations pour l'arbre 1

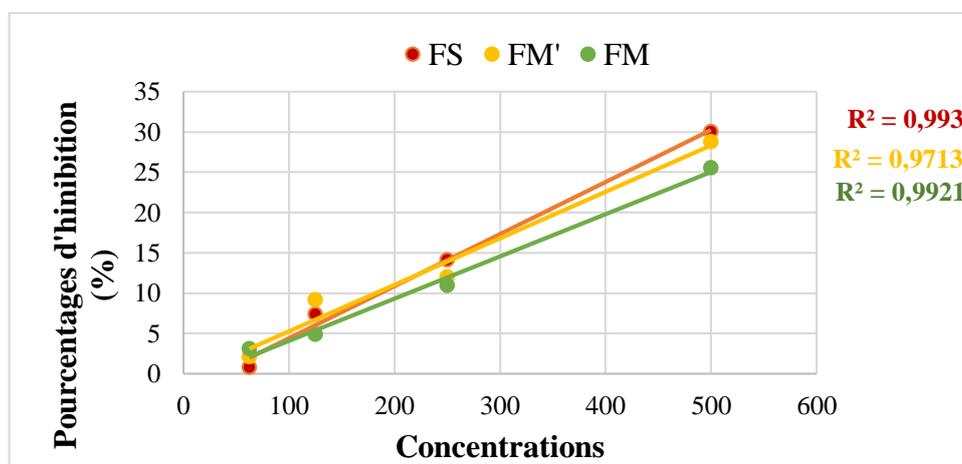


Figure 87 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations pour l'arbre 2

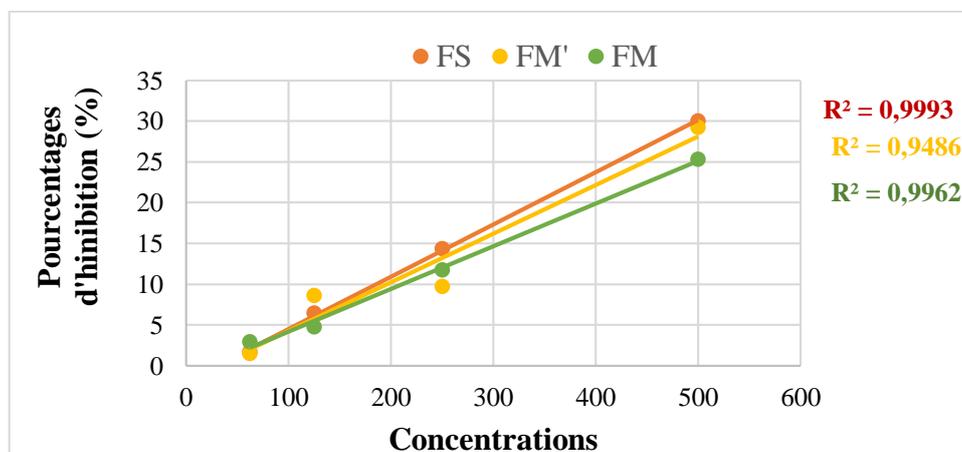


Figure 88 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des concentrations pour l'arbre 3

RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce travail, nous avons opté pour tester les extraits bruts par la méthode de piégeage du radical libre DPPH' afin de connaître le sens de variation de la capacité antioxydante.

Les valeurs des CI_{50} , exprimées en $mg\cdot ml^{-1}$, sont représentées dans la **figure 89**. Ces valeurs ont permis de classer les extraits par ordre de réactivité croissante fruits sains (FS) > fruits attaqués par les piqûres stériles (FM') > fruits attaqués par les piqûres fertiles (FM). Les résultats révèlent que l'extrait de fruits sains a une capacité de piégeage du radical DPPH importante avec une $CI_{50} = 0,865 \pm 0,51 mg/ml$ comparé à celui des extraits des fruits attaqués par des piqûres stériles et fertiles où nous avons enregistré une $CI_{50} = 0,872 \pm 0,41$ et $0,983 \pm 0,47 mg/ml$ respectivement. Le test ANOVA montre qu'il existe une différence hautement significative entre les trois types de fruits avec $p < 0,001$.

La capacité antioxydante des extraits a été exprimée aussi par la détermination de la CI_{50} ($mg\cdot ml^{-1}$).

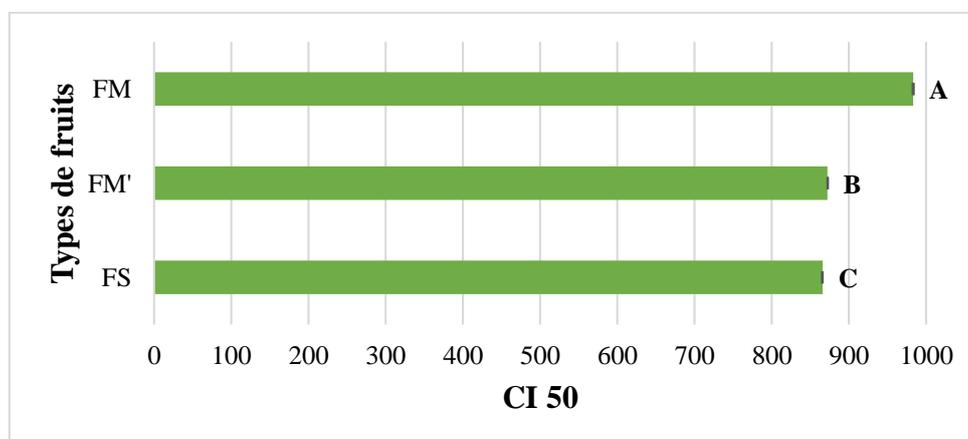


Figure 89 : Valeurs de la CI_{50} des extraits bruts à partir des trois types de fruits

2.9. L'activité insecticide

Les tests de toxicité effectués sur les adultes de *Ceratitis capitata* par application des extraits bruts à trois doses différentes à savoir 20 ; 30 et 40 mg/ml et un témoin, ont été suivis tous les 24 heures (24h, 48h, 72h et 96h). Les tests ANOVA appliqués aux résultats obtenus ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les extraits après 24 h d'exposition avec $p = 0,089$ alors qu'elle était devenue hautement significative à partir de 48 h avec $p < 0,001$.

RESULTATS ET DISCUSSION

Sachant que nous avons enregistré une augmentation du pourcentage de mortalité selon le temps d'exposition, nous avons pu déterminer la dose létale 50 pour chaque extrait, à l'aide de logiciel **Polo Plus**. La DL_{50} a été déterminée après 96h d'exposition aux différents extraits des différents échantillons. La DL_{50} était de 205,48 mg /ml pour l'extrait de fruits sains et 193,45 mg / ml pour l'extrait de fruits attaqués par les piqûres stériles et 192,38 mg / ml pour ceux attaqués par les piqûres fertiles. Le test de Tukey a révélé l'existence de deux groupes extrait et témoin (**Fig. 90**).

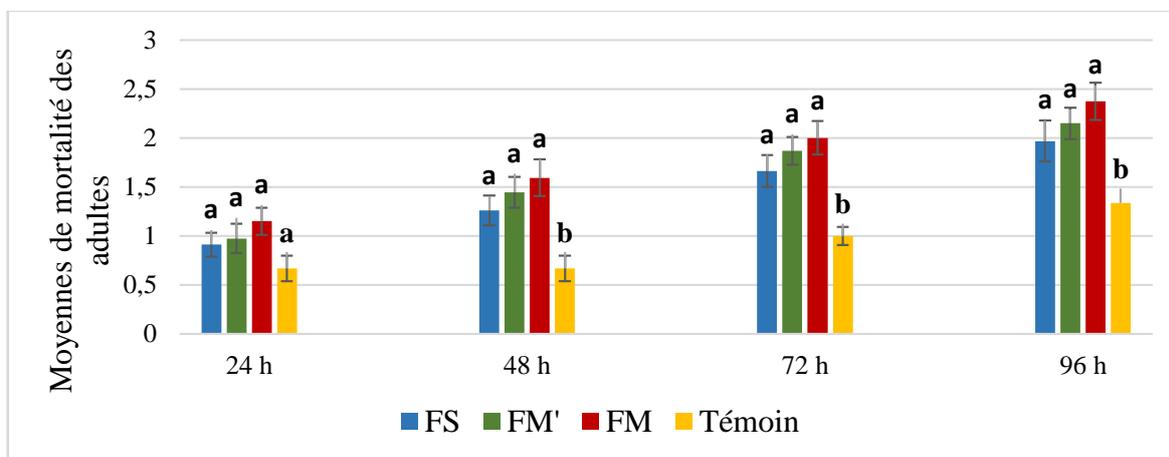


Figure 90 : moyennes de mortalité des adultes

Les résultats obtenus (**Fig. 91**) après l'application des extraits bruts sur les larves de stade L1 en utilisant les concentrations 20 ; 30 et 40 mg/ml ont montré une différence hautement significative avec le témoin avec $p < 0,001$. Le test de Tukey a montré qu'il y avait une similitude entre les moyennes des trois extraits bien que l'extrait des fruits attaqués par les piqûres fertiles FM, pour les trois concentrations, présentait une moyenne élevée par rapport aux autres.

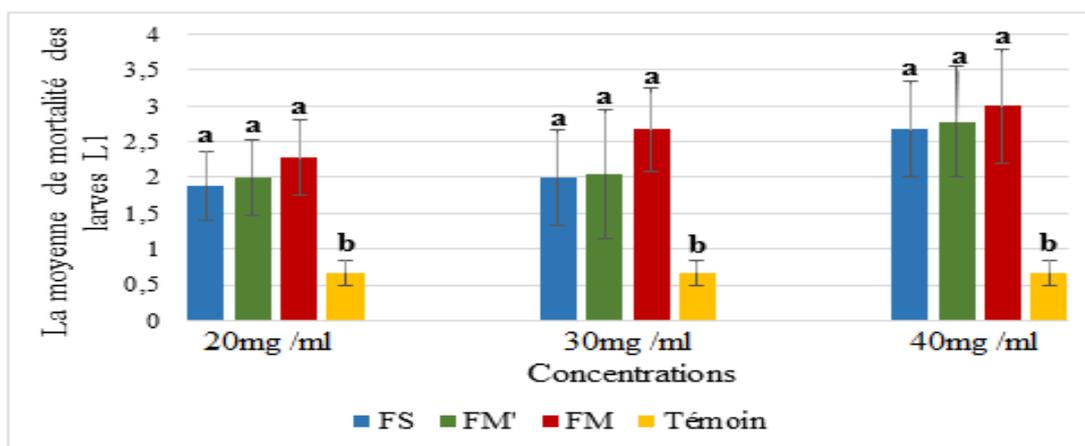


Figure 91 : moyennes de mortalité larvaire des stades L1

RESULTATS ET DISCUSSION

En utilisant les mêmes concentrations pour les trois extraits, l'application des extraits bruts sur les larves de stade L2 a montré une différence hautement significative avec le témoin avec $p < 0,001$. Le test de Tukey a montré qu'il y avait une similitude entre les moyennes des trois extraits (**Fig.92**).

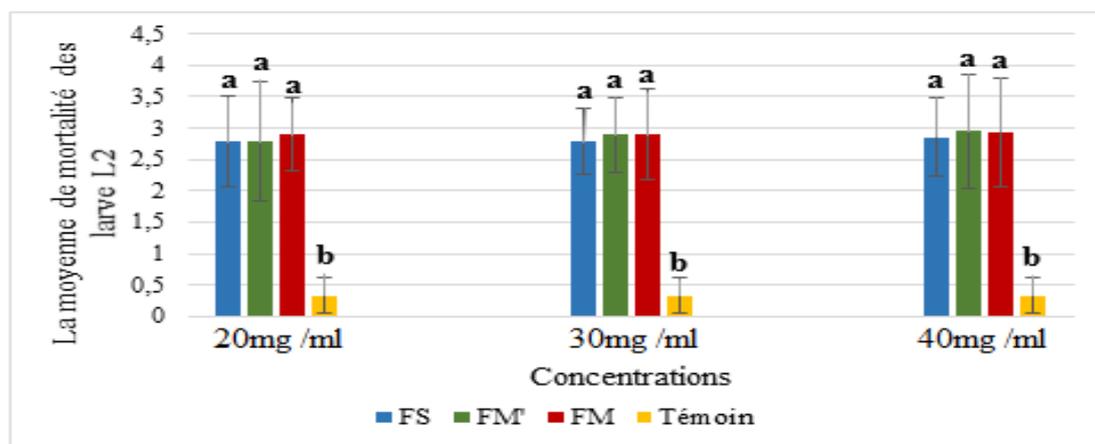


Figure 92 : moyennes de mortalité larvaire des stades L2

L'analyse statistique des taux d'émergence des adultes à partir des larves L1 et L2 traitées (**Fig. 93 et 94**) a prouvé qu'il existait une différence hautement significative entre les extraits et le témoin avec $p < 0,001$.

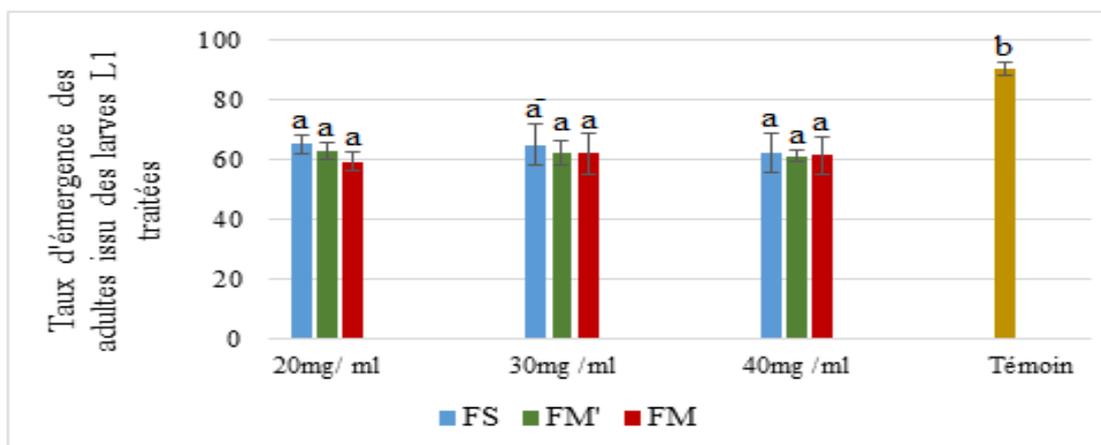


Figure 93 : Taux d'émergence des adultes à partir des larves L1 traitées

RESULTATS ET DISCUSSION

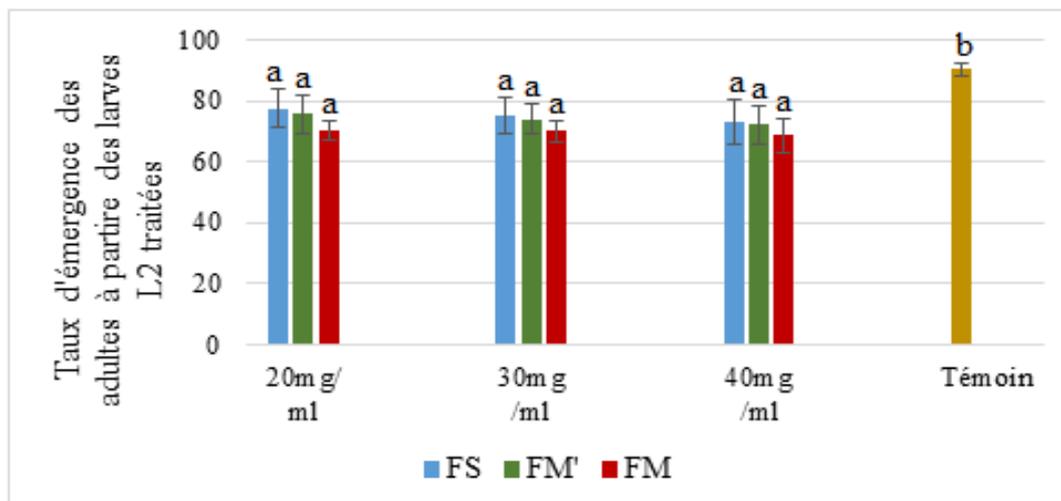


Figure 94 : Taux d'émergence des adultes à partir des larves L2 traitées

Les larves vivantes se sont transformées en pupes ; de ce fait, nous avons suivi leur développement jusqu'au stade adulte afin de calculer leur taux d'émergence et compter les œufs pondus par les femelles pour calculer ainsi leur taux d'éclosion. Pour les deux paramètres étudiés, le nombre d'œufs (**Fig. 95, 96**) et le taux d'éclosion (**Fig. 97 et 98**), les tests ANOVA I ont montré qu'il existait une différence hautement significative entre les extraits et le témoin avec $p < 0,001$, alors que le test de Tukey a classé les extraits dans un même groupe tandis que le témoin dans un groupe différent.

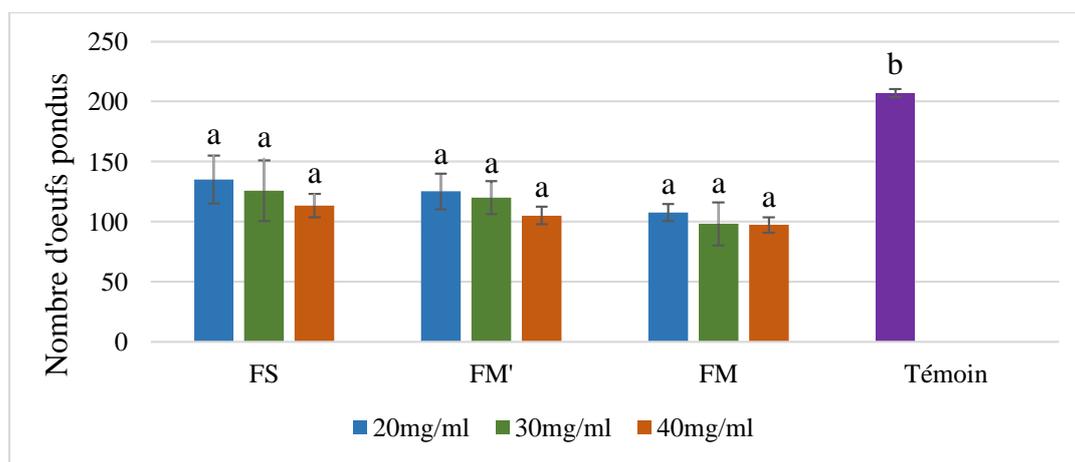


Figure 95 : Nombre d'œufs pondus par les femelles issues des larves L1 traitées

RESULTATS ET DISCUSSION

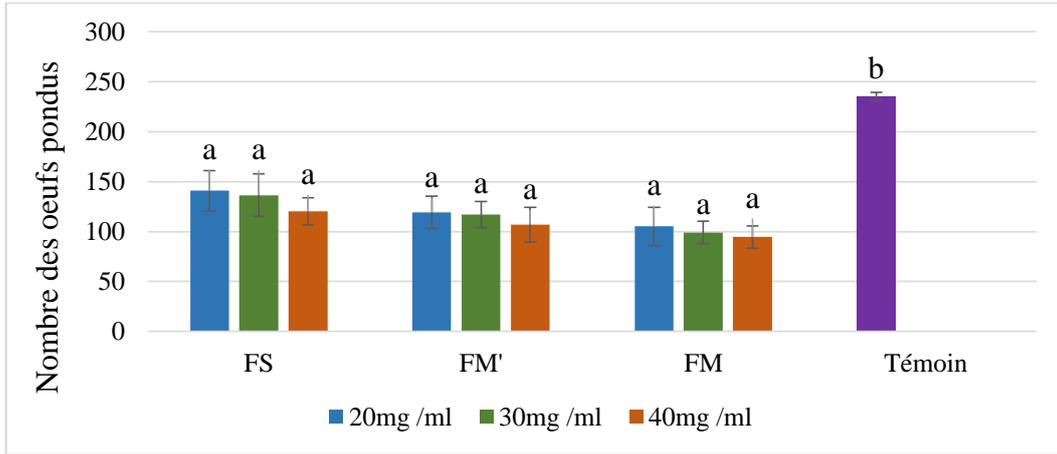


Figure 96 : Nombre d'œufs pondus par des femelles issues des larves L2 traitées

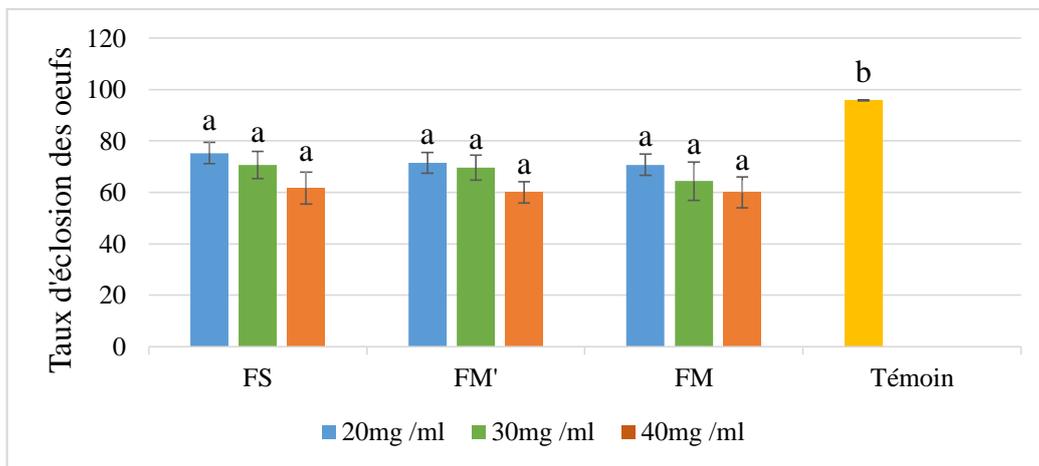


Figure 97 : Taux d'éclosion des œufs issus des larves L1 traitées

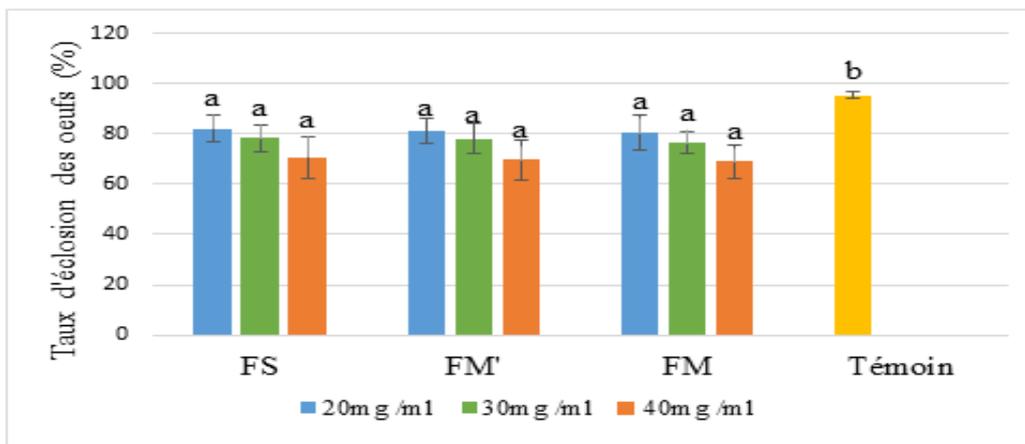


Figure 98 : Taux d'éclosion des œufs issus des larves L2 traitées

RESULTATS ET DISCUSSION

Conclusion

Les résultats obtenus confirment le pouvoir allélochimique de *Citrus sinensis* contre la cératite puisque nous avons enregistré une augmentation des taux de flavonoïdes et de tanins chez les fruits infestés par rapport aux fruits sains. Nous avons aussi identifié quelques acides gras tels que : 2,4-Di- tert-butylphenol, n-Hexadecanoic acid et 9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z) qui ont été décrits dans la littérature comme faisant partie de la cascade de signalisation après qu'une plante ait été attaquée par un insecte.

Les tests de l'activité insecticide contre les larves et les adultes de *Ceratitis capitata* ont montré de bons résultats pour les substances phénoliques de *Citrus sinensis* ce qui confirme la présence d'une défense allélochimique de ce dernier contre la Mouche Méditerranéenne des Fruits.

L'ensemble des résultats obtenus nous permet de proposer un schéma de lutte intégrée soit en induisant cette défense naturelle de l'oranger soit en utilisant ses extraits, obtenus à partir des zests d'oranges, notamment contre les adultes, en prenant en considération la période d'apparition de nouvelles générations en début décembre puis à la troisième décennie du mois de janvier de chaque année pour notre région, sachant que le cycle biologique et le nombre de générations diffèrent d'une région à une autre. Nous devons accentuer nos traitements sur les parties sud des arbres puisqu'ils ont présenté des taux d'infestation les plus élevés par rapport aux autres orientations.

Partie II : Discussion

1. Etude entomologique

La cératite présente une dynamique de population très saisonnière et les conditions environnementales propices à son abondance ne sont pas constantes tout au long de l'année, dans la plupart des endroits (**Szyniszewska et Tatem, 2014**).

Les attaques de la cératite sur les agrumes semblent être influencées par les différents facteurs que nous avons choisi de tester lors de ce présent travail ; que l'on considère les trous de ponte ou le nombre de fruits chutés, les résultats restent similaires.

Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'incidence de quelques facteurs abiotiques tels que l'orientation, la date d'observation et la région sur les attaques de ce ravageur.

La mouche méditerranéenne des fruits est attirée le plus par les fruits les plus volumineux (**Katsoyanos, 1986 ; Katsoyannos et al., 1997 ; Papadopoulos et al., 2001**) qui présentent une surface sèche et une couleur jaunâtre (**Féron, 1962**), comme elle s'attaque aux variétés précoces et tardives et celles à peau mince (**Chouibani et al., 2003**). Au sein de la même espèce d'agrumes, la cératite manifeste une préférence pour les fruits à degré de maturité avancé (**Ahmed-Sadoudi, 2007**), particulièrement pour les cultivars ayant une texture huileuse de l'écorce de leur fruit (**Delanoue et Soria, 1962**).

Cela signifie que la cératite manifeste une préférence pour les fruits mieux exposés, donc plus ensoleillés (**Bodenheimer, 1951 ; Epsky et Heath, 1998**). En d'autres termes, l'intensité lumineuse et la qualité de la lumière peuvent provoquer des réponses variables quant au choix du site de ponte, ainsi que la brillance du site d'oviposition, plutôt que sa couleur, ils ont une influence majeure sur le dépôt des œufs (**Féron, 1962**). En lumière naturelle, l'activité sexuelle se manifeste dès le début du jour, se maintient à un taux maximum pendant plusieurs heures, puis diminue dans l'après-midi et s'annule avant la baisse de l'intensité lumineuse (**Causse et Féron, 1967**).

L'étude de la cinétique des populations de la Cératite sur la variété Washington navel qualifiée comme variété précoce des agrumes dans notre région a montré la présence de deux pics qui coïncident avec le début de mois de décembre et à la fin du mois de janvier de chaque année ; ce qui correspond à l'apparition de deux nouvelles générations durant la période

RESULTATS ET DISCUSSION

d'étude ; ces résultats correspondent à ceux de **Hassani en 2003** qui a réalisé ses travaux sur la station d'El Fhoul dans la région de Tlemcen.

L'étude de l'abondance et la répartition de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) dans les vergers d'agrumes de la variété Valencia late et d'autres cultures hôtes de substitution ont été étudiées au niveau du Centre de Recherche Agricole de l'Université du Ghana, dans l'est du Ghana par **Appiah et al., 2009**. Cette étude a montré que la population de *C. capitata* a augmenté de septembre à octobre 2006 et de février à mars 2007, lorsque les agrumes de Valencia late mûrissaient, alors quelle était la plus faible de novembre 2006 à janvier 2007, lorsque les agrumes étaient au stade vert immature. Leurs analyses de régression multiple ont également révélé que les précipitations et la température avaient une influence significative sur la population de ravageurs. Tandis que les résultats obtenus par **Escudero-Colomar et al., en 2008** ont montré une variation saisonnière de la dynamique de population de la mouche méditerranéenne, avec un pic en septembre – octobre et une activité adulte se terminant en décembre ou en janvier, quel que soit le type de l'hôte étudié.

Des fluctuations démographiques de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) ont été évaluées sur une période de 12 mois dans quatre couches altitudinales (400 à 750, 750 à 1 100, 1 100 à 1 450 et 1 450 à 1 800 mètres d'altitude) dans l'est du Guatemala par **Flores et al. en 2016** qui ont trouvé que la densité de la population était la plus basse dans la strate de 400 à 750 m et la plus élevée entre 1 450 et 1 800 m.

L'orientation des fruits a une grande influence sur les attaques de la cératite et sur le nombre de fruits chutés. Les analyses statistiques ont montré que la partie sud a présenté la moyenne la plus élevée, nous expliquons ce résultat par le fait que les oranges qui se trouvent dans cette orientation sont exposées plus au soleil, donc plus lumineuses par rapport aux fruits des autres orientations ; de ce fait, l'écorce devient molle et donc facile à être piquée par la cératite, contrairement aux résultats obtenus par **Naâmani et al. (1997)** qui signalent que les fruits chutés-qui sont la plupart à l'état vert ou mûrissant- sont plus du côté est en mai.

Des travaux menés par **Bateman (1982)** à Sousse ont montré également que l'exposition sud-est est celle où les captures de la cératite sur les agrumes sont les plus élevées.

En revanche, chez un autre Tephritidae, la mouche de l'olive *Bactrocera oleae*, a montré que l'orientation n'a aucune influence sur le degré d'infestation qu'il soit établi à partir du nombre de piqûres, de galeries, de larves ou des trous de sortie (**Gaouar,1989 ; 1996**). **Metna en 2009** a signalé que les expositions est, sud et centre sont celles qui présentaient des taux de fruits piqués les plus élevés. Par contre **Ahmed-Sadoudi en 2007** a constaté que l'ouest est l'exposition la plus visitée par la cératite. D'un autre côté le travail de **Bachi en 2012**, a montré que les fruits du centre sont les plus piqués par la cératite.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les moyennes des trous de ponte et des fruits chutés ont varié significativement selon la date d'observation.

Les résultats des analyses statistiques obtenus montrent bien la forte influence des dates d'observation sur les taux des trous de ponte ainsi que sur le nombre de fruits chutés. Les mêmes résultats ont été signalés par **Selka (2007)** qui a travaillé sur la variété d'oranger sanguinelli dans la région d'El-Fhoul, comme pour **Hassani (2003)** qui a travaillé sur la variété Washington navel.

Naâmani et al. (1997) ont indiqué que la maturité croissante des fruits stimule l'activité des mouches, ce sont les mauvaises conditions climatiques qui l'inhibent.

Selon **Tzanakakis et al. (1968)**, les variations de l'infestation en fonction de la date peuvent être expliquées par le degré de maturation donc de réceptivité du fruit. En effet, cette dernière est liée à un stade de croissance bien défini, lequel peut être observé à des dates fort différentes selon les années et les régions considérées (**Jerraya et al., 1982**).

La date étant liée aux variations climatiques dont on connaît l'impact sur la biologie de tous les organismes vivants en général et sur les invertébrés en particulier (**Lamy, 1997**), il est donc normal que ce facteur ait autant d'influence sur ce phytophage.

Le travail réalisé par **Vayssières et al. en 2009** sur les mouches des fruits associées aux manguiers ont été surveillées dans deux vergers au Bénin durant 2005 et 2006, a montré que les températures minimale – maximale, l'humidité relative et les précipitations étaient les principaux facteurs climatiques influant sur les populations de mouches. **Vayssières et al. (2009)** ont remarqué que l'augmentation saisonnière de la population de *Bactrocera invadens* a coïncidé avec la période de fructification des principaux cultivars de mangue de cette savane nord-guinéenne, mais la disponibilité de mangue n'a influencé la population de cette nouvelle espèce envahissante que lorsque les pluies sont arrivées. Ils ont estimé que les dégâts moyens sur les mangues pour les deux saisons et les deux vergers étudiés sont passés de 17% début avril à 73% à la mi-juin.

Drew (1989) et Metclaf (1990) ont considéré que ce sont les odeurs de l'arbre ou kairomones, substances volatiles attractives à longue distance, qui fonctionnent comme leurres des mâles sexuellement mûres et les femelles immatures, les phéromones sexuelles assurant le succès de l'accouplement, stimulent ainsi l'oviposition.

Duyck (2005) a signalé également que la température est l'un des facteurs qui peuvent affecter la distribution chez les Tephritidae. En outre, selon **Bodenheimer (1951) ; Féron (1962) et Handrichs et al. (1989)**, les femelles effectuent leur ponte durant les heures les plus

RESULTATS ET DISCUSSION

chaudes. Les basses températures inhibent le vol et l'accouplement des mouches (**Meats, 1989**).

Des études menées par **Vera et al. (2002)** ont montré également que la distribution de la mouche méditerranéenne des fruits était conditionnée par les facteurs climatiques, la sécheresse dans le sud de l'Espagne, du Portugal et en Afrique du Nord et par le froid du nord de l'Europe.

La température a un rôle déterminant dans l'abondance des Tephritidae et agit soit directement ou indirectement à travers ses effets sur les taux de développement, de mortalité et de fécondité (**Ouedraogo, 2011**). **Duyck et Quilici (2002)** ont également souligné l'influence très importante de la température sur le développement et la survie de différentes espèces de Tephritidae. La fécondité des mouches des fruits dépend aussi de la température avec le maximum de production d'œufs dans la gamme de température comprise entre 25 et 30°C. Une espèce dominante pourra être différente suivant la température et par conséquent suivant la latitude et l'altitude (**Duyck, 2005**) ; c'est le cas par exemple de *Bactrocera dorsalis* à Hawaii qui domine sur la quasi-totalité de l'île, alors que *C. capitata* subsiste uniquement dans les zones de haute altitude, bien que des observations avaient fait état de l'abondance de *C. capitata* en basse altitude avant l'établissement de *B. dorsalis* (**DeBach, 1966**). A la Réunion, **Duyck et al. (2006 b)** ont montré une ségrégation de niches entre *C. capitata* qui domine dans les zones à température comprise entre 24-26°C et de 1000 mm de précipitations et *Ceratitis rosa* qui réside dans les zones où la température varie entre 22-23°C avec une pluviométrie élevée de 3000 à 3500 mm.

Kaufmann et Bennett (1989) ; **Dillon et Frazier (2006)** et **Clusella-Trullas et al. (2010)** ont souligné que la température ambiante influence directement les arthropodes, leur aptitude physique à effectuer diverses activités, y compris la locomotion des organismes ectothermiques. De tels effets thermiques peuvent être causés par des changements de disponibilité d'énergie induits par la température via une altération du fonctionnement des mitochondries (**Hochachka et Somero, 2002** ; **Seebacher et James, 2008**) qui, dans certains cas, influence directement la puissance mécanique des muscles (**James, 2013**). En outre, plusieurs autres processus physiologiques importants tel que les taux métaboliques et de développement sont également fortement influencés par la température ambiante (**Frederich et Pörtner, 2000** ; **Chown et Nicolson, 2004** ; **Irlich et al., 2009**; **Dell et al., 2011**) et peut à son tour avoir des effets indirects sur la capacité locomotrice. Les changements de performances qui en résultent peuvent affecter la capacité de dispersion à court et à long terme des arthropodes, avec des implications significatives pour l'écologie et l'évolution (**Feder et al., 2010**; **Bonte et al., 2012**; **Clobert et al., 2012** ; **San Martin y Gomez et van Dyck, 2012**).

RESULTATS ET DISCUSSION

Le cycle de la mouche méditerranéenne passe par quatre stades : œuf-larve-pupe-et adulte.

Plusieurs facteurs, aussi bien biologiques qu'environnementaux, peuvent influencer la distribution et l'abondance des populations de mouches des fruits. Ils affectent directement ou indirectement les taux de survie et le développement des différentes phases du cycle et la fécondité des femelles (**Ouedraogo, 2011**).

Les fruits de notre verger étaient très piqués, ainsi nous avons trouvé des nombres importants de larves dans les fruits chutés destinés à nos élevages, ce qui nous a permis d'en déduire que les œufs pondus ont continué leur développement. Cela serait dû à l'acidité du fruit de notre variété qui est favorable pour le développement embryonnaire de la mouche. Ainsi, la mouche préfère pondre dans les fruits qui ne sont pas très mûrs car le jus des fruits mûrs cause la mort des œufs et des jeunes larves (**Thomas et al., 2001**).

En **1960**, **Piguet** a défini les Thomson comme des fruits précoces, peu acides, qui sont de loin les plus piqués, il est pourtant assez rare d'y trouver des larves, d'où cette notion de piqûres stériles. En outre, la variété Washington navel présente des caractères très intéressants puisqu'elle est la plus précoce, plus juteuse que la Thomson navel, plus riche en sucre durant la période critique du stade larvaire, aussi elle est très attractive pour la cécidomyie car elle dégage une odeur forte et très agréable.

Notre étude a montré une corrélation positive entre le nombre de piqûres et celui des fruits chutés par terre ; ceci rejoint les résultats rapportés par **Umeh et al., 2004** qui ont trouvé que les fruits de *Citrus sinensis* (L.) orange douce, *Osbeck var. Valence fin* attaqués par *C. capitata* ont augmenté avec la maturité du fruit et étaient positivement corrélés au nombre de fruits tombés. Ils ont constaté aussi que l'élimination des fruits tombés a considérablement réduit le nombre de fruits attaqués par les mouches des fruits. Ils considèrent que les fruits chutés par terre constituent des réservoirs de mouches des fruits pour la ré-infestation d'autres fruits sains.

Les élevages effectués aux conditions de laboratoire ne présentant pas beaucoup de différence avec les conditions naturelles sauf pour la protection contre le gel, ont montré nettement que le taux de mortalité était assez important (21,7%) (**Fig.50**) ; en le comparant avec celui obtenu par **Bensenouci (2008)** avec 15,15 % pour la variété sanguinelli, cela serait dû à une compétition larvaire. En effet **Duyck (2005)** a signalé que les deux types de compétition, d'interférence et d'exploitation, doivent intervenir mais il est difficile de les différencier.

Selon **Fitt (1989)** l'interférence entre les larves peut se manifester par des attaques physiques, du cannibalisme ou par la suppression physiologique des autres larves ; quel que soit le

RESULTATS ET DISCUSSION

mécanisme, les premières larves qui éclosent dans le fruit sont favorisées par rapport aux suivantes.

Le développement nymphal a duré 19,98 jours en moyenne pour nos élevages, cette durée est différente de celle obtenue par **Selka (2007)**, 23 jours et 25 jours par **Bensenouci (2008)** pour la variété Sanguinelli. Ainsi, elle était de 26 jours pour la variété Valencia, de 23 jours pour la variété Washington et de 29 jours pour la variété Thomson pendant la même période et dans les mêmes conditions, comme le montrent les travaux de **Hassani (2003)**.

Par ailleurs, la durée du stade pupal chez *Ceratitis capitata* a présenté des variations aux différentes dates pour un même élevage, ce qui s'explique par les variations de température et d'hygrométrie sachant que ces facteurs ont un impact important sur le développement des arthropodes (**Drew, 1989**).

En revanche, en comparant nos résultats à ceux de **Hassani (2003)**, nous avons eu une forte mortalité nymphale de 51,14% alors que chez lui, elle était de 9,27% pour Valencia, 9,72% pour Washington et 16,66% pour Thomson ; **Selka (2007)** a obtenu 20% de mortalité pour la variété Sanguinelli. Cela est probablement dû aux conditions de laboratoire qui n'étaient pas très favorables pour le développement nymphal.

La longévité moyenne des adultes de nos élevages était de 17,88 jours en moyenne, alors qu'elle était de 34 jours pour les élevages de **Selka (2007)**. En effet, elle a varié entre 2 et 69 jours.

Les élevages effectués aux conditions de laboratoire ont montré que la mortalité larvaire représentait (47,73%) (**Fig.52**) cela serait dû à une compétition larvaire.

Etant donné que la pupaison est le seul stade présent dans le sol, les pupes sont directement sous l'influence de la température et de l'humidité du sol ; ces deux facteurs ont un effet direct et important sur le développement pupal des Tephritidae (**Neilson, 1964 ; Eskafi et Fernandez, 1990 ; Teruya, 1990**). Selon **Meats (1989)**, si une température de 2°C est maintenue pendant une semaine, il n'y a aucune émergence d'imagos.

L'humidité a également une influence importante sur l'abondance de nombreuses espèces de Tephritidae (**Bateman, 1982**). Elle agit sur l'abondance de leurs populations à travers la réduction de la fécondité des adultes femelles en période sèche et par la forte mortalité des adultes nouvellement émergés dans des conditions sèches (sol sec et atmosphère à faible humidité relative) (**Ouedraogo, 2011**).

Selon **Duyck et al. (2006 b)**, les pupes de différentes espèces de Tephritidae survivent bien à 100% d'humidité relative (HR), avec un taux de 80% d'émergence. Cependant, ce facteur

RESULTATS ET DISCUSSION

climatique peut être un facteur limitant le développement d'autres espèces de mouches des fruits et par conséquent influencer le partage de la niche écologique. Par exemple, à 30% d'humidité relative, l'espèce *Bactrocera zonata* a un taux de survie supérieur à *C. capitata*, *Ceratitis rosa* et *Ceratitis catoirii* (Duyck et al., 2006b).

La texture du sol a son importance, les sols lourds entravent le développement pupal et sont la cause d'une grande mortalité en cas de forte irrigation ou pluie (Selka, 2007).

Le rapport sex-ratio est égal à 1. Donc le nombre de mâles est suffisant pour que toutes les femelles soient fécondées.

Nos élevages ne nous ont pas permis d'obtenir des parasites ; ce parasitisme nul pourrait être dû à la sensibilité du parasite aux traitements insecticides ainsi qu'au fait qu'il a pour hôte un autre Tephritidae en même temps et dans la même région, en l'occurrence la mouche de l'olive *Bactrocera oleae*. Par contre, la recherche de parasitoïdes indigènes de *Ceratitis capitata*, l'une des activités menées dans la Communauté valencienne dans des parcelles d'agrumes et d'autres arbres fruitiers, des adultes de deux espèces différentes d'insectes hyménoptères ont été obtenus chez des pupes de mouche méditerranéenne élevées en laboratoire. Les ptéromalides *Spalangia cameroni* Perkins et *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani) ont été identifiés en tant que parasitoïdes nymphaux de la mouche méditerranéenne (Falcó et al., 2006)

Des travaux menés à Tlemcen par Gaouar (1996) et Selka (2007) ont permis d'identifier la nature du parasite de *Ceratitis capitata* dans la région d'El Fhoul, il s'agissait d'un Hyménoptère Braconidae appartenant à l'espèce *Opius concolor*.

Selon Cochereau (1970), les femelles du genre *Opius* possèdent une tarière de 3 à 5mm de long, ce qui peut expliquer que la variété Washington navel, ayant une peau coriace et épaisse, empêche la tarière du parasitoïde de s'y enfoncer.

2. Etude biochimique

L'observation microscopique de l'écorce d'agrumes infectée (Fig.58) par la cératite montre une dessiccation des cellules entourant les piqures, ce qui explique une défense hypersensible des agrumes contre la ponte des mouches de fruits. D'après Shapiro et DeVay (1987) ; Balbyshev et Lorenzen (1997) et Little et al. (2007), une plante peut répondre aux œufs d'insectes par une réponse hypersensible, à savoir la formation de tissu nécrotique sur le site de dépôt des œufs (sur un tel site nécrotique, l'humidité diminue et la température locale augmente). Le taux métabolique de l'embryon va augmenter en raison de l'élévation de la

RESULTATS ET DISCUSSION

température des feuilles, mais aussi la perte d'eau de l'œuf va augmenter ; en conséquence, l'œuf se desséchera probablement et l'embryon stressé mourra (**Woods, 2010**).

En plus de l'atmosphère gazeuse immédiate fournie par la couche limite des feuilles renfermant un œuf d'insecte, la performance des œufs peut également être affectée par les composés secondaires des plantes incorporés dans l'œuf, par les femelles séquestrant ces composés à partir de la plante. Les composés végétaux secondaires servent souvent de protection contre le parasitisme et la prédation des œufs (**Blum et Hilker, 2002**). De nombreuses espèces d'insectes sont connues pour doter leurs œufs en toxines végétales (**Roeske et al., 1976 ; Nishida et Fukami, 1989 ; Boppré, 1990 ; Schaffner et al., 1994 ; Hartmann, 1995a, b, 1999 ; Trigo et al., 1996 ; Loaiza et al., 2007 ; Ramos et al., 2009**). Non seulement les femelles dotent les œufs de toxines végétales, mais les mâles peuvent également contribuer à la dotation des œufs en toxines végétales ; les mâles transfèrent les toxines aux œufs via l'accouplement (**Eisner et al., 2002**). En plus de ces toxines végétales, les phytohormones, l'acide jasmonique (JA) et l'acide salicylique (SA), ainsi qu'un précurseur de l'acide benzoïque (BA) ont été détectés dans les œufs de nombreuses espèces d'insectes, souvent à des concentrations beaucoup plus élevées que dans le régime alimentaire des tissus végétaux ou des larves (**Tooker et De Moraes, 2005 et 2007**). La fonction de ces composés dans les œufs d'insectes est inconnue. Les SA et BA ont une activité antimicrobienne et antifongique et pourraient donc protéger les œufs contre les entomopathogènes. JA, SA et BA n'ont été détectés jusqu'à présent que dans les œufs. Cependant, ils n'ont pas été trouvés dans des extraits de l'extérieur des œufs (**Tooker et De Moraes, 2005**).

L'augmentation des taux de composés phénoliques dans les fruits de *Citrus sinensis* infestés par *Ceratitis capitata* peut indiquer que l'herbivorie a déclenché une réponse induite chez *C. sinensis* afin de réduire les dégâts. Des résultats similaires ont été observés dans d'autres études ; par exemple, les teneurs en polyphénols de *Solanum carolinense* ont augmenté de façon marquée et rapide après un traitement à l'acide jasmonique, qui a simulé l'attaque des herbivores pour induire des réponses de défense (**Walls et al., 2005**). **Zhao et al. en 2014** ont constaté que la concentration de composés phénoliques dans les feuilles attaquées était significativement plus élevée que dans les feuilles saines et était positivement liée à l'étendue des dommages. **Gaouar Benyelles et al. (2014)** ont constaté que la quantité de tanins et de flavonoïdes était plus élevée dans l'olive infectée que dans l'olive saine. L'augmentation des composés phénoliques totaux en réponse aux stress tels que l'alimentation des insectes, concorde dans une large mesure avec les conclusions de **Saleh et Al-Shareef (2010)** qui ont constaté que l'infestation par *Bemisia tabaci* (*Gennadius*) en serre, entraînait une teneur en phénols plus élevée de toutes les plantes infestées. En outre, **Srinivasan et Uthamasamy (2004)** ont suggéré une augmentation substantielle de la quantité de tanins, résultant de

RESULTATS ET DISCUSSION

l'alimentation par la pyrale des fruits et l'aleurode. Leurs résultats ont montré une augmentation de 1,5 à 2,00 fois la teneur en tanins des différentes accessions de tomates dues à la pyrale des fruits et une augmentation de 2,00 à 4,00 fois en raison de l'alimentation par les mouches blanches. **Nicholson et Hammerschmidt (1992)** ont fait valoir que les composés phénoliques sont bien connus pour leurs rôles dans les réponses de défense des plantes, à la fois en tant qu'inhibiteurs préformés et en tant qu'inhibiteurs des attaques pathogènes. De plus, **Freeman et Beattie (2008)** ont révélé que les composés phénoliques sont une grande classe de métabolites secondaires produits par les plantes pour se défendre contre les agents pathogènes. Les mêmes résultats ont été obtenus par les travaux d'**El-Meniawi et al. (2015)**, qui ont suggéré que l'infection des plants de tomates par *Bemisia tabaci* a un grand effet sur le métabolisme des composés aromatiques chez les tomates.

Les métabolites secondaires non seulement défendent les plantes de différents stress, mais augmentent également la condition physique des plantes. Il a été rapporté que la résistance du maïs au ver de l'épi de maïs *Helicoverpa zea* (Boddie) est principalement due à la présence des métabolites secondaires C-glycosyl flavone maysin [2"-O- α -L-rhamnosyl-6-C-(6-désoxyxylo- β -hexos-4-ulosyl) lutéoline] et le produit phénylpropanoïde, l'acide chlorogénique (**Nuessly, 2007**). Le composé 4, 4 diméthyl cyclooctène a été déclaré responsable de la résistance à la mouche des pousses *Atherigona soccata soccata* chez le sorgho *Sorghum bicolor* (**Chamarthi et al., 2011**)

➤ Les tanins

Parmi les métabolites secondaires, les tanins sont pour les végétaux d'efficacité moyenne de défense contre les herbivores : ils réduisent à la fois la biodisponibilité des protéines des plantes et l'activité des enzymes digestives. Comme pour d'autres composés secondaires, la perception d'un goût (amer, astringent,...) permettrait aux animaux d'éviter les plantes les plus toxiques et de limiter ainsi leur consommation (**Feeny, 1970 ; Freeland et Janzen, 1974**). Les dégâts causés par les herbivores apparaissent inversement corrélés aux teneurs en tanins de leurs plantes nourricières (**Bernays et al., 1989**).

Le rôle des tanins dans la défense des plantes contre divers stress et leur induction en réponse aux dommages causés par les insectes a été étudié chez de nombreuses plantes (**Barbehenn et Constabel, 2011**), par exemple chez *Populus species* (**Peters et Constabel, 2002**) et chez *Pinus sylvestris* L. (**Roitto et al., 2009**). Cependant, aucun effet des herbivores sur la teneur en tanins n'a été observé chez *Quercus serrata* (Thunb.) (**Hikosaka et al., 2005**) et *Betula pendula* Roth (**Keinanen et al., 1999**). Comme les inhibiteurs de la protéinase et les enzymes oxydatives, les tanins ont été signalés comme étant systémiques dans les feuilles voisines de la plante endommagée.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les tanins influencent la croissance, le développement et la fécondité de plusieurs insectes herbivores (Feeny, 1976 ; Hagerman et Butler, 1991 ; Awmack et Leather, 2002 ; Stamp, 2003). La croissance réduite causée par les tanins a deux inconvénients majeurs : premièrement la taille réduite des chrysalides femelles entraîne une diminution du nombre d'œufs et une réduction de la taille des œufs, ce qui peut affecter la survie et la santé des individus subséquents (Kaitaniemi et al., 1998 ; Osier et al. 2000 ; Tikkanen et al., 2000). Deuxièmement, un temps de développement larvaire prolongé peut entraîner une mortalité plus élevée due à la prédation (Feeny, 1976 ; Benrey et Denno, 1997).

Les tanins condensés sont des flavonoïdes oligomères ou polymères, également connus sous le nom de proanthocyanidines ; ils ont des structures et des fonctions diverses. Ils agissent comme des moyens de dissuasion contre certains insectes tels que *Lymantria dispar* (L.), *Euproctis chrysorrhoea* (L.) et *O. brumata* (Feeny, 1968 ; Bernays, 1989). Les tanins condensés tels que la (+) -catéchine, la (+) - gallocatéchine et la vanilline dans les feuilles de *Quercus robur* L. ont inhibé les larves de la noctuelle de l'hiver, *O. brumata* (Feeny, 1968). Les polymères de procyanidine ont été découverts comme dissuasifs contre *Aphis craccivora* (Koch) chez l'arachide (Grayer et al., 1992). Les tanins condensés de bouleau à papier d'Alaska (enduits sur feuilles de bouleau à 3% wt.) ont réduit la masse nymphale et la survie des larves de *Rheumaptera hastata* (L.) (Bryant, 1993). En outre, l'induction du tanin est également stimulée par le stress léger (Miranda et al., 2007 ; Mellway et al., 2009) et l'exposition à la lumière UV chez le peuplier hybride (Mellway, 2009). Cependant, certaines espèces d'insectes polyphages ont la capacité de tolérer les gallotanins, par exemple *Shistocerca gregaria* (Forsk.) tolère les tanins en les hydrolysant rapidement pour éviter tout effet nuisible en limitant leur passage en les adsorbant sur la membrane péritrophique épaisse et en inhibant la formation du complexe protéique tanin par les surfactants dans l'intestin moyen (Bernays et Chapman, 2000).

Les plantes ont la capacité de distinguer entre les dommages herbivores et mécaniques, tels que la grêle et le vent, ainsi que de reconnaître l'oviposition. Cette caractéristique est nécessaire pour éviter de gaspiller des ressources de défense coûteuses, puisque la production et la libération de réponses de défense ne bénéficient qu'aux plantes soumises à des attaques herbivores (Fürstenberg-Hägg, 2013).

➤ Les flavonoïdes

Les flavonoïdes tels que les flavones 5-hydroxyisoderricine, 7-méthoxy-8- (3-méthylbutadiényl) -flanone et 5-méthoxyisoronchocarpine isolées de *Tephrosia villosa* (L.), *T. purpurea* (L.) et *T. vogelii* Hook, ont respectivement été trouvés comme agents de dissuasion contre *Spodoptera exempta* (Walk.) et *Spodoptera littoralis* Bios (Simmonds, 1990). Il a été

RESULTATS ET DISCUSSION

rapporté qu'une surexpression d'un facteur de transcription contrôlant la production de flavonoïdes chez *Arabidopsis* conférait une résistance à *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Johnson et Dowd, 2004). L'Angustone A, la Licoisoflavone B, l'Angustone B et l'Angustone C. Les isoflavones, la licoisoflavone A, la lutéone, le licoiso- flavone B et la wighteone ont non seulement un effet dissuasif sur les insectes, mais aussi une activité antifongique contre les champignons, *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) et *Cladosporium cladosporioides* (Fres.) (Lane et al., 1987). Les isoflavonoïdes (judaïcine, judaïcine-7-O-glucoside, 2-méthoxy-judaïcine et maackiain) isolés des parents sauvages du pois chiche agissent comme anti-nutriments contre l'*Helicoverpa* (Hubner) à 100 ppm. La judaïcine et le maackiain se sont également révélés dissuasifs pour *S. littoralis* et *S. frugiperda*, respectivement (Simmonds et Stevenson, 2001). Le cyanopropényl glycoside et l'alliarinoside inhibent fortement l'alimentation par le papillon natif américain *Pieris napi oleracea* L., tandis qu'un flavone glycoside, l'isovitexine-6 Le «-D-β-glucopyranoside agit comme un moyen de dissuasion alimentaire direct aux derniers instars» (Renwick et al., 2001)

La différence entre l'aire de pic des fruits attaqués par des piqûres stériles et ceux attaqués par des piqûres fertiles notamment les pics 2 et 7 montre qu'il y a probablement une réponse de *Citrus* vis-à-vis du liquide qui accompagne les œufs pondus. Les fluides de ponte des insectes peuvent aussi induire des réponses de défense de la plante, ce qui attire la progéniture qui absorbe les œufs ou renforce sa défense en cas de future attaque d'herbivores par les insectes (Hilker et Meiners, 2006). La ponte de *Diprion pini* (tenthrède) sur *Pinus sylvestris* (pin sylvestre) entraîne une augmentation de la production de substances terpénoïdes et une diminution de la libération d'éthylène (Schroder et al., 2007). L'oviposition de *Pieris brassicae* sur *Arabidopsis thaliana* déclenche aussi l'expression de gènes liés à la défense (Little et al., 2007). Cependant, les produits chimiques responsables de la réponse de la défense n'ont été identifiés que chez *Bruchus pisorum*. Son liquide de ponte contient des bruchines qui, lorsqu'elles sont ajoutées au *Pisum sativum* (pois), provoquent des excroissances de type tumoral qui empêchent les larves d'entrer dans la gousse. De plus, la ponte de *Pieris brassicae* sur les feuilles de *Brassica oleracea* (chou de Bruxelles) modifie les produits chimiques de la surface des feuilles et attire le parasitoïde des œufs *Trichogramma brassicae* (Fatouros et al., 2005).

L'analyse GC-MS a montré la présence d'acide 9,12-octadécadiénoïque (Z, Z) dans les fruits attaqués par des piqûres fertiles, cet acide étant appelé acide linoléique selon la base de données de l'Institut National des Standards et de la Technologie NIST. L'acide représente une voie directe vers la synthèse de l'acide dihydrojasmonique 9,10 (DHJA), il s'agit d'une voie alternative suggérée par Blechert et al. (1995), l'acide linoléique a la capacité d'induire l'inhibiteur de la protéase (Farmer, and Clarence 1992) par l'activité DHJA dans l'induction de la phytoalexine Blechert et al. (1995).

RESULTATS ET DISCUSSION

Selon **Rincón-Pérez et al., en 2016**, l'analyse de l'effet de l'acide jasmonique (JA) et de l'acide abscisique (ABA) comme éliciteurs sur le profil des acides gras (FAP), les composés phénoliques (PC) et la capacité antioxydante (AC) dans les callosités de *Thevetia peruviana* a montré qu'un maximum de 2,8 mg / g de TPC a été obtenu avec 100 et 10 μ M de JA et d'ABA, respectivement, alors qu'un maximum capacité antioxydante AC (2,17 μ g / mL) a été obtenu avec 75 et 100 μ M de JA et acide Abscisique ABA, respectivement. Le FAP a été affecté pour JA mais pas pour l'acide abscisique (ABA). JA ; il a augmenté l'acide cis-9, cis-12-octadécadiénoïque et diminué l'acide dodécanoïque. L'acide cis-9-octadécénoïque (18: 1) était l'acide gras principal atteignant 76% dans le traitement avec JA 50 pM plus 55 pM ABA.

L'étude effectuée par **Tabilio et al., en 2013** sur l'impact de *Ceratitis capitata* sur les différents cultivars de pêchers a prouvé la richesse des fruits attaqués des variétés les moins sensibles à la cératite, en butyl et 2-méthylpropyl esters ; parmi ceux-ci, certains dérivés de C6 détectés, tels que l'acétate de (Z) -3-hexényle, connus pour agir comme agents d'amorçage, améliorant la réponse de défense des plantes aux insectes. Notant que ces produits sont des composés des huiles essentielles qui ont un rôle dans la défense indirecte.

La défense des plantes contre les agents pathogènes microbiens et les herbivores reposent en grande partie sur l'induction de protéines de défense et d'antibiotiques de faible poids moléculaire. Les signaux entre la perception de l'agression, l'activation du gène et la biosynthèse subséquente des composés secondaires sont supposés être des dérivés pentacycliques de l'oxylipine. La synthèse rapide, mais transitoire, de l'acide cis-jasmonique a été démontrée après l'attaque des insectes sur une plante comestible et par l'ajout d'un inhibiteur microbien aux cultures en suspension de plantes (**Blechert et al., 1995**).

Les arthropodes carnivores (prédateurs et parasitoïdes) utilisent souvent des composés allélochimiques volatils et/ou de contact, produits par des plantes ou des herbivores, pour trouver leur hôte / proie (**Whitman, 1988**). Les carnivores utilisent également des composés allélochimiques volatils provenant du complexe herbivore (HCP) dans leur habitat à long ou à court terme. Par exemple, des produits chimiques volatils qui attirent les ennemis naturels des herbivores sont émis par les feuilles en réponse à des dommages causés par ces herbivores (**Dicke et al., 1990 ; Turlings et al., 1993 ; Mattiacci et al., 1994 ; Takabayashi et al., 1995**). Les guêpes peuvent également utiliser des composés allélochimiques de HCP pour trouver des hôtes sur une plante.

D'un autre côté, les molécules suivantes: $C_8H_8O_2$, $C_9H_{10}O_2$, $C_{10}H_{12}O_3$, $C_{10}H_{14}O_2$ et $C_{12}H_{24}O_2$ ont été évaluées comme insecticides et acaricides contre des espèces d'insectes phytophages ainsi que le charançon Boll, le puceron du cotonnier, la chenille légionnaire du sud, la chenille du marais salé. Leur importance économique a été signalée à travers le travail de **Butt et**

RESULTATS ET DISCUSSION

Keller (1961). Le travail réalisé par **Sun et al., (2007)** démontre que l'extrait de chloroforme de *J. mandshurica* contenant C₈H₈O à 6,76%, C₉H₁₀O₂ à 3,05%, C₁₀H₁₂O₃ à 2,37% et C₁₈H₃₂O₂ à 6,24% qui ont des activités insecticides en toxicité de contact et toxicité gastrique contre les larves de *Lymantria dispar*. La mortalité corrigée dépasse 50% lorsque la concentration de l'extrait est égale ou supérieure à 5 g / L.

La résistance des végétaux aux agressions microbiennes, parasitaires et autres est rapportée dans des nombreux travaux dont ceux cités précédemment. Cette défense allélochimique se fait par leurs composés phénoliques parmi lesquels on trouve les tanins et les flavonoïdes qui sont une des formes de défense soit par l'astringence et le goût amer dû aux tanins, soit par la pigmentation vive due aux flavonoïdes qui renseignent les agresseurs sur la toxicité de l'agressé, qui est la plante en l'occurrence.

Ce phénomène allélochimique permet aux plantes de se défendre, nous espérons pouvoir l'exploiter dans notre cas pour l'oranger en identifiant plus précisément les molécules élicitrices qui induisent ce mécanisme, afin de l'accentuer sinon d'en favoriser le déclenchement, permettant ainsi aux oranges de mieux se protéger contre leurs bioagresseurs.

Nous espérons tester ces molécules in vivo pour mieux apprécier l'efficacité de ce phénomène allélochimique que nous espérons utiliser afin de réduire l'utilisation des pesticides dont la nocivité sur la santé et l'environnement n'est plus à démontrer.

➤ **Activité antioxydante**

Le modèle du radical DPPH stable est une méthode largement utilisée pour évaluer la capacité de balayage des radicaux libres de divers échantillons (**Lee et al., 2003**).

Bien que les fruits attaqués présentent des taux de composés phénoliques élevés par rapport aux fruits sains, l'étude de l'activité antioxydante révèle que l'extrait de fruits sains a une capacité de piégeage du radical DPPH importante avec une IC₅₀ de 0,865 ± 0,51 mg/ml comparé à celle des extraits des fruits attaqués par les piqûres stériles et fertiles, qui sont respectivement 0,873 ± 0,41 et 0,983 ± 0,47 mg/ml. Ce résultat rejoint celui de **Rincón-Pérez et al., (2016)**, qui ont trouvé que malgré l'augmentation des composés phénoliques dans tous les traitements par rapport au contrôle, la capacité antioxydante a diminué dans tous les traitements, sauf pour le contrôle. En revanche **Ali et al., en 2015** ont constaté qu'il existe une corrélation positive entre la capacité antioxydante et le taux de composés phénoliques en étudiant l'effet de différentes concentrations de deux éliciteurs, le jasmonate de méthyle (MeJA) et l'acide jasmonique (JA), ainsi que d'un acide phytohormone gibberellique (GA) sur la cinétique de croissance, l'accumulation de métabolites secondaires et l'activité

RESULTATS ET DISCUSSION

antioxydante dans des cultures en suspension cellulaire d'*Artemisia absinthium* L. **Schaich et al. en 2015** ont aussi signalé une corrélation positive.

Ibrahim et Jaafar en 2013 ont constaté que lorsque la concentration en acide Abscisique (ABA) augmente de 0 à 6 μ M, la production de composés phénoliques totaux, de flavonoïdes augmente en parallèle. Ils ont également observé que les capacités antioxydantes (DPPH et ORAC) ont augmenté.

La réduction du radical DPPH par les extraits de plantes a été attribuée par plusieurs auteurs, à la présence de composés phénoliques qui permettent facilement de réduire les protons (**Li et al., 2009**). Leur capacité varie d'un composé à l'autre et il existe une synergie entre eux et / ou d'autres constituants présents dans les extraits (**Bourgou et al., 2008**).

La corrélation entre la teneur totale en phénol et l'activité antioxydante a été largement étudiée dans différents aliments tels que les fruits et les légumes (**Kiselova et al., 2006; Klimczak et al., 2007; Kedage et al., 2007 et Jayaprakasha, 2008**). L'activité antioxydante des fruits et légumes augmente considérablement avec la présence d'une concentration élevée de polyphénols totaux. Certains auteurs ont trouvé une forte corrélation entre les contenus phénoliques et l'activité antioxydante (**Ramful et al., 2011; Ouchemoukhe et al., 2012; Benmeddour et al., 2013, Lagha et madani, 2013**), d'autres non (**Heinonen et al., 1998; Amin et al., 2004; Anagnostopoulou et al., 2006; Nickavar et al., 2007 ; Kamran et al., 2009**).

➤ **Activité antiparasitaire**

Les plantes ont développé une série de mécanismes de défense pour se protéger contre les attaques d'insectes. Ces défenses incluent des barrières chimiques et physiques qui affectent directement les performances de l'herbivore (**Peng et al., 2011**). Les plantes produisent donc de façon constitutive des composés secondaires leur permettant de se défendre directement contre certains herbivores et donc de restreindre le nombre d'espèces phytophages capables de se développer à leurs dépens (**Dugravot, 2004**). Dans certains cas, les composés secondaires ont un effet dissuasif général sur les insectes en raison de leur toxicité, de leurs propriétés répulsives ou anti-alimentaire (**Dyer et al., 2003 ; Fucarino et al., 2004**). Cependant, ces systèmes de défense ne sont que partiellement efficaces vis-à-vis d'insectes spécialistes qui parviennent même à tirer profit de ces composés chimiques (**Dugravot, 2004**). Ces composés secondaires vont pouvoir être également utilisés par un certain nombre d'insectes spécialistes, qui ont développé des stratégies leur permettant contourner ces systèmes de défense des plantes, mais aussi les séquestrer et les utiliser dans le cadre de leur propre protection contre les prédateurs (**Müller et al., 2003; Narberhaus et al., 2004 ;**

RESULTATS ET DISCUSSION

Hundsdoerfer et al., 2005 ; Carroll et Berenbaum, 2006). Ces travaux nous ont incités à étudier l'activité insecticide des extraits poly-phénoliques de *Citrus sinensis* var. Washington navel sur les adultes et les deux stades larvaires de la Mouche Méditerranéennes des fruits *Ceratitis capitata*. Pour ce faire, nous avons utilisé une souche de laboratoire de cératite appelée Vienna 8 pour étudier l'efficacité insecticide et larvicide de ces composés phénoliques sur cet insecte polyphage qui cause de nombreux dégâts tant à l'agrumiculture qu'à d'autres cultures fruitières.

Les résultats, dans les conditions de laboratoire, montrent que les extraits bruts des trois types de fruits se sont avérés efficaces contre les adultes et les larves par rapport au témoin, l'analyse statistique révèle une différence hautement significative entre les extraits et le témoin avec $p < 0,001$.

Pour les bio-essais sur les adultes nous avons obtenu une DL50 de 205,48 mg / ml pour l'extrait de fruits sains **FS** et 193,45 mg / ml pour l'extrait des fruits attaqués par les piqûres stériles **FM'** et 192,38 mg / ml pour ceux attaqués par les piqûres fertiles **FM**.

Plusieurs études ont prouvé que les extraits phénoliques et les huiles essentielles de l'écorce des fruits des agrumes ont une activité insecticide contre plusieurs insectes phyto-pathogènes et même d'autres à titre d'exemple : l'essai biologique avec des extraits à l'hexane de *Citrus limetta* a donné des valeurs de CL50 de 132,45 et 96,15 ppm contre *Aedes stephensi* et *Aedes aegypti*, respectivement. Tandis que les extraits à l'éther de pétrole des pelures de *C. limetta* présentaient des valeurs de CL50 de 244,59 et 145,50 ppm, respectivement (**Kumar et al., 2012**). Les huiles essentielles de *Citrus limon L.*, de *Citrus aurantium L.* et de *Citrus sinensis L.*, ont montré une forte toxicité vis-à-vis des larves de *Culex pipiens* avec des valeurs de CL50 de 30,1, 39,81 et 51,5 mg / L respectivement (**Michaelakis et al., 2009**).

Conclusion

CONCLUSION GENERALE

Les méthodes de lutte contre *Ceratitis capitata*, l'insecte le plus redoutable de l'arboriculture dans le monde, reposent sur l'utilisation des insecticides, cependant la lutte chimique semble mal maîtrisée. Les produits appliqués de façon systémique et non rationalisée présentent un sérieux danger pour l'environnement, l'utilisateur et pour le consommateur. De ce fait, la recherche d'une nouvelle méthode de lutte naturelle répondant aux exigences des systèmes de la protection intégrée s'avère nécessaire.

La nature des allélochimiques dérivés des plantes ou des métabolites secondaires impliqués dans les différentes étapes des interactions plante-insectes, de la sélection de l'habitat à l'acceptation de l'hôte, est très variée. Dans cette étude, les métabolites secondaires des fruits mûrs de *Citrus sinensis* ont été étudiés, pour comprendre le mécanisme d'interaction fruit-insecte qui est crucial pour développer des stratégies de lutte contre un tel ravageur. Cette étude nous a permis d'obtenir un certain nombre de résultats intéressants :

L'étude bioécologique de *Ceratitis capitata* (Diptera ; Tephritidae), durant trois ans (2011, 2012 et 2013), a permis d'obtenir un certain nombre de résultats qui ont servi à connaître la répartition spatio-temporelle des attaques de la cératite sur les fruits de *citrus sinensis* (oranges) de la variété Washington navel. La partie sud a présenté le taux le plus élevé de trous de ponte pour les deux stations d'étude avec une moyenne de $5,79 \pm 0,11$ pour la région de Remchi et $5,94 \pm 0,11$ pour celle de Hennaya, suivie par les orientations ouest. Les mêmes résultats ont été obtenus pour les fruits chutés pour lesquels nous avons enregistré une moyenne de $4,71 \pm 0,1$ pour l'orientation sud dans la région de Remchi et $5,77 \pm 0,1$ pour la région de Hennaya.

La cinétique des infestations par date nous a permis de constater la présence de deux générations dans notre région d'étude, la première au début du mois de décembre et la deuxième vers la fin du mois de janvier.

Les élevages menés au laboratoire ont permis de connaître la durée de la nymphose qui a varié selon la date de mise en élevage et qui était de $19,98 \pm 2,23$ jours en moyenne ainsi que la durée moyenne de vie des adultes qui a été de $14,55 \pm 6,97$ jours

Par ailleurs, l'ensemble des résultats de l'étude biochimique montre que le taux en polyphénols totaux était plus important dans les fruits infectés par les piqûres fertiles et dans les fruits infectés par les piqûres stériles par rapport aux fruits sains.

L'analyse quantitative des polyphénols, déterminée par des techniques spectrophotométriques, a permis d'enregistrer une très forte concentration en flavonoïdes ($0,292 \pm 0,009$; $0,197 \pm 0,008$) mg CE / g D.M. et des tanins ($0,126 \pm 0,005$; $0,086 \pm 0,004$) mg CE / g D.M. dans les fruits attaqués par piqûre stérile et fertile respectivement ; alors que dans les fruits sains nous avons enregistré une valeur de $0,086 \pm 0,004$ mg CE/g D.M. pour les tanins et $0,197 \pm 0,008$ mg CE / g D.M. pour les flavonoides.

CONCLUSION GENERALE

L'analyse chromatographique par UHPLC a révélé la présence d'un nouveau composé à un temps de rétention de 7,307 dans les fruits attaqués par les piqûres fertiles et une augmentation de la quantité des autres composés.

L'analyse par GC-MS nous a permis d'identifier les acides gras, en particulier : 2,4-Di-tert-butylphenol, n-Hexadecanoic acid et 9,12-Octadecadienoic acid (Z, Z) qui ont été signalés comme entrant dans les cascades de signalisation quand la plante est attaquée par un insecte. Leur rôle dans la défense devrait être investi pour incorporer cette découverte dans les programmes d'amélioration de la résistance de *Citrus sinensis* contre la cécidite.

Le piégeage du radical libre DPPH' nous a permis de classer les extraits par ordre de réactivité croissante : fruits sains (FS) > fruits attaqués par les piqûres stériles (FM') > fruits attaqués par les piqûres fertiles (FM).

Les tests de toxicité effectués sur les adultes et les larves de *Ceratitis capitata* ont montré qu'il existe une différence entre les extraits et les témoins ; nous avons pu déterminer une DL₅₀ après 96h d'exposition des adultes aux extraits.

Tous les résultats de cette étude ont des implications importantes sur le processus de prise de décision pour la surveillance et la gestion efficaces de *C. capitata* dans les vergers d'agrumes.

Nous espérons continuer nos travaux en complétant le cycle complet de *C. capitata* sur d'autres fruits afin de mieux cerner ce phytophage pour mieux le combattre. Une étude génétique pour déterminer les gènes qui codent pour les métabolites secondaires, en particulier ceux qui ont un rôle dans la défense de *Citrus sinensis* contre la cécidite est recommandée afin de développer la défense induite chez l'oranger doux contre la mouche méditerranéenne des fruits.

Pour une étude plus approfondie, nous espérons poursuivre nos investigations en faisant des tests in situ sur des vergers d'oranger et même d'autres arbres fruitiers attaqués par la cécidite, afin d'en réduire les populations, diminuant ainsi ses dégâts dans notre région. Le même schéma de lutte que nous avons préconisé pourrait être adapté aux autres régions selon leurs dates d'apparition de nouvelles générations.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Agrawal, A.A., Fishbein, M., Jetter, R., Salminen J.P., Goldstein, J.B., Freitag, A.E., (2009).** Phylogenetic ecology of leaf surface traits in the milkweeds (*Asclepias* spp.): chemistry, ecophysiology, and insect behavior. *New Phytol*; 183:848-67; PMID:19522840; [http:// dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02897.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02897.x).
- Akihisa, T. Yasukawa, K. Yamaura, M. Ukiya M. Kimura, Y. Shimizu, N. AraiK., 1992.** Triterpene alcohol and sterol ferulates from rice bran and their anti-inflammatory effects *J. Agric. Food Chem.*, 48, pp. 2313-2322
- Alborn, H.T., Hansen, T.V., Jones, T.H., Bennett, D.C., Tumlinson, J.H., Schmelz, E.A., Teal, P.E.A., (2007)** Novel disulfoxy fatty acids from the american bird grasshopper *Shistocerca americana*, elicitors of plant volatiles. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104, 12976–12981.
- Alborn, H.T., Turlings, T.C.J., Jones, T.H., Stenhagen, G., Loughrin, J.H. (1997).** An elicitor of plant volatiles from beet armyworm oral secretions. *Science*, 276, 945–949.
- Ali Ahmed- Sadoudi, D., (2007).** Bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 (Diptera : Trypetidae) dans quelques vergers de la Kabylie. *Thèse Doct* : Uni. Mouloud Mammeri. T O. 197p.
- Ali, M.; Abbasi, B. H.; Ali, G. S., (2015).** Elicitation of antioxidant secondary metabolites with jasmonates and gibberellic berellic acid in cell suspension cultures of *Artemisia absinthium* L. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 120, 1099-1106
- Amin, I., Zamaliah, M.M., Chin, W.F., (2004).** Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry* 87, 581–586.
- Anagnostopoulou, M.A., Kefalas, P., Papageorgiou, V.P., Assimopoulou, A.N., Boskou, D., (2006).** Radical scavenging activity of various extracts and fractions of sweet orange peel (*Citrus sinensis*). *Food Chemistry* 94, 19–25.
- AOAC International (1990).** Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis (15th ed.). Washington, DC.
- Aparna, V.; Dileep, K.V.; Mandal, P.K.; Karthe, P.; Sadasivan, C.; Haridas, M.2012**Anti-inflammatory property of *n*-hexadecanoic acid: Structural evidence and kinetic assessment. *Chem. Biol. Drug Des.*, 80, 434–439.[CrossRef] [PubMed]
- Appiah, E.F., Afreh-Nuamah, K. et Obeng-Ofori, D., (2009).** Abundance and distribution of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), in Late Valencia citrus orchards in Ghana. *International journal of tropical insect science* Volume 29, Issue 1 pp. 11-16 <https://doi.org/10.1017/S1742758409351036>
- Ardestani A., Yazdanparast, R., (2007).** Inhibitory effects of ethyl acetate extract of *Teucrium polium* on in vitro protein glycoxydation. *Food and Chemical toxicology*, 45, 2402- 2411
- Arimura, G.I., Ozawa, R., Shimoda, T., Nishioka, T., Boland, W., Takabayashi J., (2000).** Herbivory-induced volatiles elicit defence genes in lima bean leaves. *Nature* 406, 512–515

Références bibliographiques

- Arimura, G., Ozawa, R., Kugimiya, S., Takabayashi, J., Bohlmann, J., (2004).** Herbivore-induced defense response in a model legume. Two-spotted spider mites induce emission of (*E*)- β -ocimene transcript accumulation of (*E*)- β -ocimene synthase in *Lotus japonicus*. *Plant Physiol.*, 135, 1976–1983.
- Arimura, G., Kost, C., Boland, W., (2005).** Herbivore-induced, indirect plant defences. *Biochimica Et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids* 1734(2):91-111.
- Arimura GI, Matsui K, Takabayashi J., (2009).** Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions. *Plant Cell Physiol* 50:911-23; PMID:19246460; <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcp030>.
- Awmack, C.S. and Leather, S.R., (2002).** Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 47: 817-844
- Bagnouls F. et Gausson H., (1953).** Saison sèche et indice xérothermique Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse.T. 80, fax. (3-4).pp 193-239.
- Bailey, G., Carden, M., Clarke, P., & al, e. (2006).** Mythologie : mythes et légendes du monde entier (de Lodi ed.). Paris.
- Balachowsky, A.S. et Mesnil, L., (1935).** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Ed. Busson, tome 1, Paris, pp : 242 – 253.
- Balbyshev, N.F., Lorenzen, J.H., (1997).** Hypersensitivity and egg drop, a novel mechanism of host-plant resistance to Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*90: 652–657.
- Barakat, A., Bagniewska-Zadworna, A., Frost, C.J., Carlson, J.E., (2010).** Phylogeny and expression profiling of CAD and CAD-like genes in hybrid Populus (*P. deltoides* x *P. nigra*): evidence from herbivore damage for subfunctionalization and functional divergence. *BMC Plant Biol*; 10:100; PMID:20509918; <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2229-10-100>.
- Barbehenn, R.V., Constabel, P.C., (2011).** Tannins in plant- herbivore interactions. *Phytochemistry*; 72:1551- 65;
- Barclay, R.M., Bell, G.P., (1988).** *Marking and observational techniques*. Dans: *Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats* (dir. T.H. Kunz): p59.
- Bateman, M. A. (1982).** Chemical methods for suppression or eradication of fruit fly populations. In *Economic fruit flies of the South Pacific Region* (Ed.by Drew, R.A.I.; Hopper, G.H.S.; Bateman, M.A.). pp. 115-128. 2nd edition. Queensland Department of Primary industries, Brisbane, Australie.
- Benmeddour, Z., Mehinagic, E., Le Meurlayb, D., Louaileche, H., (2013).** Phenolic composition and antioxidant capacities of ten Algerian date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars: a comparative study. *Journal of Functional Foods* 5, 346–354.
- Benrey, B. et Denno, R.F., (1997).** The slow-growth-high-mortality hypothesis: a test using the cabbage butterfly. *Ecology*78: 987-999.

Références bibliographiques

- Bernays, E. A., Cooper-Driver, G. et Bilgener, M., (1989).** Herbivores and plant tannins. *Adv. Ecol. Res.* 19: 263-302.
- Bhonwong, A., Stout, M.J., Attajarusit, J., Tantasawat. P., (2009).** Defensive role of tomato polyphenol oxidases against cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) and beet armyworm (*Spodoptera exigua*). *J Chem Ecol*; 35:28-38; PMID:19050959; <http://dx.doi.org/10.1007/s10886-008-9571-7>.
- Bi, S.F., Zhu, G.Q., Wu, J., Li, Z.K., Lv, Y.Z. and Fang, L., 2016.** Chemical composition and antioxidant activities of the essential oil from *Nandina domestica* fruits. *Natural Product Research*, 30(3), 362–365. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1057584>
- Biche, M., (2012).** Les Principaux Insectes Ravageurs des Agrumes en Algérie et leurs Ennemis Naturels.
- Blechert, S., Brodschelm, W., Holder, S., Kammerer, L., Kutchan, T. M., Mueller, M. J., Zenk, M. H. (1995).** The octadecanoic pathway: signal molecules for the regulation of secondary pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92 (10): 4099–4105.
- Blum, M.S., Hilker, M., 2002.** Chemical protection of insect eggs. In: Hilker, M., Meiners, T. (Eds.), *Chemoecology of Insect Eggs and Egg Deposition*. Blackwell Publishing Ltd., Berlin, Germany, pp. 61–90.
- Bodenheimer, F.S., 1951.** *Citrus entomology*. Ed. Dio. Junk. Denhang: 663p.
- Boizot, N., Charpentier, J. P., (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestiers, INRA—Amélioration, Génétique et physiologie Forestières, laboratoire d'analyses biochimiques, Le cahier des Techniques de l'INRA, 79-82 .
- Boller, E. F., (1983).** Biotechnical methods for the management of fruit fly populations. In: Cavalloro R. (Ed.) *Fruit flies of economic importance*. Proc. CECIOBOC Int. Symp., Athens, Greece. 16-19 Nov. 1982. Balkema, Rotterdam. 642p.
- Bolognesi, C., et Merlo, F. D., (2011).** Pesticides: Human health effects. In J. O. Nriagu (Ed.), *Encyclopedia of environmental health* (pp. 438–453). Burlington: Elsevier.
- Bonte, D., Van Dyck, H., Bullock, J. M., Coulon, A., Delgado, M., Gibbs, M., Lehouck, V., Matthysen, E., Mustin, K., Saastamoinen, M., (2012).** Costs of dispersal. *Biol. Rev.* 87, 290-312.
- Boppré, M., 1990.** Lepidoptera and pyrrolizidine alkaloids. Exemplification of complexity in chemical ecology. *J. Chem. Ecol.* 16, 165–185.
- Bos, J.I.B., Prince, D., Pitino, M., Maffei, M.E., Win, J., Hogenhout, S.A., (2010).** A functional genomics approach identifies candidate effectors from the aphid species *Myzus persicae*. *PLoS Genet.*, 6, e1001216.
- Bouma, E., (2005).** Development of comparable agroclimatic zones for the international exchange of data on the efficacy and crop safety of plant protection products. *Bull. OEPP/EPPO*, 35, 233-238

Références bibliographiques

- Bounfour, M. et Nafil, L., (1994).** Utilisation de la technique des insectes stériles dans la lutte contre la cératite. Journée sur la biotechnologie et la lutte contre les insectes ravageurs des cultures. DPVCTRF, Rabat.
- Bourgou, S., Ksouri, R., Bellila, A., Skandrani, I., Falleh, H., Marzouk, B., (2008).** Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoot and root. *Comptes Rendus Biologies* 333 (1), 48–55. Brand-Williams,
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A., IGic R., (2008).** Phénolycs as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L. Alliaceae) *Food Chemistry* 111, 925-929.
- Brand-Williams, W., Cuvelire, M. E., Berset, C., (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity *LWT –Food Sci. Technol.*, 28, 25-30
- Bruinsma, M. et Dicke, M., (2008).** Herbivore-induced indirect defenses: From mechanisms to community ecology. In: *Induced plant resistance to herbivory:Springer, Science.*, pp 31-60.
- Bryant, J.P., Reichardt, P.B., Clausen, T.P., Werner, R.A., (1993).** Effects of mineral nutrition on delayed induced resistance in Alaska paper birch. *Ecology*; 74:2072- 84; <http://dx.doi.org/10.2307/1940853>.
- Butt B. A. and Keller J. C. (1961).** Materials Evaluated as Insecticides and Acaricides at Brownsville, Tex., as Insecticides. Agricultural Research Service united states department of agriculture Washington, (263).
- Carey, J. R., et Dowel, R. V., (1989).** *Exotic fruit fly pests and California agriculture Calif.* Agr, May-June 1989.
- Carmichael, A., (2008).** Parasitoid (*Fopius arisanus*). Updatad on 4/8/2008 Available online: PaDIL - <http://www.padil.gov.au>
- Carroll, M., Berenbaum, M.R., (2006).** Lutein sequestration and furanocoumarin metabolism in parsnip webworms under different ultraviolet light regimes in the montane west. *J Chem Ecol* 32:277–305
- Causse, R. et Féron, M., (1967).** Influence de rythme photopériodique sur l'activité sexuelle de la mouche méditerranéenne des fruits : *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptère, Trypetidae) *Ann. Epiphyties* 18(2), 175-192
- Chamarthi, S.K., Sharma, H.C, Sahrawat, K.L., Narasu, L.M., Dhillon, M.K., (2010).** Physico-chemical mechanisms of resistance to shoot fly, *Atherigona soccata* in sorghum, *Sorghum bicolor*. *J Appl Entomol* 2010; 135:446-55; <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01564.x>.
- Chamarthi, S.K., Sharma, H.C., Vijay, P.M., Narasu, L.M., (2011).** Leaf surface chemistry of sorghum seedlings influ- encing expression of resistance to sorghum shoot fly, *Atherigona soccata*. *J Plant Biochem Biotechnol*; 20:211-6; <http://dx.doi.org/10.1007/s13562-011- 0048-3>.
- Charre, J., (1997).** Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombro-thermique *Mappemonde*, 2, 29-31.

Références bibliographiques

- Chen, H., Wilkerson, C.G., Kuchar, J.A., Phinney, B.S., Howe, G.A., (2005).** Jasmonate-inducible plant enzymes degrade essential amino acids in the herbivore mid-gut. *Proc Natl Acad Sci U S A*; 102:19237-42; PMID: 16357201; <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0509026102>.
- Chen, Y., Ni, X., Buntin, G.D., (2009).** Physiological, nutritional, and biochemical bases of corn resistance to foliage-feeding fall armyworm. *J Chem Ecol*; 35:297-306; PMID:19221843; <http://dx.doi.org/10.1007/s10886-009-9600-1>.
- Chouibani, M., Ouizbouben, A., et Kaack, H., (2003).** Protection intégrée des agrumes. Ouvrage réalisé par la direction de la protection des végétaux, des contrôles techniques et de répression des fautes en coopération avec la GTZ (Projet contrôle phytosanitaire).13p
- Chown, S. L. et Nicolson, S. W., (2004).** Insect Physiological Ecology: Mechanisms and Patterns. New York, NY: Oxford University Press.
- Clavijo McCormick, Unsicker, S.B., Gershenzon, J., (2012).** The specificity of herbivore-induced plant volatiles in attracting herbivore enemies. *Trends Plant Sci.* 17, 303–310
- Clobert, J., Baguetta, M., Benton, T. G. et Bullock, J. M., (2012).** Dispersal Ecology and Evolution. Oxford: Oxford University Press.
- Clusella-Trullas, S., Terblanche, J. S. et Chown, S. L., (2010).** Phenotypic plasticity of locomotion performance in the seed harvester *Messor capensis* (Formicidae). *Physiol. Biochem. Zool.* 83, 519-530.
- Cochereau, P. (1970).** Les mouches des fruits et leurs parasites dans la zone Indo-Australo-Pacifique et particulièrement en Nouvelle Calédonie. *Cah. ORSTOM, sér, biol*, 12. pp. 01-50.
- De Leo F., Bonadé-Bottino M., Ceci L.R., Gallerani R., Jouanin L., (2001).** Effects of a mustard trypsin inhibitor expressed in different plants on three lepidopteran pests. *Insect Biochem Mol Biol*; 31:593-602; PMID: 11267898; [http://dx.doi.org/10.1016/S0965-1748\(00\)00164-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-1748(00)00164-8).
- De Martonne E., 1926.** Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. *La météo*, 449-459.
- De Moraes, CM., Mescher, M.C., Tumlinson, J.H., (2001).** Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature*, 410, 577–580.
- Debach, P., (1966).** The competitive displacement and coexistence principles. *Annual review of entomology*.
- Debouzie, D., Denis, B., Rospard, J.P. (1987).** Sampling and spatial distribution. C.R, Acad. Agric.Fr., pp 73-82.
- Delanoue, P., Soria, F., (1962).** Au sujet de l'avortement de l'évolution de *Ceratitidis capitata* Wied dans certains agrumes de Tunisie. *Annale de l'INRAT.* 35 : 73-96.

Références bibliographiques

- Dell, A. I., Pawar, S. et Savage, V. M., (2011).** Systematic variation in the temperature dependence of physiological and ecological traits. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108, 10591-10596.
- Delrio, G., (1985).** Tephritid pests in citriculture. CEC/Proc. Experts meeting. Acireal; Balkema. Rotterdam. Integrated pest control in citrus. Ed. Recher. CAVALORO and DIMARTINO. pp : 135- 149.
- Díaz-Fleischer, F., Papaj, D.R., Prokopy, R.J., (2000).** Evolution of fruit fly oviposition behavior. *Fruit Flies (Tephritidae): Phylogeny and Evolution of Behavior* (ed. by M. Aluja and A. L. Norrbom), pp. 811–841. *CRC Press, Boca Raton Florida*.
- Dicke M. et Sabelis M.W., (1988).** How plants obtain predatory mites as bodyguards. *Netherlands J. Zool.*, 38, 149–165
- Dicke, M, Baldwin, I.T., (2010).** The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. *Trends in Plant Science* 15(3):167-175.
- Dicke, M., Sabelis, M.W., Takabayashi, J., Bruin, J. and Posthumus, M.A., 1990.** Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. *J. Chem. Ecol.* 16: 3091-3118.
- Dicke, M., van Loon, J.J., Soler, R., (2009)** Chemical complexity of volatiles from plants induced by multiple attack. *Nat. Chem. Biol.* 5, 317–324
- Dillon, M. E. et Frazier, M. R., (2006).** *Drosophila melanogaster* locomotion in cold thin air. *J. Exp. Biol.* 209, 364-371.
- Doss, R.P., Oliver, J.E., Proebsting, W.M., Potter, S.W., Kuy, S.R., Clement, S.L., Williamson, R.T., Carney, J.R., DeVilbiss, E.D., (2000).** Bruchins: Insect-derived plant regulators that stimulate neoplasm formation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 97, 6218–6223.
- Drew, R. A. I. (1989).** The tropical fruit fly (Diptera: Tephritidae) of the Australian and Oceania region. *Memoirs of Queensland Museum*, South Brisbane, Australia.26.
- Dridi, B., (1990).** Etude de quelques aspects de la biologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera : Trypetidae) Différenciation entre souche d'élevage et population provenant d'Algérie. Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Aix. Marseille III, Fac. Sc. Tech St Jérôme. 113p.
- Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D.A., Orlova, I., (2006).** Plant volatiles: recent advances and future perspectives. *Crit Rev Plant Sci*; 25:417-40; <http://dx.doi.org/10.1080/07352680600899973>.
- Duffey, S.S., et Stout, M.J., (1996).** Antinutritive and toxic components of plant defense against insects. *Arch Insect Biochem Physiol*; 32:3-37; [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6327\(1996\)32:1<3::AID-ARCH2>3.0.CO;2-1](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1520-6327(1996)32:1<3::AID-ARCH2>3.0.CO;2-1).
- Dugravot, S., (2004).** Les Composés Secondaires Soufres Des Allium : Role Dans Les Systemes De Defense Du Poireau Et Actions Sur La Biologie Des Insectes, 1–197.

Références bibliographiques

- Dunse, K.M., Stevens, J.A., Lay, F.T., Gaspar Y.M., Heath R.L., Anderson M.A., (2010).** Coexpression of potato type I and II proteinase inhibitors gives cotton plants protection against insect damage in the field. *Proc Natl Acad Sci U S A*; 107:15011-5; PMID: 20696895; [http:// dx.doi.org/10.1073/pnas.1009241107](http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1009241107).
- Duyck, P. F. et Quilici, S., (2002).** Survival and development of different life stages of three *Ceratitis spp.* (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research*, 92, 461-469.
- Duyck, P. F., David, P. et Quilici, S., (2006b).** Climatic niche partitioning following successive invasions by fruit flies in La Réunion. *Journal of Animal Ecology*, 75, 518-526.
- Duyck, P.F., (2005).** Compétition interspécifique et capacités invasives. Le cas des Tephritidae de l'île de La Réunion. *Thèse Doctorat. Biologie Animale. Université de la Réunion. Faculté des Sciences et Technologies.*
- Dyer, A.L., Dodson, C.D., Stirman, J.O., Tobler, M.A., Smilanich, A.M., Fincher, R.M., Letourneau, D.K., (2003).** Synergistic effects of three Piper amides on generalist and specialist herbivores. *Journal Chem Ecol* 29: 2499-2514.
- Ebel, J., et Mithöfer A., (1998).** Early events in the elicitation of plant defence. *Planta*, 206, 335–348.
- Eichenseer, H., Mathews, M.C., Bi, J.L., Murphy, J.B., Felton, G.W., (1999).** Salivary glucose oxidase: Multifunctional roles for *Helicoverpa zea* Arch. *Insect Biochem. Physiol.*, 42, 1520–1527.
- Eisner, T., Rossini, C., González, A., Iyengar, V.K., Siegler, M.V.S., Smedley, S.R., 2002.** Paternal investment in egg defense. In: Hilker, M., Meiners, T. (Eds.), *Chemoecology of Insect Eggs and Egg Deposition*. Blackwell Publishing Ltd., Berlin, Germany, pp. 91–116.
- Ekese, S. et Billah, M. K., (2006).** A field guide to the management of economically important tephritid fruit flies in Africa. Nairobi (KE).
- El-Meniawi, F. A., Rawash, I. A., El-Gayar, F.H., and Hussein, H.S., (2015).** Response to *Bemisia tabaci* Infestation. *Middle East Journal of Applied Sciences*. **5(4)**: 1164-1173
- Emberger L., 1930.** La végétation de la région Méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Géo. Bot.* 42, 341-404.
- Emberger L., 1952.** Sur le Quotient pluviométrique. *C.R. Sci* ; n°234 : 2508-2511, Paris.
- Engelberth, J., Alborn, H.T., Schmelz, E.A., Tumlinson, J.H., (2004).** Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. *Proc Natl Acad Sci U S A*; 101:1781- 5; PMID: 14749516; <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0308037100>.
- Epsky, N.D., Heath, R.R., (1998).** Exploiting the interactions of chemical and visual cues in behavioral control measures from pest tephritide fruit flies. *Florida-Entomol.* 81(3) : 273-282.

Références bibliographiques

- Escudero-Colomar, L.A., Vilajeliu, M., Batllori, L., (2008)** Seasonality in the occurrence of the Mediterranean fruit fly [*Ceratitidis capitata* (Wied.)] in the north-east of Spain, *Journal of applied entomology* Vol 132 Issus 9-10, P 714-721
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01372.x>
- Eskafi, F.M et Fernandez, A. (1990).** Larval-pupal mortality of Méditerranéan fruit fly (Diptera : Tephritidae) from interaction of soil, moisture, and temperature. *Environnemental Entomology*, 19 :1666-1670.
- Evans, N.H., McAinsh, M.R., Hetherington, A.M., (2001).** Calcium oscillations in higher plants. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 4, 415–420.
- Falcó, J.V., Garzón-Luque, E., Pérez-Hinarejos, M., Tarazona, I., Malagón, J., Beitia, F., (2006).** Two native pupal parasitoids of *Ceratitidis capitata* (Diptera, Tephritidae) found in Spain, *Integrated Control in Citrus Fruit Crops IOBC Vol. 29(3)*, pp 71-74
- FAO., (2015).** Production des agrumes en Algérie, Actualitix Atlas des statistiques sur les pays
- Farmer, E. E. et Clarence, A. R., (1992).** Octadecanoid Precursors of Jasmonic Acid Activate the Synthesis of Wound-Inducible Proteinase Inhibitors. *The Plant Cell Online* 4(2): 129–134.
- Fatouros, N.E., Bukovinszky, Kiss, G., Kalkers, L.A., Gamborena, R.S., Dicke, M., Hilker, M., (2005).** Oviposition-induced plant cues: Do they arrest Trichogramma wasps during host location. *Entomol. Exp. Appl.*, 115, 207–215.
- Feder, M. E., Garland, T., Jr, Marden, J. H. et Zera, A. J., (2010).** Locomotion in response to shifting climate zones: not so fast. *Annu. Rev. Physiol.* 72, 167-190.
- Feeny, P. P., (1970).** Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. *Ecology* 51(4): 565-581.
- Feeny, P.P., (1976).** Plant apparency and chemical defense. *Recent Advances in Phytochemistry* 10:1-40.
- Feeny, P.P., 1968** Effect of oak leaf tannins on larval growth of the winter moth Operophtera brumata. *J Insect Physiol*; 14:805-17; [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1910\(68\)90191-1](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1910(68)90191-1).
- Fellah, H., (1996).** Contribution à l'étude de la bioécologie de la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitidis capitata* Weidemann (Diptera : Trphritidae) sur fruits d'été. Mémoire de fin du cycle de spécialisation de L'INAT 234p.
- Felton, G. W., et Tumlinson, J. H., (2008).** Plant-insect dialogs: complex interactions at the plant-insect interface. *Current Opinion in Plant Biology*, 11, 457–63.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.07.001>.
- Feron, M., (1962).** L'instinct de reproduction chez la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitidis capitata* Wied. Comportement sexuel, comportement de ponte. *Rev. Pathol veget. Entomol. Agri. Fr.* 41: 1- 129.
- Fidantsef, A.L., Stout, M.J., Thaler, J.S., Duffey, S.S., Bostock, R.M., (1999).** Signal interactions in pathogen and insect attack: expression of lipoxygenase, proteinase

Références bibliographiques

- inhibitor II, and pathogenesis related protein P4 in the tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Physiol Mol Plant Pathol*; 54:97-114; <http://dx.doi.org/10.1006/pmpp.1998.0192>.
- Figueiredo, R.A. et Sazima, M., (2000).** Pollination biology of Piperaceae species in southeastern Brazil. *Ann Bot* 85:455–460
- Fitt, G.P. (1989).** The role of interspecific in the dynamics of tephritid populations. In *Fruits flies, their biology, Natural Enemies and Control*. World Crop pests (Ed A.S. Robinson & G. Hooper), Vol. 3B, Elsevier, Amsterdam. pp. 281-300.
- Flores, S., Montoya, P., Ruiz-Montoya, L., Villaseñor, A., Valle, A., Enkerlin, W., Liedo, P., (2016)** Population Fluctuation of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) as a Function of Altitude in Eastern Guatemala *Environmental Entomology*, Volume 45 (4) 1, P 802–811, <https://doi.org/10.1093/ee/nvw051>
- Fraga, C. J., & Oteiza, P. I. (2011).** Dietary flavonoides : Role of (-) – epicatechin and related procyanidins in cell signaling. *Free Radical Biology & Medicine*, 51, 813 – 823.
- Franz, G. et Kerremans, P.h., (1993).** Radiation induced chromosome aberration for the genetic analysis and manipulation of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, Management of Insect Pest: Nuclear and related molecular and genetic Techniques (IAEA Ed.) IAEA. Vienna, Austria: 19-23 October 1992, pp 187-194.
- Frederich, M. et Pörtner, H. O., (2000).** Oxygen limitation of thermal tolerance defined by cardiac and ventilatory performance in spider crab, *Maja squinado*. *Am. J. Physiol.* 279, R1531-R1538.
- Freeland, W. J. et Janzen, D. H., (1974).** Strategies in herbivory by mammals: The role of plant secondary compounds. *Am. Naturalist.* 108 (961): 269-289.
- Freeman, B.C. et Beattie, G.A., (2008).** An overview of plant defences against pathogens and herbivores. *The Plant Health Instructor*. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-0226.
- Frey, M., Stettner, C., Paré, P.W., Schmelz, E.A., Tumlinson, J.H., Gierl, A., (2000).** An herbivore elicitor activates the gene for indole emission in maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 97, 14801–14806.
- Fucarino, A., Millar, J.G., Mcelfresh, J.S., Colazza, S., (2004).** Chemical and physical signals mediating conspecific and heterospecific aggregation behavior of first instar stink bugs. *Journal Chem Ecol* 30:1257- 1269.
- Fürstenberg-Häg, J., Zagrobelny, M., et Bak, S., (2013).** Plant defense against insect herbivores. *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 14). 5: 10242-10297 <https://doi.org/10.3390/ijms140510242>
- Gaouar Benyelles, N., Ilias, F., Beghdad, C., Gaouar, M., et MEDJDOUB K., (2014).** Olive antimicrobial activity against its pathogens in Tlemcen region, Algeria, *Allelopathy journal* 34(1): 133–141.
- Gaouar N. (1989).** Contribution à l'étude de l'infestation de l'olive par *Dacus oleae* Gmel dans la wilaya de Tlemcen, Thèse de Magister, 92p. I.N.E.S Biologie, Tlemcen.

Références bibliographiques

- Gaouar, N. (1996).** Rapport de la biologie des populations de la mouche d'olive *Bactrocera oleae* (Gmel) à l'optimisation de son contrôle dans la région de Tlemcen. These.Doc.Etat, Inst.Biol., Univ, Tlemcen. pp.119.
- Gaouar, N. Debouzie, D. (1995).** Within tree vertical pattern in *Bactrocera oleae* (Gmel.) (Diptera : Tephritidae) infestation and optimisation of insecticide application. J. Appl. Ent., pp 119,262-289.
- Gaume, L., Zacharias, M., Grosbois, V., Borges, R.M., (2005).** The fitness consequences of bearing domatia and having the right ant partner: Experiments with protective and non-protective ants in a semi-myrmecophyte. *Oecologia*, 145, 76–86.
- González, M., Jacas, J. A., Jiménez, A., Viñuela, Y. E., (1996).** Optimización de la cría de *Opius concolor* Szep. mediante la utilización de bajas temperaturas durante su desarrollo pre-imaginal Bol. San. Veg. Plagas, 22: 107-114,
- Graf, E., (1992)** Antioxidant potential of ferulic acid Free Radic. Biol. Med., 3, pp. 435-513
- Grayer, R.J., Kimmins, F.M., Padgham, D.E., Harborne, J.B., Ranga, Rao, D.V. (1992).** Condensed tannin levels and resistance in groundnuts (*Arachis hypogaea* (L.)) against *Aphis craccivora* (Koch). *Phytochemistry*; 31:3795-9; [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)97530-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(00)97530-7).
- Gulsen, O., Eickhoff, T., Heng-Moss, T., Shearman, R., Baxendale, F., Sarath G., (2010).** Characterization of peroxidase changes in resistant and susceptible warm- season turfgrasses challenged by *Blissus occiduus*. *Arthropod-Plant Interact*; 4:45-55; <http://dx.doi.org/10.1007/s11829-010-9086-3>.
- Guyot, G., (1999).** Climatologie de l'environnement. Dunod éd., 525 p.
- Hadj Sahraoui, K., (2007).** Les agrumes, la production des plantes des agrumes. Ed. par l'institut national de la vulgarisation agricole. Revue semestrielle Jan 2007 n°4.
- Hagerman, A.E. et Butler, L.G., 1991.** Tannins and lignins. pp.355-388 in G.A. Rosenthal and M.R. Berenbaum (eds.). *Herbivores, Their Interaction with Secondary Plant Metabolites*, Vol. I. The Chemical Constituents, 2nd ed. Academic Press, San Diego California.
- Halitschke, R., Schittko, U., Pohnert, G., Boland, W., Baldwin, I.T., (2001).** Molecular interactions between the specialist herbivore *Manduca sexta* (Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host *Nicotiana attenuata*. III. Fatty acid-amino acid conjugates in herbivore oral secretions are necessary and sufficient for herbivore-specific plant responses. *Plant Physiology* 125, 711–717.
- Handley, R., Ekbom, B., Agren, J., (2005).** Variation in trichome density and resistance against a specialist insect herbivore in natural populations of *Arabidopsis thaliana*. *Ecol Entomol*; 30:284-92; <http://dx.doi.org/10.1111/j.0307-6946.2005.00699.x>.
- Handrichs, J., Reys, J. & Aluja, M. (1989).** Behaviour of female and male Mediterranean fruit flies, *Ceratitidis capitata* in and around Jackson traps placed on fruiting host trees. *Insect Sci. apple*, 1 (3). pp. 285-294.

Références bibliographiques

- Hanley, M.E., Lamont, B.B., Fairbanks, M.M., Rafferty, C.M., (2007).** Plant structural traits and their role in anti-herbivore defense. *Perspec. Plant Ecol Evol Syst*; 8:157-78; <http://dx.doi.org/10.1016/j.ppees.2007.01.001>.
- Hare, J.D., (2011).** Ecological role of volatiles produced by plants in response to damage by herbivorous insects. *Annu Rev Entomol*; 56:161-80; PMID: 21133760; <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144753>
- Hartl, M., Giri, A.P., Kaur, H., Baldwin, I.T., (2010).** Serine pro- tease inhibitors specifically defend *Solanum nigrum* against generalist herbivores but do not influence plant growth and development. *Plant Cell*; 22:4158- 75; PMID: 21177479; <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.109.073395>.
- Hartmann, T., 1995a.** Pyrrolizidine alkaloids between plants and insects: a new chapter of an old story. *Chemoecology* 5, 139–146.
- Hartmann, T., 1995b.** Alkaloids: Chemistry, biology and chemoecology of the pyrrolizidine alkaloids. In: Pelletier, S.W. (Ed.), *Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives*. Elsevier, New York, pp. 155–232.
- Hartmann, T., 1999.** Chemical ecology of pyrrolizidine alkaloids. *Planta* 207, 483– 495.
- Hassani F. (2003).** Étude comparative de l’infestation de 3 variétés d’agrumes par la mouche méditerranéenne des *Ceratitis capitata* Wied, dans la région de Tlemcen Thèse de Mag. Tlemcen p 123
- Hassani, I., (2017).** Études écologiques des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) nuisibles aux cultures fruitières aux Comores. *Ecologie, Environnement*. Thèse de doctorat, Spécialité Entomologie agricole Université de la Réunion. 124 pages
- He, J., Chen, F., Chen, S., Lv, G., Deng, Y., Fang, W., (2011).** Chrysanthemum leaf epidermal surface morphology and antioxidant and defense enzyme activity in response to aphid infestation. *J Plant Physiol*; 168:687-93; PMID: 21145126; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2010.10.009>.
- Heil, M. et Silva Bueno, J.C. (2007)** Within-plant signaling by volatiles leads to induction and priming of an indirect plant defense in nature. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 5467–5472
- Heil, M., (2008).** Indirect defence via tritrophic interactions. *New Phytol.* 178, 41–61
- Heil, M., (2010).** Plastic defence expression in plants. *Evol. Ecol.* 24, 555–569
- Heinonen, I.M., Lehtonen, P.J. and Hopia, A.I., (1998).** Antioxidant activity of berry and fruit wines and liquors. *J. Agric. Food Chem.*, 46: 25-31.
- Hendel, F (1927).** Trypetidae, stuttgart. Vol. 1. 221p.
- Heng-Moss, T.M., Sarath, G., Baxendale, F., Novak, D., Bose, S., Ni, X., (2004).** Characterization of oxidative enzyme changes in buffalograsses challenged by *Blissus occiduus*. *J Econ Entomol*; 97:1086-95; PMID:15279295; [http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493\(2004\)097\[1086:COECCI\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493(2004)097[1086:COECCI]2.0.CO;2).

Références bibliographiques

- Hikosaka, K., Takashima, T., Kabeya, D., Hirose, T., Kamata, N., (2005).** Biomass allocation and leaf chemical defence in defoliated seedlings of *Quercus serrata* with respect to carbon-nitrogen balance. *Ann Bot*; 95:1025- 32; PMID:15760913; <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mci111>.
- Hilker, M., Meiners, T., (2006).** Early herbivore alert: Insect eggs induce plant defense. *J. Chem. Ecol.*, 32, 1379–1397.
- Hochachka, P. W. et Somero, G. N., (2002).** Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. New York, NY: Oxford University Press.
- Howe, G.A., Jander, G., (2008).** Plant immunity to insect herbivores. *Annu Rev Plant Biol*; 59:41-66;PMID:18031220; <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092825>.
- Howe, G.A., Schaller, A., (2008).** Direct defenses in plants and their induction by wounding and insect herbivores. In: *Induced Plant Resistance to Herbivory*(ed Schaller A.), pp. 7–29. Springer, New York.
- Hua ,W., Huang, H. Z., Tan, L. T., Wan, J. M., Gui, H. B., Zhao, L., Du X. G., (2015).** CD36 mediated fatty acid-induced podocyte apoptosis via oxidative stress. *PLOS ONE*; 10(5): 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127507> [PubMed]
- Huang, W., Zhikuan, J., Qingfang, H., (2007).** Effects of herbivore stress by *Aphis medicaginis* Koch on the malondialde- hyde contents and activities of protective enzymes in different alfalfa varieties. *Acta Ecol Sin*; 27:2177- 83; [http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2032\(07\)60048-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2032(07)60048-1).
- Hundsdoerfer, A.K., Tshibangu, J.N., Wetterauer, B., Wink, M., (2005).** Sequestration of phorbol esters by aposematic larvae of *Hyles euphorbiae* (Lepidoptera: Sphingidae). *Chemoecology* 15:261– 267
- Ibrahim, M. H. et Jaafar, H. Z. E., (2013).** Abscisic acid induced changes in production of primary and secondary me- tabolites, photosynthetic capacity, antioxidant capabil- ity, antioxidant enzymes and lipoxygenase inhibitory activity of *Orthosiphon stamineus* benth. *Molecules* 18, 7957-7976.
- Irlich, U. M., Terblanche, J. S., Blackburn, T. M. et Chown, S. L. (2009).** Insect rate-temperature relationships: environmental variation and the metabolic theory of ecology. *Am. Nat.* 174, 819-835.
- James, R. S., (2013).** A review of the thermal sensitivity of the mechanics of vertebrate skeletal muscle. *J. Comp. Physiol. B* 183, 723-733.
- Jannie, P.J., Bettina-deavours, M., Dixon, R.A., Ferreira, D., (2006).** The Stereochemistry of flavonoids, *The Science of Flavonoids*, Edited by *Erich Grotewold* The Ohio State University Columbus, Ohio, *Springer Science Business Media*, 01-46.
- Jayaprakasha, G.K., Girenavar, B., Patil, B.S., (2008).** Radical scavenging activities of Rio Red grapefruits and Sour orange fruit extracts in different *in vitro* model systems. *Bioresour. Technol.*, 99(10): 4484-4494.

Références bibliographiques

- Jerraya A ; Jardak T ; Khelif M ; Germazi T. (1982).** La mouche de l'olive *Dacus oleae* (Dipt., Tephritidae) et son impact sur la production oléicole dans la région de Sfax.Doc.Univ.Tunis.
- Johnson, M.T.J., Smith, S.D., Rausher, M.D., (2009).** Plant sex and the evolution of plant defenses against herbivores. *Proc Natl Acad Sci U S A*; 106:18079- 84; PMID:19617572; <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0904695106>.
- Judd, W.S., Campbell, C.S., Kellogg, E.A. et Stevens, P., (2002).** Botanique Systématique: une perspective phylogénétique; *Ed 1: DEBOECK*; p: 84-336.
- Kaitaniemi, P., Ruohomaki, K., Ossipov, V., Haukioja, E. and Pihlaja, K., 1998.** Delayed induced changes in the biochemical composition of host plant leaves during an insect outbreak. *Oecologia*, 116: 182-190
- Kamran, G., Youcef, G., Ebrahimzadeh, M.A., (2009).** Antioxydant activity, phenol and flavonoid contents of 13 Citrus species peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences* 22 (3), 277–281.
- Karban, R. et Baldwin, I.T., (1997).** *Induced Responses to Herbivory*, University of Chicago Press
- Karban, R., (2011).** The ecology and evolution of induced resistance against herbivores. *Funct Ecol*; 25:339-47; <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01789.x>.
- Katsoyannos, B.I., (1986).** Effect of colorproperties on the selection of oviposition site by *Ceratitis capitata*. *Entomol. Exp. Appl*, 42: 187-193.
- Katsoyannos, B.I., Kouloussis, N.A., Papadopoulos, N.T., (1997).** Response of *Ceratitis capitata* to citrus chemicals under semi-natural conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* , 82 :181–188.
- Katsoyannos, B.I., Kouloussis, N.A., Papadopoulos, N.T., (1997).** Response of *Ceratitis capitata* to citrus chemicals under semi-natural conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* , 82 :181–188.
- Kaufmann, J. S. et Bennett, A. F., (1989).** The effect of temperature and thermal acclimation on locomotor performance in *Xantusia vigilis*, the desert night lizard. *Physiol. Zool.* 62, 1047-1058.
- Kedage, V.V., Tilak, J.C., Dixit, G.B., Devasagayam, T.P.A. and Mhatre, M.A., (2007).** Study of antioxidant properties of some varieties of grapes (*Vitis vinifera* L.). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 47: 175-185.
- Keinanen, M, Julkunen-Tiitto, R, Mutikainen, P, Walls, M, Ovaska, J, Vapaavuori, E. (1999),** Trade-offs in phenolic metabolism of silver birch: effects of fertilization, defoliation, and genotype. *Ecology*; 80:1970-86.
- Keinanen, M., Julkunen-Tiitto, R., Mutikainen, P., Walls, M., Ovaska, J., Vapaavuori, E., (1999).** Trade-offs in phenolic metabolism of silver birch: effects of fertilization, defoliation, and genotype. *Ecology*; 80:1970-86.

Références bibliographiques

- Kempema, L.A., Cui, X.P., Holzer, F.M., Walling, L.L., (2007).** Arabidopsis transcriptome changes in response to phloem-feeding silver leaf whitefly nymphs. Similarities and distinctions in responses to aphids. *Plant Physiol*; 143:849-65; PMID:17189325; <http://dx.doi.org/10.1104/pp.106.090662>.
- Kessler, A.; and Baldwin, I.T., (2001).** Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science* 291, 2141–2144
- Khoury, N., (1998).** Etude préliminaire de la repartitions et de la dynamique des populations de la mouche méditerranéenne des fruits (*C. capitata* Wied.) dans déférentes biotopes au Liban. Mémoire (D.E.A), Insti de recherche agronomique LibanaisFanar, 153p.
- Kiselova, Y., Ivanova, D., Chervenkov, T., Gerova, D., Galunska, B. and Yankova, T., (2006).** Correlation between the *in vitro* antioxidant activity and polyphenol content of aqueous extracts from Bulgarian herbs. *Phytother. Res.*, **20**(11): 961- 965.
- Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M. and GliszczynskaSwiglo, A., (2007).** Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *J. Food Compost. Anal.*, **20**: 313-322.
- Knipling, G.F., (1955).** Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. *J Econ Entomol.* 48 :459-462.
- Knipling, G.F., (1955).** Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. *J Econ Entomol.* 48 :459-462.
- Kuate, J., (1997).** *La Cercosporiose des Agrumes au Cameroundue à Phaeoramularia angolensis (De Carvalho et Mendes), P.M. Kirk Epidémiologie, Biologie in vitro du champignon et Relation Hôte-Parasite.* Thèse de Doctorat, Université de Dschang (Cameroun).
- Kumar, R., (1991).** La Lutte Contre les Insectes Ravageurs. *Karthala et CTA. Paris* : 10-311p. ISBN 2- 86537-333-9.
- Kumar, P.P., Kumaravel, S., Lalitha, C., 2010.** Screening of antioxidant activity, total phenolics and GC-MS study of *Vitex negundo*. *Afr. J. Biochem. Res.*, **4**, 191–195.
- Kumar, S., Warikoo, R., Mishra,M., Seth,A., Wahab, N., (2012)** Larvicidal efficacy of the *Citrus limetta* peel extracts against Indian strains of *Anopheles stephensi* Liston and *Aedes aegypti* L. *Parasitology Research* Volume 111, Issue 1, pp 173–178
- Lachiheb, A., (2008).** optimization de la dose d’irradiation dans le cadre d’un projet de lutte contre *Ceratitis capitata*. *Memoire d’ing* ; Ecole sup. d’agri : De Mograne, Tunisie. 122p.
- Lagha-Benamrouche, S., & Madani, K. (2013).** Phenolic contents and antioxidant activity of orange varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) cultivated in Algeria: Peels and leaves. *Industrial Crops and Products*, **50**, 723–730. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.048>

Références bibliographiques

- Lagha-Benamrouche, S., Madani, K. (2013).** Phenolic contents and antioxidant activity of orange varieties (*Citrus sinensis L.* and *Citrus aurantium L.*) cultivated in Algeria: Peels and leaves. *Industrial Crops and Products* **50**: 723– 730.
- Lamy M. (1997).** Les insectes et les hommes. Ed. Albin Michel, Paris. pp. 96.
- Lane, G.A., Sutherland, O.R.W., Skipp, R.A., (1987).** Isoflavonoids as insect feeding deterrents and antifungal components from root of *Lupinus angustifolius*. *J Chem Ecol*; 13:771-83; <http://dx.doi.org/10.1007/BF01020159>.
- Larousse et Marcel Mazoyer, (2002).** Larousse Agricole. 4ième Ed. Larousse, Paris, 767 p.
- Laznik, Ž., and Trdan, S., 2016.** Attraction Behaviors of Entomopathogenic Nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) to Synthetic Volatiles Emitted by Insect Damaged Potato Tubers. *Journal of Chemical Ecology*, 42(4), 314–322. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0686-y>
- Le Houerou, H.-N., (2004).** An agro-bioclimatic classification of arid and semi-arid lands in the isoclimatic Mediterranean zones. *Arid land research and management*, 18, 301-346.
- Lebon, A. (2014),** La compensation dans les interactions plantes-insectes : modélisation, simulation et expérimentation thèse Spécialité Écologie, Évolution, Ressources Génétiques, Paléontologie (EERGP), (CIRAD) Université Montpellier 2 p 239.
- Lecourieux, D., Ranjeva, R., Pugin, A., (2006).** Calcium in the plant defence signalling pathways. *New Phytol.*, 171, 249–269.
- Lee, J. H., Koo, N.S., Min, D.B., (2004).** Reactive oxygen species, aging and anti-oxydative nutraeuticals. *Comprehensive review in Food Science and Food Safety*, 3, 20-33.
- Lee, S.E., Hwang, H.J., Ha, J.S., Jeong, H.S. and Kim, J.H., (2003).** Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sci.*, **73**: 167-179.
- Li, H., Wang, X., Li, Y., Li, P., Wang, H., (2009).** Polyphenolic compounds and antioxidant properties of selected China wines. *Food Chemistry* 112, 454–460.
- Lieth, H., Berkelamp, J., Fuest S. et Riediger, S., (1999).** CD1-climate diagram world atlas. In: Lieth H. ed., “CD series: Climate and biosphere”. Backhuys publ. Leiden.
- Little, D., Gouhier-Darimont, C., Bruessow, F., Reymond, P., (2007).** Oviposition by pierid butterflies triggers defense responses in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. **143**: 784–800.
- Liu, X., Jin, Y., Ye, H., (2013).** Recent spread and climatic ecological niche of the invasive guava fruit fly, *Bactrocera correcta*, in mainland China. *Journal of Pest Science* **86**: 449–458
- Loaiza, J.C.M., Cespedes, C.L., Beuerle, T., Theuring, C., Hartmann, T., 2007.** Ceroplastes albolineatus, the first scale insect shown to sequester pyrrolizidine alkaloids from its host–plant *Pittocaulon praecox*. *Chemoecology* 17, 109– 115.
- Loussert, R., (1989).** Les agrumes, production. Ed.Sci.Univ., Vol2, Liban, 280p.

Références bibliographiques

- Ludwig, A.A., Saitoh, H., Felix, G., Freymark, G., Miersch, O., Wasternack, C., Boller, T., Jones, J.D.G., Romeis, T., (2005).** Ethylene-mediated cross-talk between calcium-dependent protein kinase and MAPK signaling controls stress responses in plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102, 10736–10741.
- Ma, Y.Q., Chen, J.C., Liu, D.H., Ye, X.Q., (2009).** Simultaneous extraction of phenolic compounds of citrus peel extracts: effect of ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*; **16**: 57–62.
- Maffei, E.M. et Bossi, S., (2006).** Electrophysiology and Plant Responses to Biotic Stress. In *Plant Electrophysiology—Theory and Methods*; Volkov, A., Ed.; Springer-Verlag: Berlin, Germany ; pp. 461–481.
- Maffei, E.M., Bossi, S., Spiteller, D., Mithöfer, A., (2004).** Boland, W. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves. I. Membrane potentials, intracellular calcium variations, oral secretions, and regurgitate components. *Plant Physiol.*, 134, 1752–1762.
- Maffei, E.M., Mithöfer, A., Boland, W., (2007).** Before gene expression: Early events in plant-insect interaction. *Trends Plant Sci.*, 7, 310–316.
- Maffei, M.E., (2010)** Site of synthesis, biochemistry and functional role of plant volatiles. *S Afr J Bot*; 76:612- 31; <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2010.03.003>.
- Maischak, H., Grigoriev, P., Vogel, H., Boland, W., Mithöfer, A., (2007).** Oral secretions from herbivorous lepidopteran larvae exhibit ion channel-forming activities. *FEBS Lett.*, 581, 898–904.
- Makkar, H.P.S., Siddhuraju, P. et Becker, K., (2007).** Plant Secondary Metabolites, *Methods in Molecular Biology* 393; Ed: HUMANA PRESS; p: 67-111.
- Matsuda, F., Yonekura-Sakakibara, K., Niida, R., Kurumori, T., Shinozaki, K., Saito, K., (1999).** MS/MS spectral tag-based annotation of non targeted profile of plant secondary metabolites. *The plant Journal*, 57(3):555-577/
- Mattiacci, L., Dicke, E., Posthumus, M.A., (1995).** β -Glucosidase-An elicitor of herbivore-induced plant odor that attracts host-searching parasitic wasps. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92, 2036–2040.
- Mattiacci, L., Dicke, M., Posthumus, M.A., (1994).** Induction of parasitoid attracting synomone in brussels sprouts plants by feeding by *Pieris brassicae* larvae: role of mechanical damage and herbivore elicitor. *Journal of Chemical Ecology*. **20**: 2229-2247.
- Meats, A. (1989).** Abiotic mortality factor. Vol. 3B. Ed by Robinson and Hooper. Amsterdam, Else. pp. 229-238.
- Meirelles, R.N., Rodrigues Redaelli, L. et Bernardes Ourique, C., (2013).** Comparative Biology of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera : Braconidae) Reared on *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae) *Florida Entomologist* 96(2)
- Mellway, R.D., Tran, L.T., Prouse, M.B., Campbell, M.M., Constabel, C.P., (2009).** The wound pathogen, and ultraviolet B-responsive MYB134 gene encodes an R2R3 MYB

Références bibliographiques

- transcription factor that regulates proanthocyanidin synthesis in poplar. *Plant Physiol* 2009; 150:924- 41; PMID:19395405; <http://dx.doi.org/10.1104/pp.109.139071>.
- Metclaf, R.L.** (1990). Chical ecology of Dacinae fruit flies. *Ann. Entomol. Soc. Ann.*, 83: 1017-1030.
- Metna, F.**, (2009). Etude de la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae), dans différents vergers de la région de Tizi Ouzou et de Boumerdes thèse Mag. I nst.sc.Nat.Univ.Tizi Ouzou P 110.
- Michaelakis A, Papachristos D, Kimbaris A, Koliopoulos G, Giatropoulos A, Polissiou MG** (2009) Citrus essential oils and four enantiomeric pinenes against *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *Parasitol Res* 105:769–773
- Miranda, M., Ralph, S.G., Mellway, R., White, R., Heath, M.C., Bohlmann, J.**, (2007). The transcriptional response of hybrid poplar (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides*) to infection by *Melampsora medusae* leaf rust involves induction of flavonoid pathway genes leading to the accumulation of proanthocyanidins. *Mol Plant Microbe Interact* 2007; 20:816-31; PMID:17601169; <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-20-7-0816>.
- Mithöfer, A. et Boland, W.** (2008). Recognition of herbivory-associated molecular patterns. *Plant Physiol.*, 146, 825–831.
- Mohammedi, H.**, (2004). Diagnostic phyto-écologique et espèces productives et naturels en Algérie occidentale. These de Doctorat.
- Morant, A.V., Jørgensen, K., Jørgensen, C., Paquette S.M., Sánchez-Pérez, R., Møller, B.L.**, (2008). beta-Glucosidases as detonators of plant chemical defense. *Phytochemistry*; 69:1795-813; PMID:18472115; <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.03.006>.
- Müller, C., Agerbirk, N., Olsen, C.F.**, (2003). Lack of sequestration of host plant glucosinolates in *Pieris rapae* and *P. brassicae*. *Chemoecology* 13:47–54
- Naâmani, K.,Herbaut, C., El Koch, A.,Bakr, A. &Chemsseddine, M.** (1997). Recherches sur la multiplication de *Ceratitis capitata* dans la foret d'Arganier au Maroc. FAO/IAEA International Conference on Area-Wide Control of Insect Pests. pp. 28.
- Narberhaus, I., Theuring, C., Hartmann, T., Dobler, S.**, (2004). Time course of pyrrolizidine alkaloid sequestration in longitarsus flea beetles (Coleoptera: Chrysomelidae). *Chemoecology* 14:17–23
- Neilson, W. T. A.** (1964) Somme effects of relative humidity on developpementof pupae of the apple Maggot, *Rhagoletis pomonella* (Walsh). *The Canadian Entomologist*, 96 : 810-811.
- Nicholson, R. L. et Hammerschmidt R.**, (1992) Phenolic compounds and their role in disease resisitance. Annual review of phytopathology, Vol30:369–389. <https://dio.org/10/1146/annurev.py.30/090192/002101>
- Nickavar, B., Kamalinejad, M. and Izadpanah, H.**, (2007). In vitro free radical scavenging activity of five salvia species. *Pak. J. Pharm. Sci.*, 20(4): 291-294.

Références bibliographiques

- Nishida, R., Fukami, H., 1989.** Ecological adaptation of an Aristolochiaceae-feeding swallowtail butterfly, *Atrophaneura alcinous*, to aristolochic acids. *J. Chem. Ecol.* 15, 2549–2563.
- O.E.P.P., (1996).** *Ceratitis capitata* : In: Organismes de quarantaine pour l'Europe. Ed. CAB international, Wallingford, Royaume-Uni. 3 p.
- O'Doherty, I., Yim, J.J., Schmelz, E.A., Schroeder, F.C., (2011).** Synthesis of caeliferins, elicitors of plant immune responses: Accessing lipophilic natural products via cross metathesis. *Org. Lett.*, 13, 5900–5903.
- O'Dowd, D.J., (1982).** Pearl bodies as ant food: An ecological role for some leaf emergencies of tropical plants. *Biotropica*, 14, 40–49.
- Ollitrault, P., et Luro, F., (1997).** L'amélioration des plantes tropicales. In A. Charrier, J. Michel
- Osier, T.L., Hwang, S.Y. et Lindroth, R.L., (2000).** Effects of phytochemical variation in quaking aspen *Populustremuloides* clones on gypsy moth *Lymantria dispar* performance in the field and laboratory. *Ecological Entomology*, 25: 197-207.
- Ou, S. Kwok K.C., 2004.** Ferulic acid: pharmaceutical functions, preparation and applications in foods *J. Sci. Food. Agric.*, 84, pp. 1261-1269
- Ouchemoukhe, S., Hachoud, S., Boudrahama, H., Mokrani, A., Louaileche, H., (2012).** Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. *LWT – Food Science and Technology* 49, 329–332
- Ouedraogo, S. N., (2011).** Dynamique spatio temporelle des mouches des fruits (Diptera, Tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'ouest du Burkina Faso, *Thèse de doctorat*, Spécialité Ecophysiologie, Université de Paris Est. 184 pages.
- Oukil, S., (1995).** Effets des insecticides et des radiations ionisantes en relation avec la variabilité (Diptera : Trypetidae). Thèse 3ème cycles. Univ. Aix. Marseille III, Fac. Sc. Tech St Jérôme. 138p.
- Ozenda, P., (1997).** Aspect biogéographique de la végétation des hautes chaînes. *Biogeographica*, 73 (4), 145-179.
- P.D.A.U., 2013 : Plan Directeur d'Aménagement Urbain, 2013** Tlemcen
- Panini T. et Amandier L., (2005).** Climats pluviométriques et thermiques en région provence- AlpesCote d'azur. Analyse des données météorologique 1961-1996 et cartographie par Système d'information Géographique. *Forêt Médit.*, XXVI, 4, 299-308.
- Papadopoulos, N.T., Katsoyannos, B.I., Kouloussis, N.A., Hendrichs, J., (2001).** Effect of orange peel substances on mating competitiveness of male *Ceratitis capitata*. *Entomol. Exp. Appl.* 99: 253-261.

Références bibliographiques

- Peiffer, M. et Felton, G.W., (2005).** The host plant as a factor in the synthesis and secretion of salivary glucose oxidase in the larval *Helicoverpa zea*. *Arch. Insect Biochem.*, 58, 128–137.
- Peng, J., Van Loon, J. J. A., Zheng, S., et Dicke, M., (2011).** Herbivore-induced volatiles of cabbage (*Brassica oleracea*) prime defence responses in neighbouring intact plants. *Plant Biology*, 13(2), 276–284. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2010.00364.x>
- Peronny, S., (2005).** La perception gustative et la consommation des tannins chez le MAKI (Lemur Catta). Thèse de Doctorat du Muséum national d'histoire naturelle .Discipline Eco-Ethologie, pp 151
- Peters, D.J. et Constabel, C.P., (2002).** Molecular analysis of herbivore-induced condensed tannin synthesis: cloning and expression of dihydroflavonol reductase from trembling aspen (*Populus tremuloides*). *Plant J*; 32:701-12; PMID:12472686; <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3113X.2002.01458.x>.
- Piguet P. (1960).** Les ennemis animaux des agrumes. Copyright by *Soviete Shell d'Algerie*. pp.49-55.
PMID: 21354580; <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.040>.
- Praloran, P., (1971).** Les agrumes, techniques agricoles et production tropicale. Edition Maison neuve et Larox, Paris, T21 XXI et XXII, 665p
- Quilici, S., (1999).** Fruit flies, D. Vencenot, SUAD/CIRAD: 3p.
- Rahuman, A.A., Gopalakrishnan, G., Ghouse, B.S., Arumugam, S., Himalayan, B.,2000.** Effect of *Feronia limonia* on mosquito larvae. *Fitoterapia*, 71, 553–555. [CrossRef]
- Ramade, F., (2003).** Elément d'écologie fondamentale, 3eme edition DUNOD, Paris, 690p.
- Ramful, D., Tarnus, E., Aruoma, O.I., Bourdon, E., Bahorun, T., (2011).** Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International* 44, 2088–2099.
- Ramos, C., Vanin, S., Kato, M., 2009.** Sequestration of prenylated benzoic acid and chromenes by *Naupactus bipes* (Coleoptera: Curculionidae) feeding on *Piper gaudichaudianum* (Piperaceae). *Chemoecology* 19, 73–80.
- Renwick, J.A.A., Zhang, W., Haribal, M., Attygalle, A.B., Lopez, K.D., (2001).** Dual chemical barriers protect a plant against different larval stages of an insect. *J Chem Ecol.*, 27:1575-83; PMID:11521397; <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010402107427>.
- Reymond, P., Bodenhausen, N., Van Poecke, R.M.P., Krishnamurthy, V., Dicke, M., Farmer, E.E., (2004).** A conserved transcript pattern in response to a specialist and a generalist herbivore. *Plant Cell*; 16:3132- 47; PMID:15494554; <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.104.026120>.
- Richard, P. J. H., (1997).** Les climats annuels, la variabilité climatique et le bioclimat, adresse sur le web: www.geogr.umontreal.ca/données/geo3152

Références bibliographiques

- Rigamonti, I., (2005).** *Ceratitis capitata* in Lombardia. Quaderni Della Ricerca N° 47. Copyright Regione Lombardia. 40p.
- Rincón-Pérez, J., Rodríguez-Hernández, L., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Abud-Archila, M., Luján-Hidalgo, M. C., Ruiz-Lau, N., Gutiérrez-Miceli, F. A., (2016).** Fatty Acids Profile, Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity in Elicited Callus of *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. *Journal of Oleo Science*, 65(4), 311–318. <https://doi.org/10.5650/jos.ess15254>.
- Roeske, C.N., Seiber, J.N., Brower, L.P., Moffit, C.M., 1976.** Milkweed cardenolides and their comparative processing by monarch butterflies (*Danaus plexippus* L.). *Rec. Adv. Phytochem.* 10, 93–167.
- Roessler, Y. et Chen, C., (1994).** The Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, a major pest of citrus in France, its regulation and control. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*: 24, 813-816.
- Roitto, M., Rautio, P., Markkola, A., Julkunen-Tiitto, R., Varama, M., Saravesi, K., (2005).** Induced accumulation of phenolics and sawfly performance in Scots pine in response to previous defoliation. *Tree Physiol.*; 29:207-16; PMID: 19203946; <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpn017>.
- Roitto, M., Rautio, P., Markkola, A., Julkunen-Tiitto, R., Varama, M., Saravesi, K., (2009).** Induced accumulation of phenolics and sawfly performance in Scots pine in response to previous defoliation. *Tree Physiol*; 29:207-16; PMID:19203946; <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpn017>.
- Röse, U.S.R., Lewis, J., Tumlinson, J.H., (2006).** Extrafloral nectar from cotton (*Gossypium hirsutum*) as a food source for parasitic wasps. *Functional Ecology* 20(1):67-74.
- Saleh, S.M. et Al-Shareef, L. A., (2010).** Effect of the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) infestation on Amino Acids, Phenol Content and pH value in some vegetable plants in greenhouses. *Alex. Journal of Agricultural Research*. 55(3): 1-7.
- San Martín y Gomez, G. et Van Dyck, H., (2012).** Ecotypic differentiation between urban and rural populations of the grasshopper *Chorthippus brunneus* relative to climate and habitat fragmentation. *Oecologia* 169, 125-133.
- Sanders, D., Pelloux, J., Brownlee, C., Harperc, J.F., (2002).** Calcium at the crossroads of signalling. *Plant Cell* 2002, 14, S401–S417.
- Schaffner, U., Boevé, J.-L., Gfeller, H. et Schlunegger, U.P., (1994).** Sequestration of Veratrum alkaloids by specialist *Rhadinoceraea nodicornis* Konow (Hymenoptera: Tenthrenidae) and its ecoethological implications. *J. Chem. Ecol.* 20: 3233-3250.
- Schaich, K. M., Tian, X., Xie, J., (2015).** Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. *J. Funct. Foods* 14, 111-125.
- Schaller, A., (2008).** induced plant resistance to herbivory. *Springer*.

Références bibliographiques

- Schmelz, E.A., Carroll, M.J., LeClere, S., Phipps, S.M., Meredith, J., Chourey, P.S., Alborn, H.T., Teal, P.E.A., (2007)** Fragments of ATP synthase mediate plant perception of insect attack. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 103, 8894–8899.
- Schmelz, E.A., Engelberth, J., Alborn, H.T., Tumlinson, J.H., Teal, P.E.A., (2009)** Phytohormone-based activity mapping of insect herbivore-produced elicitors. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 106, 653–657.
- Schroder, R., Cristescu, S.M., Harren, F.J., Hilker, M., (2007).** Reduction of ethylene emission from scots pine elicited by insect egg secretion. *J. Exp. Bot.*, 58, 1835–1842.
- Seebacher, F. et James, R. E., (2008).** Plasticity of muscle function in a thermoregulating ectotherm (*Cordylus porosus*): biomechanics and metabolism. *Am. J. Physiol. Reg. I.* 294, R1024-R1032.
- Seguy, E., (1950).** La biologie des Diptères : Encyclopédie entomologique. Ed. Paul Lechevalier, Paris VI. 609p
- Selka, O. (2007).** Etude des infestations des fruits de *Citrus sinensis* var. *Sanguinelli* par *Ceratitis capitata* et par la microflore pathogène dans la plaine d’Hennaya. Thèse de Magistère Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. pp.116.
- Settaoui S., Taibi A., Hammadi F. et Doumandji S.E. (2017).** Infestation des agrumes par la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera, Trypetidae) à Tlemcen-Algerie, *Algerian journal of arid environment* 7, 102–110.
- Shabala, S., (2006).** Non-invasive Microelectrode ion Flux Measurements in Plant Stress Physiology. In *Plant Electrophysiology—Theory and Methods*; Volkov, A., Ed.; Springer-Verlag: Berlin, Germany; pp. 35–37.
- Shapiro, A.M., DeVay, J.E., 1987.** Hypersensitivity reaction of *Brassica nigra* L. (Cruciferae) kills eggs of *Pieris* butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Oecologia* 71, 631–632
- Sharma, H.C. et Agarwal, R.A., (1983).** Role of some chemical components and leaf hairs in varietal resistance in cotton to jassid, *Amrasca biguttula biguttula* Ishida. *J Entomol Res*; 7:145-9.
- Sharma, H.C., Sujana, G., Rao, D.M., (2009).** Morphological and chemical components of resistance to pod borer, *Helicoverpa armigera* in wild relatives of pigeonpea. *Arthropod-Plant Interact*; 3:151-61; [http:// dx.doi.org/10.1007/s11829-009-9068-5](http://dx.doi.org/10.1007/s11829-009-9068-5).
- Simmonds, M.S.J. et Blaney, W.M., (1990).** Fellows LE. Behavioural and electrophysiological study of antifeedant mechanisms associated with polyhydroxyalkaloids. *J Chem Ecol*; 16:3167-96; <http://dx.doi.org/10.1007/BF00979618>.
- Simmonds, M.S.J. et Stevenson, P.C., (2001).** Effects of isoflavonoids from *Cicer* on larvae of *Helicoverpa armigera*. *J Chem Ecol*; 27:965-77; PMID:11471948; <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010339104206>.

Références bibliographiques

- Simmonds, M.S.J., (2003).** Flavonoid-insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*; 64:21-30; PMID:12946403; [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00293-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00293-0).
- Singleton, V.L., Ortofer, R., Lamyela-Raventos, R.M., (1999).** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteu reagent. In: Packer, L. (Ed.), *Methods in Enzymology. Academic Press, Orlando* 152-178.
- Sofowara, A., (1993).** Medicinale plants and traditional medicine in Africa. Spectrum Books Ltd, Ibadan, Nigeria. P. 289
- Srinivasan, R. et Uthamasamy, S., (2004).** Feeding induced changes in phenolics and pathogenesis-related proteins: implications in host resistance to *Bemisia tabaci* Genn. And *Helicoverpa armigera* Hub. in tomato accessions. *Pest Management in Horticultural Ecosystems* **10(2)**: 95-106.
- Staab, M., Methorst J., Peters J., Blüthgen N., Klein A. M., (2017).** Tree diversity and nectar composition affect arthropod visitors on extrafloral nectaries in a diversity experiment *Journal of Plant Ecology*, Volume 10 (1) 201–212 <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw017>
- Stamp, N., (2003).** Out of the Quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Biology* **78**: 23-55.
- Steppuhn, A. et Baldwin, I.T.,(2007).** Resistance management in a native plant: nicotine prevents herbivores from compensating for plant protease inhibitors. *Ecol Lett*; 10:499-511; PMID:17498149 : <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01045.x>.
- Stout, M.J., Riggio, M.R., Yang, Y., (2009).** Direct induced resistance in *Oryza sativa* to *Spodoptera frugiperda*. *Environ Entomol*; 38:1174-81; PMID:19689897; <http://dx.doi.org/10.1603/022.038.0426>.
- Sun, B., Ritchardo-da-Silvia, J.M., Spranger, I., (1998).** Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins. *Journal of Agriculture, Food and Chemistry* **46**: 4267-74.
- Sun, M., Wang, Y., Song, Z. et Fang, G. (2007).** Insecticidal activities and active components of the alcohol extract from green peel of *Juglans mandshurica*. *Journal of Forestry Research*, *18*(1), 62–64. <https://doi.org/10.1007/s11676-007-0011-2>
- Swingle, W.T., (1948).** Citrus industry. Chap.IV (The botany of citrus and its wild relatives of the orange subfamily. Univ. California. Press, Berkeley and Los Angeles.
- Swingle,W. T. et Reece, P. C., (1967).** The botany of citrus and its wild relatives. In W. Reuther, L. D. Batchelor & H. J. Webber (Eds.). *The Citrus Industry* (Vol. 1, pp.130-190): University of California Berkeley.
- Szyniszewska, A.M., Tatem, A.J., (2014).** Global Assessment of Seasonal Potential Distribution of Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *PLoS ONE* *9*(11): e111582. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111582>

Références bibliographiques

- Tabilio, M. R., Fiorini, D., Marcantoni, E., Materazzi, S., Delfini, M., De Salvador, F. R. et Musmeci, S., (2013).** Impact of the Mediterranean fruit fly (medfly) *Ceratitis capitata* on different peach cultivars: the possible role of peach volatile compounds. *Food Chemistry*, 140(1–2), 375–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.074>
- Teruya, T. (1990).** Effect of relative humidity during pupal maturation on subsequent adult eclosion and flight capacity of the melon fly, *Dacus cucurbitae* Coquillett (Diptera : Tephritidae). *Applied Entomology and Zoology*, 25 : 521-523.
- Thomas, M.C., Happner, J.B., Woodruff, R.E., Weems, H.V., Steck, G.J. & Fasulo, T.R. (2001).** Mediterranean fruit fly, *Ceratitiscapitata* (Wiedemann) (Insecta :Diptera : Tephritidae). Florida Department of agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry ; and T.R. Fasulo, Entomology and Nematology Department, university of Florida, Gainesville, FL.
- Tison, G., Paolacci, G., Martin, P., (2003).** Evaluation de systèmes de piégeage pour les mouches des fruits (*Ceratitis capitata* Wied.) areflec Station d'expérimentation sur www.areflec.org
- Tooker, J.F., De Moraes, C.M., 2005.** Jasmonate in lepidopteran eggs and neonates. *J. Chem. Ecol.* 31, 2753–2759.
- Tooker, J.F., De Moraes, C.M., 2007.** Jasmonate, salicylate, and benzoate in insect eggs. *J. Chem. Ecol.* 33, 331–343.
- Trabelsi, N., Megdiche, W., Ksouri R., Fella, H., Oueslati, S., Bourguou, S., Hajlaoui, H., Abdelly C., (2010).** Solvent effects on phenolic contents and biological activities of the halophyte *Limoniastrum monopetalum* leaves. *Food Science and technology* **43(4)**: 632-639.
- Trease, E., et Evans, W.C., (1987).** Pharmacognosie, Billiair Tindall. London 13 th Edition P 61-62
- Treutter, D., (2006).** Significance of flavonoids in plant resistance: a review. *Environ Chem Lett*; 4:147-57; <http://dx.doi.org/10.1007/s10311-006-0068-8>.
- Trigo, J.R., Brown, K.S., Witte, L., Hartmann, T., Ernst, L., Barata, L.E.S., 1996.** Pyrrolizidine alkaloids: different acquisition and use patterns in Apocynaceae and Solanaceae feeding ithomiine butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae). *Biol. J. Linn. Soc.* 58, 99–123.
- Truitt, C.L., Wei, H.X., Pare, P.W., (2005).** A plasma membrane protein from *Zea mays* binds with the herbivore elicitor volicitin. *Plant Cell*, 16, 523–532.
- Tscharntke, T., Thiessen, S., Dolch, R., Boland, W., (2001).** Herbivory, induced resistance and interplant signal transfer in *Alnus glutinosa*. *Biochem Syst Ecol.*; 29:1025-47; [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-1978\(01\)00048-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-1978(01)00048-5).
- Tumlinson, J.H., Lewis, W.J. et Vet, L.E.M. (1993).** How parasitic wasp find their hosts. *Scientific American March*: 100-106.

Références bibliographiques

- Turlings, T.C.J., McCall, P.J., Alborn, H.T., Tumlinson, J.H., (1993).** An elicitor in caterpillar oral secretions that induces corn seedlings to emit chemical signals attractive to parasitic wasps. *Journal of Chemical Ecology*.**19**: 411-425.
- Turlings, T.C.J., Wackers, F.L., Vet, L.E.M., Lewis, W.J., Tumlinson, J.H., (1993).** Learning of Host Location Cues by Insect Parasitoids. In *Insect Learning: Ecological and Evolutionary Perspectives*; Papaj, D.R., Lewis, A., Eds.; Chapman and Hall: New York, NY, USA, pp. 51–78.
- Tzanakakis, M.E. & Koveos, D.S. (1986).** Inhibition of avarian maturation in the olive fruit fly under long photophase and an increase of temperature. *Annals of the Entomological Society of America*, 79. pp. 15-18.
- Umeh, V.C., Olaniyan, A.A., Ker, J., Andir, J., (2004).** Development of citrus fruit fly control strategies for small-holders in Nigeria Vincent C. *Fruits*, vol. 59 (4) p. 265–274 Cirad/EDP Sciences All rights reserved DOI: 10.1051/fruits:2004025
- Usha Rani, P. et Jyothsna, Y., (2010).** Biochemical and enzymatic changes in rice as a mechanism of defense. *Acta Physiol Plant.*, 32:695-701; <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-009-0449-2>.
- Van-Ee, S., (2005).** La culture fruitière dans les zones tropicales. Wageningen Reboijr H. (1966) - Des agrumes - Manuel des cultures de Citrus pour le bassin Méditerranéen. Ed. Baillière et Fils, Paris, 264 p.
- Vayssières, J.F., Korie, S. & Ayegnon, D. (2009).** Correlation of fruit fly (Diptera Tephritidae) infestation of major mango cultivars in Borgou (Benin) with abiotic and biotic factors and assessment of damage. *Crop Protection*, 28(6), 477-488
- Vera M.T. ; Rodriguez R. ; Segura D. F. ; Cladera J. L. ; et Suthert R.W. (2002)** potential geographical distribution of the mediteranean fruit fly. *Ceratitis capitata* (Diptera; Tephritidae) with emphasis on Argentina and Australia. *Environmental Entomology* 31, 1009-1022.
- Verret, F., Wheeler, G., Taylor, A.R., Farnham, G., Brownlee, C.,(2010).** Calcium channels in photosynthetic eukaryotes: Implications for evolution of calcium-based signalling. *New Phytol.*, 187, 23–43.
- Virbel-Alonso, C., (2011).** *Citron et autres agrumes. Ed. Groupe Eyrolles.* 15p.
- Voelckel, C., Weisser, W.W., Baldwin, I.T., (2004).** An analysis of plant-aphid interactions by different microarray hybridization strategies. *Mol Ecol*; 13:3187-95; PMID:15367131; <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02297.x>.
- Wäckers, F.L., Romeis, J., van Rijn, P., (2007).** Nectar and pollen feeding by insect herbivores and implications for multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology* 52:301-323.
- Walling, L.L., (2000).** The myriad plant responses to herbivores. *J Plant Growth Regul*; 19:195-216; PMID:11038228

Références bibliographiques

- Walls, R., Apple, H., Cipollini, M., Schultz, J., (2005).** Fertility, root reserves and the cost of inducible defenses in the perennial plant *Solanum carlinese*. *Journal of Chemical Ecology* **31**: 2263-2287.
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., et Sharma, H. C. (2012).** Mechanisms of Plant Defense against Insect Herbivores, 7(10), 1306–1320. *Plant signaling and behavior* <http://dx.doi.org/10.4161/psb.21663>
- War, A.R., Paulraj, M.G., War, M.Y., Ignacimuthu, S., (2011a).** Jasmonic acid- mediated induced resistance in ground- nut (*Arachis hypogaea* L.) against *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *J Plant Growth Regul*; 30:512-23; <http://dx.doi.org/10.1007/s00344-011-9213-0>
- War, A.R., Paulraj, M.G., War, M.Y., Ignacimuthu, S., (2011b).** Herbivore- and elicitor-induced resistance in ground- nut to Asian armyworm, *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Plant Signal Behav*; 6:1769-77; PMID:22042128; <http://dx.doi.org/10.4161/psb.6.11.17323>.
- Warlop, F., (2003).** Control strategies against cherry and olive fruit flies: past and perspectives. In: *Proceedings of Journées Techniques GRAB-ITAB*. < <http://orgprints.org/2967/>>.
- Whitman, D. W., (1988).** Allelochemical interactions among plants, herbivores, and their predators. In *Novel Aspects of Insect-Plant Interactions*, eds. P. Barbosa and D. Letourneau, pp. 207-248. New York: John Wiley and Sons
- Wong, T.T.Y., Ramadan, J.C., Herr McInnis, D.O., (1992).** Suppression of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) population with concurrent parasitoid and sterile fly releases in Kula, Maui, Hawaii. *Journal of Economic Entomology*. 85 : 1671-1681.
- Woods, H.A., (2010).** Water loss and gas exchange by eggs of *Manduca sexta*: trading off costs and benefits. *Journal of Insect Physiology* **56**: 480–487
- Wu, J., Hettenhausen, C., Meldau, S., Baldwin, I.T., (2007).** Herbivory rapidly activates MAPK signaling in attacked and unattacked leaf regions but not between leaves of *Nicotiana attenuata*. *Plant Cell*, 19, 1096–1122.
- Ye Hui et Liu Jianhong, (2007).** Population dynamics of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Xishuangbanna, Yunnan Province, China *Frontiers of Agriculture in China* Volume 1, Issue 1, pp 76–80
- Zakir, A., Bengtsson, M., Hansson, B.S., Witzgall, P., Anderson, P., (2009).** Herbivore-induced volatiles reduce egg laying in Egyptian cotton leafworm. Poster presentation in the 25th annual meeting of International Society of Chemical ecology (ISCE), Neuchâtel, Switzerland.
- Zhao, L.Y., Chen, J.L., Cheng, D.F., Sun, J.R., Liu, Y., Tian, Z., (2009).** Biochemical and molecular characterizations of *Sitobion avenae*- induced wheat defense responses. *Crop Prot*; 28:435-42; <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2009.01.005>.

Références bibliographiques

Zhao, S., Li J., Wang, Y., Cheng, C. L., Li, J. Q., (2014). Effects of herbivory and defoliation on foliar phenolic compounds in *Populus euphratica* in the Ejina Oasis, Inner *Allelopathy Journal* **34(1):49–57**.

Zhu-Salzman, K, Salzman, RA, Ahn, JE, Koiwa, H., (2004). Transcriptional regulation of sorghum defense determinants against a phloem-feeding aphid. *Plant Physiol*; 134:420-31; PMID:14701914.

