

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

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTÉ DES SCIENCES AGRO-VÉTÉRINAIRES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention
du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Sciences Agronomiques
Spécialité : Zoophytatrie

**Etude comparée de l'efficacité des huiles essentielles formulées
à base de Thym et d'Origan sur différents Aphides**

Soutenu en : Juin 2012

Présenté par : Mlle. BELHANI Messaouda
Mlle. BELKHOUMALI Sarah

Devant le jury :

| | | | |
|-----------------------------|------------|----------|-------------------|
| M. AROUN M.E.F | M.A.A. | U.S.D.B | Président du jury |
| Mme BABA AISSA MOUSSAOUI K. | Doctorante | U.S.D.B. | Promotrice |
| M. DJAZOULIZ.E. | M.C.A. | U.S.D.B. | Co-Promoteur |
| Mme AMMAD F. | M.A.A. | U.S.D.B. | Examinatrice |
| Mme YAHIA | M.A.B. | U.S.D.B. | Examinatrice |
| M. OULD RABAH I. | M.A.A. | U.S.D.B. | Examineur |

Année Universitaire 2011/2012

REMERCIEMENTS

On commence par remercier et rendre grâce à **Dieu** le tout puissant, pour nous avoir donné le courage, la santé et la volonté de mener à bien et à bon terme ce travail.

J'exprime ma gratitude à Monsieur le Docteur **DJAZOULI Z. E.** et Madame **BABA AISSA MOUSSAOUI K.** pour la qualité de leur encadrement et pour l'intérêt qu'ils ont apporté à notre travail. On les remercie chaleureusement pour leurs encouragements, orientations, aide, chers conseils, patience et ainsi que pour leur disponibilité et leur gentillesse.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur **AROUN M.E.F** qui nous a fait l'honneur de présider le jury ; ainsi pour la peine qu'il a prise à nous aider, par ses conseils judicieux et surtout son soutien et ses apports tant enrichissants.

Nos respects et nos sincères remerciements vont à **Mme AMMAD. F. ; M. OULD RABEH I.** et **Mme YAHIA** d'avoir bien voulu accepter d'être membres de jury pour examiner ce travail et l'enrichir.

Nos remerciements vont à nos deux familles qui ont cru en nous et n'ont cessé de nous donner du courage et de nous soutenir pendant les moments difficiles.

On ne saura terminer cette liste de remerciements sans dire notre profonde gratitude à tous nos enseignants et nos professeurs qui ont assuré notre formation sans oublier les personnels du département d'agronomie de Blida, en particulier **DJEMAI Y.** la technicienne du laboratoire de zoologie, et à nos ami(e)s pour leur gentillesse, leur aide et leur disponibilité, que cela traduise le plaisir réciproque que nous avons eu le privilège de travailler ensemble.

On tient à remercier aussi toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Messaouda & Sarah

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents pour leurs immenses sacrifices, et affection illimitée. Toute ma gratitude

*A ma grande mère **Ghania** que Dieu nous la garde.*

*A mes adorables frangines **Amina, Ikram, Maroua.***

*A mon frangin **ABD El Rahman.***

A tout mes oncles et tantes, cousins et cousines

*A la famille **BELHANI***

*A ma promotrice : **Mme BABA-AISSA MOUSSAOUI K.***

*A mon co-promoteur : **Dr DJAZOULI Z E***

*A tout mes ami(e)s en particulier : **Messaouda, Imene, Naima, Saida, Amina, Mira, Safia, Asmaa, Fadila, Samira, Meriem, Mounira, Melyara, Nadia ; Farid, Raouf, Yaakoub, Adel, Sid Ali, Sofiane, Ahmed, Mohand, Khoudir, Azeddin...***

*Et a tous mes collègues de promo de **ZOOPHYTIATRIE***

A l'encontre de toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail :

A tous ceux qui me sont chers.

Sarah

DÉDICACES

*Mes très chers parents **Boualem** et **Aicha**, qui présentent pour moi la source de tendresse et l'exemple du dévouement. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez, pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis toujours, vous m'avez guidé pour suivre le bon chemin dans ma vie et mes études. Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.*

Je dédie aussi ce modeste travail

*A mes chères grands parents **Zitouni** et **Zineb** que Dieu nous les garde.*

*A mes adorables sœurs **Djihad**, **Rihab** et **Nada***

*A mon aimable frère **Afif***

*A **Walid** qui na pas cessé de m'encourager et surtout pour avoir répondu présent à chaque fois que j'ai eu besoin de son aide.*

*A la famille **Mansouri** qui était pendant ces années là, ma deuxième famille. Merci pour le chaleureux accueil, l'apport, la confiance, l'amour, le respect et l'estime que vous m'avez donné.*

A mes oncles et tantes.

*A la famille **Belkhoumali** et **Berkani**.*

*A Madame **Baba-Aissa Moussaoui K.** et Monsieur **Dr Djazouli Z. E.***

*A Monsieur **Meziani** qui n'a pas cessé de m'encourager et conseiller.*

A tous mes enseignants.

*A mon Binôme. **Sarah***

*A tous mes amis (es) en particulier : **Asmaa**, **Imane**, **Naima**, **Sana**, **Amina**, **Mira**, **Amira**, **Assia**, **Louiza**, **Fatma**, **Fadila**, **Sid Ali**, **Sofiane**, **Farid**, **Adel**, **Yaakoub**, **Raouf**, **Azedine**, **Hamza**, **Hanafi**...*

A tous les collègues de ma promo surtout de la Zoophytatrie

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous

Messaouda

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| CHAPITRE I LES HOMOPTERES..... | 3 |
| Introduction..... | 3 |
| 1. Systématique..... | 3 |
| 2. Caractéristiques d'Aphides..... | 3 |
| 3. Polymorphisme et polyphenisme..... | 4 |
| 4. Le cycle du puceron..... | 4 |
| 5. Dégâts des pucerons..... | 6 |
| 6. Plantes hôtes..... | 6 |
| 7. Les principales espèces Aphidiennes des agrumes..... | 8 |
| 8. Le cycle de développement des pucerons..... | 9 |
| 9. Le puceron du peuplier « <i>Chaitophorus leucomelas</i> »..... | 10 |
| 10. Les moyens de lutte contre les pucerons..... | 11 |
| CHAPITRE II LES PESTICIDES ET LES BIOPESTICIDES..... | 13 |
| Introduction..... | 13 |
| 1. Les pesticides..... | 13 |
| 2. Les biopesticides..... | 16 |
| 3. Les insecticides d'origine botanique..... | 17 |
| CHAPITRE III MATERIEL ET METHODES..... | 24 |
| Objectifs du travail..... | 24 |
| 1. Présentation de la région d'étude..... | 24 |
| 2. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales..... | 25 |
| 3. Matériel d'étude..... | 27 |
| 4. Méthodes d'étude..... | 29 |
| 5. Analyses statistiques..... | 31 |
| CHAPITRE IV RESULTATS..... | 32 |
| 1. Tendance globale des effets des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes..... | 32 |
| 2. Evaluation de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes..... | 35 |
| 3. Effets comparés de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes..... | 36 |
| 4. Tendance globale des effets des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance de la population de puceron du peuplier..... | 40 |
| 5. Evaluation de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur la population de puceron du peuplier..... | 42 |
| 6. Effets comparés de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaire sur l'abondance de la population de puceron du peuplier..... | 43 |
| CHAPITRE V DISCUSSION..... | 47 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 51 |
| FERERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 53 |
| ANNEXES..... | 65 |

LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS

% : pourcentage.

A: Alpha-terpineol.

C: Carvacrol

C:degré Celsius.

D/2: demi-dose

D: dose

DD: demi-dose

DDH: demi-dose homologuée

DH: dose homologue

DL50 : dose létale

EPA :l'Agence américaine de protection de l'environnement

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

G.L.M : modèle linéaire global.

G: Géraniol.

g: gramme

h : heurs

HE : huile essentielle

HI: hectolitre

Km: kilomètre

L: Linalool

mm : millimètre

NP : Les chémotypes non phénoliques

O : Origan

P : phénolique

T :Thymol

TL50 : temps létal

U: Thuyanol.

ml: Millilitres

LISTE DES FIGURES

| | | |
|----------|--|----|
| Figure1 | Cycle biologique du puceron d'après..... | 6 |
| Figure2 | <i>Aphis citricola</i> | 8 |
| Figure3 | <i>Aphis gossypii</i> | 9 |
| Figure4 | Cycle évolutif de <i>Chaitophorus. leucomelas</i> | 11 |
| Figure5 | répartition par catégorie des produits phytosanitaires utilisés en Algérie..... | 14 |
| Figure6 | Structures chimiques des principales familles de pesticides..... | 15 |
| Figure7 | Structure du précurseur des HE : l'isoprène..... | 20 |
| Figure8 | Anatomie d'un trichome glandulaire de <i>Thymus vulgaris</i> (Amiot, 2005)..... | 20 |
| Figure9 | Localisation géographique de la plaine de la Mitidja. Echelle: 1/500 000..... | 24 |
| Figure10 | Présentation des sites d'études..... | 26 |
| Figure11 | <i>Chaitophorus leucomelas</i> | 27 |
| Figure12 | Principales espèces aphidiennes des agrumes..... | 27 |
| Figure13 | Huiles essentielles utilisées..... | 28 |
| Figure14 | METHOMYL 25 %..... | 28 |
| Figure15 | Schéma récapitulatif du suivie de l'étude..... | 29 |
| Figure16 | Blocs traités du peuplier..... | 30 |
| Figure17 | Blocs traités des agrumes..... | 30 |
| Figure18 | Evolution temporelle de l'abondance des populations d' <i>Aphis citricola</i> et <i>Aphis gossypii</i> sous l'effet des huiles essentielles de thym et d'origan par rapport au témoin et du produit de synthèse..... | 33 |
| Figure19 | Projection des abondances des populations d' <i>Aphis citricola</i> et d' <i>Aphis gossypii</i> sur les deux axes de l'A.C.P..... | 35 |
| Figure20 | abondance comparée d' <i>Aphis citricola</i> et d' <i>Aphis gossypii</i> selon la molécule, les doses et la période après traitement..... | 36 |
| Figure21 | Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / molécules sur <i>Aphis citricola</i> et <i>Aphis gossypii</i> | 39 |
| Figure22 | Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / doses sur <i>Aphis citricola</i> et <i>Aphis gossypii</i> | 40 |
| Figure23 | Evolution temporelle de l'abondance des populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet des huiles essentielles de Thym et d'Origan par rapport au témoin et au produit de synthèse..... | 41 |
| Figure24 | Projection de l'abondance de populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sur les deux axes de l'A.C.P..... | 42 |
| Figure25 | Abondance comparée de <i>Chaitophorus leucomelas</i> selon les molécules, les doses et la période après traitement..... | 44 |
| Figure26 | Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / molécules sur <i>Chaitophorus leucomelas</i> | 45 |
| Figure27 | Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / doses sur <i>Chaitophorus leucomelas</i> | 46 |
| Figure28 | Schéma expliquant le modèle hypothétique de l'efficacité comparée des traitements biologiques et chimiques..... | 48 |

RESUME

Etude comparée de l'efficacité des huiles essentielles formulées à base de Thym et d'Origan sur différents Homoptères

L'utilisation des produits chimiques pour le contrôle des insectes soulève plusieurs inquiétudes liées à l'environnement, à la santé humaine, aux espèces non cibles, et au développement des populations résistantes

Actuellement, les plantes aromatiques possèdent un atout considérable grâce à la découverte progressive des applications de leurs huiles essentielles dans la lutte biologique contre les ravageurs des cultures

La présente étude a porté sur l'évaluation de l'efficacité des huiles essentielles formulées à base de Thym et d'Origan comparée à un produit de synthèse (Methomyl) sur l'abondance de deux pucerons d'agrumes (*Aphis citricola* et *Aphis gossypii*) et du puceron du peuplier noir (*Chaitophorus leucomelas*).

Les résultats de cette étude ont montré que toutes les molécules testées ont eu un effet répressif sur les ravageurs ciblés avec une suprématie d'efficacité de l'huile essentielle à base de thymol par rapport aux autres biopesticides appliquées. En revanche le thymol reste moins efficace que le produit chimique qui affiche le plus faible taux d'abondance des populations aphidiennes.

Ces mêmes résultats ont permis, de mettre en évidence un effet choc et une toxicité temporelle de toutes les molécules testées.

L'estimation de l'efficacité des doses appliquées, a dévoilé que toutes les doses ont eu une répression sur l'abondance des populations des pucerons visés mais les doses complètes (D) se révèlent nettement plus efficaces que les demi-doses (DD).

Mots clés : Biopesticides, toxicité, abondance, pucerons, huiles essentielles, Thymol, Carvacrol, Origan, Methomyl.

ABSTRACT

Comparative study of the effectiveness of the essential oils formulated of Thyme and Origan on different Homoptères

The use of the chemicals for the control of the insects raises several concerns connected to the environment, human health, the nontarget species, and with the development of the resistant populations.

Actuellement, les plantes aromatiques ont un atout considérable grâce à la découverte progressive des applications de leurs huiles essentielles dans la lutte biologique contre les ravageurs des cultures.

La présente étude est relative à l'évaluation de l'efficacité des huiles essentielles formulées contenant du Thym et Origan comparées à un produit de synthèse (Methomyl) sur l'abondance de deux espèces de pucerons (Aphid *citricola* et *Aphis gossypii*) et de la puceron du peuplier noir (*Chaitophorus leucomelas*).

Les résultats de cette étude ont montré que toutes les molécules testées ont eu un effet répressif sur les ravageurs ciblés avec une supériorité d'efficacité de l'huile essentielle contenant du thymol comparée aux autres biopesticides appliqués.

D'autre part, le thymol reste moins efficace que le produit chimique qui présente le taux d'abondance le plus faible des populations aphidiennes.

Ces mêmes résultats ont permis de mettre en évidence un effet choc et une toxicité temporelle de toutes les molécules testées.

L'estimation de l'efficacité des doses appliquées a révélé que toutes les doses ont eu un effet répressif sur l'abondance des populations de pucerons concernés mais que les doses complètes (D) sont nettement plus efficaces que les doses moitiées (DD).

Key words: Biopesticides, toxicité, abondance, pucerons, huiles essentielles, Thymol, Carvacrol, Origan, Methomyl.

ملخص

دراسة مقارنة لفعالية الزيوت الأساسية المصاغة لنبات الزعتر و نبات الزعيترة على مختلف القرمزيات

يؤدي استعمال المبيدات الكيميائية الحشرية إلى عدة اضطرابات ,على مستوى الوسط الطبيعي, و على صحة الإنسان,على الأصناف الحشرية الغير مستهدفة,ويؤدي أيضا إلى تطور الطوائف المقاومة.

حاليا تمتلك النباتات المعطرة مؤهلات هامة في ضل الاكتشافات الجارية على استخدام زيوتها الأساسية في مكافحة البيولوجية ضد مفسدات المحاصيل.

تطرقنا من خلال هاته الدراسة إلى تقييم فعالية الزيوت الأساسية المصاغة لنبات الزعتر و نبات الزعيترة مقارنة مع مبيد كيميائي (Methomyl) على صنفين من قرمزيات الحمضيات (*Aphis citricola* و *Aphis gossypii*) و على قرمزية الصفصاف الأسود (*Chaitophorus leucomelas*).

أظهرت نتائج هاته الدراسة أن كل المركبات المختبرة لديها مفعول طارد على الحشرات المستهدفة .مع زيادة فعالية الزيت الأساسي لنبات الزعيترة على غرار كل المبيدات الحيوية المستعملة . من جهة أخرى يبقى *Thymol* أقل فعالية من المركب الكيميائي و الذي يظهر أدنى نسبة انخفاض لطوائف القرمزيات.

نفس هاته النتائج مكنتنا من تبيان المفعول الصادم و كذا مفعول التسميم المؤقت لدى كل الجزئيات المختبرة.

أما بالنسبة لتقييم فعالية الجرعات المستعملة كشف عن أن كل الجرعات لديها فعالية ردعية طاردة على طوائف القرمزيات المستهدفة , ولكن تبقى الجرعات الكاملة هي الأكثر فعالية من أنصاف هاته الأخيرة.

الكلمات الجوهرية: المبيدات الحيوية, التسميم, غزارة, القرمزيات, الزيوت الأساسية
Origan, Carvacrol, Thymol, Methomyl.

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'antiquité, l'agriculture joue un rôle très important dans la civilisation humaine et dans la révolution socio-économique dans le monde entier.

Les agrumes représentent le groupe de fruits le plus important du commerce international. L'Algérie participe avec un faible pourcentage par rapport au seuil de la production des autres pays agrumicoles (Boughnou, 1998) où signale une suprématie de production à la Mitidja

Ces faibles rendements sont essentiellement dus aux maladies et ravageurs. En effet, les pucerons causent des dommages importants aux agrumes, qui se traduisent par l'enroulement et la déformation des feuilles ainsi que l'avortement des fleurs durant la période de floraison et la transmission des maladies virales (Leclant, 1982).

Le peuplier quant à lui est une essence de production par excellence. Son intérêt est de plus en plus révélé au niveau mondial. En effet, il s'agit d'une essence à croissance rapide, qui peut contribuer à combler le déficit mondial en bois (Breton, 2000), avec une longévité qui est de l'ordre de 400 ans. C'est une espèce caractéristique des ripisylves arborescentes bordant les berges alluvionnaires d'un certain nombre de cours d'eau. (Zahraoui, 2010).

Le peuplier noir *Populus nigra* est largement réparti dans le monde. Il peuple typiquement les plaines inondables (Anonyme, 2002) dans des vallées fluviales. (Coombes, 1992) On le trouve aussi dans les haies et les bords des routes et des étangs. En outre, il est parfois planté dans des zones urbaines. (Milne-Redhead, 1990).

Les attaques des bioagresseurs peuvent donc être nombreuses et très dommageables, parmi lesquels nous citons *Chaitophorus leucomelas* (Djazouli, 1996). Ce puceron attaque les feuilles, les pétioles et les bourgeons en absorbant des quantités importantes de sève, et en injectant en même temps une salive toxique. Les arbres attaqués présentent une réduction de croissance, se traduit par une production de bois en quantité moindre (Dajoz, 1980 ; Delplanque, 1998).

À l'heure actuelle, les infestations de pucerons sont en grande majorité contrôlées à l'aide d'insecticides de synthèse. Malgré les progrès réalisés, les insecticides restent responsables de nombreux problèmes tant pour l'environnement, que pour la santé humaine (possibilité de résidus dans les eaux de distribution ainsi que dans les aliments). De plus, l'utilisation massive d'insecticides depuis plus d'une trentaine d'années est à la base de la sélection de populations d'insectes résistants (Nauen et al., 2003).

Ce constat conduit les scientifiques à rechercher de nouvelles approches de luttés, utilisées seules ou en combinaison avec les méthodes existantes qui permettraient de contrôler efficacement ces ravageurs tout en limitant les impacts négatifs des produits antiparasitaires sur l'environnement et la santé humaine (Regnault-Roger et al., 2005).

Parmi ces approches, des méthodes de lutte biologique utilisant des prédateurs ou des parasitoïdes de pucerons ont été développées. Mais les pucerons, avec leur cycle de reproduction par parthénogenèse, ont la capacité de diluer rapidement les attaques de leurs ennemis (Vandermoten et *al.*, 2008).

Cependant, les solutions biologiques capables d'apporter une alternative à l'utilisation des insecticides, dans un contexte de grandes cultures, ne permettent pas encore d'assurer des rendements de production à un prix compétitif.

Une autre voie actuellement envisagée est la formulation de nouveaux insecticides appelés bio-insecticides à base de molécules bioactives perturbant certaines fonctions biochimiques essentielles à la survie de l'insecte ravageur visé. Ils garantissent un haut niveau de sélectivité et, par conséquent, ne présentent que peu ou pas de risque pour la santé humaine, les espèces non ciblées et l'environnement. Le recours à des molécules naturelles insecticides se révèle donc être une bonne alternative (Giroux, 1994 ; Roger et *al.*, 1995).

Les biopesticides peuvent être à base de bactéries, champignons, virus, nématodes ou encore d'extraits de plantes (Ribaet Silvy, 1989).

Les huiles essentielles sont potentiellement efficaces en industries agro-alimentaires, également dans le domaine de la phytoprotection à la place des insecticides et fongicides chimiques (Negi et *al.*, 2005). Elles constituent donc une source intéressante de nouveaux composés dans la recherche de molécules bioactives (Sell, 2006).

Notre étude a porté sur l'évaluation de l'efficacité des huiles essentielles formulées à base de Thym et d'Origan sur l'abondance des populations de pucerons des agrumes *Aphis gossypii* et *Aphis citricola* et le puceron du peuplier noir *Chaitophorus leucomelas* en comparaison avec un insecticide de synthèse (Methomyl) pendant une durée de suivie de 10 jours après traitement.

Dans ce contexte on a essayé de répondre à certaines questions hypothèses :

- Quel serait l'impact des applications des huiles essentielles formulées sur les différents modèles biologiques?
- La formulation des huiles essentielles présentent-elles le même effet toxique?
- La forte et la faible dilution présentent-elles la même toxicité?
- Quelle serait la rémanence des molécules bioactives en comparaison avec le produit chimique?

CHAPITRE I : LES HOMOPTERES

Les pucerons se caractérisent par leurs apparitions massives sous forme de colonies denses et serrées. On les observe le plus souvent sur les feuillages et les jeunes pousses (Anonyme, 1976). Les pucerons sont malheureusement bien connus à cause de toutes sortes de dégâts (parasitisme) qu'ils peuvent occasionner aux cultures. Ce sont des suceurs de sève qui souvent, par le canal salivaire, injectent des virus aux végétaux (Dedryver, 1982).

En Algérie les pucerons sont parmi les principaux ravageurs des cultures. Leurs pullulations dépassent souvent le seuil tolérable. Les études menées à ce jour sur l'inventaire et les fluctuations des populations des pucerons dans plusieurs régions d'Algérie montrent que la situation est très grave et nécessite une intervention urgente (Aroun, 1985 ; Benfekih, 1989; Saighi, 1998 ; Betam, 1998 et Boughnou, 1998).

1. Systématique

Balachowsky et Mesnil (1936), classent les Aphides dans:

Embranchement : Arthropoda
Sous embranchement: Mandibulata
Classe: Insecta
Sous - classe: Pterygota
Section : Neoptèra
Super - ordre: Hemipteroïdea
Ordres: Homoptera
Série : Sternorhynqua
Sous - ordre: *Aphidinea*
Super -famille : *Aphidoidea*
Famille : *Aphididae*
Sous- famille : *Aphidinae*.

2. Caractéristiques d'Aphides

Les pucerons sont de petits insectes globuleux ou aplatis, ovales ou sphériques, de couleur très variable, dont la taille oscille entre 1 et 6 millimètres. Ils peuvent être nus ou recouverts d'une pulvérulence plus ou moins épaisse ou parfois d'une cire abondante et floconneuse. Les pucerons sont uniquement opophages, grâce à leurs pièces buccales de type piqueur suceur (Balachowsky et Mesnil, 1936 ; Dedryver, 1982). Leur corps est divisé en trois parties: la tête, le thorax et l'abdomen.

Les aphides sont nés sur une plante hôte là où peuvent s'alimenter. Beaucoup d'espèces exigent 7-14 jours pour leur maturation par métamorphose (plusieurs mues), jusqu'à l'obtention des adultes sexuellement mûrs. Quand c'est combiné avec une fécondité achevée (chaque femelle donne naissance à 30 nymphes ou plus) à une courte période, le taux d'accroissement est très rapide non seulement pour les individus, mais aussi pour la colonie entière (Capinera, 2008).

3. Polymorphisme et polyphenisme

Selon Balachowsky et Mesnil (1936), les pucerons sont caractérisés par un polymorphisme tout à fait remarquable de formes, tantôt ailés, tantôt aptères, souvent complètement différentes les unes des autres. Ces formes se succèdent suivant la saison, la plante hôte et les conditions climatiques. En cas de cycle complet, les sexués assurent la survie hivernale de l'espèce. Les ailés parthénogénétiques assurent la dissémination des pucerons (Dedryver, 1982).

En effet, même si le processus de production de formes aptères et ailées est très largement gouverné par l'environnement agro-climatique, il semble avoir une composante génétique (Hoffman, 1974).

D'après Capinera (2008), le polymorphisme signifie qu'il y a deux phénotypes ou plus dans une population de mêmes espèces. Polyphenisme signifie qu'il y a deux phénotypes dans le même clone.

4. Le cycle du puceron

Au cours de l'année plusieurs générations polymorphes apparaissent. De l'œuf d'hiver naît une fondatrice qui engendre des fondatrices aptères et parfois ailées. Selon capinera (2008), les espèces ont deux cas:

- **Espèces monoéciques:** Les générations de fondatrices aptères et ailées se développent sur le même hôte que celui sur lequel la fondatrice a évolué, les fondatrices peuvent coloniser d'autres plantes de la même famille (Leclant, 1982).
- **Espèces doéciques:** Les fondatrices ailées ne peuvent se reproduire sur la plante hôte sur laquelle elles sont nées ou même sur plante d'espèces voisines ou apparentées. Elles émigrent alors sur des familles végétales très différentes de celle sur laquelle l'œuf fécondé a été pondu.
- **Les espèces holocycliques:** La parthénogenèse cyclique est le mode de reproduction général des pucerons. Le cycle annuel complet comporte une génération sexuée, suivie de nombreuses générations parthénogénétiques d'où chaque femelle donne naissance à 50 à 70 larves qui se développent sur la face inférieure des feuilles. On peut les trouver aussi sur les pousses et sur les bourgeons à fleurs, peuvent présenter une alternance de plantes hôtes, une primaire, que sur lequel a lieu la reproduction sexuée et une secondaire qui abrite les générations parthénogénétiques (Hoffman, 1974).
- **Les espèces anholocycliques:** Ces espèces ont perdu totalement ou partiellement la possibilité de se reproduire par la voie sexuée. Elles se multiplient parthénogénétiquement durant toute l'année (Dedryver, 1982).

Sous les climats tempérés, les pucerons ont presque tous gardé la possibilité d'effectuer un cycle biologique complet avec une phase de reproduction sexuée. La température optimum de développement se situe entre 20°C et 25°C. Les basses températures hivernales et surtout les chaleurs de l'été (supérieur à 30°C) ralentissent le développement des individus (Hulle et *al.*, 1998).

Selon Taylor (1958), la reproduction sexuée a lieu à l'automne et abouti à la formation d'un œuf d'hiver diapausant. Au printemps, émerge une femelle fondatrice dont l'éclosion coïncide avec le bourgeonnement de l'hôte primaire, elle se développe en 6-8 jours. La fondatrice engendre par parthénogenèse une ou plusieurs générations de femelles virginipares aptères. Le potentiel de reproduction dépend plutôt de l'abondance de la sève.

Les virginipares ailées sont produites au cours du printemps, au moment du départ de l'hôte primaire vers l'hôte secondaire où elles donnent naissance à de nouvelles infestations. La fréquence de vol est en corrélation avec les précipitations. Sur l'hôte secondaire, les virginipares forment une colonie d'aptères qui se multiplient rapidement grâce à une fécondité élevée. Des virginipares ailées apparaissent à partir d'une certaine densité de population, disséminent à plus ou moins grande distance la population vers de nouveaux habitats, sur lesquels elles produisent à nouveau des générations de virginipares aptères (Hoffman, 1974).

A la fin de l'été, les virginipares donnent naissance à des sexupares qui vont engendrer soit des mâles ailés, soit des femelles gynopares ailés qui vont migrer vers l'hôte primaire, pour produire les femelles sexuées ovipares avec lesquelles vont s'accoupler les mâles.(figure1).

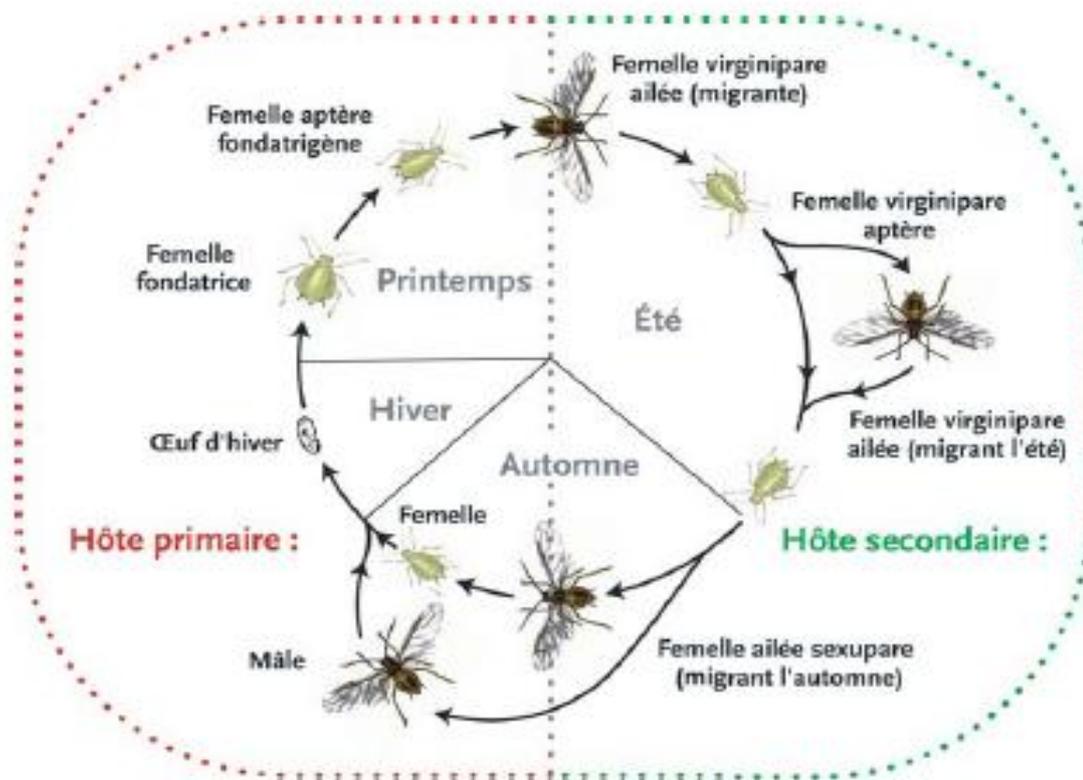


Figure1: Cycle biologique de puceron (Capinera, 2008).

5. Dégâts des pucerons

Les dommages causés aux cultures par les pucerons sont répartis en deux catégories, les dégâts directs se traduisent par un enroulement, une déformation des feuilles les plus jeunes, une inhibition du développement de la pousse et de l'avortement des fleurs durant la période de floraison et des dégâts indirects qui se répercutent par la transmission de maladies virales (Leclant, 1982).

Selon Dedryver (1982), les pucerons sont des suceurs de sève qui souvent, par le canal salivaire, injectent des virus aux végétaux. Ils sont d'autant plus nuisibles que leur cycle est complexe.

6. Plantes hôtes

D'après Via (1990), dans le monde des insectes phytophages, 95% des espèces sont monophages, c'est-à-dire qu'elles n'exploitent que les espèces qui appartiennent à la famille de plante. On parle d'adaptation à une plante hôte. Les 5% des espèces restantes se partagent entre des espèces oligophages, qui exploitent un nombre limité de plantes, et des espèces polyphages. Parmi ces espèces, il est courant de retrouver des populations de l'espèce spécifique à des plantes spécifiques. De plus, lorsque des transferts sur d'autres plantes révèlent une performance amoindrie des individus ou des populations, on parle alors de spécialisation (Pettersson *et al.*, 2007).

- **Choix d'hôte**

La sélection de l'habitat dans lequel l'individu spécialisé vivra et se reproduira devient alors cruciale. Le coût de la reproduction étant élevé, un mauvais choix d'habitat entraînerait des pertes d'énergie considérables. Il est donc important de faire le bon choix. De ce fait, la stratégie essai/erreur est mal adaptée à une maximisation de l'exploitation de l'habitat. La famille des *Aphididae*, communément appelés les pucerons, présente un bon modèle biologique pour les études de sélection d'habitat (Irwin *et al.*, 2007; Pettersson *et al.*, 2007).

La sélection de l'habitat chez le puceron se fait en réponse à plusieurs types de stimuli. Une étude par Hardie (1989) a mis en évidence l'existence d'une adaptation qui permet au puceron *Aphis fabae*, qui est une espèce polyphage, de faire une sélection à distance de la plante. Cette espèce réagit en effet à des longueurs d'ondes dans la région verte du spectre de lumière. D'autres études ont montré que d'autres espèces de pucerons réagissent également à des jaunes saturés, qui réfléchissent certains ultras violets (Pettersson *et al.* 2007).

Une étude faite par Hori (1999) a démontré que plusieurs espèces de pucerons réagissaient également à des stimuli olfactifs. L'auteur a soumis différentes espèces à des odeurs de différentes plantes, dont leur plante hôte, en olfactomètre. Il a utilisé des espèces monophages ainsi que des polyphages. Les résultats de ces tests montrent que ce sont surtout les espèces monophages qui réagissent à leur plante hôte tandis que les espèces polyphages utilisent principalement des stimuli visuels. Ceci vient confirmer une étude par ce même auteur effectuée en 1997, qui a démontré que l'espèce de puceron *Neotoxoptera formosana* était repoussée par les odeurs de romarin et attirée par l'odeur de leur plante hôte, *Allium fitulosum* (Hori et Komatsu, 1997).

Pour l'espèce de puceron d'*Aphis gossypii* Glover est retrouvée sur un très grand nombre d'espèces de plantes hôtes dont un certain nombre de plantes cultivées d'importance économique majeure telles que le cotonnier, différentes Cucurbitacées (melon, concombre, courgette, etc.), Solanacées (pomme de terre, aubergine, piment, poivron) ou encore les agrumes (citronnier, clémentinier, mandarinier) (Deguine et Leclant 1997).

La reconnaissance de la plante hôte chez les formes aptères du puceron *Aphis gossypii* semble donc se faire majoritairement au travers de la perception visuelle de son environnement, se dirigeant vers la masse colorée que représentent les plantes en carton. Ceci vient soutenir les études précédentes qui suggèrent que les espèces polyphages réagissent surtout aux stimuli visuels (Hori 1999 ; Pettersson *et al.* 2007).

En revanche, une étape de la sélection de la plante hôte s'effectue pour toutes les espèces de pucerons directement sur la plante (Deguine et Leclant 1997). En effet, effet, une fois que l'individu se retrouve sur la feuille, il procède à une série de ponction dans l'épiderme de la plante avec son stylet (Powell *et al.* 2006). Le stylet ainsi que le rostre semble n'avoir aucun récepteur chimique externe mais il est probable que la sève de la plante soit ingérée et mise en contact avec un organe gustatif dans la région épipharyngéale pendant la pénétration du stylet.

Les pucerons s'attaquent à plusieurs plantes cultivées ornementales et même forestières, on s'intéresse aux pucerons de deux plantes : les agrumes et le peuplier.

7. Les principales espèces Aphidiennes des agrumes

Les pucerons se caractérisent par leurs apparitions massives sous forme de colonies denses et serrées. Ils sont localisés le plus souvent sur le feuillage et les jeunes pousses, leurs piqûres provoquent un enroulement et un recroquevillement de la croissance des jeunes rameaux (Anonyme, 1976).

En Mitidja, Aroun (1985), a trouvé 7 espèces de pucerons appartenant à la famille des *Aphidiidae* qui sont : *Toxoptera aurantii* BOYE DE FONSCOLOMB; *Aphis citricola* VANDER GOOT ; *Aphis gossypii* GLOVER; *Aphis craccivora* KOCH ; *Myzus persicae* SULZER ; *Macrosiphum euphorbiae* THOMAS ; et *Brachycandus helichrysi* KLTB. Les deux premières espèces comptant parmi les *Aphides* les plus abondants et les plus nuisibles dans les vergers agrumicoles de la région.

7.1. *Toxoptera aurantii*

Selon Balachowsky (1936) et Rebour (1966), *Toxoptera aurantii* appelé communément puceron noir des *citrus*, La cauda est digitiforme et porte 18 soies caudales. A proximité des cornicules, il y a des sclérites post-corniculaires à aspect très réticulé, bien caractéristiques de l'espèce (Sekkat, 2007).

En Algérie cette espèce est rencontrée sur agrumes et d'autres plantes ornementales (Saighi, 1998 ; Douglas et *al.*, 2001). Au Maroc, cette espèce n'a été observée, jusqu'à présent, que sur Citrus, (Sekkat, 2007). Chapot et Delucchi (1964), signalent leur polyphagie sur un grand nombre de plantes économiquement importantes.

7.2. *Aphis citricola* V.D.G. = *Aphis spiraecola* Patch. 1914

Ce puceron est reconnaissable par des cornicules et une cauda noire. Cette espèce est peu polyphage. En plus des Agrumes, l'espèce a été trouvée sur poirier et aussi sur plantes ornementales (*Cotoneaster pyranantha*, *Jacaranda acutifolia*) (Sekkat, 2007 ; Mostefaoui, 2009) (figure 2.).

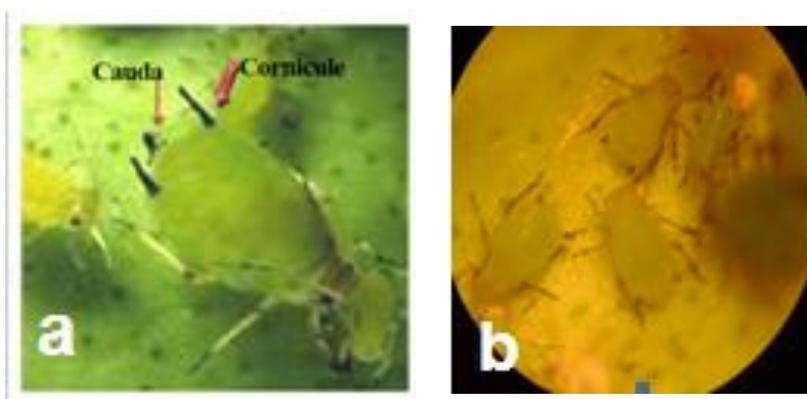


Figure2 : *Aphis citricola* (Gx80)
 a :femelle aptère (Mostefaoui, 2009 ; Sekkat, 2007)
 ; b :Colonie (original, 2012)

7.3. *Aphis gossypii* Glov. (1877)

Cette espèce est de teinte variable (verdâtre et parfois rougeâtre à brunâtre du jaune pâle au vert très foncé), a une taille de 0,9 à 2,0 mm. Le corps est arrondi, les tubercules antennaires sont réduits ou absents; les cornicules sont courtes et noires foncées sur toute la longueur et la cauda est effilée portant deux à quatre paires de soies latérales. Résistant très bien aux chaleurs estivales, ce puceron peut développer près d'une soixantaine de générations par an (Sekkat, 2007) (figure 3.).

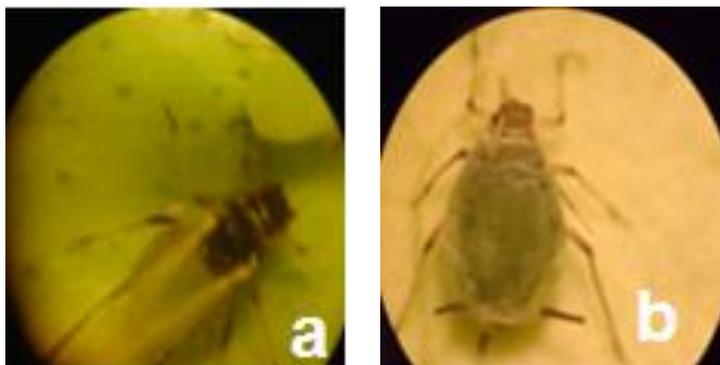


Figure 3: d'*Aphis gossypii*(Gx80)
a : adulte aptère ; b : adulte ailé(original, 2012)

Cette espèce est polyphage. Au Maroc, elle est très nuisible sur cucurbitacées (Melons, pastèques, courges, concombres etc.), elle attaque aussi diverses plantes ornementales et spontanées. Ce puceron est fréquent également sur les agrumes et considéré, comme vecteur, entre autres, du virus de la Tristeza des agrumes (Sekkat, 2007).

8. Le cycle de développement des pucerons

D'après Aroun (1985) et Sekkat (2007), la contamination sur les citrus est assurée par les ailés qui proviennent des différents hôtes présents dans le verger et dans son environnement (*Aphisgossypii* et *Aphis citricola*) ou d'autres arbres de Citrus. La reproduction est exclusivement parthénogénétique sur toute l'année par parthénogenèse et viviparité.

Dans les vergers agrumicoles, les premières colonies s'observent au cours du mois de mars. Selon les régions, elles se multiplient plus ou moins activement pendant le printemps en envahissant les jeunes pousses et même les fleurs. Les feuilles sont parfois fortement enroulées sous l'action des piqûres des pucerons.

Aphis spiraecola et *Aphis gossypii* se manifestent, en plus, par l'excrétion d'un abondant miellat. À partir de juin, on note une réduction des populations, probablement à cause des températures élevées de l'été. Une reconstitution progressive des colonies Aphidiennes est constatée en automne. Celles-ci disparaissent des vergers en hiver.

9. Le puceron du peuplier « *Chaitophorus leucomelas* »

9.1. Position systématique

D'après Grassé (1957 et 1970), cet insecte appartient à la sous-classe des Ptérygotes, super-ordre des Hemipteroïdea, ordre des Homoptera, sous-ordre des Aphidinea, super famille des Aphidoïdae, famille des Aphididae, sous famille des Chaitophorinae, genre *Chaitophorus*, et espèce *Chaitophorus leucomelas*.

9.2. Répartition géographique

Dans le monde, on estime que ce genre est d'une origine holarctique, l'espèce est largement répartie en Europe, bien qu'avec des degrés distincts de présence, elle est commune dans certains pays comme la Grande-Bretagne, la Suède, la Norvège, au sud du Portugal, en Espagne en Yougoslavie, en Bulgarie et en Turquie (Ankara) et rare au nord de l'Allemagne (Richards, 1972). En Asie, l'espèce est signalée en Iran (Karadj), en Sibérie de l'est, Mongolie, au centre de l'Asie et au Proche Orient (Heie, 1982), Elle a été introduite en Afrique et en Amérique, où elle se trouve largement répartie au Canada et aux Etats-Unis (Blackman et Eastop, 1994), mais elle s'est implantée au Chili et en Argentine en 2001. (Muñoz et Beêche, 1995).

Au Chili, cette espèce est fréquente dans la Région Métropolitaine (Santiago) et dans la Région, limitrophe avec Mendoza 320 Km au nord de la capitale. (Klein et Waterhouse, 2000). Et en Tunisie dans la région de Soliman (Boukhris-Bouhachem *et al.*, 2007).

En Algérie, l'espèce est signalée dans la région de Blida (Djazouli, 1992), la région de Médéa (Zahraoui, 2010), et dans la région de Zéralda (Ait Saada, 2011)

9.3. Cycle de vie

Chaitophorus leucomelas Koch (1854) colonise des espèces botaniques appartenant au genre *Populus spp.*, Les colonies s'établissent sur les feuilles, sur la face supérieure et inférieure et sur les pétioles, le puceron forme des groupes de densité variable selon le développement de ses populations dans des époques distinctes de l'année (Giganti *et al.*, 2004). Leur cycle évolutif est hétérogonique, caractérisé par l'alternance entre une génération amphi sexuelle et une ou généralement plusieurs générations ne comportant que des femelles parthénogénétiques (Dedryver, 1982).

Les aphidiens monoéciques hivernent sous la forme d'œufs fécondés pondus à l'automne par des individus sexués sur la plante hôte (Grasse, 1970).

Dans l'hémisphère sud et sur *P. alba spp pyramidalis* et *P. trichocarpa*, en octobre, des niveaux populationnels très importantes couvrant la majorité des feuilles sont observés, probablement favorisés par les conditions climatiques printanières caractérisées par des températures modérées et une humidité relativement élevée. Après une chute sensible de la population durant l'été, et qui se poursuit jusqu'à l'hiver. Au début d'avril, l'espèce recolonise à nouveau les pétioles et les lames foliaires, par des colonies dispersées à différents étages foliaires. A la fin mai, peu d'individus en majorité aptères sont observés en petites colonies localisées

principalement sur la face inférieure des feuilles et proches des points d'insertion des pétioles. Le cycle se réinitie à la mi-septembre par l'induction des femelles vivipares aptères à partir de la base des fruits immatures et dans des bourgeons récemment débouffés. Les pluies printanières éventuelles inscrites en octobre peuvent induire une réduction remarquable de la population de *C.leucomelas* Koch (1854). D'avril et jusqu'à la chute des feuilles sénescentes à la mi-mai, il y a présence de nombreuses femelles (Zahraoui, 2010) (figure 4).

La performance biologique de cet insecte est susceptible d'être influencée notamment, par la qualité nutritive du feuillage, la nature des générations et les variations des conditions abiotiques dans l'environnement (Scriber *et al*., 1981).



Figure4 : Cycle évolutif de *Chaitophorus leucomelas* (Zahraoui, 2010)

10. Les moyens de lutte contre les pucerons

La lutte contre les pucerons ne présente généralement pas de grande difficulté car de nombreux produits permettent d'obtenir de bons résultats. Sous forme de pulvérisation, les esters phosphoriques assurent une mortalité de 95% en 60 heures ; cette mortalité peut même atteindre 100% si l'on prend la précaution de pulvériser l'insecticide sur les deux faces de la feuille. Cette efficacité peut se trouver controversée dans la mesure où les pucerons sécrètent une substance cireuse pratiquement imperméable aux produits insecticides (Chararas, 1972).

Actuellement, les produits à base de lambda-cyhalothrine, sont utilisés contre les pucerons des feuillus en traitement des parties aériennes. La réalisation de certains traitements ont permis de confirmer les contraintes liées à l'application d'insecticides, notamment les difficultés à atteindre la partie haute des colonies dans les peuplements les plus vieux. Ces suivis ont également permis de mettre en évidence les fortes potentialités de recolonisation de l'insecte, qui est capable en trois à quatre semaines de reconstituer des colonies identiques à ce qu'elles étaient avant le traitement. Une autre voie actuellement envisagée est la formulation de nouveaux insecticides appelés bio-insecticides. Ces derniers sont conçus pour perturber

certaines fonctions biochimiques essentielles à la survie de l'insecte ravageur visé. En ciblant des protéines à structure tridimensionnelle particulière et propres à un groupe d'insectes, ils garantissent un haut niveau de sélectivité et, par conséquent, ne présentent que peu ou pas de risque pour la santé humaine, les espèces non ciblées et l'environnement. (Vandermoten et *al.*, 2008)

Il n'existe aucune méthode de lutte biologique applicable aux aphides. Les seuls ennemis naturels qui ont été signalés à savoir : *Ascomycetes*, *Mesiodiopsis sp.*, *Oenopia doubleri*, *Adalia decimpunctata*, et *Coccinella algerica*, peuvent jouer un rôle en tant que facteur de limitation des populations d'insectes ravageurs des peupliers (Dajoz, 1980; Djazouli, 1996).

Les moyens culturaux permettent de réguler les populations aphidiennes, ainsi la taille sert à l'élimination des foyers d'hivernation des ravageurs, se trouvant sur rameaux, branches et feuilles. En effet, elle permet d'éviter la création d'un microclimat favorable à la population des pucerons. Le brossage des troncs et la pose d'un badigeon à l'argile pendant l'hiver, diminue les risques d'attaque massive, mais pour empêcher les fourmis de provoquer l'extension rapide des colonies, la pose d'un manchon contenant un répulsif sur le tronc des arbres permettra une bonne protection. Aussi le labour augmente la résistance de la plante. En effet, une déficience dans l'aération des racines accroît le niveau des acides aminés des feuilles par conséquent la pullulation du ravageur, en l'occurrence les pucerons (Chaboussou, 1975 et Hammoutene, 2010).

CHAPITRE II : LES PESTICIDES ET LES BIOPESTICIDES

Actuellement, le contrôle des pucerons repose en grande partie sur l'utilisation d'insecticides de synthèse. Toutefois, l'effet néfaste de ceux-ci sur l'environnement, ainsi que le développement croissant de populations résistantes conduit à rechercher de nouvelles méthodes de lutte. Parmi celles-ci, une des voies actuellement envisagée est la formulation de nouveaux bio-insecticides ciblant et perturbant les fonctions biochimiques de l'insecte. En raison de la haute spécificité des agents utilisés, ces méthodes de contrôle des ravageurs ne présentent généralement que peu de risque pour l'environnement, les espèces non ciblées et la santé humaine (Nauen et *al.*, 2003).

1. Les pesticides

1.1. Les pesticides à usage agricole

Les pesticides, étymologiquement appelés "tueurs de fléaux", sont des produits dont les propriétés chimiques contribuent à la protection des végétaux cultivés. Ils sont destinés à détruire, limiter ou repousser tout organisme nuisible (insectes, parasites, adventices, etc.) à la croissance des plantes. Les pesticides utilisés pour la protection des végétaux sont appelés produits phytopharmaceutiques (Cee., 1991) ou communément produits phytosanitaires (Cee., 1998).

Ces pesticides sont obtenus par synthèse chimique de 10 à 15% de matières actives, le reste étant constitué de supports et adjuvants destinés à accroître leur efficacité. On compte actuellement environ 1369 formulations de pesticides agréées en Algérie représentant un panel de 240 molécules actives (Anonyme, 2007).

Les données sur l'utilisation des pesticides ne sont disponibles publiquement que par grandes catégories (figure 5). Ces catégories séparent les pesticides selon les organismes nuisibles ciblés. Les plus utilisés sont les insecticides (33%), les fongicides (28%), correcteur de carences et engrais solubles (22%), les herbicides (11 %). D'autres pesticides à usage moins important sont, les acaricides, les nématicides, les rodenticides et molluscicides (6%) (Anonyme, 2010).

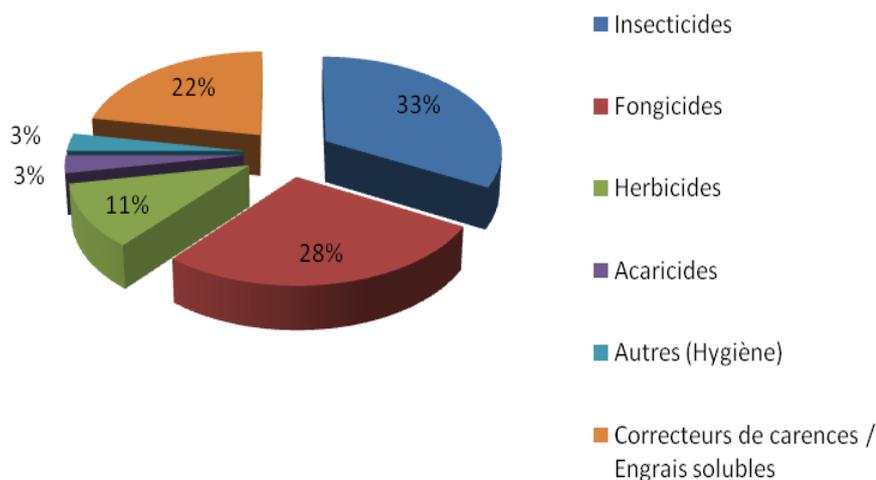


Figure 5: répartition par catégorie des produits phytosanitaires utilisés en Algérie (2008) (Anonyme, 2010).

1.2. Classification des molécules

Les pesticides disponibles aujourd'hui sur le marché sont caractérisés par une telle variété de structures chimiques, de groupes fonctionnels et d'activités que leur classification est complexe (El Mrabet, 2007).

De manière générale, les substances actives peuvent être classées en fonction de l'espèce à combattre. Il existe à cet effet trois grandes familles que sont (Figure 5) les herbicides, les insecticides et les fongicides. D'autres familles peuvent être citées, notamment, les acaricides, les molluscicides, les nématicides, les rodenticides, les taupicides, les corvicides et les corvifuges (Thiollet, 2004 ; Jawich, 2006).

Ces substances actives sont aussi classées en fonction de la nature chimique de la principale substance active qui compose majoritairement les produits phytosanitaires et qui détermine son comportement dans le sol et l'eau. Compte tenu de la variété des propriétés physico-chimiques des pesticides disponibles sur le marché, il existe un grand nombre de familles chimiques. Les plus anciens et principaux groupes sont les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoides de synthèse, les triazines, les urées substituées et autres (Gevao et al., 2000). Les structures chimiques caractéristiques de certaines de ces familles sont présentées en figure 6.

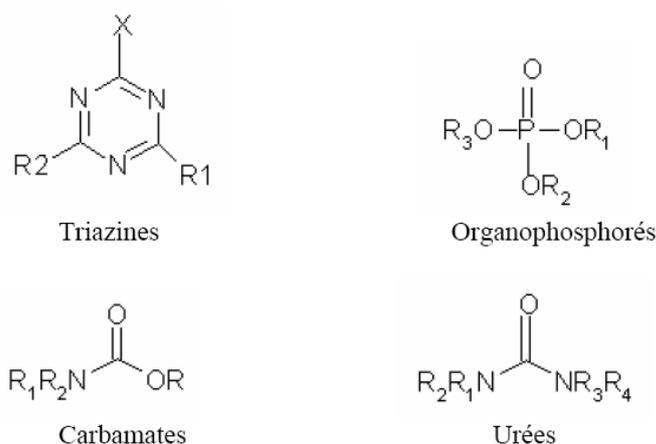


Figure 6: Structures chimiques des principales familles de pesticides (Gevao et al., 2000)

1.3. Inconvénients de la lutte chimique

Avec l'augmentation de l'utilisation des pesticides, la plupart des populations de ravageurs ciblées ont commencé à développer une résistance. Cela pousse souvent les producteurs à utiliser de plus fortes doses pour les combattre qui occasionne une dépense inutile et nuit par conséquent à la rentabilité de la culture d'une part et d'autre part, élimine non seulement les ravageurs visés mais aussi d'autres espèces bénéfiques. Ce qui a entraîné l'avènement d'un nouveau phénomène appelé infestation secondaire de ravageurs : ce sont des insectes qui étaient déjà éliminés par des espèces bénéfiques, et qui souvent après être passés inaperçus, commencent à apparaître dans des proportions épidémiques (Regnault-Roger, 2002).

Les pesticides en usage nuisent aux micro-organismes du sol qui jouent un rôle clé dans la nutrition des plantes. Ils se propagent souvent sur des courants d'air en contaminant des zones environnantes, et en perturbant les populations d'oiseaux, de mammifères, de poissons et autres espèces. En s'introduisant dans les eaux superficielles et souterraines, les pesticides compromettent l'approvisionnement en eau potable (Janzen et al., 1998).

Le raisonnement de la lutte chimique doit se baser essentiellement sur l'observation, l'évaluation et la décision ; l'adaptation du traitement et le bon choix du produit ; l'application correcte du traitement ainsi que le respect des mesures de sécurité et de l'environnement (Fagroud et al., 2005).

2. Les bio-pesticides

Une utilisation routinière de produits agro-chimiques (pesticides, herbicides, etc.) contribue à augmenter la productivité, mais les usages intensifs et abusifs réduisent leurs efficacités à travers l'apparition des phénomènes de résistance et les risques de pollution, qui atteignent à la santé des applicateurs et des personnes présentes dans les zones traitées (Janzen et *al.*, 1998).

Afin de réduire cette utilisation presque exclusive dans la lutte contre les organismes ravageurs, l'usage de méthodes de remplacement constitue une solution intéressante. En ce sens, de multiples méthodes ont été développées, allant de la régie préventive à l'utilisation de techniques mécaniques de contrôle, jusqu'à l'emploi de méthodes biologiques (insectes parasites et prédateurs, mycorhizes, biopesticides, etc.) (Regnault-Roger, 2002).

Une des solutions alternatives, qui a retenu particulièrement l'attention au cours des consultations, consiste à développer des produits formulés à base d'agents microbiens nommés bio-pesticides (Anonyme, 2002).

2.1. Définition

Les biopesticides sont composés d'extraits botaniques et de microorganismes tels que les champignons, les virus et les bactéries entomopathogènes (Ferron, 1978 ; Silvy, et Riba, 1999).

2.2. Les différents types de biopesticides

Des travaux de recherches scientifiques attestent par leurs résultats que les extraits de plantes ont des propriétés intéressantes contre les microorganismes. Actuellement, on rapporte que 2121 espèces de plantes possèdent des propriétés de lutte antiparasitaire ; un total de 1005 espèces identifiées, présentent des propriétés insecticides, 384 avec des propriétés antiappétissantes, 297 possédant des propriétés répulsives, 27 avec des propriétés attractives et 31 avec des propriétés de stimulateurs de croissance (Rana Sing, 2007).

Selon Philogène et Regnault-Roger (2002) les biopesticides désignent trois groupes de substances :

-Les pesticides biochimiques : issus essentiellement de substances d'origine naturelle. On peut citer parmi les plus connus : la nicotine, la roténone, les pyrèthres, les huiles végétales et les extraits de neem...

-Les biopesticides microbiens constitués de micro-organismes (bactérie, champignons, virus).

-Les composés protecteurs des plantes : ou substances pesticides synthétisés par les plantes génétiquement modifiées à cet effet, comme l'entomotoxine de *Bacillus thuringiensis* dans les feuilles de soja, maïs.

2.3. Les avantages

D'après Ahmad et *al.*, (1997), plus de 2000 espèces végétales dotées de propriétés insecticides ont été répertoriées. La plante constitue un grand potentiel pour nos sociétés. Outre le rôle alimentaire, médicinal, social, culturel et socio-économique, la plante ou ses dérivés sont utilisés pour la conservation ou pour la protection des récoltes et des plantes en végétation(Owusu 2001).

Les bio-pesticides ont l'avantage d'être économiques, efficaces, sains, biodégradables et respectueux de l'environnement. Le neem (*Azadirachta indica* A. Juss) est un produit naturel, non toxique à l'homme, est 100% biodégradable, protège mieux l'environnement et a un large spectre d'action sur plus de deux cents (200) espèces de ravageurs (Anonym, 2007).

Ils sont moins toxiques que les pesticides chimiques ce qui restreint ou élimine leurs utilisation ; ils ont une plus grande spécificité d'action; diminuent les risques de développer une résistance ; prévoient aucun délai avant la récolte ; Offrent aux consommateurs des produits sains et rétrécissent les risques de pollution par une dégradation rapide des molécules ce qui favorise le Maintien de la biodiversité des biotopes (Anonyme, 2007).

2.4. Les inconvénients

Malgré le grand intérêt pour ces produits (très spécifiques et peu nocifs), on constate cependant que très peu de bio-pesticides sont actuellement offerts, que ce soit pour une utilisation en milieu urbain, agricole ou forestier (Anonyme, 2002).

Les difficultés limitant leur développement sont le manque d'infrastructures de production à grande échelle, les difficultés reliées à la formulation de ces produits et à leur efficacité, le processus d'homologation laborieux et coûteux, ainsi que le manque de financement requis pour la réalisation de toutes ces étapes. Leur utilisation est souvent faite en prévention, ils sont moins efficaces à une utilisation curative et leur efficacité n'est pas toujours constante d'une production à l'autre (Aubertot et *al.* , 2005).

3. Les insecticides d'origine botanique

3.1. Les biocides inertes

Dès l'Antiquité, les Chinois, les Grecs et les Romains utilisaient des plantes ou extraits de plantes avec du soufre et de l'arsenic (NAS, 1969). Il a été rapporté que les Romains utilisaient des poudres préparées à partir de *Veratrum* sp. comme insecticides et rodenticides tandis que des extraits d'ifs (*Taxusbaccata*) ont été utilisés par certains peuples de l'hémisphère nord (Schmutterer, 1992). Sous les tropiques, l'utilisation du neem (*Azadirachta indica* Juss. Meliaceae) est répertoriée depuis au moins 4 000 ans (Larson, 1989).

Au XIXe siècle, seuls quelques composés d'origine végétale étaient identifiés et abondamment utilisés comme répulsifs ou produits toxiques parmi lesquels il y avait la nicotine (alcaloïde) et ses dérivés qui servaient à lutter contre les insectes piqueurs suceurs des plantes vivrières. La roténone s'est révélée un composé phytosanitaire du plus haut intérêt. Après une période d'accalmie autour de 1940, elle est redevenue populaire pour les adeptes de l'agriculture biologique. Elle est utilisée pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre (Weinzeirl, 1998) ; Les pyrèthres servaient pour se débarrasser des poux lors des guerres napoléoniennes (Ware, 1991). Ces produits pouvaient provoquer de nombreux effets sur les mammifères mais vu leur instabilité à la lumière, à l'air et à l'humidité, ces risques étaient considérablement amenuisés. À cause de ces aspects, les pyrèthroïdes de synthèse ont fait leur apparition (Weinzeirl, 1998).

3.2. Les extraits aqueux

Les extraits des plantes naturels sont utilisés dans nombreux pays pour lutter contre les insectes ravageurs des cultures. Suresh et al. (1997) ont montré que l'extrait des feuilles vertes de neem réduit l'infection due à *Puccinia arachidis* Speg.

Les extraits de *Melia azadirach* et d'*Azadirachta indica* ont affecté la fécondité et la mortalité de *Bemisia tabaci* (Coudriet et al., 1985 ; Nardo et al., 1997 ; Desouza et Vendramim, 2000). La poudre et les extraits de *Capsicum frutescens* (Solanaceae) ont montré un pouvoir répulsif contre *Callosobruchus maculatus* (Ofuya, 1986, Zibokere, 1994, Onu et Aliyu, 1995), *Rhizopertha dominica* (EL-Lakwah, et al., 1997), *Sitophilus zeamais* Motsch et *Tribolium castaneum* (Morallo-Rejesus, 1987 ; Trematerra, Sciarretta, 2002). La toxicité des extraits des fruits du piment fort a aussi été notée chez *Rhizopertha dominica*, *S. oryzae* (L.) et *T. confusum* J. du Val (Williams, Mansingh, 1993 ; Gakuru et Foua, 1996).

Les extraits d'algues confèrent également une protection des plantes contre les attaques des insectes (Booth, 1964 ; Booth et Stephenson, 1966). La fécondité de certains insectes serait réduite suite à leur application (Booth et Stephenson, 1966) ainsi que l'infestation des racines par les nématodes et même leur fécondité (Featonby-Smith, et van Staden, 1987 ; Crouch, et van Staden, 1993 ; Whapman et al., 1994 ; Wu et al., 1998). Ainsi l'expression de nombreux gènes de défense est induite suite à la pulvérisation de l'extrait d'algue verte (*Ulva spp*). En accord avec ces effets sur l'expression des gènes de défense, cet extrait engendre une protection accrue des plantes contre les attaques pathogènes (Cluzet et al., 2004 ; Mooney, van Staden, 1985).

3.3. Les huiles essentielles

Selon Amirat et al. (2011) l'importance des plantes médicinales et aromatiques, y compris les espèces qui accumulent des produits volatiles, est évoluée de façon continue.

L'utilisation des produits naturels renfermant les huiles essentielles pour la protection des cultures a été employée régulièrement comme bio-pesticide en phyto-protection.

Actuellement, les insecticides à base d'huiles essentielles font l'objet d'études pour prendre la place des insecticides chimiques dans le domaine de la phytoprotection. Les huiles essentielles constituent donc une source intéressante de nouveaux composés dans la recherche de molécules bioactives (Sell, 2006).

3.3.1. Définition, localisation et répartition des huiles essentielles

Les huiles essentielles ou huiles aromatiques sont des produits de compositions généralement assez complexes, renfermant les principes volatils obtenus à partir d'une matière première végétale (Brunechon, 1987). Elles sont classées parmi les métabolites secondaires, leur synthèse et accumulation se font généralement au niveau des structures histologiques spécialisées.

Pour la famille des *Lamiaceae*, elle se situe dans les poils sécréteurs, chez les *Myrtaceae* au niveau des poches sécrétrices ou encore des canaux sécréteurs et pour les *Asteraceae*, souvent localisées sur la surface des plantes. Ces huiles peuvent être stockées dans divers organes ; fleurs (origan), feuilles (citronnelle, eucalyptus), écorces (cannelier), bois (bois de rose, santal), racines (vétiver), rhizomes (acore), fruits (badiane) ou grains (carvi) (Hernandez, 2005).

Les huiles essentielles n'ont pas une présence générale chez les végétaux, environ 1% des espèces élaborent des essences. Certaines familles se caractérisent par le grand nombre d'espèces à essences qu'elles regroupent et en particulier les labiés (Thym, Menthe, Lavande, Origan, Sauge, etc.), les Ombellifères (Anis, Fenouil, Angélique, Cumin, Coriandre, Persil, etc.), les Myrtacées (Myrthe, Eucalyptus), les Lauracées (Camphrier, Laurier-sauce, Cannelle) (Benayad, 2008).

3.3.2. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont extraites des plantes par divers procédés dont l'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydrodistillation et la pression mécanique à froid (Naves, 1974 ; Paris et Aurabielle, 1981 ; Perut, 1986) ou extraites par distillation par des solvants (Smallfield, 2001).

Le choix de la méthode d'extraction dépend de la qualité recherchée et de la nature du matériel végétal à extraire.

3.3.3. Composition chimique et rôles des huiles essentielles

Selon Bones et Rossiter (1996), La composition chimique des huiles essentielles est assez complexe. Les composés terpéniques et aromatiques représentant les principaux constituants. Ce sont des molécules très volatiles, de structure extrêmement complexe, synthétisées à partir d'unités méthyle-2-buta-1,3-diène (isoprène) (figure 7) qui possèdent non seulement un rôle écologique lors des interactions végétales, comme agents allélopathiques (c'est-à-dire inhibiteur de la germination) mais aussi lors des interactions végétal-animal, comme agent de protection contre les prédateurs tels que les insectes. Ils interviennent également, par leurs odeurs caractéristiques, dans l'attraction de pollinisateurs (Langenheim, 1969).

Les diverses combinaisons de ces unités, par réaction d'additions, conduisent aux terpènes, sesquiterpènes, diterpènes, mais aussi à leurs produits d'oxydation tels que les alcools, aldéhydes, cétones, éther et ester terpéniques, qui jouent un rôle prépondérant dans l'efficacité de leurs activités biologiques. Parmi les composants majoritaires des huiles essentielles, nous trouvons les terpénoïdes (Isman, 2002; Hernández, 2007).

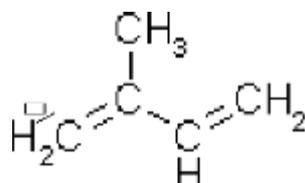


Figure 7: Structure du précurseur des HE : l'isoprène (Cheynier et Sarni-Manchado, 2006)

Les plantes ont été longtemps utilisées pour leurs nombreuses activités biologiques par les paysans, pour la saveur des aliments, pour protéger les produits récoltés (Jacobson, 1989 ; Isman, Keita *et al.*, 2000) ou en phytothérapie pour leurs propriétés antiseptiques et désinfectantes entant qu'agents antimicrobiens à large spectre (Hernandez, 2007).

D'après Regnault-Roger et Hamraoui (1995), les huiles essentielles extraites des plantes ont été largement utilisées dans la lutte contre les ravageurs de stocks (Isman, 2000). Vue leurs propriétés insecticides, larvicides et ovicides, stérilisantes, antiappétentes, répulsives ont fait l'objet de plusieurs études.

Les huiles essentielles sont extraites à partir des plantes aromatiques, dont la plupart appartiennent à la famille des Lamiaceae (environ 260 genres, pour un nombre d'espèces estimé entre 6 500 et 7000 (Spichiger *et al.*, 2004).

Chez les Lamiaceae, les deux faces des feuilles, les calices et les jeunes tiges sont recouverts de trichomes glandulaires et de poils, formant ce qu'on appelle un indumentum à leur surface. Ce sont ces trichomes glandulaires qui forment les structures de sécrétion et de concentration de l'HE (figure 8) (Amiot, 2005).

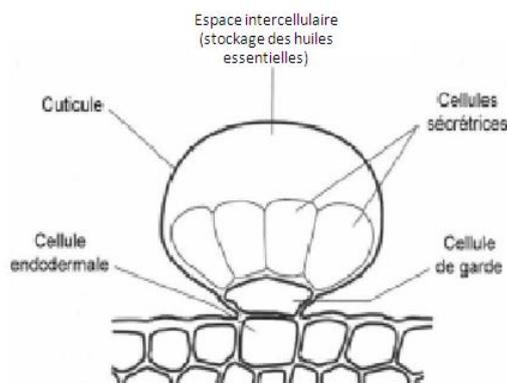


Figure 8: Anatomie d'un trichome glandulaire de *Thymus vulgaris* (Amiot, 2005)

3.3.4. Mode d'action des huiles essentielles

Les biopesticides à base d'huiles essentielles présentent plusieurs caractéristiques d'intérêt. Plusieurs sont aussi efficaces que les produits de synthèse. Ils ont en général une efficacité à large spectre, mais avec une spécificité pour certaines classes ou ordres d'insectes (Feng et Isman., 1995).

En étant très peu rémanents, ils peuvent être appliqués jusqu'au moment de la récolte; cette faible rémanence permet également aux travailleurs de retourner au champ ou dans une serre dans un court délai après le traitement. Les formulations sont stables à la température de la pièce et les huiles essentielles brutes peuvent être entreposées pendant plusieurs années (Cseke et Kaufman, 1999 ; Kim et *al.*, 2006).

Les méthodes d'analyse de ces extraits ont beaucoup évolué depuis 10 ans et il est maintenant possible d'isoler et d'identifier des composés auparavant inconnus; ceci permet le développement de nouveaux mélanges pouvant avoir un effet additif ou synergique. De plus, Un biopesticide peut être mis sur le marché dans un délai plus court qu'un produit de synthèse, car le processus d'homologation est moins exigeant (Isman, 2000).

Selon Feng et Isman (1995), les biopesticides à base d'huiles essentielles forment une classe de pesticides intéressante puisqu'en étant constituées de plusieurs composés à mécanismes d'action multiples, elles ont des modes d'application variés. Les extraits de plantes sollicitent simultanément plusieurs mécanismes physiologiques (par opposition à des pesticides n'ayant qu'une seule cible moléculaire), ce qui peut retarder l'apparition de populations résistantes d'insectes. Ainsi, des populations du puceron vert du pêcher, *Myzus persicae* (Sulz.), traitées avec des extraits purifiés de neem ont développé 9 fois leur niveau initial de résistance en 40 générations, alors que des populations traitées avec des mélanges bruts n'avaient pas développé de résistance.

3.3.5. L'huile essentielle de thym

D'après Guignard (1986) il existe plus de 3000 espèces de Labiaceae réparties sur le globe terrestre dont la majorité se rencontre dans la région méditerranéenne : *Thymus*, *Lavanda*, *Rosmarinus*, *Origanum*...etc. Cette famille comprend des plantes entomophiles (qui produisent des huiles essentielles qui sont localisées dans des tissus sécréteurs généralement appelés poils à essence dont l'odeur se dégage au moindre toucher (Gorenflot ,1989).

L'utilisation des huiles essentielles à base de thym est liée à leurs larges spectres d'activités biologiques reconnues (Paster et *al.*, 1990 ; Caccioni et Guizardi, 1994 ; Cowan, 1999 ; Nielsen et Rios, 2000 ; Lamiri et *al.*, 2001 ; Cimanga et *al.*, 2002). Ces huiles sont largement utilisées dans plusieurs domaines pharmaceutiques, comme aromatisants pour de nombreux types de produits alimentaires (Papageorgio, 1980) et aussi comme agents antiseptiques, antibactériennes et antifongiques (Pellecuer et *al.*, 1980; Benjlali et *al.*, 1987a; 1987b).

Le genre *Thymus* englobe de nombreuses espèces et variétés et la composition chimique de leurs huiles essentielles a été étudiée depuis longtemps (Papageorgio, 1980 ; Baser et al., 1992; Vila et al., 1995 ; Guillen et al., 1998 ; Lozeine et al., 1998 ; Saez, 1998 ; Tumen et al., 1998).

Parmi les 215 espèces que comporte le genre *Thymus* (Morales, 2002), *Thymus vulgaris* L. est sans conteste celle qui a fait l'objet du plus grand nombre d'études. Les feuilles de thymus contiennent 0,3 à 3,4% d'essences dont 70% sont constitués de thymol mélangé à du carvacrol, au cinéol et au pinène (Nobert, 1983).

Dès les années 60, Vernet et Gouyon (1979) ont suggéré qu'il existait une diversité dans l'HE de cette espèce, hypothèse rapidement démontrée, avec la mise en évidence d'un polymorphisme chimique qualitatif intra-spécifique reposant principalement sur 6 composés (des monoterpènes) présents en proportions variables dans l'HE. Les différentes races chimiques, appelées chémotypes, sont différenciées les unes des autres par leur composé majoritaire ; Les six chémotypes de thym sont répartis en 2 catégories :

- Les chémotypes phénoliques (**P**) (structure moléculaire avec un cycle benzénique) : Thymol (**T**) et Carvacrol (**C**).
- Les chémotypes non phénoliques (**NP**) (structure moléculaire sans cycle benzénique) : Géraniol (**G**), Thuyanol (**U**), Linalool (**L**) et Alpha-terpineol (**A**).

3.3.6. L'huile essentielle d'Origan

Les plantes aromatiques et épices sont utilisées depuis des siècles dans les préparations alimentaires non seulement pour la saveur qu'elles apportent mais également pour leurs propriétés antibactériennes et antifongiques. Origan, thym, sauge, romarin, clou de girofle sont autant de plantes aromatiques fréquemment utilisés comme ingrédients alimentaires. Les huiles essentielles de ces plantes ont toutes une particularité commune: elles sont riches en composés phénoliques comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol. Ces composés possèdent une forte activité antibactérienne (Anonyme, 2003).

Au sein d'une même espèce de plante, la composition de l'huile essentielle des divers individus peut présenter des profils chimiques ou chémotypes différents. L'exemple le plus marquant est celui de l'espèce sauvage *Thymus vulgaris*. Il existe en effet six chémotypes différents pour cette seule espèce. Ces différences sont au niveau de la nature du monoterpène majoritaire de l'huile essentielle qui peut être soit le géraniol, l'exterpinéol, le thuyanol-4, le linalool, le carvacrol ou le thymol (Thompson et al., 2003). Ce polymorphisme chimique existe aussi pour bien d'autres espèces: *Origanum vulgare*.

D'après Fourment et Roques (1942) l'origan renferme jusqu'à 67% de phénols totaux dominés et par le Thymol. La teneur de l'origan en huile essentielle est de 0,4% principalement composé de sucs amers et de 8% de Tanins (Jan et Jiri, 1987).

- **Les principaux Constituants biochimiques de l'huile essentielle d'Origan :**

Selon Dormaun et *al.*, 2000, la composition chimique de l'huile essentielle varie d'une plante à une autre. Le principal facteur modifiant l'activité insecticide des HE est le type et la structure moléculaire des composants actifs présents.

L'huile essentielle d'Origan est constituée essentiellement de β myrcène 1-3%; δ terpinène 5-10%; para-cymène 15-28%; linalol 4-6,5%; terpinène-4-ol + β ; caryophyllène 0,2-2,5%; thymol 36-55%; carvacrol 1-4%; α pinène 0,6-2,1%; camphène; bornéol (Anonyme, 2003).

Soylu et *al.*, (2007), ont montré que la nature antimicrobienne des HE est apparemment liée avec leur fort contenu phénoliques en particulier en thymol et en carvacrol, ils ont prouvé que plus les teneurs en phénols sont élevées plus les huiles essentielles sont efficaces, et ils ont un large spectre d'activité sur les moisissures, les champignons filamenteux et les insectes.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

A partir des huiles essentielles de thym et d'origan formulées et appliquées à différentes concentrations, on a essayé d'évaluer leur efficacité sur l'abondance des populations de pucerons *Chaitophorus leucomelas* du peuplier noir *Populus nigra* et des agrumes (*Aphis citricolas* et *Aphis gossypii*). en comparaison avec un insecticide de synthèse (Methomyl) et un témoin pendant une durée de suivie de 10 jours après traitement.

1. Présentation de la région d'étude

1.1. Situation géographique

La Mitidja est une vaste plaine littorale étroite du Nord. Elle s'étend sur une longueur de 100 kilomètres et une largeur de 5 et 20 kilomètres, elle couvre une superficie de 150 000 ha. Elle correspond à une dépression allongée d'Ouest en Est. Elle est limitée à l'Ouest par l'Oued NADOR et à l'Est par l'Oued BOUDOUAOU et bordée par deux zones élevées : le Sahel au Nord et l'Atlas au Sud. La Mitidja se situe à une latitude Nord moyenne de 36 à 48° et une altitude moyenne de 30 et 50 mètres. La plaine ne s'ouvre que sur quelques kilomètres sur la mer Méditerranée (Allal-Benfekih, 2006) (figure 9).

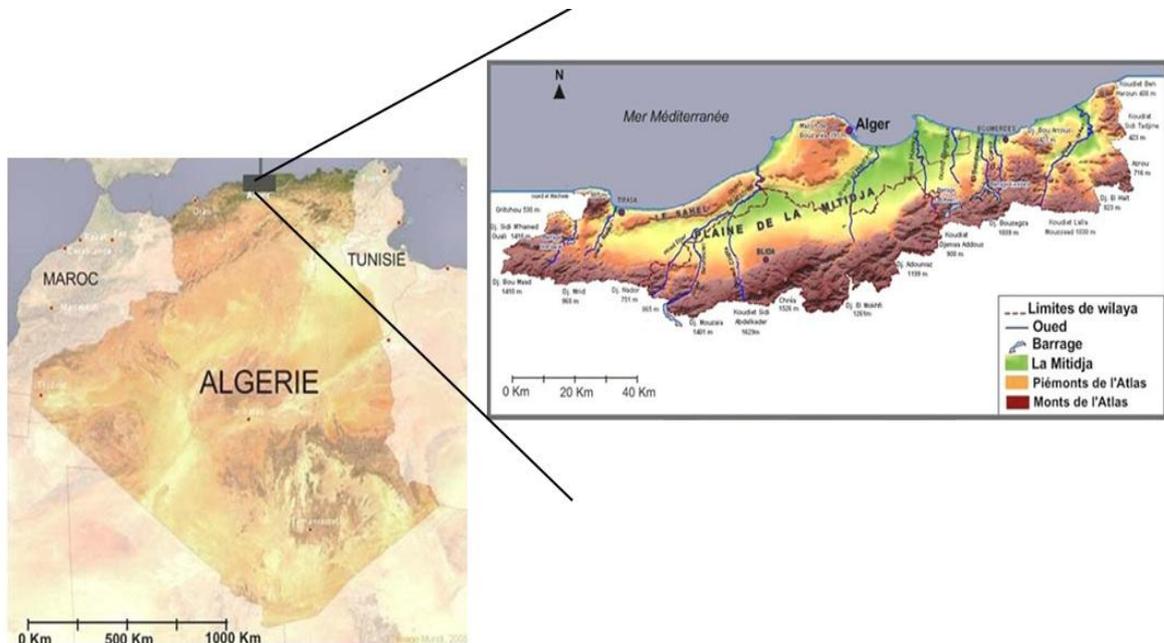


Figure 9: Localisation géographique de la plaine de la Mitidja (Allal-Benfekih, 2006).

1.2. Bioclimat de la région d'étude

L'Algérie est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude. Le climat est de type méditerranéen extra-tropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines, et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien (Allal–Benfekih, 2006).

Les précipitations annuelles en Mitidja ont un régime typiquement méditerranéen avec un maximum en hiver et un minimum en été. Elles varient de 600 mm à 900 mm en fonction de la région considérée (localisation géographique et l'altitude) (Bagnouls et Gaussen, 1953). Cette distribution inégale des précipitations au cours d'un cycle annuel et l'alternance saison humide et saison sèche conditionnent les activités biologiques des ravageurs. Les précipitations annuelles ont lieu principalement durant l'hiver et le printemps, c'est en été, saison sèche que les plus faibles précipitations sont enregistrées.

Sur le plan thermique, Les mois les plus froids sont janvier et février avec des températures moyennes minimales respectives de 4,49 °C et 4,48 °C, et une température moyenne maximale de 20,31 °C et 22,56 °C, tandis que les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes maximales respectives de 37,2°C et 37,00°C et de 20,54°C suivie de 22,01 °C comme températures moyennes minimales.

Le diagramme Ombrothermique établie pour la période (1995 à 2010) se caractérise par deux périodes fondamentales: l'une humide de sept mois s'étalant de janvier à avril puis de octobre à décembre, l'autre sèche d'un intervalle de cinq mois de mai à septembre. Alors que pendant l'année d'étude 2010, on peut constater une période de sécheresse de cinq mois entre mai et septembre. et une autre saison froide et humide caractérisée par une pluviosité élevée, s'étalant d'octobre à avril (Tchaker, 2011).

2. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales

Notre expérimentation a été réalisée au niveau de deux sites différents :

-Le premier étant la résidence universitaire 7, distante d'environ 1,41Km du département Agronomique. Elle a été retenue pour l'application de traitements chimique et biologiques sur des essences du peuplier « *Populus nigra* » âgées de 8 à 10 ans.

-Le deuxième étant la station expérimentale N°8 du département d'agronomie où les mêmes traitements ont été appliqués sur des agrumes « *Citrus sinensis* » âgés de 8ans (figure10)



**Figure10 : Présentation des sites d'études (195 m d'altitude)
(Anonyme, 2012)**

3. Matériel d'étude

3.1. Matériel animal

Pour notre étude, nous avons utilisé deux modèles biologiques le premier concerne les individus de population de *Chaitophorus leucomelas* (figure11), évoluant sur les feuilles printanières du peuplier noir *Populus nigra*.

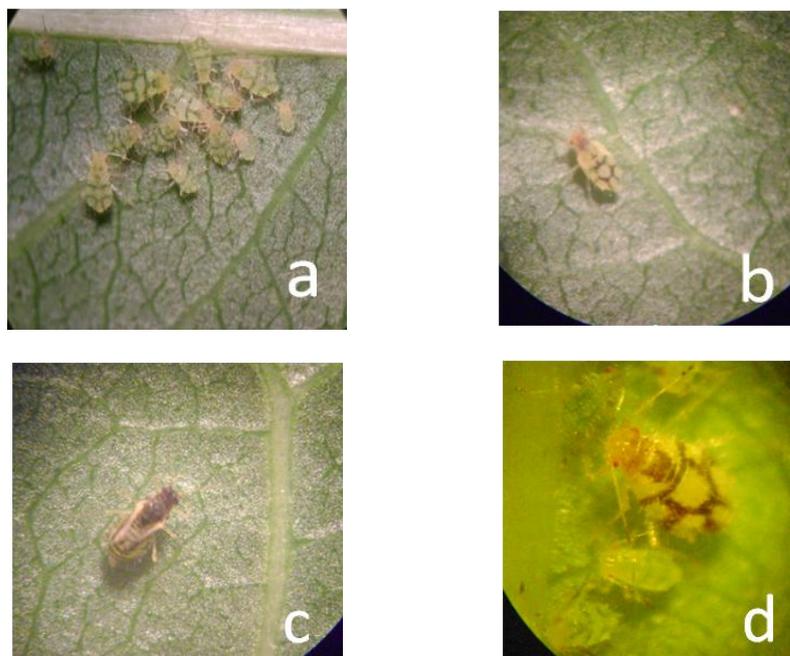


Figure11: *Chaitophorus leucomelas* (G x80) (Originale, 2012)
(a : colonies de larves ; b : nymphe ; c : adulte ailé ; d : adulte aptère)

Alors que le deuxième modèle a été celui des différentes populations d'aphides rencontrées sur agrumes (*Aphis citricolas* et *Aphis gossypii*). (figure12)

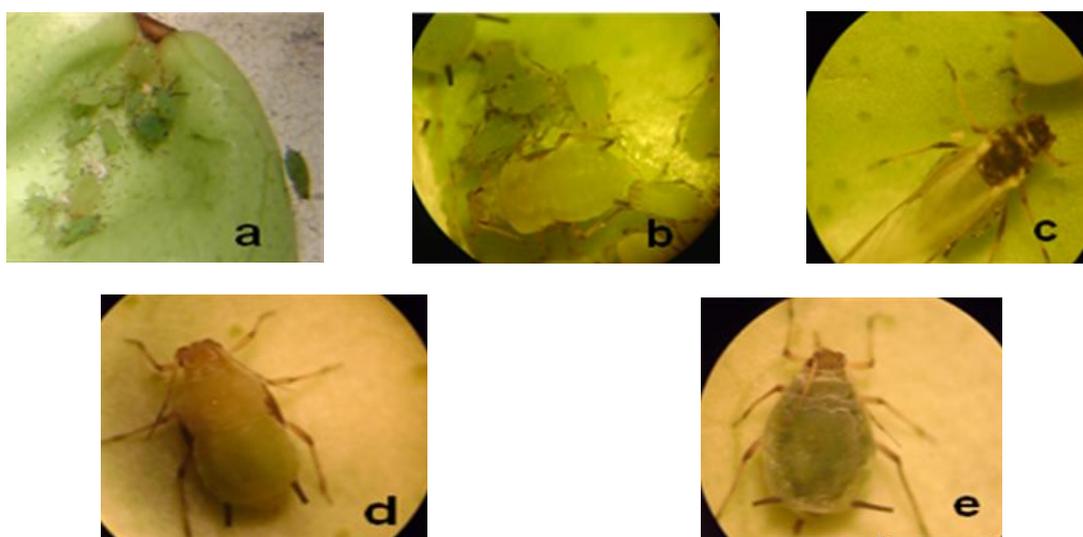


Figure12: Principales espèces aphidiennes des agrumes(Gx80) (Originale, 2012)

(a et b : Colonies de larves ; c : adulte ailé, d : nymphe, e : adulte aptère)

3.2. Produits phytosanitaires utilisés

Les biopesticides utilisés dans cette étude sont deux huiles essentielles formulées d'origine végétale ; l'une à base d'origan et l'autre à base de thym composés majoritairement de Thymol et de carvacrol ; deux matières actives reconnues pour leurs effets toxiques sur de nombreux ravageurs(figure13).

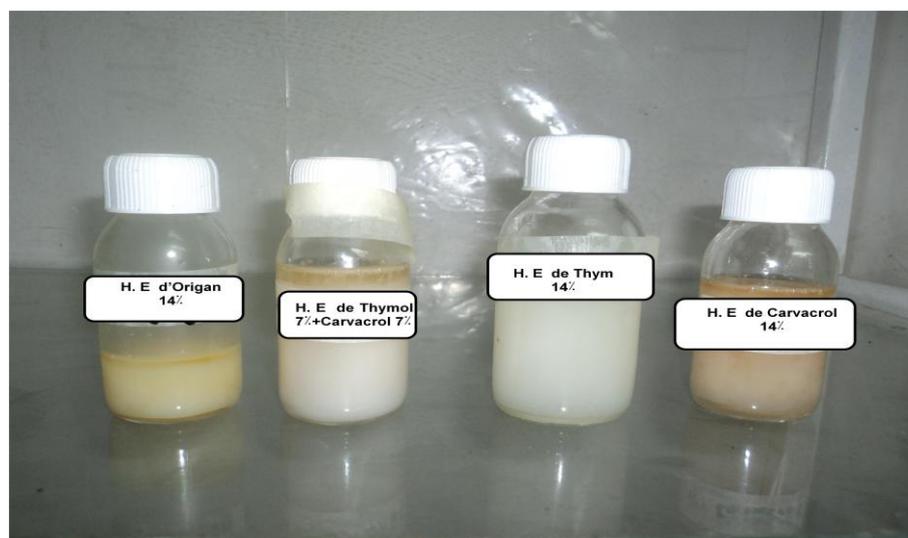


Figure13 : Huiles essentielles utilisées (Originale, 2012)

L'insecticide de synthèse le Methomyl 25 % appartenant à la famille des carbamates est une poudre mouillable caractérisé par son large spectre d'action en agissant par contact, ingestion et systémique (figure14).



Figure14 : METHOMYL 25 % (photo originale, 2011)

4. Méthodes d'étude

4.1. Schéma directeur de l'étude

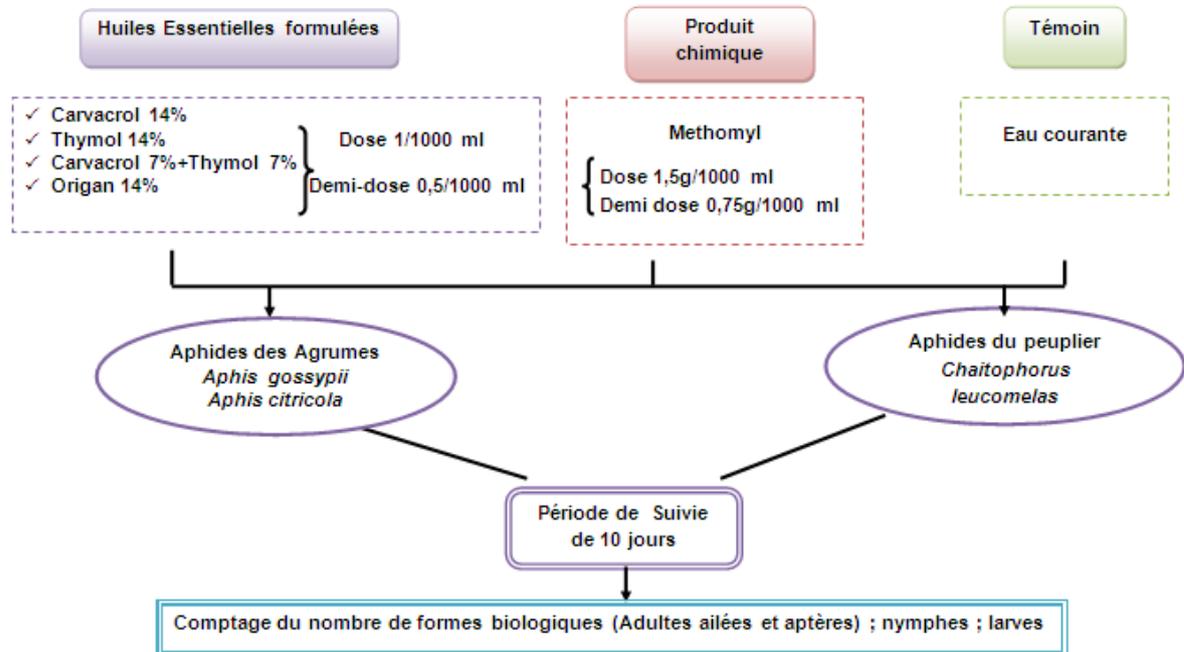


Figure15 : Schéma récapitulatif du suivie de l'étude.

4.2. Application des traitements biologiques et chimiques

Afin de réaliser une collection homogène du matériel biologique, nos deux sites d'étude sont partagés en cinq blocs pour l'application des différents traitements à savoir chimique ou biologiques et un bloc témoin n'ayant subit aucun traitement mais uniquement pulvérisé à l'eau courante. Chacun de ces blocs est relatif à deux transects végétaux et sur chacun d'eux, deux traitements à différentes doses (dose et demi dose) ont été pulvérisés.

Au total, nous avons utilisé cinq produits dont quatre biologiques représentés par trois huiles à base de thym (Thymol 14%, carvacrol14%, et le mélange des deux 7% de chacun) et une huile essentielle d'origan et un chimique qui est Methomyl 25%.

4.3. Application des traitements sur peuplier

La date du 14.05.2012 correspond à l'application des traitements de la période printanière. L'efficacité des différents produits a été évaluée sur une durée de dix jours après traitements réalisés à l'aide d'un pulvérisateur manuel.

Pour chaque traitement biologique, une dose complète D (1 /1000) et une demi dose D/2(0.5/1000) ont été préconisées. De même que pour le produit chimique qui a été utilisé avec une dose homologuée complète DH (150g /hl) et sa demi dose soit DH/2(75g/hl) (figure 16).

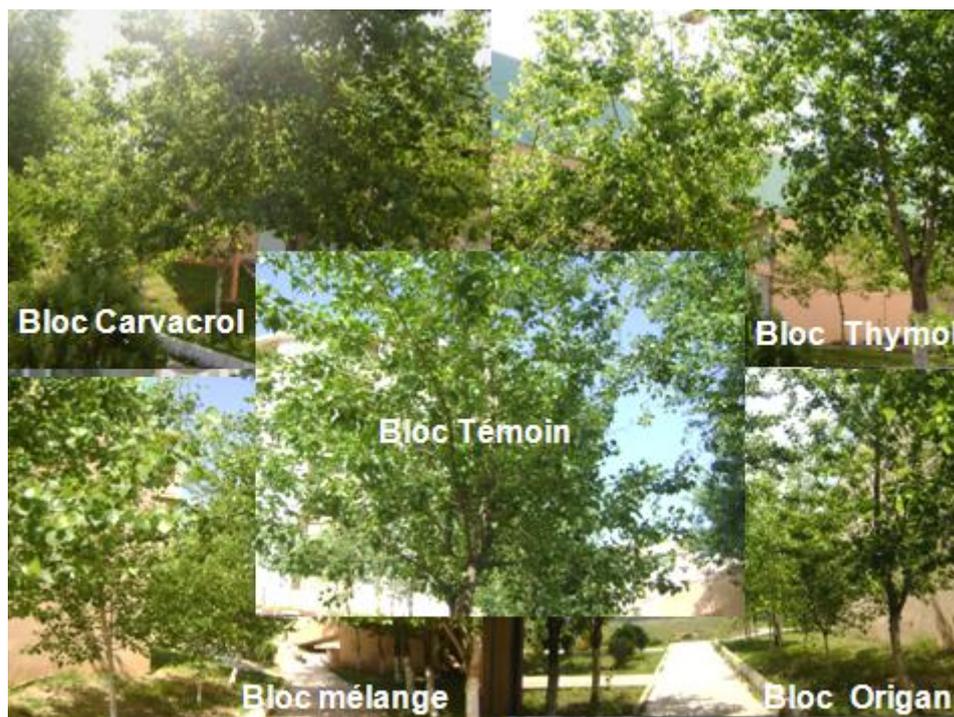


Figure 16: Blocs traités du peuplier (photo Originale, 2012)

4.4. Application des traitements sur agrumes

Pour les agrumes, le même Protocole a été établi pour l'évaluation de l'abondance des populations d'*Aphis citricola*, *Aphis gossypii*. L'application des traitements a été réalisée le 05.05.2012, avec un suivi de 10 jours après pulvérisation des traitements (figure17).



Figure17: Blocs traités des agrumes (photo Originale, 2012)

4.5. Technique de prélèvements et d'évaluation

La technique de dénombrement effectuée sur les essences de *P.nigra* et *C.sinensis* obtenues à partir des transects végétaux consiste à prélever aléatoirement dix feuilles (relatives à cinq répétitions) sur le pourtour des arbres à un intervalle de 24 heures durant la période d'investigation qui s'est étalée sur une période de 10 jours (Frontier, 1983).

Au laboratoire, le comptage des populations de *Chaitophorus leucomelas*, d'*Aphis citricola* et d'*Aphis gossypii* a été réalisé sous loupe binoculaire (GX80) pour suivre les structures des femelles ailées et aptères et leurs différents stades larvaires. L'efficacité des différents produits appliqués a été révélée par l'estimation de l'abondance des populations des pucerons.

5. Analyses statistiques

5.1. Analyses de la variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009)

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (doses, demi-doses, nature de la molécule), il est préconisé de réaliser une analyse de la variance. Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour *Analysis of Variance*), la distribution de la variable quantitative doit être normale.

Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.).

5.2. Analyses multivariées (PAST vers. 1.37, Hammer *et al.*, 2001)

Dans le cas de variables de type présence-absence, les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances en composantes principales (A.C.P.) (Ter Braak et Prentice, 1988). Dans cette analyse et à partir des trois premiers axes de l'analyse factorielle, une classification ascendante hiérarchique des espèces est réalisée dans le cadre d'estimer le taux d'abondance des populations.

CHAPITRE IV : RESULTATS

Ce chapitre englobe les résultats relatifs aux effets des biopesticides formulés à base d'huiles essentielles de Thym et d'Origan sur l'abondance des populations aphidiennes du peuplier noir et des agrumes

1. Tendance globale des effets des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes

Les graphes de la figure 18 présentent l'évolution temporelle des abondances des populations de pucerons des agrumes sous l'effet de l'huile essentielle formulée de Thym à base de Thymol, Carvacrol ou leur mélange (Carvacrol+Thymol) et l'huile essentielle formulée d'Origan appliqués à différentes doses par rapport au témoin et en comparaison avec celles du produit chimique (Methomyl).

D'après les graphes, on remarque que l'application des molécules bioactives en formule individuelle cas du Thymol et du Carvacrol est plus efficace qu'en formule mélange (Carvacrol + Thymol). Ce dernier présente une tendance de similarité avec l'application à base d'Origan. La molécule de synthèse révèle une toxicité maximale durant toute la période du suivie.

Concernant l'estimation de l'effet des différentes doses sur l'abondance des deux pucerons étudiés, la dose D (1/1000) des différentes huiles formulées a donné une plus grande toxicité et donc une meilleure efficacité par rapport aux demi doses DD (0,5/1000) et au témoin. D'autre part, l'effet de la dose DH (1,5g/1000) et la demi-dose DDH (0,75 g/1000) du produit chimique présente une toxicité similaire.

Quant à l'effet temps ; toutes les molécules ont signalé une efficacité progressive à savoir du début à la fin du suivie.

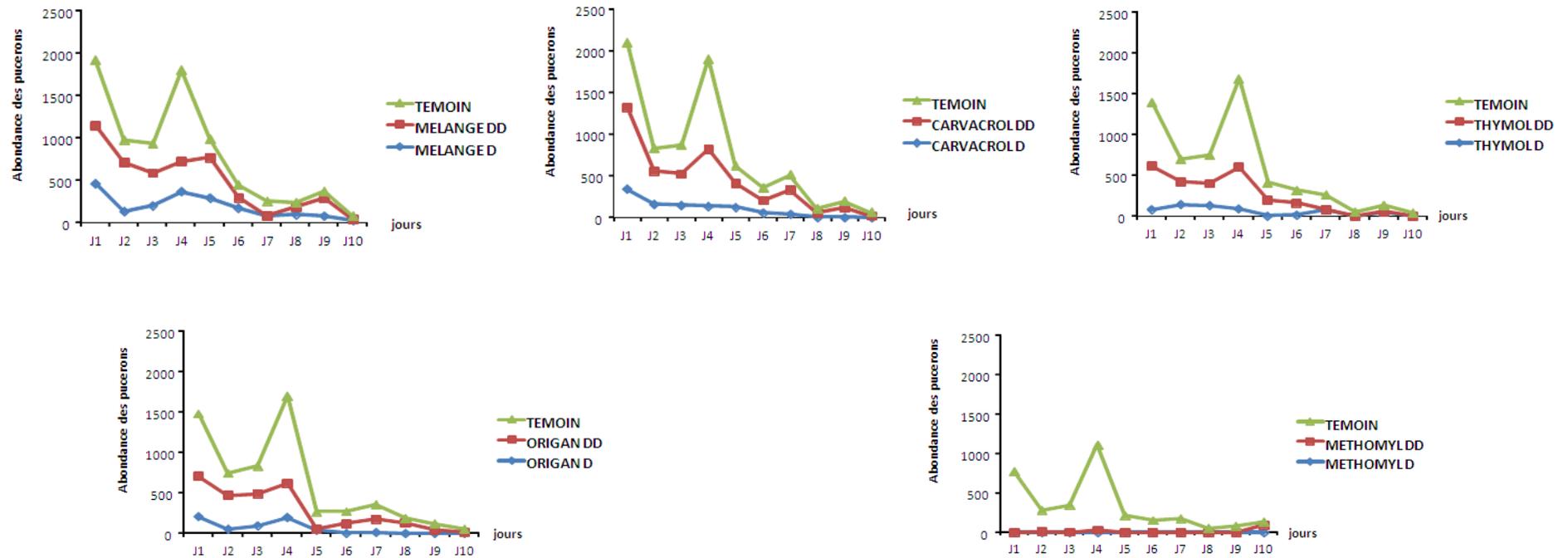


Figure18 : Evolution temporelle de l'abondance des populations d'*Aphis citricola* et *Aphis gossypii* sous l'effet des huiles essentielles de thym et d'origan par rapport au témoin et au produit de synthèse
D : Dose, DD : demi-dose.

2. Evaluation de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes

L'Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) est satisfaisante dans la mesure où plus de 80 % de la variance sont exprimés sur les deux premiers axes (figure.19). Sur la base d'une similarité de (-4), la C.H.A. (classification hiérarchique ascendant) montre l'existence de deux groupes (voir annexe 1).

La projection des variables sur l'axe2 montre que l'efficacité des huiles essentielles formulées diffère complètement de celui du traitement chimique. Et l'on ressort aussi que la reprise des populations aphidiennes est précoce sous l'effet des huiles essentielles (4jours), alors que la reprise sous l'effet de pesticide de synthèse ne s'affiche qu'à partir du 10^{ème} jour.

En revanche la projection sur l'axe1 montre clairement la divergence d'efficacité entre la dose DH et la demi dose DD du pesticide de synthèse. La même tendance est signalée chez les huiles essentielles formulées avec une similarité d'effet toxique des molécules (Origan et Carvacrol avec leurs doses D et demi doses DD, du Thymol avec sa demi dose DD, et du mélange carvacrol+thymol avec sa dose complète D).

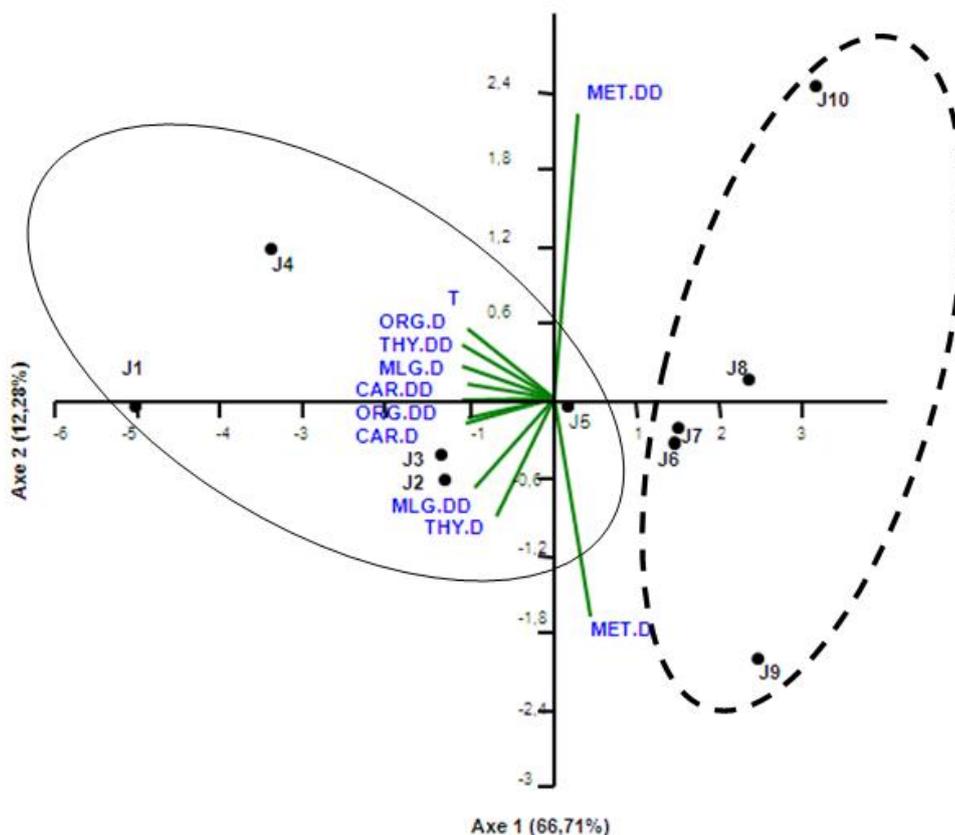


Figure 19: Projection des abondances des populations d'*Aphis citricola* et d'*Aphis gossypii* sur les deux axes de l'A.C.P.

T : témoin, ORG.D : origan dose, ORG.DD : origan demi dose, THY.D : thymol dose, THY.DD : thymol demi dose, CAR.D : carvacrol dose, CAR.DD : carvacrol demi dose, MLG.D : mélange dose, MLG.DD : mélange dose, MET D : methomyl dose, MET DD : methomyl demi dose.

3. Effets comparés de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaire sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M.) de manière à évaluer la variation temporelle de la structuration de l'abondance des populations de pucerons des agrumes en fonction des doses des différents traitements biologiques à base d'huiles essentielles utilisées et du traitement chimique (Methomyl). Ce modèle permet d'étudier l'effet strict et individuel des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre les facteurs. La fiabilité des résultats a été démontrée sur la base des permutations réalisées et qui sont au nombre de 550 (N=550).

Selon les résultats obtenus par l'analyse de G.L.M., nous constatons que les molécules (F-ratio=14,516, $p=0,000$, $p<1\%$), les doses (F-ratio=41,081, $p=0,000$, $p<1\%$) et même la période de suivie (F-ratio=21,503, $p=0,000$, $p<1\%$) présentent une différence hautement significative sur l'abondance des populations d'*A. citricola* et *A. gossypii*.

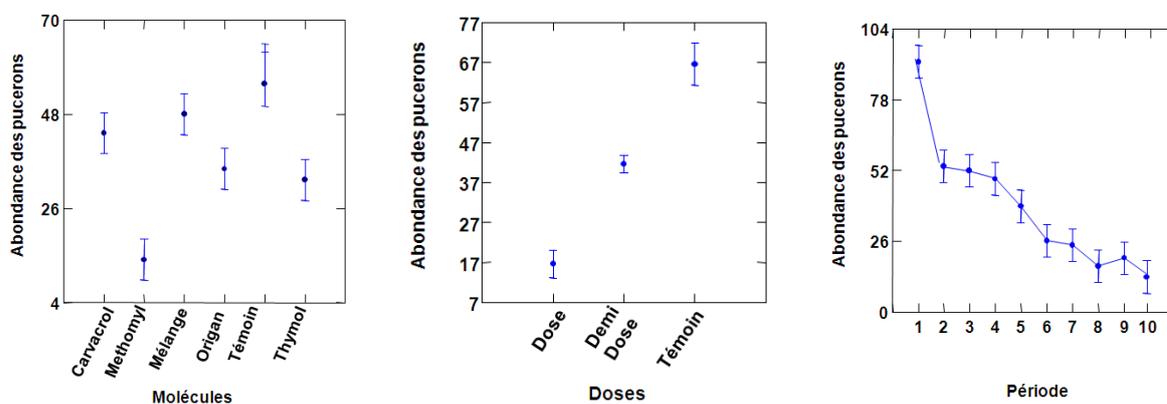


Figure 20: Abondance comparée d'*Aphis citricola* et d'*Aphis gossypii* selon la molécule, les doses et la période après traitement.

D'après la figure ci-dessus (figure 20) et en Comparaison avec l'abondance des populations de pucerons du témoin qui s'est révélée la plus élevée, le produit chimique(Methomyl) s'est montré le plus toxique vis-à-vis des deux espèces étudiées en enregistrant la plus faible abondance de populations des aphides.

En revanche, des différentes molécules bioactives des huiles essentielles formulées utilisées, le Thymol a enregistré la plus forte toxicité vis-à-vis des populations des pucerons suivis de celle de l'Origan avec une toxicité moyenne puis du Carvacrol avec une moindre toxicité et en dernier lieu le mélange (Carvacrol+Thymol) avec une plus faible efficacité. La molécule chimique(Methomyl) reste également la plus toxique par rapport à celles des traitements biologiques.

Nous constatons qu'il ya aussi un effet dose certain sur l'abondance des populations des deux pucerons *Aphis citricola* et *Aphis gossypii*. La dose complète se révèle la plus toxique par rapport à la demi-dose et cela pour tous les traitements à savoir de nature biologique ou chimique.

Quant à l'effet temporel des différents traitements appliqués, nous remarquons que le temps joue en faveur de la toxicité. Cependant, toutes les molécules présentent un effet toxique progressif dans le temps durant la période du suivie.

La confrontation des facteurs ; molécules et périodes après traitements nous indique une progression temporelle du taux d'efficacité des traitements appliqués. Cette tendance est vérifiée par le test de l'analyse de la variance type ANOVA où la différence est très fortement significative (F-ratio=2,690; p=0,000; $p < 1\%$)

Selon le taux d'abondance des populations des pucerons révélé par l'ANOVA, il apparait une relation étroite entre la nature de la molécule du traitement et la période après traitement.

En comparaison avec le témoin qui présente la plus grande abondance des populations des deux pucerons étudiés, et les autres traitements biologiques ; la molécule de synthèse (Methomyl) présente la plus forte toxicité en enregistrant le taux d'abondance le plus bas.

L'estimation de l'efficacité des différents traitements biologiques a montré que le traitement à base de Thymol présente la meilleure efficacité par rapport aux autres traitements, suivi de l'Origan qui se montre légèrement moins efficace que le Thymol mais, présente la même tendance de toxicité, puis le traitement à base de Carvacrol et enfin celui du mélange (Carvacrol+Thymol).

Tous les traitements biologiques ont dévoilé une toxicité intéressante avec un effet choc au bout de 24h après traitement.

D'après les graphes, nous avons constaté que cette toxicité est maintenue pendant une durée de 72h après traitement (figure 21).

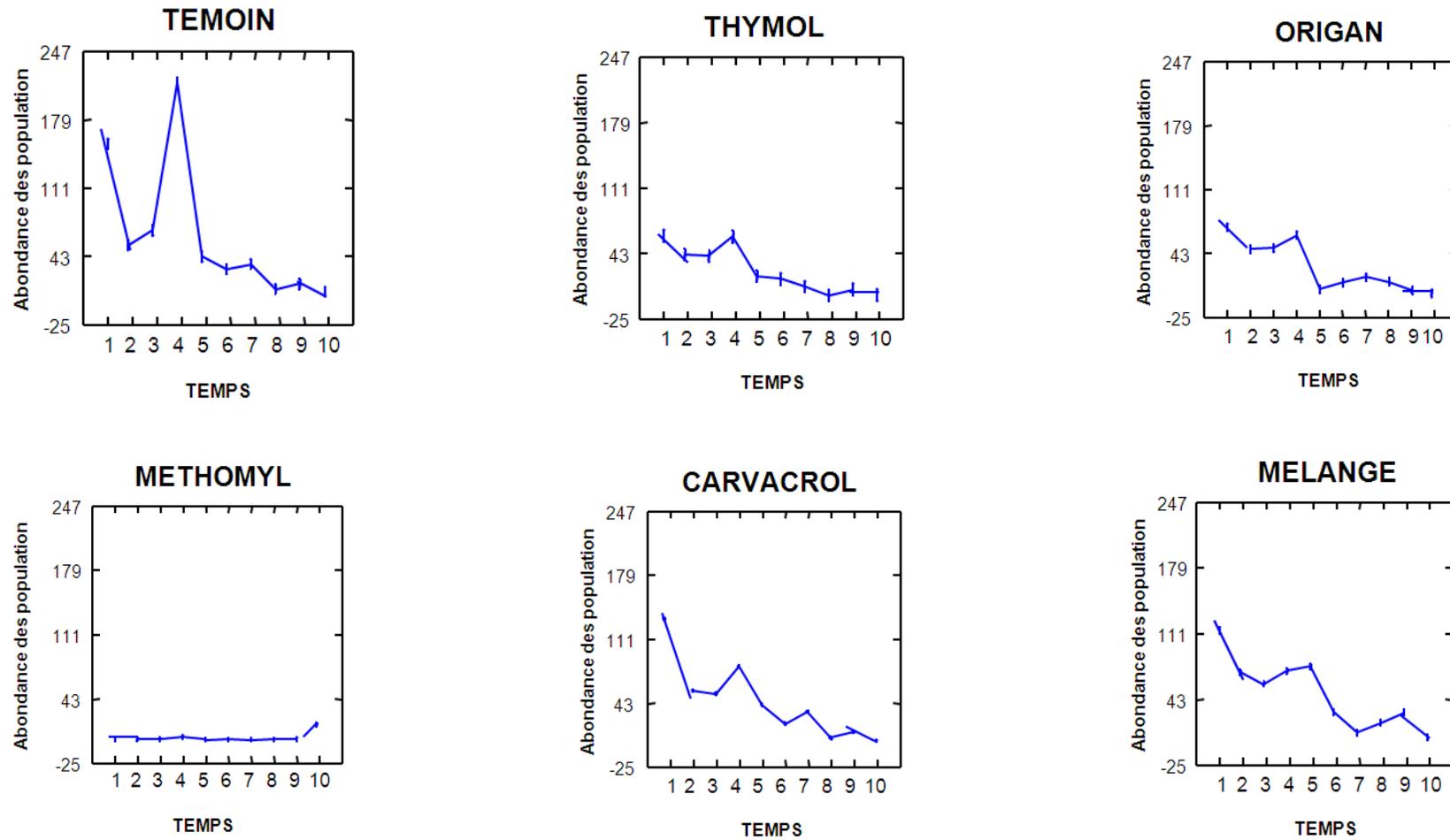


FIGURE 21 : Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / molécules sur *Aphis citricola* et *Aphis gossypii*

L'interaction des facteurs ; doses et périodes après traitements nous indique une progression temporelle du taux d'efficacité des différentes applications réalisées. Cette tendance est vérifiée par le test de l'analyse de la variance type ANOVA où la différence est hautement significative (F-ratio=4,365; p=0,000; p<1‰)

Les résultats obtenus par l'ANOVA, nous montre qu'il ya une nette différence de toxicité entre la dose et la demi dose. Cependant, la dose des différents traitements affiche la meilleure efficacité (figure 22).

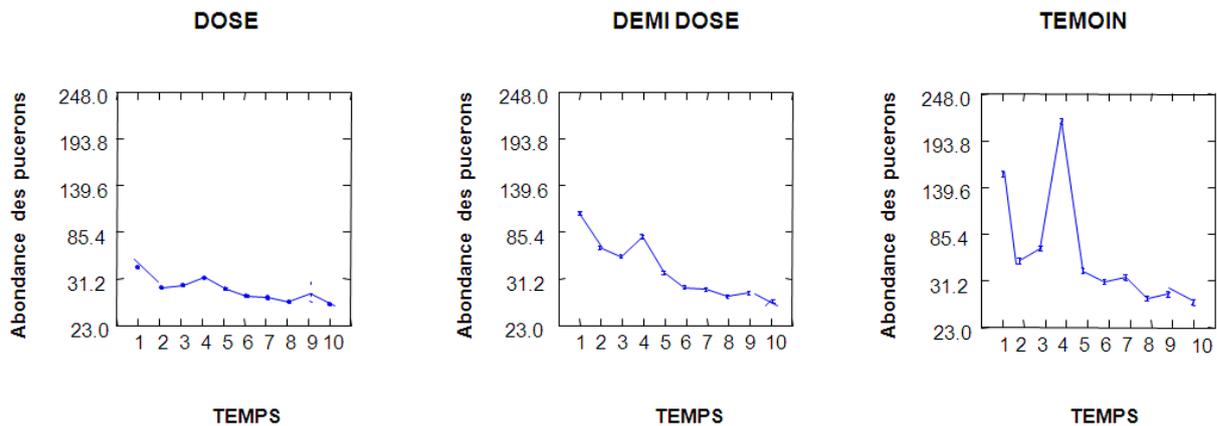


Figure 22: Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / doses sur *Aphis citricola* et *Aphis gossypii*

4. Tendance globale des effets des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance de la population de puceron du peuplier

Les graphes de la figure 23 présentent l'évolution temporelle des abondances des populations de *Chaitophorus leucomelassous* l'effet de l'huile essentielle formulée de Thym à base de Thymol, Carvacrol ou leur mélange (Thymol+Carvacrol) et l'huile essentielle formulée d'Origan appliqués à différentes doses par rapport au témoin et en comparaison avec celles du produit de synthèse le Methomyl.

Les graphes, nous montre que les traitements à base de molécules bioactives séparés cas du Thymol et du Carvacrol présentent une forte toxicité par rapport au traitement du mélange (Carvacrol + Thymol), suivi par le traitement à base d'Origan qui présente une efficacité moindre. La molécule de synthèse révèle la plus forte toxicité durant toute la période du suivie.

Concernant l'estimation de l'effet des différentes doses sur l'abondance du modèle biologique étudié *C. leucomelas*, la dose D (1/1000) des différentes huiles a donné une plus grande toxicité et donc une meilleure efficacité par rapport aux demi dose DD (0,5/1000) et au témoin. D'autre part, l'effet de la dose DH (1,5g/1000) et la demi-dose DDH (0,75g/1000) du produit chimique présente une toxicité similaire.

Quant à l'effet temps ; toutes les molécules ont signalé une efficacité progressive à savoir du début à la fin du suivie.

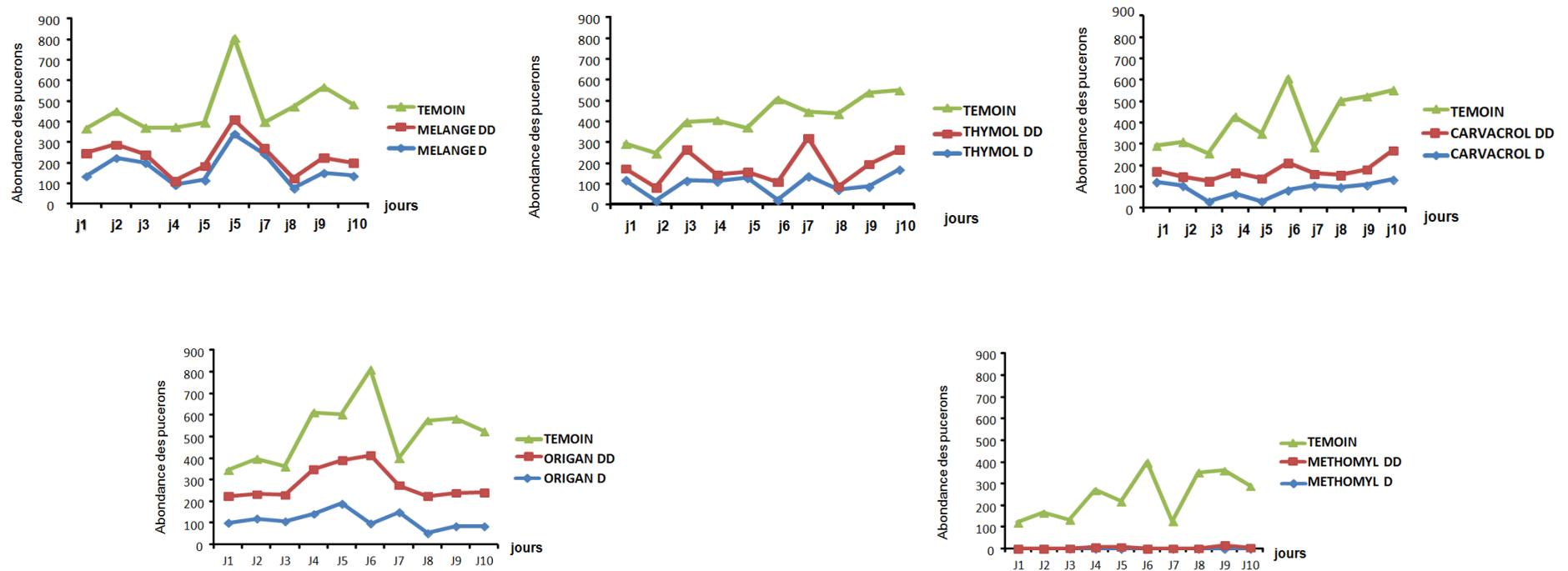


Figure23 : Evolution temporelle de l'abondance des populations de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet des huiles essentielles de Thym et d'Origan par rapport au témoin et au produit de synthèse
 D : Dose, DD : demi-dose.

5. Evaluation de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur la population de puceron du peuplier

L'Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) est satisfaisante dans la mesure où plus de 80 % de la variance sont exprimés sur les deux premiers axes (Figure 24).

Ce test a montré que les huiles essentielles formulées avec leurs doses agissent différemment sur les individus de puceron, que le produit chimique (Methomyl).

La projection des variables sur l'axe2, illustre la meilleure représentation de l'efficacité des traitements chimiques et biologiques. Sur la base d'une similarité de (-4), la C.H.A. (classification hiérarchique ascendant) montre l'existence de deux groupes (voir annexe 2). Il en ressort une certaine similarité entre les demi-doses de toutes les molécules apportées. De même les doses testées expriment le même effet de toxicité que se soit pour le produit chimique ou les produits biologiques formulés.

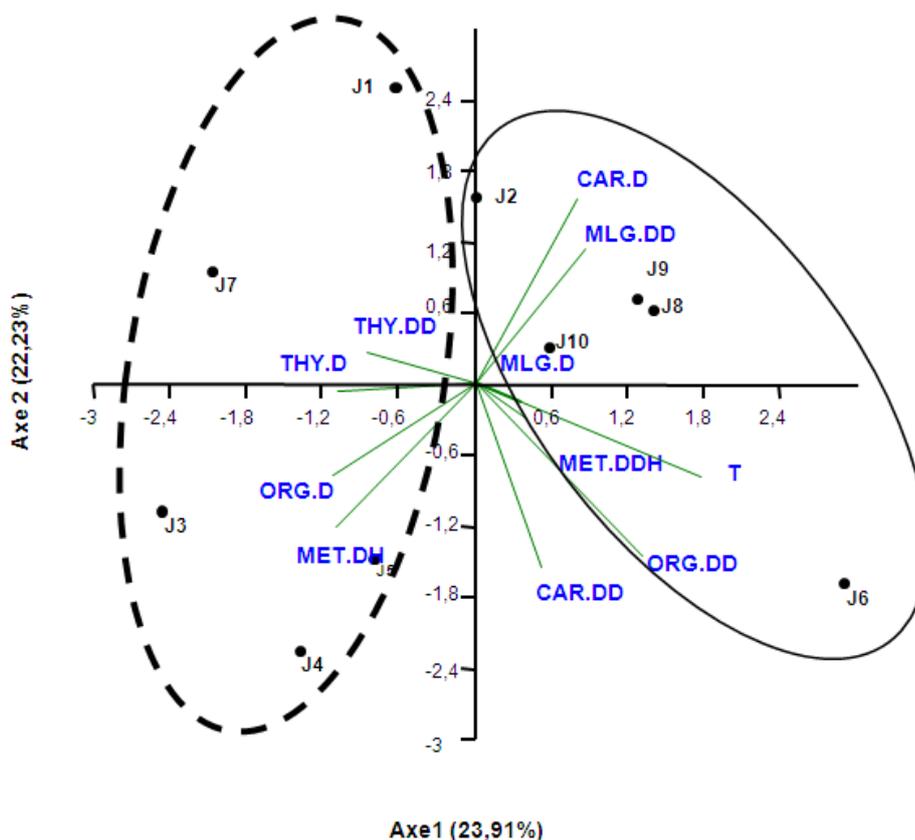


Figure 24: Projection de l'abondance de populations de *Chaitophorus leucomelassur* les deux axes de l'A.C.P.

T : témoin, ORG.D : origan dose, ORG.DD : origan demi dose, THY.D : thymol dose, THY.DD : thymol demi dose, CAR.D : carvacrol dose, CAR.DD : carvacrol demi dose, MLG.D : mélange dose, MLG.DD : mélange dose, MET D : methomyl dose, MET DD : methomyl demi dose.

6. Effets comparés de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaire sur l'abondance de la population de puceron du peuplier

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M.) de manière à évaluer la variation temporelle de la structuration de l'abondance de la population d'aphides *C.leucomelas* fonction des doses des différents traitements biologiques à base d'huiles essentielles formulées utilisées et du traitement chimique (Methomyl). Ce modèle permet d'étudier l'effet strict et individuel des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre les facteurs. La fiabilité des résultats a été démontrée sur la base des permutations réalisées et qui sont au nombre de 550 (N=550).

D'après les résultats obtenus par le model G.L.M. nous constatons que les molécules (F-ratio=24,307, $p=0,000$, $p<1\%$) et les doses (F-ratio=10,287, $p=0,000$, $p<1\%$) présentent une différence hautement significative sur l'abondance des populations de *C.leucomelas*, par contre la différence pendant la période de suivie (F-ratio=1,481, $p=0,152$, NS) est non significative.

Les graphes ci dessous montrent que les traitements à base d'huiles essentielles formulées présentent une gradation d'efficacité qui va de la molécule bioactive de l'Origan qui présente la plus faible toxicité , puis de celle du mélange et enfin de celles du Thymol et du Carvacrol qui affichent une efficacité similaire et maximale. La molécule chimique(Methomyl) reste également la plus toxique par rapport à celles des traitements biologiques (figure 25).

Nous constatons à travers le graphe des doses de la figure 25, que la dose appliqué exprime toujours un effet très toxique par rapport à la demi dose. Il est à signaler aussi que quelque soit les doses d'applications les molécules bioactives apportés restent très loin en terme d'effet répricif sur les populations aphidiennes par rapport au témoin.

Quant à l'effet temporel des différents traitements appliqués, nous remarquons que l'évolution des abondances ne présente pas de différence du moins durrant les jours de suivie.

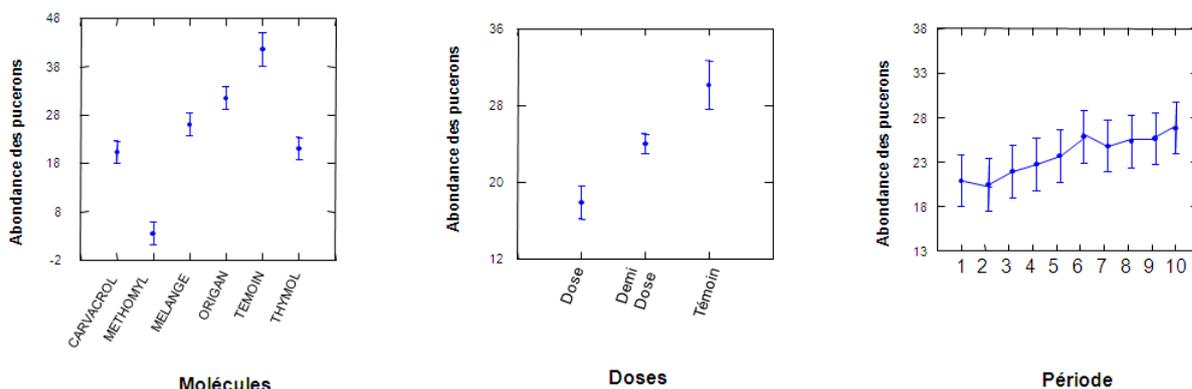


Figure 25: Abondance comparée de *Chaitophorus leucomelas* selon les molécules, les doses et la période après traitement.

La confrontation des facteurs ; molécules et périodes après traitements nous indique une progression temporelle du taux d'efficacité des traitements appliqués. Cette tendance est vérifiée par le test de l'analyse de la variance type ANOVA où la différence est très significative ($F\text{-ratio}=1,619$; $p=0,008$; $p<1\%$)

Les résultats obtenus par l'ANOVA montrent que le produit chimique (Methomyl) appliqué sur le puceron du peuplier *C.leucomelas*Koch (1854) présente la forte toxicité par rapport aux traitements biologiques et au témoin qui a la plus grande abondance.

L'évaluation de la toxicité des différentes huiles essentielles montre que toutes les molécules bioactives ont un effet répressif sur l'abondance de *C.leucomelas*. Allant de la plus forte toxicité présentée par le traitement à base de Thymol et celui du Carvacrol qui occasionnent un effet similaire. Ces derniers sont suivis par l'huile essentielle formulée à base de mélange (Carvacrol et Thymol) et enfin celle de l'Origan qui enregistre le taux d'abondance le plus faible.

D'après les graphes, nous avons remarqué que la durée d'efficacité du traitement à base d'origan est de 3 jours, donc réduite que celle des autres traitements (Carvacrol, Thymol et mélange Carvacrol+Thymol) qui est de 5 jours (figure 26).

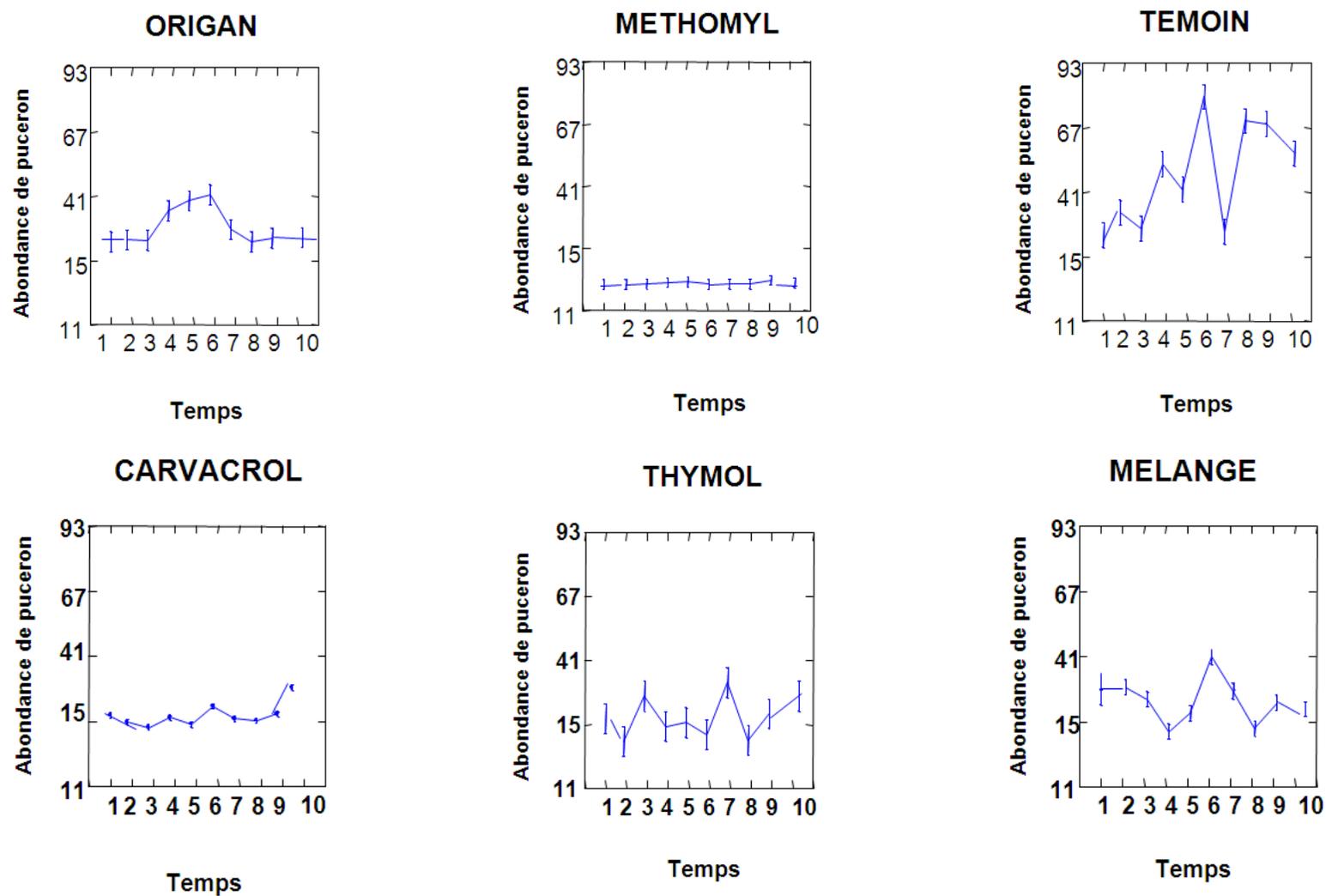


Figure26 : Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / molécules sur *Chaitophorus leucomelas*

La confrontation des facteurs ; doses et périodes après traitements nous indique une progression temporelle du taux d'efficacité des traitements appliqués. Cette tendance est vérifiée par le test de l'analyse de la variance type ANOVA où la différence est très hautement significative ($F\text{-ratio}=2,571$; $p=0,000$; $p<1\%$)

Les résultats obtenus par l'ANOVA, nous montre qu'il ya une différence de toxicité très apparente entre la dose et la demi dose. Cependant, la dose des différents traitements affiche la meilleure efficacité (figure 27).

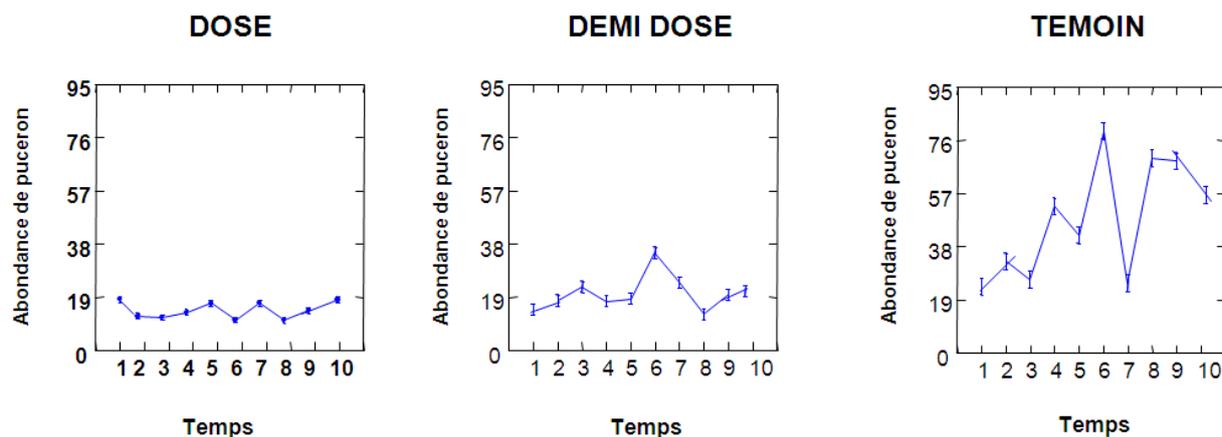


Figure 27: Graphes du modèle ANOVA appliqué à l'interaction périodes / doses sur *Chaitophorus leucomelas*

CHAPITRE V : DISCUSSION

Ces dernières années, l'utilisation des produits chimiques de synthèse pour le contrôle des insectes et des arthropodes soulève plusieurs inquiétudes liées à l'environnement, à la santé humaine, aux espèces non cibles, et au développement des populations résistantes, ce qui a conduit à rechercher de nouvelles méthodes de lutte, entre autres la formulation de nouveaux bio-insecticides issus de plantes ciblant et perturbant les fonctions biochimiques de l'insecte.

Actuellement, le recours aux huiles essentielles s'avère être un choix pertinent face à un risque de contamination précis ou à la nécessité de réduire ou remplacer les agents de conservation chimiques ou synthétiques. Pour cela, plusieurs huiles essentielles de différentes plantes ont été intensivement étudiées pour évaluer leurs propriétés répulsives comme ressource naturelle valable (Isman, 2006).

L'objectif lié à la présente étude est la valorisation de l'efficacité des huiles essentielles à base de Thym et d'Origan sur deux types d'Homoptères de deux différentes cultures en comparaison avec un insecticide de synthèse (Methomyl) afin de mettre au point des méthodes de lutte intégrée, efficaces et aisément utilisables par les agriculteurs.

Les résultats de cette étude semblent être intéressants et confirment leur pouvoir insecticide vis-à-vis des bio-agresseurs ciblés. Toutefois, ils dénotent les aspects suivants ;

Les résultats relatifs aux traitements biologiques par le biais de la formulation à base des huiles essentielles de thym et d'origan et le Methomyl ont présenté un effet répressif sur l'abondance des populations des différents pucerons.

Les applications réalisées ont enregistré un effet choc signalé à travers le taux d'abondance des populations de pucerons à partir des premières 24 heures. Cette toxicité s'est étendue pendant une durée de 4 jours pour les pucerons d'agrumes *Aphis gossypii* et *Aphis citricola* et de 5 jours pour le puceron du peuplier noir *Chaitophorus leucomelas*.

Les mêmes résultats nous ont permis de signaler une gradation de toxicité croissante des molécules biologiques allant respectivement de celle de l'huile essentielle d'origan, puis du mélange (Carvacrol+thymol) et enfin de celles du carvacrol et du thymol qui ont montré la plus forte toxicité pour le puceron du peuplier noir. En revanche, les deux pucerons des agrumes étudiés révèlent la même sensibilité par rapport à l'huile essentielle à base de thymol qui affiche la plus faible abondance, suivie de l'huile d'origan et du carvacrol présentant un effet similaire et en dernier lieu le mélange.

Les résultats de cette étude ont montré que durant tout le suivi, le Methomyl reste le plus toxique et le plus efficace par rapport aux produits biologiques appliqués sur les différents pucerons.

Concernant l'effet des doses sur l'abondance des populations des différents pucerons ciblés, les doses complètes (D) se révèlent plus efficaces que les demi-doses (DD).

Globalement, les résultats de l'étude ont permis, de mettre en évidence les liens forts établis entre les molécules testées et l'abondance des populations aphidiennes ciblées. La Figure 28, expose les grands traits de l'efficacité comparée des différents traitements appliqués.

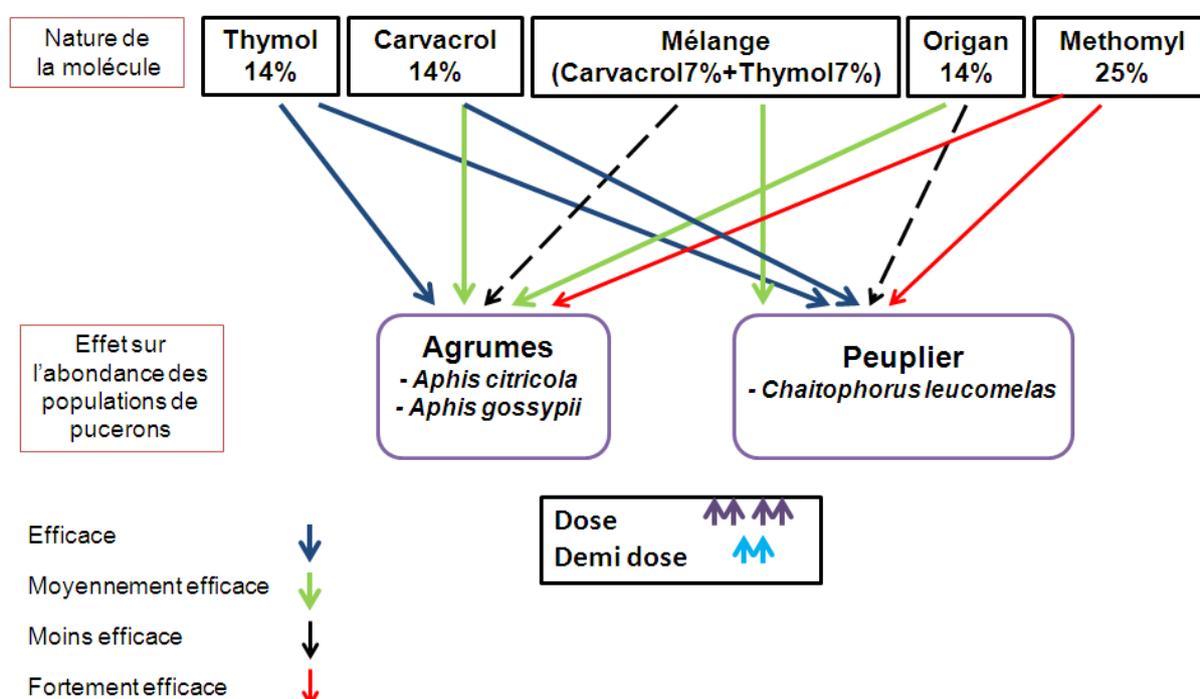


Figure 28 : Schéma expliquant le modèle hypothétique de l'efficacité comparée des traitements biologiques et chimiques

Cet état de fait nous amène à suggérer deux hypothèses.

- L'effet répressif des molécules testées est alloué principalement au type et à la structure moléculaire des composants actifs présents dans la formulation des huiles essentielles. Il est signalé que l'écart d'efficacité des huiles essentielles pures (thymol) et les huiles essentielles complètes (origan) et en mélange (thymol+carvacrol) peut être attribué à la synergie entre les principes actifs
- Le degré de sensibilité des espèces aphidiennes serait lié à des contraintes physiologiques du végétal, notamment l'aspect du feuillage tel que son enroulement.

L'effet répressif des huiles essentielles formulées ainsi que la suprématie de la formulation à base de thymol rejoint les nombreuses études qui ont fait un état des lieux sur la qualité des composantes et la synergie entre celles-ci. French (1985), souligne que ce sont les propriétés comme la volatilité, la nature éphémère et la biodégradation qui constituent les avantages d'une utilisation des HE comme pesticides. Ainsi, l'Origan, le thym, la sauge, le romarin et le clou de girofle sont autant de plantes aromatiques fréquemment utilisés comme ingrédients alimentaires. Les huiles essentielles de ces plantes ont toutes une particularité commune: elles sont riches en composés phénoliques monoterpène comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol. Ces composés possèdent une forte activité antibactérienne et antifongique (Pellecuer *et al.*, 1980 ; Gergis *et al.*, 1990 ; Panizzi *et al.*, 1993 ; Sivropoulou *et al.*, 1996 ; Trombetta *et al.*, 2002 ; Anonyme, 2003 ; Satrani *et al.*, 2008), le thymol possède le plus large spectre d'activité contre 25 genres de bactéries testées (Dorman *et al.*, 2000), il a présenté aussi une activité répulsive contre les moustiques (Ibrahim et Zaki, 1998; Yang *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2005 ; Jaenson *et al.*, 2006).

Il a été démontré que les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des insectes et acariens à corps mou. Isman (1999) émet cette hypothèse car plusieurs huiles essentielles semblent plus efficaces sur les arthropodes à corps mou. C'est le cas du FACIN qui exerce une répression satisfaisante sur les thrips, les pucerons, les aleurodes et certains acariens et qui s'est avéré moins efficace avec des insectes à carapace dure tels que des coléoptères et hyménoptères adultes et certains acariens prédateurs. Il reste à déterminer le mécanisme par lequel les huiles essentielles dégradent l'enveloppe externe de certains insectes et acariens.

Le produit appliqué sur le corps des larves traverse la cuticule au travers des canalicules cireux et la distribution s'effectue directement dans l'organisme, plus particulièrement dans les zones les plus lipophiles. L'hémolymphe véhicule la molécule dans tout le corps de l'insecte (Padilla, 2005)

Selon Lahlou (2004), les huiles essentielles ont prouvé leur pouvoir insecticide, antiparasitaire et antimicrobien. Cependant elles agissent selon le rythme de séparation et libération des molécules

Soylu *et al.* (2005), ont prouvé que plus les teneurs en phénols (carvacrol et thymol) sont élevées plus les huiles essentielles sont efficaces, et ils ont un large spectre d'activité sur les moisissures, les champignons filamenteux et les insectes. La synergie entre ces deux phénols a été constatée dans plusieurs études (Crespo *et al.*, 1990; Didry *et al.*, 1993; Deferera *et al.*, 2000). Selon l'étude établie par El Ajjouri *et al.*, (2008) sur deux espèces de Thym *T. capitatus* et *T. bleicherianus*, il s'est avéré que leur pouvoir antifongique peut être attribuée seulement au thymol et au carvacrol, comme il peut être le résultat de synergies entre les différents constituants de ces huiles .

L'espèce *Thymus vulgaris* L. est sans conteste celle qui a fait l'objet du plus grand nombre d'études. Les feuilles de *Thymus* contiennent 0,3 à 3,4% d'essences dont 70% sont constitués de thymol mélangé à du carvacrol, au cinéol et au pinène (Nobert, 1983).

Dès les années 60, Granger *et al.* (1963) ont suggéré qu'il existait une diversité dans l'H.E. de cette espèce, hypothèse rapidement démontrée, avec la mise en évidence d'un polymorphisme chimique qualitatif intra-spécifique reposant principalement sur 6 composés (des monoterpènes) présents en proportions variables dans l'H.E. Ce polymorphisme chimique existe aussi pour bien d'autres espèces: *Origanum vulgare* (Mockute *et al.*, 2001). Selon Chiasson, Belauges *et al.*, 2001 la composition chimique de l'huile essentielle variée d'une plante à une autre. D'après Dorman *et al.* (2000), le principal facteur modifiant l'activité insecticide des HE est le type et la structure moléculaire des composants actifs présents. Cependant, ce constat ne doit pas amener à penser que la toxicité d'une plante est obligatoirement liée à la nature du composé dominant. La présence de composés synergiques peut renforcer l'activité du principe actif (Nuto. 1995).

Le degré de sensibilité des espèces aphidiennes devrait être relaté à l'aspect physiologique des feuilles, dont les pucerons d'agrumes se trouvent à la face inférieure des feuilles et causent l'enroulement et la crispation des jeunes pousses ce qui leur permet d'être abriter. Des applications foliaires des molécules. En effet, les attributs de nature physique peuvent aussi favoriser et/ou minimiser l'efficacité des applications phytosanitaires. Leclant (1982) et Vincent et Coderre (1992), reconnaissent l'importance de l'aspect physique dans la relation plante hôte-insectes en favorisant l'attaque, ils estiment que l'épiderme agit comme un réflecteur solaire et concentre la chaleur du soleil se qui augmente localement la température qui constituerait un facteur limitatif pour l'infiltration des molécules actives.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de ce travail consacré essentiellement à l'étude de l'effet des huiles essentielles formulées à base de Thym et d'Origan sur l'abondance des populations de pucerons des agrumes *Aphis gossypii* et *Aphis citricola* et le puceron du peuplier noire *Chaitophorus leucomelas* en comparaison avec un insecticide de synthèse (Methomyl). Nous avons pu tirer certains résultats en réponse aux questions hypothèses de l'étude.

- Les traitements biologiques par le biais de la formulation à base des huiles essentielles de thym et d'origan et le Methomyl ont présenté un effet répressif sur l'abondance des populations des différents pucerons.

- Les applications biologiques et chimiques réalisées ont enregistré un effet choc signalé à travers le taux d'abondance des populations de pucerons à partir des premières 24 heures. La toxicité des molécules biologiques s'est étendue pendant une durée de 4 jours pour les pucerons d'agrumes *Aphis gossypii* et *Aphis citricola* et de 5 jours pour le puceron du peuplier noir *Chaitophorus leucomelas*.

- Les mêmes résultats nous ont permis de signaler une gradation de toxicité croissante des molécules biologiques allant respectivement de celle de l'huile essentielle d'origan, puis du mélange (Carvacrol+thymol) et enfin de celles du carvacrol et du thymol qui ont montré la plus forte toxicité pour le puceron du peuplier noir. En revanche, les deux pucerons des agrumes étudiés révèlent la même sensibilité par rapport à l'huile essentielle à base de thymol qui affiche la plus faible abondance, suivie de l'huile d'origan et du carvacrol présentant un effet similaire et en dernier lieu le mélange.

- Les résultats de cette étude ont montré que durant tout le suivi, le Methomyl reste le plus toxique et le plus efficace par rapport aux produits biologiques appliqués sur les différents pucerons.

- Concernant l'effet des doses sur l'abondance des populations des différents pucerons ciblés, les doses complètes (D) se révèlent plus efficaces que les demi-doses (DD).

De ce que nous avons pu avancer comme résultats, il en ressort un certain contraste d'efficacité des biopesticides par rapport aux modèles biologiques étudiés

Les résultats de cette étude semblent être intéressantes et confirment que les huiles essentielles formulées de Thym et d'Origan ont un pouvoir insecticide et une courte rémanence ce qui n'influe pas sur la disponibilité des groupes fonctionnels.

En perspective, il serait intéressant d'évaluer l'efficacité globale des molécules testées. Le calcul de la DL50 et de la TL50 reste un élément clé qui sera traité dans les études ultérieures afin de bien valoriser les biopesticides dans le cadre d'une production intégrée. Élargir les essais d'efficacité sur d'autres modèles biologiques notamment les bioagresseurs des denrées stockées, et les parasites relatives à l'hygiène publique (Moustiques, Poux de tête, Etc.).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Ahmad, H.; Tijerina, M.T. et Tobola, A.S. 1997.** Preferential overexpression of a class MU glutathione S-transferase subunit in mouse liver by myristicin. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 236, 825-828.
- **Ait saada K., 2011.** Evaluation de l'efficacité des extraits aqueux d'*Inula viscosa* (Asteracées) en combinaison avec un bioadjuvant de *Silene fuscata* (Caryophyllacées) sur la densité et la fitness de *Chaitophorus leucomelas* (Hemiptera : Aphididae), Thèse Ingénieur d'Etat en Agronomie, Faculté d'Agronomie, Université Saad Dahleb, Blida, Algérie, 68p.
- **Allal-Benfekih, L. 2006.** Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques. Thèse. Doct. Sciences agronomiques, INA., Alger, 140 pp
- **Amiot, 2005.** *Thymus vulgaris*, un cas de polymorphisme chimique pour comprendre l'écologie évolutive des composés secondaires. Thèse de Doctorat inédite, ENSA de Montpellier.
- **Amirat N., Tebboub S. et Sebti M., 2011.** Effets insecticides des huiles essentielles chémotypées de deux plantes Aromatiques lavandula stoechas et origanum glandulosum de la région De jijel.
- **Anonyme, 2002.** Rapport du groupe de réflexion sur les pesticides en milieu urbain. *Pour la protection de la santé et de l'environnement, la gestion environnementale en milieu urbain.* 64: 3
- **Anonyme, 2007.** Index des produits phytosanitaires à usage agricole .Direction de la protection des végétaux et des contrôles techniques. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Ed. 2007, 251 p.
- **Anonyme, 2010.** Ministère de l'agriculture et du développement rural. D.S.A.I. Statistiques agricoles. Superficies et Production. 68 p.
- **Anonyme, 1976.** La protection phytosanitaire des agrumes en Algérie, Ed.Ciba Geicy, Alger, 159 p.
- **Aroun M.E.F., 1985.** Les aphides et leurs ennemis naturels en vergers d'agrumes de la Mitidja", Thèse Magister, Agro.nati.agro., El Harrach, Algérie, 225p.
- **Aubertot J.N., Clerjeau M., David C., Debbaeke P.,Jeuffroy M.H., Lucas P., Monfort F., Nicot P. et Sauphanor B., 2005.** Expertise scientifique collective «Pesticides, agriculture et environnement», INRA et CEMAGREF (France).
- **Bagnouls, F. et Gausson H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 88 : 193-239.
- **Balachowsky A. et Mesnil L., 1936.** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées", Ed. Meryl, Paris, 1921 p.
- **Baser K.H.C., Ozek T. et Tumen G., 1992.** Essential oils of *Thymus cariensis* and *Thymus haussknechtii*, two endemic species in Turkey. *J. Essent. Oil Res.*, 4, 659- 661.

- **Benayad, N., 2008.** Les huiles essentielles extraites des Plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Laboratoire des Substances Naturelles et Thermolyse Eclair Département de Chimie Faculté des Sciences de Rabat.Maroc.61p.
- **Benfekih L., 1989** - Etude de la bioécologie des pucerons *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Macrosiphum euphorbiae* et de leurs prédateurs sur cultures maraîchères (Tomate et poivron) dans la région de Remchi (Tlemcen) ”, Thèse Ing. Agro., Inst. Agro.forest., Univ. Tlemcen, Algérie, 120p.
- **Benjlali B., Hammouni M. et Richard H., 1987b.** Chemical polymorphism of Moroccan thyme essential oils: compounds characterization. *Sci. Aliments*, 7, 77-91.
- **Benjlali B., Hammouni M., M'Hamedi A. et Richard H., 1987a.** Essential oil composition of different Moroccan thyme varieties: principal component analysis. *Sci.Aliments*, 7, 275-299.
- **Betam A., 1998.** Contribution à l'étude des pucerons et leurs ennemis naturels dans la région de Bir- Touta (Batna) ”, Thèse .Ing. Agro. Univ. Batna. Algérie, 82p.
- **Blackman R.L. et Eastop V.F., 1994.** *Aphids on the World's Trees. An Identification and Information Guide* , Cab International Eds. Wallingford (UK)
- **Bones A.M. et Rossiter J.T., 1996.**The myrosinase-glucosinolate system its organisation and biochemistry, *physiol. Plant.* (97), pp: 194-208.
- **Booth C.O., 1964.** Seaweed has possibilities apart from its fertiliser use. *The Grower* **62**: 442-443.
- **Booth E., 1966.** Some properties of seaweed manures. In *Proc. 5 th International Seaweed Symposium*. Pergamon Press, London, 349-357.
- **Boughnou N., 1998.** Etude des pucerons et leurs ennemis naturels dans un verger d'oranger dans la région de Oued Aïsi (Tizi Ouzou) ”, Thèse. Ing. Agro. Univ. Tizi-Ouzou, 86p.
- **Boukhris-Bouhachem S., Souissi R., Turpeau E., rouze-jouan J., Fahem M., Ben Brahim N. et Hullé M., 2007.**Aphid (Hemiptera: Aphidoidea) diversity in Tunisia in relation to seed potato production , *Ann.soc.entomol.Fr.*, 43 (3) : 311-318.
- **Breton V., 2000.**Évolution de la populiculture, Rapport national de la France. Commission Internationale du Peuplier (FAO) XIX^e session,Oregon.
- **Brunechon J., 1987,** Pharmacognosie, Ecole technique de documentation, Ed. Ravoilie.
- **Caccioni D.R.L. et Guizardi M., 1994.** Inhibition of germination of fruit and postharvest pathogenic fungi by essential oil components. *J. Essent. Oil Res.*, 6, 173- 179.
- **Capinera,J. L. 2008.** Encyclopedia of Entomology, University of Florida 2nd Edition. Vol 4, 191-214, 4346p.
- **Cee., 1991.** Directive du conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (91/414/CEE). Office de

- publications officielles des communautés européennes. Journal officiel n° L 230, 207 p.
- **Cee., 1998.** Directive du conseil concernant la mise sur le marché des produits des produits biocides (98/8/CEE). Office de publications officielles des communautés européennes. Journal officiel n° L 123, pp : 1-32.
 - **Chaboussou F., 1975.** Physiologie et résistance de la plante”, Ed. Sta.zoo.agri., France, 203p.
 - **Chapot H. et Delucchi V.L., 1964.** ”Maladies, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc”, Ed. I.N.R.A. Rabat, 339p.
 - **Chararas C., 1972.** *Les insectes du peuplier, biologie, écologie, nocivité, méthodes de Production* ,Lib. De la fac. Des sc. Eds. Paris, 272p.
 - **Cimanga K. et al., 2002.** Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo. J. Ethnopharmacology, 79, 213-220.
 - **Cluzet S., Torregrosa C., Jacquet C., Lafitte C., Fournier J., Mercier L., Salamagne S., Briand X., Esquerré Tugayé M.T. et Dumas B., 2004.** Gene expression profiling and protection of *Medicago truncatula* against a fungal infection in response to an elicitor from green algae *Ulva* spp. Plant Cell Environ 27: 917-928.
 - **COOMBES A.J., 1992.** *Eyewitness handbooks, Trees* ,Dorling Kindersley Eds. London, 304p.
 - **Coudriet LD., Prabhaker N. et Meyerdik D.E., 1985.** Sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae): effects of neem seed extract on oviposition and immature stages. *Environ. Entomol.* 14(6), p. 77–83.
 - **Cowan M.M., 1999.** Plant products as antimicrobial agents. Clin. Microbiol. Rev., 12, 564-582.
 - **Crespo M.E., Jimenez J., Gomis E. et Navarro C., 1990.** Antimicrobial activity of the essential oil of *Thymus serpylloides* subspecies *gadorensis*. *Microbios*, 61, pp: 181- 184.
 - **Crouch I.J. et van Staden J., 1993.** Effect of seaweed concentrate from *Ecklonia maxima* (osbeck) Papenfuss on *Meloidogyne incognita* infection on tomato. J Appl Phycol 5: 37-43.
 - **Cseke L.J. et Kaufman P.B., 1999.** How and why these compounds are synthesized by plants. pp: 37-90. In p.b. kaufman, l.j. cseke, s. warber, j.a. duke et h.l. brielmann (eds.), natural products from plants. crc press, boca raton, fl.
 - **Dajoz R., 1980.** *Ecologie des insectes forestiers* ,Bordas Eds. Paris, 489p
 - **Dajoz R., 1985.** *Précis d'écologie* ,Bordas Eds. Paris, 505p.204.
 - **Dedryver C.A., 1982.** Qu'est-ce qu'un puceron? Les pucerons des cultures”, Jour. D'étude D'inf. Paris, 2, 3 et 4 mars 1981, A.C.T.A., France, 9 -20.
 - **Dedryver C.A.,1982.** Qu'est ce qu'un puceron? Les pucerons des cultures. Jour. D'étude D'inf. Paris, 2, 3 et 4 mars 1981, A.C.T.A., France, 9 -20.

- **Deferera D.J., Ziogas B.N. et Polissiou M.G., 2000.** GCMS Analysis of essential oil from some Greek aromatic plants and their fungi toxicity on *Penicillium digitatum*. *J. Agric. Food Chem.*, 48(6), pp : 2576-2581.
- **Deguine, J. P. et F. Leclant, 1997.** *Aphisi gossypii* Glover (Hemiptera, Aphididae). Montpellier.
- **Delplanque A., 1998.** *Les insectes associés aux peupliers*, Memor Eds. Bruxelles, 350p.
- **Desouza, AP., Vendramim, JD., 2000.** Efeito de extratos aquosos de Meliaceas sobre *Bemisia tabaci* biotipo B em tomateiro. *Bragantia* 59 (2), p. 173–179.
- **Diallo K., 2007.** *Réponses métaboliques de Chaitophorus leucomelas (Koch, 1854) (Homoptera: Aphididae) à la variation qualitative des Populus sp. Dans les régions littorales et sublittorales d'Algérie.* Thèse Ingénieur d'Etat en Agronomie, Faculté d'Agronomie, Université Saad Dahleb, Blida, Algérie, 74p.
- **Didry N., Dubreuil L. et Pinkas M., 1993.** Antimicrobial activity of thymol, carvacrol and cinnamaldehyde alone or in combination. *Pharmazie*, 48, pp: 301-304.
- **Djazouli Z.E., 1992.** Inventaire des aphides et fluctuation des populations des Pemphigidae sur *Populus nigra* dans la région de Blida, Th. Ing. Agro, I.N.E.S, Blida, 93p.
- **Djazouli Z.E., 1996.** Inventaire et interaction de l'entomofaune inféodée du peuplier noir *Populus nigra* L. Etude de la dynamique des populations et du développement ovarien de *Chaitophorus leucomelas (Koch, 1854)* (Homoptera; Aphididae) En MITIDJA. Th.mag.Agro., Inst.Nal.Agro., ElHarrach Algérie, 102p
- **Dorman H.J. & Deans S.G., 2000.** Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plants volatile oils. *J. Appl. Microbiol.*, 88(2): 308-316.
- **Douglas B., Minto and. Wilkinson T.L., 2001.** Quantifying nutrient production by the microbial symbionts in an aphid”, *J exp Biol* 204: (2001), 349-358.
- **El Ajjouri M., Satrani B., Ghanmi M., Aafi A., Farah A., Rahouti M., Amarti F., Aberchane M., 2008.** Activité antifongique des huiles essentielles de *Thymus bleicherianus* Pomel et *Thymus capitatus* (L.) Hoffm. & Link contre les champignons de pourriture du bois d'oeuvre *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12, (4), pp: 345-351.
- **EL Lakwah F., Whaled, O.M., Kattab M.M., et Abdel Rahman T.A., 1997.** Effectiveness of some plant extracts and powders against the lesser grainborer *Rhyzopertha dominica* (F.). *Ann. Agric. Sci.* 35 (1), p. 567–578.
- **El Mrabet K., 2007.** Développement d'une méthode d'analyse de résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem dans les matrices céréalières après extraction en solvant chaud pressurisé. Thèse Doc. Chimie analytique. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 295
- **Fagroud M., E. Gros Jean et P. Soloviev, 2005.** Guide des bonnes pratiques agricoles dans la région de Meknès. Ministère de l'Agriculture, du

- Développement Rural et des Pêches Maritimes. APEFE, CFB-Wallonie-Bruxelles, ENA Meknès, CDU, FUSAGembloux. 271 pages.
- **Featonby Smith, BC. et van Staden J., 1987.** Effects of seaweed concentrate on grain yield in barley. *South Afric J Bot* 53: 125-128
 - **Feng R. et Isman M.B., 1995.** Selection for resistance to azadirachtin in the green peach aphid *myzus persicae*. *experientia* 51, pp: 831-833.
 - **Ferron, P., 1978.** Biological control of insect pests by entomogenous fungi. *Annu. Rev. Entomol.* 23:409-442.
 - **Fourment H. et Roques S., 1942.** Répertoire des plantes médicinales et aromatiques d'Algérie. Bull N°61. GUIAUCHAN édit, Alger ,159p.
 - **Fournier J. (1988).** Chimie des pesticides, Cultures et techniques, Nantes.
 - **French R. C., 1985.** The bioregulatory action of flavour compounds on fungal spores and other propagules. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 23: 175-199.
 - **Frontier S., 1983.** *Stratégie d'échantillonnage en écologie*. Ed. Masson, Paris et Les Presses de l'Université de Laval, Québec, 494 p.
 - **Gakuru S., et Foua B.K., 1996.** Effects of plant extracts on the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus* Fab.) and the rice weevil (*Sitophilusoryzae* L.). *Cah. Agric.* 5 (1), p. 39–42.
 - **Gergis V., Spiliotis V. & Poulos C., 1990.** Antimicrobial activity of essential oils from Greek *Sideritis* species. *Pharmazie*, **45**, 70.
 - **Gevao B., Semple K.T. et Jones K.C., 2000.** Bound pesticide residues in soils: a review. *Environmental Pollution*, 108, pp: 3-14.
 - **Giganti H.E., Dapoto G.L. et Delfino M.A., 2004.** *Chaitophorus leucomelas* Koch (Hemiptera, Aphididae) en río negro y Neuquén (Argentina) Características morfológicas y biológicas ,*RIA*, 33 (2) : 27-40.
 - **Giroux S., Côté J.C., Vincent C., Martel P. et Coderre D., 1994.** bacteriological insecticide m-one effects on the mortality and the predation efficiency of adult spotted lady beetle *coleomegilla maculata* (coleoptera: coccinellidae). *j. econ. entomol.* 87, pp: 39-43.
 - **Gorenflot R.,1989.** Biologie végétal. Plantes supérieures. Tome 2.2ème édit. MASSON édit. Paris, 320p.
 - **Granger R and Passet J, T, 1973.** *vulgaris* spontanée de France: Races chimiques et chemotaxonomie. *Phytochemistry* **12**:1683–1691.
 - **Grasse P. 1970.** *Zoologie invertébrés*, Masson & Cie Eds. Paris, 935p.
 - **Grasse P., 1957.** *Traité de zoologie, anatomie, systématique, biologie, insectes supérieures et Heminoptéroïdes* ,Masson & Cie Eds. Paris, 974p.
 - **Guignard J. L., 1986.** Abrégé de botanique. 6eme édit. MASSON édit. Paris, 259p.
 - **Guillen M.D. et Manzanos M.J., 1998.** Study of composition of different parts of a Spanish *Thymus vulgaris* L. *Plant Food Chem.*, 3, 373-383.

- **Hammoutene R. 2010.** "Tizi Ouzou: Une bonne production agricole", Article, horizons-dz.com Copyright 1999-2009 HORIZONS, Rss / Atom . Plain text. Archive, Alger,
- **Hernandez Ochoa L.R., 2007.** Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine « solvant/actif » d'origine végétale. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse p225.
- **Hoffman E.T.A., 1974.** Contes fantastiques complets" in-8 broché - vol.3. Ed. Flammarion - Coll. L'Age d'Or, 1050p.
- **Hori, M. et H. Komatsu, 1997.** Repellency of rosemary oil and its components against the onion aphid, *Neotoxoptera formosana* (Takahashi) (Homoptera, Aphididae)." *Applied Entomology and Zoology* **32**(2): 303-310.
- **Hori, M., 1999.** Role of host plant odors in the host finding behaviors of aphids." *Applied Entomology and Zoology* **34**(3): 293-298.
- **Hulle M., Turpeau E., et Leclant F., 1998.** Les pucerons des arbres fruitiers, cycle Biologique et activités de vol", Ed. ACTA, Paris,80p.
- **Hulle M., Turpeau E., et Leclant F.,1998.** Les pucerons des arbres fruitiers, cycle Biologique et activités de vol. Ed. ACTA, Paris, 80p.
- **Ibrahim, J., Zaki, Z.M., 1998.** Development of environment-friendly insect repellents from the leaf oils of selected Malaysian plants, ASEA. *Rev. Biodiv. Environ. Conserv.* 6, 1–7.
- **Irwin, M. E., G. E. Kampmeier, et al., 2007.** *Aphid Movement: Process and consequences.* Cambridge, CAB International.
- **ISMAN M., 1999.** Pesticides based on plant essential oils. *Pesticide outlook*, April 1999, pp: 68-72.
- **Isman M.B., 2000.** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop prot.* 19, pp: 603-608.
- **Isman M.B., 2000.** plant essential oils for pest and disease management. *Crop prot.* 19, pp: 603-608
- **Isman, MB., 2002.** Problèmes et perspectives de commercialisation des insecticides d'origine botanique. *In.* Regnault-Roger, C, Phellogène, B J.R, Vincent C 2002. *Biopesticides d'origine végétale.* Tec et Doc, Paris, p : 301-312.
- **Jacobson M., 1989.** Botanical pesticides, past present and future *In* Arnason JT. *et al.* (Ed.). *Insecticides of plant origin.* Washington, D.C.:American Chemical Society Symposium, series 387, p. 1-10.
- **Jaenson, T.G., Palsson, K., Borg-Karlson, A.K., 2006.** Evaluation of extracts and oils of mosquito (Diptera: Culicidae) repellent plants from Sweden and Guinea-Bissau. *J. Med. Entomol.* 43, 113–119.
- **Jan V. et Jiri S., 1987.** Illustrations de Frantisek servera. *Plantes médicinales.* 7eme édit. GRUND Edit. Paris, 319p.
- **Janzen H.H., Desjardins R.L., Asselin J.M.R. et Grace B. ,1998.** La santé de l'air que nous respirons .Agriculture et Agroalimentaire, Ottawa, Canada.

- **Jawich D., 2006.** Etude de la toxicité de pesticides vis-à-vis de deux genres de levures : approche cinétique et moléculaire. Thèse Doc. I .N.P. de Toulouse, 134 p.
- **Keïta S.M., Vincent Jean-Pierre C., Schmit J.P., Ramaswamy S. et Bélanger A., 2000.**Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research* 36:355-364.
- **Kim S. W., Kubec R., et Musah R.A., 2006.** Antibacterial and antifungal activity of sulfurcontaining compounds from *petiveria alliacea* l. *journal of ethnopharmacology* 104, pp: 188-192.
- **Klein K.C. et Waterhouse D.E., 2000.***Distribution and Importance of Arthropods Associated with Agriculture and Forestry in Chile*, ACIAR Monograph Eds. 68, Canberra, Australia, 231p.
- **Koch M., 1984.***The identification of butterflies* , Neumann Verlag Eds. Leipzig, Germany
- **Kranz J., Schmutterer H., Kochw., 1977.** Diseases, pests and weeds in tropical crops”, Paul Parey, Berlin, Allemagne, 342-343.
- **Lahlou M., 2006.** “Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils.” *Phytotherapy Research* 18. 435-448.
- **Lamiri A., Lhaloui S., Benjilali B. et Berrada M., 2001.** Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, *Mayetiola Destructor* (Say). *Field Crops Res.*, 71, 9-15.
- **Langenheim J.H., 1969.** Amber: a botanical inquiry. *Science*. 163(872), 1157-1169.
- **Larson, R.O., 1989.** The commercialization of neem. pp. 155-168. *In* M. Jacobson. *Focus of Phytochemical Pesticides*. Vol. 1 The neem tree. CRC Press Boca Raton, Fla.
- **Leclant F., 1982.** Les effets nuisibles des pucerons sur les cultures”, *Jour. D’information et études sur les pucerons des cultures*, Ed. A.C.T.A., Paris, 37-56.
- **Loziene K., Vauciunine J. et Venskutonis P., 1998.**Chemical composition of the essential oil of creeping thyme (*Thymus serpyllum* L.) growing wild in Lithuania. *Planta Medica*, 64, 772-773.
- **Matsumura F., 1975.**Toxicology of insecticides. Plenum Press. New York.
- **Milne-Redhead E., 1990.** The BSBI Black poplar survey, 1973-1988 ,*Watsonia*, 18 : 1-5.
- **Mooney, PA, van Staden, J., 1985.** Effect of seaweed concentrate on the growth of wheat under conditions of water stress. *South Afric. J Sci* 81: 632-633.
- **Morallo-Rejesus, B., 1987.** Botanical pest control research in the Philippines. *Philipp. Entomol.* 7, p. 1–30.

- **Mostefaoui H., 2009.** Effet de la qualité de la plante hôte sur l'allocation des réserves énergétiques des pucerons dans un verger d'agrumes en Mitidja centrale", Thèse Magistère, Inst. Agro. Univ. Saad dehele, Blida, Alger, 207p.
- **Muñoz R. et Beéche M., 1995.** Antecedentes sobre dos especies de reciente identificación para Chile (Homoptera: Aleyrodidae, Aphididae) ,*Rev.Chilena Ent.*, 22 : 89-91.p.125.
- **Nardo E.A.D., De Costa A.S. et Lorencao A.L. ,1997.** *Melia azadirach* extract as an antifeedent to *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *FloridaEntomol.* **80** (1), p. 92–94.
- **NAS, 1969.** Insect Pest Management and Control. National Academy of Science. Publ. 1695. Washington, D.C.
- **Nauen R. et Elbert A., 2003.** European monitoring of resistance to insecticides in *Myzus persicae* and *Aphisgossypii* (Homoptera: Aphididae) with special reference to imidacloprid. *Bull. Entomol. Res.*, **93**, 47-54.
- **Naves V., 1974.** Technologie des parfums naturels. Ed. Masson Paris in Koba K. 2003. Thèse de Doctorat, Université de Lomé 172p.
- **Negi P.S., Chauhan A.S., Sadia G.A., Rohinishree Y.S. et Rameteke R.S., 2005.**Antioxidant and antimicrobial activity of various seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) seed extracts. *Food. Chem.*, 92, pp: 119-124.
- **Nielsen P.V. et Rios R., 2000.**Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs, and the possible application in active packaging, with special emphasis on mustard essential oil. *Int. J. Food Microbiol.*, 60, 219-229.
- **Nobert J., 1983.** Guide point vers, épices et plantes aromatiques description, culture, soin, propriétés et emplois de 50 aromates culinaires. ANDRE FREY Edit. Paris 123p.
- **Ofuya TL. , 1986.** Use of wood ash, dry chilli pepper fruits and onion scale leaves for reducing *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) damage in cowpea seeds during storage. *J. Avr. Sci.* 107 (2), p. 467–468.
- **Onu, I., Aliyu, M., 1995.** Evaluation of powdered fruits of four peppers (*Capsicum spp.*) for the control of *Callosobruchus maculatus* (F.) on stored cowpea seed. *Int. J. Pest Manag.* 41 (3), p. 143–145.
- **Owusu E. O., 2001.** Effect of some Ghanaian plant components on control of two stored product insect pests of cereals. *Journal of Stored Products Research*, 37: 85-91.
- **Padilha de Paula, J., Gomes-Carneiro, M.R., Paumgarten, F.J.R., 2003.** Chemical composition, toxicity and mosquito repellency of *Ocimum selloi* oil. *J. Ethnopharmacol.* 88, 253–260.
- **Panizzi L., Flamini G., Gioni P.L. & Morelli I., 1993.** Composition and antimicrobial properties of essential oils of four Mediterranean lamiaceases. *J. Ethnopharmacology*, **39**, 169-170.
- **Papageorgio V., 1980.** GLC-MS computer analysis of the essential oil of *Thymus capitatus*. *Planta Medica Suppl.*, 29-33.

- **Paris M, Aurabielle M., 1981.** Agbégé de matière médicale, pharmacognosie. Ed. Masson in Koba K. 2003. Thèse de Doctorat, Université de Lomé 172p.
- **Park, B.S., Choi, W.S., Kim, J.H., Lee, S.E., 2005.** Monoterpenes from thyme (*Thymus vulgaris*) as potential mosquito repellents. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 21, 80–83.
- **Paster N., 1990.** Inhibitory effect of oregano and thyme essential oils on molds and foodborne bacteria. *Lett. Appl. Microbiol.*, 11, 33-37.
- **Pellecuer J., Jacob M., Simeon de Buechberg M. et Allegrini J., 1980.** Therapeutic value of the cultivated mountain savory (*Satureia Montana* L.). *Acta Hortic*, 96, 35-39.
- **Perut M., 1986.** Informations chimiques n° 272 129-135 in Koba K. 2003. Thèse de Doctorat, Université de Lomé 172p.
- **Pettersson, J., W. F. Tjallingii, et al., 2007.** Host- plant Selection and Feeding. Aphids as Crop pests. H. F. van Emden and R. Harrington. Cambridge, CAB International: 87-113.
- **Powell G.C.R., Tosh et al., 2006,** "Host plant selection by aphids: Behavioral, evolutionary, and applied perspectives." *Annual Review of Entomology* **51**: 309-330.
- **Rana Sing N., 2007.** Biopesticides: an economic approach for pest management Orissa Review, April 2007. Plant protection, KVK, Rayagada, Gunupur.
- **Rebour H., 1966.** "Les agrumes", Manuel de culture des *citrus* pour le bassin méditerranéen, Ed. J.B. Baillier et Fils, Paris, 278p.
- **Regnault Roger C., Philogene B.J.R., 2002.** Biopesticides d'origine végétale. Editions Tec et Doc. Lavoisier.
- **Regnault-Roger C., 2002.** De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième millénaire ? In Regnault-Roger C., Philogène B. J. R. Vincent C., Biopesticides d'origine végétale. Lavoisier Tec & Doc, Paris, 19-40.
- **Regnault-Roger C., Hamraoui A., 1995.** Fumigant toxic activity and reproductive inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera), a Bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Journal of Stores Products Research* 31:291-299.
- **Regnault-Roger C., Philogene B.J.R. et Fabres G., 2005.** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Lavoisier Tec et Doc. Paris, 1013 p
- **Riba G. et Silvy C., 1989.** La lutte biologique et les biopesticides. In : La lutte biologique, dossier de la cellule environnement, n°5, INRA, pp : 49-54.
- **Richards W.R., 1972.** *The Chaitophorinae of Canada (Homoptera: Aphididae)*, *Memoirs of the Entomological Society of Canada* Eds. 87, Canada, N 87, 109p.
- **Roger C., Vincent C. et Coderre D., 1995.** mortality and predation efficiency of *coleomegilla maculata lengi* timberlake (coccinellidae) following application of neem extracts (*azadirachta indica* a. juss., meliaceae). *j. appl. entomol.* 119, pp: 439-443.

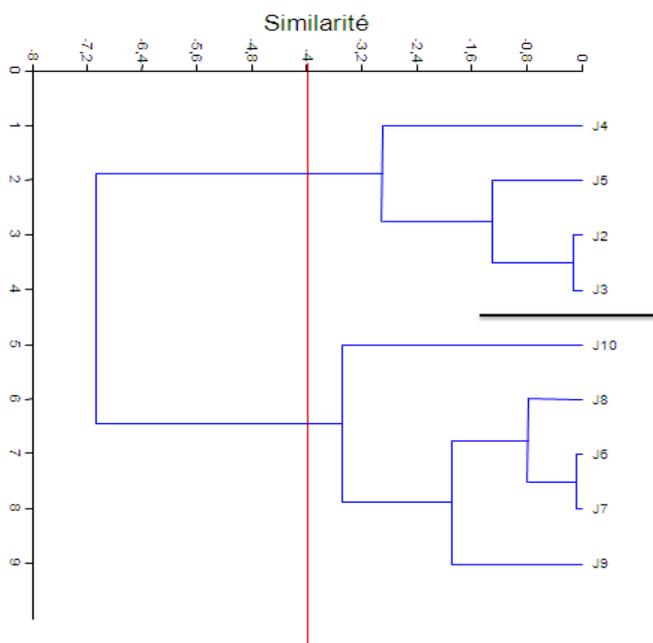
- **Saez F., 1998.** Variability in essential oils from populations of *Thymus hyemalis* Lange in southeastern Spain. *J. Herbs Spices Med. Plants*, 5, 65-76.
- **Saighi S., 1998.** "Biosystematique des aphides et leurs ennemis naturels dans deux stations d'étude", Le jardin du Hamma et le parc de l'I.N.A d'El Harrach", *Th. Mag. Agro. Inst. Nat. Agro. El Harrach, Alger*, 321p.
- **Satrani B., 2008.** Composition chimique et activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Cladanthus mixtus*. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 146, 85-96.
- **Schmutterer H., 1992.** Higher plant as sources of novel pesticides. pp. 3- 15. *In D. Otto and B. Weber. Insecticides: Mechanism of Action and Resistance. Intercept Ltd Andover, UK.*
- **Scriber J. et Slansky J.R., 1981.** The nutritional ecology of immature insects, *Annu. Rev. Entomol.*, 26: 183-211.
- **Sekkat A., 2007.** Les pucerons des agrumes au Maroc. Article: Pour une agrumiculture plus respectueuse de l'environnement, ENA, Maroc, 26p.
- **Sell, C.S. 2006.** The Chemistry of Fragrance. From Perfumer to Consumer. 2nd edition. The Royal Society of Chemistry. Cambridge. 329 p.
- **Silvy, C. et Riba, G., 1999.** Biopesticides contre maladies, insectes, mauvaises herbes. Les dossiers de l'Environnement, INRA 19, 157-200.
- **Sivropoulou A., 1996.** Antimicrobial and cytotoxic activities of origanum essential oils. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 1202-1205.
- **Smallfield B., 2001.** Introduction to growing herbs for essential oils, medicinal and culinary purposes. *Crop & Food Research. Number 45*, 4p.
- **Soylu, S., Yigitbas, H., Soyly, E.M., Kurt, S., 2007.** Antifungal effects of essential oils from oregano and fennel on *Sclerotinia sclerotiorum*. *J. Appl. Microbiol.* 103, 1021–1030.
- **Spichiger R.O., Savolainen V., Figeat M. et Jeanmonod D., 2004.** Botanique systématique des plantes à fleurs. Ed. Presses Polytechniques et universitaires Romandes, 3ième édition, 413p.
- **Stephenson WM, 1966.** The effect of hydrolysed seaweed on certain plant pests, and diseases. *In Proc. 5th International Seaweed Symposium 5*: 405-415, Halifax, Canada.
- **Suresh G., Narasimham N.S., Masilamani S., Partho P.O., Gopalakrishnan G., 1997.** Antifungal fraction and compound from uncrushed green leaves of *Azadiractha indica*. *Phytoparasitica*, 25 (1) : 33-39.
- **Taylor C.E., 1958.** The black citrus aphid", *Rhodesia Agricultural Journal*: 55, 192-1 94.
- **Tchaker F. Z., 2011.** Évaluation des effets des extraits aqueux d'*inula Viscosa* en combinaison avec un bio-adjuvant sur La qualite phytochimique, la densite des Sexupares de *chaitophorus leucomelas* (*homoptera: aphididae*) et sur la reprise Biocenotique. , Mémoire de magistère en sciences agronomiques, Faculté d'Agronomie, Université Saad Dahleb, Blida, Algérie, 242p.

- **Thiollet M., 2004.** Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole. Thèse. Doc. Agro., INPL, Lorraine, France.
- **Trematerra, P., Sciarretta, A., 2002.** Activity of chilli, *Capsicum annum* L. var. *acuminatum*, on stored product insects *Oryzaephilus surinamensis* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). *IOBC/wprs Bull.* **25** (3), p. 177–182.
- **Trombetta D., 2002.** Study on the mechanisms of the antibacterial action of some plant, β unsaturated aldehydes. *Lett. Appl. Microbiol.*, **35**, 285-290.
- **Tumen G., Baser K.H.C., Demirci B. et Ermin N., 1998.** The essential oils of *Satureja coerulea* Janka and *Thymus aznavourii* Velen. *Flavour Fragrance J.*, **13**(1), 65-67.
- **Vandermoten S., Cusson M., Francis F. et Haubruge E., 2008.** La biosynthèse des isoprénoïdes chez les pucerons : une cible potentielle de nouveaux bio-insecticides ?. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **12**(4), 451-460
- **Vernet Ph. et Gouyon P.H., 1979.** Le polymorphisme chimique de *Thymus vulgaris*. *Parfums, cosmétiques, arômes*, n°30.
- **Via S., 1990.** "Ecological genetics and host adaptation in herbivorous insects: The experimental study of evolution in natural and agricultural systems." *Annual Review of Entomology* **35**: 421-446.
- **Vila R., 1995.** Composition and study of the variability of the essential oil of *Thymus funkii* Cosson. *Flavour Fragrance J.*, **10**, 379-383.
- **Vincent C. et Coderre D., 1992.** La lutte biologique. Tec et Doc Lavoisier. 12p.
- **Ware G.W., 1991.** An introduction to insecticides, Radcliffe National IPM textbook, <http://ipm-worl.umn.edu/chapters/ware.html>.
- **Weinzeirl R., 1998.** Botanicals insecticides, soaps and oils. pp. 101-121. In JE Rechcigl and NA Rechcigl. *Biological, Biotechnological Control of Insects Pest* in. Lewis Publi., Boca Raton, Florida.
- **Whapman C., Jenkins T., Blunden G. et Hankins S.D., 1994.** The role of seaweed extracts, *Ascophyllum nodosum*, in the reduction in fecundity of *Meloidogyne javanica*. *Fundam Appl Nematol* **17**: 181-183.
- **Williams, L.A.D. et Mansingh A., 1993.** Pesticidal potential of tropical plants - I. Insecticidal activity of leaf extracts of sixty plants. *Insect Sci. Applic.* **14** (5), p. 697–700.
- **Wu Y., Jenkins T., Blunden G., von Mende N. et Hankins S.D., 1998.** Suppression of fecundity of the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in monoxenic cultures of *Arabidopsis thaliana* treated with an alkaline extract of *Ascophyllum nodosum*. *J Appl Phycol* **10**: 91-94.
- **Yang, Y.C., Lee, H.S., Clark, J.M., Ahn, Y.J., 2004.** Insecticidal activity 2168 of plant essential oils against *Pediculus humanus capitis* (Anoplura: 2169 Pediculidae). *J. Med. Entomol.* **41**, 699–704.
- **Zahraoui M.A., 2010.** Effet des Variations Biogéographiques sur les Réponses Métaboliques et la Structuration Populationnelle de *Chaitophorus leucomelas*

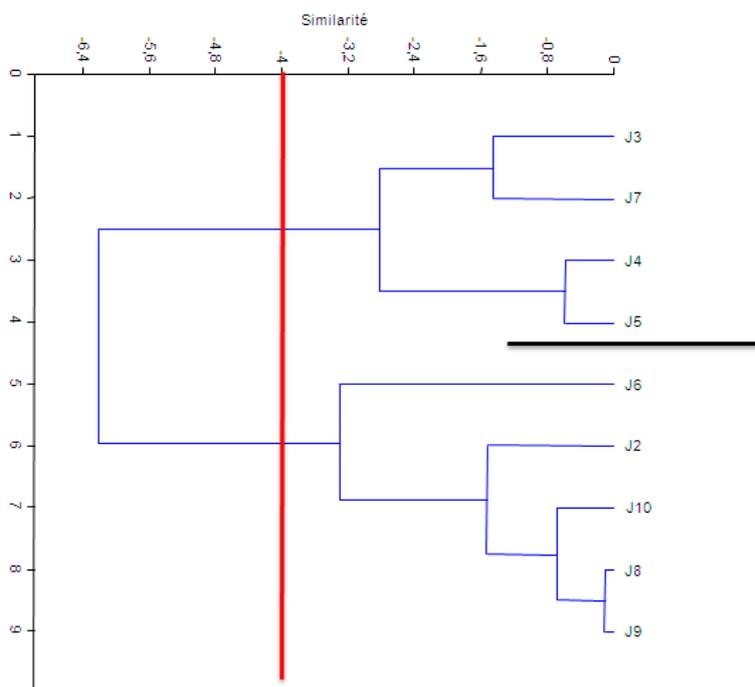
(KOCH, 1854) (*HOMOPTERA : APHIDIDAE*), sur le Peuplier noir (*Populus nigra*), Dans La Région De Médéa (Atlas Tellien) Et Zéralda (Littoral) , Thèse Ingénieur d'Etat en Agronomie, Faculté d'Agronomie, Université Saad Dahleb, Blida, Algérie, 76p.

- **Zibokere, DS., 1994.** Insecticidal potency of red pepper (*Capsicum annum*) on pulse beetle (*Callosobruchus maculatus*) infesting cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds during storage. *Indian J. Agr. Sci.* 64 (10), p. 727–728.

ANNEXES



Annexe 1 : classification hiérarchique ascendant (C.H.A.) sur agrumes



Annexe 2: classification hiérarchique ascendant (C.H.A.) sur peuplier

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| REMERCIEMENTS | |
| DEDICACES | |
| SOMMAIRE | |
| LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS | |
| LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES | |
| RESUME | |
| ABSTRACT | |
| ملخص | |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| CHAPITRE I LES HOMOPTERES..... | 3 |
| Introduction..... | 3 |
| 1. Systématique..... | 3 |
| 2. Caractéristiques d'Aphides..... | 3 |
| 3. Polymorphisme et polyphenisme..... | 4 |
| 4. Le cycle du puceron..... | 4 |
| 5. Dégâts des pucerons..... | 6 |
| 6. Plantes hôtes..... | 6 |
| 7. Les principales espèces Aphidiennes des agrumes..... | 8 |
| 7.1. <i>Toxoptera aurantii</i> | 8 |
| 7.2. <i>Aphis citricola</i> V.D.G. = <i>Aphis spiraecola</i> Patch. 1914..... | 8 |
| 7.3. <i>Aphis gossypii</i> Glov. (1877)..... | 9 |
| 8. Le cycle de développement des pucerons..... | 9 |
| 9. Le puceron du peuplier « <i>Chaitophorus leucomelas</i> »..... | 10 |
| 9.1. Position systématique..... | 10 |
| 9.2. Répartition géographique..... | 10 |
| 9.3. Cycle de vie..... | 10 |
| 10. Les moyens de lutte contre les pucerons..... | 11 |
| CHAPITRE II LES PESTICIDES ET LES BIOPESTICIDES..... | 13 |
| Introduction..... | 13 |
| 1. Les pesticides..... | 13 |
| 1.1. Les pesticides à usage agricole..... | 13 |
| 1.2. Classification des molécules..... | 14 |
| 1.3. Inconvénients de la lutte chimique..... | 15 |
| 2. Les biopesticides..... | 16 |
| 2.1. Définition..... | 16 |
| 2.2. Les différents types de biopesticides..... | 16 |
| 2.3. Les avantages..... | 17 |
| 2.4. Les inconvénients..... | 17 |
| 3. Les insecticides d'origine botanique..... | 17 |
| 3.1. Les biocides inertes..... | 17 |
| 3.2. Les extraits aqueux..... | 18 |
| 3.3. Les huiles essentielles..... | 18 |
| 3.3.1. Définition, localisation et répartition des huiles essentielles..... | 19 |
| 3.3.2. Extraction des huiles essentielles..... | 19 |
| 3.3.3. Composition chimique et rôles des huiles essentielles..... | 20 |
| 3.3.4. Mode d'action des huiles essentielles..... | 21 |
| 3.3.5. L'huile essentielle de thym..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 3.3.6. L'huile essentielle d'Origan..... | 22 |
| CHAPITRE III MATERIEL ET METHODES..... | 24 |
| Objectifs du travail..... | 24 |
| 1. Présentation de la région d'étude..... | 24 |
| 1.1. Situation géographique..... | 24 |
| 1.2. Bioclimat de la région d'étude..... | 25 |
| 2. Présentation du site d'étude et conditions expérimentales..... | 25 |
| 3. Matériel d'étude..... | 27 |
| 3.1. Matériel animal..... | 27 |
| 3.2. Produits phytosanitaires utilisés..... | 28 |
| 4. Méthodes d'étude..... | 29 |
| 4.1. Schéma directeur de l'étude..... | 29 |
| 4.2. Application des traitements biologiques et chimiques..... | 29 |
| 4.3. Application des traitements sur peuplier..... | 29 |
| 4.4. Application des traitements sur agrumes..... | 30 |
| 4.5. Technique de prélèvements et d'évaluation..... | 31 |
| 5. Analyses statistiques..... | 31 |
| 5.1. Analyses de la variance..... | 31 |
| 5.2. Analyses multivariées..... | 31 |
| CHAPITRE IV RESULTATS..... | 32 |
| 1. Tendance globale des effets des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes..... | 32 |
| 2. Evaluation de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes..... | 35 |
| 3. Effets comparés de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance des populations de pucerons d'agrumes..... | 36 |
| 4. Tendance globale des effets des traitements biologiques et phytosanitaires sur l'abondance de la population de puceron du peuplier..... | 40 |
| 5. Evaluation de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaires sur la population de puceron du peuplier..... | 42 |
| 6. Effets comparés de l'efficacité des traitements biologiques et phytosanitaire sur l'abondance de la population de puceron du peuplier..... | 43 |
| CHAPITRE V DISCUSSION..... | 47 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 51 |
| FERERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 53 |
| ANNEXES..... | 65 |