



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Agronomiques.

Spécialité : Protection des végétaux.

Intitulé

Effet insecticide de trois huiles essentielles formulées (*Thymus pallescens* Noë ; *Pinus halepensis* Mill ; et *Artemisia herba alba* Asso.) sur les larves L₁ de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (1775).

Présenté par : GASMI Khawla
HERNOUF Zineb

Soutenu le : 02-07-2019 ;

Devant le jury :

Président :	Mme KELALECHE Haizia	Université de BBA
Encadrant :	Mme ZIOUCHE Sihem.	Université de BBA
Examineur :	M ^r MOUTASSEM Dahou.	Université de BBA
Invité :	Mme BAALI Faiza.	Université de BBA

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

A l'issue de ce travail, nous remercions avant tout DIEU, tout puissant, de nous avoir donné La Volonté, courage et patience pour terminer ce travail.

On tient à remercier sincèrement Madame ZIOUCHÉ Sihem, qui en tant qu'encadreur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

Merci aussi à tous nos enseignants. On leur exprime notre profonde sympathie et on leur souhaite beaucoup de bien.

Je remercie les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de juger ce travail, je vous en suis très reconnaissante et en espérant être à la hauteur de votre confiance.

Mes sincères remerciements à Mme. KLALACHE H., pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de mon soutenance.

Je remercie également Mr. MOUTASSEM.D, pour l'honneur qu'il m'a réservé d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également Melle BAALI.F, pour l'honneur qu'il m'a accordé en acceptant l'invitation.

J'adresse mes remerciements également aux forestiers pour leur contribution durant la période d'expérimentation

A mes parents, pour leur soutien sans faille, leur patience et leur confiance,

A toute ma famille, pour leur amour, parce qu'ils ont toujours été là et qu'ils seront toujours là, je vous aime.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

... A vous tous, merci.



Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

*A ma mère qui m'insuffler la volonté de Toujours aller de l'avant,
son amour et de sacrifice, d'encouragement, sans laquelle je ne serais
pas ici aujourd'hui.*

*A mon père pour leur dévouement, leur amour, leur sacrifice et leur
encouragement*

*A mon frère et sœurs qui m'ont toujours Soutenu en faisant preuve de
grande patience.*

A tous mes amis exceptionnellement Amel et Zineb

*Mes camarades de promotion de 2eme année master (2018-2019) sans
exception.*

*Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près Ou de loin à la réalisation
de ce travail exceptionnellement Faiza*

Khawla



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents avec toute ma reconnaissance :

A ma chère belle-mère qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteins ce niveau et pour ses nombreux sacrifices consentis pour mon éducation et l'affection qui m'ont éclairé le chemin du succès.

A mon cher frère Hocine qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort ; aucun mot ne peut suffire pour te remercier

A mes frères : **Samire et Imad**

Et mes chères sœurs : **Nassira ;louisa salima et loubna**

À mes chères amis : **Ishek ;fatima et khawla**

À *Mme Ziouche*

Qui nous a apporté une aide indispensable dans nos travaux, je vous remercie de nous avoir poussé dans la bonne voie, celle du travail et de la patience

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis MERCI.

Zineb

Liste des tableaux

Tableau 3.I: G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle Formulée pin d'Alep (*pinus halpansis*) sur les populations résiduelles de chenille du pin

Tableau 3. II : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle Formulée d'Artrmisia sur les populations résiduelles de chenille du pin

Tableau 3. III : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle Formulée de thym sur les populations résiduelles de chenille du pin

Tableau 3.IV: G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée de thym et de l'insecticide sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff

Tableau 3.V : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée de thym et de l'insecticide sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Tableau 3.VI : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* Mill et de l'insecticide sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff

Tableau 3.VII : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée de la citronnelle et de l'insecticide sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Tableau 3.VII : G.L.M. appliqué aux essais de traitement à base des huiles essentielles étudiées de *Pinus halepensis* Mill et *Artemisia herba alba* Asso. Et *Thymus pallescens* Noé., sur les populations résiduelles des larves L₁ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Liste des figures :

Fig. 1.1 : Manchons de ponte de la processionnaire du pin	03
Fig. 1.2 : Les stades larvaires de la processionnaire du pin.....	04
Fig. 1.3 : La procession de nymphose de la processionnaire du pin. ((a) Procession de chenilles processionnaires du pin, (b) Chenilles processionnaires du pin cherchant à s'enfourir).....	05
Fig. 1.4: Chrysalide mâle (à gauche) et chrysalide femelle (à droite) extraites de leur cocon.....	06
Fig. 1.5 : Papillon mâle (a) et femelle (b) de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	06
Fig. 1.6: Cycle de vie de la processionnaire du pin (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	07
Fig. 1.7: Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde.....	09
Fig. 1.8: Carte représentative de l'Aire de répartition du Pin d'Alep en Algérie.....	10
Fig. 1.9: Répartition mondiale de la chenille processionnaire du pin d'Alep.....	13
Fig. 1.10: Distribution de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en Algérie en relation avec la distribution des espèces conifères.....	13
Fig. 1.11: Dégâts de la chenille processionnaire du pin.....	16
Fig. 1.12: Spore et cristal de la <i>Bacillus thuringiensis</i>	17
Fig. 1.13: Une grande diversité de pièges à phéromones.....	18
Fig. 1.14: Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite.....	18
Fig. 1.15 : Traitement microbiologique par hélicoptère ou par pulvérisateur en milieu périurbain	22
Fig. 1.16: Chenilles mortes après traitement au BtK. La disposition particulière des chenilles est également observée lors d'un traitement biologique viral.....	23
Fig .2.1: la forêt de Boumergued.....	26
Fig. 2.2: Le foret des Bibans.....	26
Fig. 2. 3: Pré-nids et larves L ₁ de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> .Schiff.....	27
Fig. 2. 4: <i>Thymus pallescens</i> L	28
Fig. 2. 5: <i>Artemisia herba alba</i> Asso.....	29
Fig .2. 6: <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	30
Fig .2.7 : Appareil d'hydrodistillation de type clevenger.....	31
Fig . 2. 8: L'insecticide conventionnel (Lambda-cyhalothrine 5%).....	32
Fig .2. 9: Dispositif expérimental.....	33
Fig. 3.1: Effet de l'huile essentielle du pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i>) sur les populations Résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en fonction du temps et des doses	36
Fig .3.2 : Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de <i>Pinus halepensis</i> et l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	37

Fig. 3.3: Effet de l'huile essentielle de l'armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>) sur les populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en fonction du temps et des dose.....	38
Fig .3.4. Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de <i>Pinus halepensis</i> et l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	39
Fig .3.5: Effet comparé des facteurs doses des traitements et temps d'exposition de l'huile essentielle formulée de <i>Thymus pallescens</i> sur la variation des populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	41
Fig. 3.6 : Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de <i>Thymus pallescens</i> et l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	42
Fig .3.7 : Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de <i>P. halepensis</i> , <i>A. herba alba</i> , <i>T. pallescens</i> et l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	43
Fig. 3.8 : Effet comparé de la toxicité des huiles essentielles étudiées sur la variation des populations résiduelles des larves L ₁ de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en fonction du type de traitement, dose appliquée et temps d'exposition.....	44

Liste des abréviations

< : Inférieur de.

>: Supérieur de.

%: Pourcentage.

ANOVA : Analyse de la variance.

BtK: *Bacillus thuringiensis* Kurstaki.

BBA: bordj Bou Arreridj.

C° : Degré Celsius.

Cm : centimètre.

D : dose.

F.A.O: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fig : Figure.

FNUF : Forum des Nations Unis sur les Forêts.

G.L.M: Modèle général linéaire.

HEF : Huile essentielle formulé

J : jour.

g/ha : gramme /hectare.

H : heurs.

Min : minute.

Mm : millimètre.

M : pourcentage de morts dans la population traitée.

Mt : pourcentage de morts dans la population témoin.

P.R : Population résiduelle.

Table des matières

✚ Remerciements	
✚ Dédicace	
✚ Liste des tableaux	
✚ Liste des figures	
✚ Liste d'abréviations	
✚ Introduction	01

CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. La processionnaire du pin d'Alep <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Denis & Schiff (1775).....	02
1.1. Systématique	02
1.2. Cycle biologique.....	02
▪ La ponte.....	03
▪ Les stades larvaires.....	03
▪ Chrysalides et vie souterraine.....	04
▪ Les processions de nymphose.....	05
▪ La vie de l'adulte.....	06
1.3. Bio écologie de la chenille.....	08
1.3.1. Plante hôte (<i>Pinus helvensis</i>).....	08
1.3.2. Systématique.....	08
1.3.3. L'aire de répartition	09
▪ Répartition dans le monde.....	09
▪ Répartition du pin d'Alep en Algérie	09
1.4. Facteurs écologiques agissant le développement de la chenille.....	10
1.4.1. Ensoleillement et radiation solaire.....	10
1.4.2. Température.....	11
1.5. Répartition géographique de la <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	12

1.6. Conséquences environnementales et dégâts forestiers.....	14
1.6.1. Conséquences écologiques.....	15
1.6.2. Conséquences économiques.....	15
1.7. La lutte contre la chenille processionnaire du pin.....	16
▪ La lutte biologique.....	17
▪ Lutte mécanique.....	19
▪ La lutte sylvicole.....	19
▪ La lutte chimique.....	19
1.8. Utilisation des huiles essentielles dans la lutte phytosanitaire.....	20
1.8.1. Activité biologiques des huiles essentielles.....	22
▪ Activité insecticide.....	22
▪ Activité microbiologique.....	23
✚ Bactériologique.....	23
✚ Virale.....	23

CHAPITRE 2: MATERIEL ET METHODES

2.1. Objectifs de l'étude.....	26
2.2. Etude de l'activité insecticide des différents types de traitement <i>in vitro</i>	26
2.2.1 Conditions expérimentales.....	26
2.2.2. Modèle biologique.....	26
2.2.3. Description botanique des plantes étudiées.....	26
▪ <i>Thymus pallescens</i> Noé.....	26
▪ <i>Artemisia herba alba</i> Asso.....	27
▪ <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	28
2.2.4. Procède d'extraction et de formulations des huiles essentielles.....	29
2.2.5. Préparation des traitements.....	30
▪ Préparation de la gamme de doses des huiles essentielles étudiées.....	30
▪ Préparation et application de l'insecticide conventionnel.....	30
2.3. Méthodes d'étude.....	31
2.3.1. Dispositif expérimental.....	31
2.4. Estimation de l'activité insecticide des huiles essentielles étudiés et de l'insecticide	32

• Calcul du pourcentage des Populations résiduelles.....	32
2.5. Analyse statistique.....	33

Chapitre 3. Résultats et Discussion

3.1. Evaluation de l'effet insecticide des huiles essentielles de <i>Thymus pallescens</i> Noé, <i>Pinus halepensis</i> Mill. Et d' <i>Artemisia herba alba</i> Asso. Sur les populations de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff. Au stade L ₁	34
3.1.1. Évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle du pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i>) sur les populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff en fonction du temps et des doses.....	34
3.1.2. Effet comparé de l'huile essentielle de <i>Pinus halepensis</i> Mill et de l'insecticide sur les populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	35
3.1.3. Évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle de l'armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>) sur les populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff en fonction du temps et des doses.....	36
3.1.4. Effet comparé de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba alba</i> et de l'insecticide sur les populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff	37
3.1.5. Évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle du thym (<i>Thymus pallescens</i>) sur les populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff en fonction du temps et des doses.....	38
3.1.6. Effet comparé de l'huile essentielle de <i>Thymus pallescens</i> et de l'insecticide sur les populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff	39
3.2. Effet comparé de la toxicité des huiles essentielles de <i>Pinus halepensis</i> , <i>Artemisia herba alba</i> , <i>Thymus pallescens</i> et de l'insecticide vis-à-vis des populations résiduelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff	40
Conclusion	
Références bibliographiques	
Résumés	



Introduction

Introduction

Les arbres forestiers sont les espèces clés structurant ces écosystèmes. Un changement dans leur composition et/ou abondance affectera l'ensemble d'un écosystème forestier, de sa biodiversité à ses facteurs abiotiques (Bentouati, 2006).

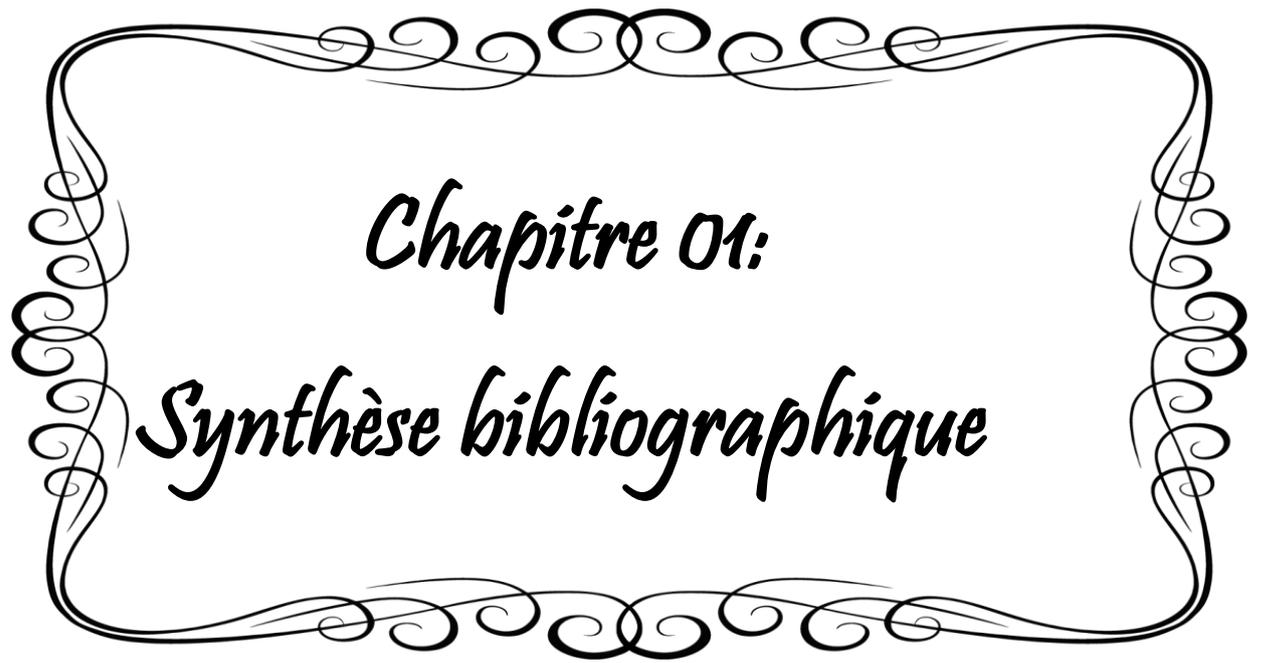
En Algérie la forêt de pin d'Alep couvre plus de 850 000 (Bentouati et Bariteau,2005) qui occupe une aire de répartition morcelée sur tout le pourtour méditerranéen (Nahal ,1985 ; Coombes, 1993).

La chenille processionnaire du pin (*Thaumepoa pityocampa* Schiff.) est l'un des ravageurs les plus redoutables de pin d'Alep. Les défoliations occasionnées par cet insecte affaiblissent les arbres attaqués et provoquent des pertes de croissance et de production considérable (Demolin et Rive ,1968 ; Laurent -Hervouët ,1986).

La consommation des aiguilles par les chenilles induit une diminution de la croissance de l'arbre, qui peut le rendre sensible aux attaques d'autres ravageurs comme les scolytes ou le pissode (Markalas , 1998). Les chenilles de processionnaire sont également connues pour leurs propriétés urticantes qui posent de nombreux problèmes sanitaires pour les humains et les animaux (Ducombs *et al.*,1981).

La lutte contre la chenille processionnaire du pin a pour principal objectif de maintenir les populations à des niveaux tolérables, afin de protéger la santé humaine et animale ainsi que les peuplements forestiers, mais n'a pas pour finalité son éradication (Leblond *et al.*, 2010). En raison des effets néfaste de la lutte chimique, les biopesticides représentent une bonne alternative aux produits chimique (Lamontagne ,2004 ; Rochefort *et al* ,2006 ; Deguine et Ferron ,2006). Les huiles essentielles offrent de nouvelles perspectives thérapeutiques. En effet, depuis quelques années, un intérêt accru est porté sur les huiles essentielles ayant montré des propriétés antibactériennes (Kempf *et al.*, 2011).

Dans le présent travail l'objectif visé est de tester et comparer l'effet insecticide de trois huiles essentielles *Thymus palleescens* Noé, *Pinus halepensis* Mill, et *Artemisia herba alba* Asso. À différent doses sur le stade larvaire L₁ de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) *in vitro* en comparaison avec et d'un insecticide chimique homologué.



Chapitre 01:
Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1. La processionnaire du pin d'Alep *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. (1775)

La Chenille processionnaire du pin est un insecte de l'ordre des Lépidoptères. Connues pour leur mode de déplacement en file indienne, les larves se nourrissent des aiguilles de diverses espèces de pin, provoquant un affaiblissement important des arbres et des allergies aux personnes exposées aux soies des chenilles (Robinet, 2006 ; Hodat et *al.*, 2012).

1.1. Systématique

La processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) appartient à l'ordre des lépidoptères ces insectes diurnes et nocturnes constituent l'unité systématique vaste, comprenant plus de 100 000 espèces (Chinery, 1982).

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1775. En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (*camp*a = chenille, *pityo*= pin) et *Thaumetopoea* signifie « qui vénère la verdure » (*thaumeto*= vénérer, *poea*= herbe).

Règne:*Animalia.*

Embranchement:*Arthropoda.*

Classe:*Insecta.*

Super-ordre:*Endopterygota.*

Ordre:*Lepidoptera.*

Famille:*Notodontidae.*

Sous-famille:*Thaumetopoeinae.*

Genre:*Thaumetopoea.*

Nom binominal : *Thaumetopoea pityocampa.* (Denis & schiffermüller; 1775).

1.2. Cycle biologique

T. pityocampa est une chenille à métamorphose complète qui comprend, le stade d'œuf, le stade larvaire, le stade de puppe (chrysalide) et le stade adulte.

- **La ponte**

Les œufs sont blancs, sphériques suivant une disposition hélicoïdale qui résulte du mouvement tournant de la femelle au cours du dépôt (Makhloufi, 2002). La ponte s'effectue sur l'extrémité des rameaux dès le jour qui suit la sortie des femelles du sol où elles se sont nymphosées. Les œufs sont groupés en manchons de 4 à 5 cm de long (Figure 1.1) et recouverts par des écailles beige clair qui les camouflent. La ponte peut compter de 70 à 300 œufs par femelles (Dajoz, 1998).



Figure 1.1 : Manchons de ponte de la processionnaire du pin (Lequet, 2010)

- **Les stades larvaires**

Les larves de types chenilles qui mesurent à l'éclosion 1,5 mm atteignant de 40 à 50 mm avant la procession de nymphose.

La vie larvaire : Les chenilles éclosent de 30 à 45 jours après l'apparition des adultes. Il existe 5 stades larvaires au cours desquels les chenilles se déplacent au fur et à mesure que les aiguilles du pin sont dévorées. Les jeunes chenilles tissent de légers fils de soies qui forment des pré-nids abandonnés à chaque déplacement. En pleine, la durée moyenne des divers stades L1 à L5 (Figure 1.2), est la suivante : L1 : 12 jours ; L2 : 14 jours ; L3 : 30 jours ; L4 et L5 : 30 à 60 jours pour chacun (Dajoz, 1998).



Figure 1.2 :Les stades larvaires de la processionnaire du pin (Demolinin Martin, 2005)

Le nid d'hiver est une bourse de soie volumineuse atteignant 20 cm où les chenilles passent la mauvaise saison. C'est un abri qui assure la cohésion du groupe et aussi un accumulateur de chaleur dont la température peut s'élever de 1.5 °C par rapport à l'air ambiant en une heure d'insolation.

- **Les processions de nymphose**

Elles ont lieu à la fin de la vie larvaire de février à mai. La procession est guidée par une chenille (Figure 1.3.a), le plus souvent une femelle qui se dirige dans la zone la plus éclairée et la plus chaude du voisinage. Les processions n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10 et 22 °C (Dajoz, 1998).

Les chenilles processionnaires ainsi que quelques autres espèces de Lépidoptères appartenant aux familles des Lymantrides (genres : Euproctis et Porthesia) ou des Lasiocampides (genres : Malacosoma et Eriogaster) vivent en groupe contrairement à la plupart des Lépidoptères. Ces groupes ont été qualifiés de groupements organisés ou des sociétés inférieures. Ils sont caractérisés par la coordination des activités individuelles en une activité collective qui se manifeste par la construction d'un nid. En outre, les chenilles tissent des pistes de soie servant au guidage des individus, se déplacent collectivement et se nourrissent en commun ce qui provoque des modifications importantes des métabolismes. Cette vie collective n'existe que chez la larve et elle disparaît chez l'adulte contrairement à ce qui se passe chez d'autres insectes comme les criquets dont les bandes constituent aussi des groupements organisés (Dajoz, 1998).

La conséquence du grégarisme est l'apparition d'un effet de groupe avec une augmentation du métabolisme et de la vitesse de croissance. Des expériences effectuées sur des chenilles de la processionnaire du pin isolées ou groupées par 20, ont montré que l'augmentation de poids soit de 2.5 à 3.8 fois plus rapide que les chenilles groupées et que la consommation d'aliment est plus importante. L'intensité respiratoire est également stimulée par le groupement. Cependant, une activité collective telle que le tissage du nid n'est pas indispensable pour la survie des chenilles. Celles-ci peuvent aussi se construire un nid individuel (Dajoz, 1998).

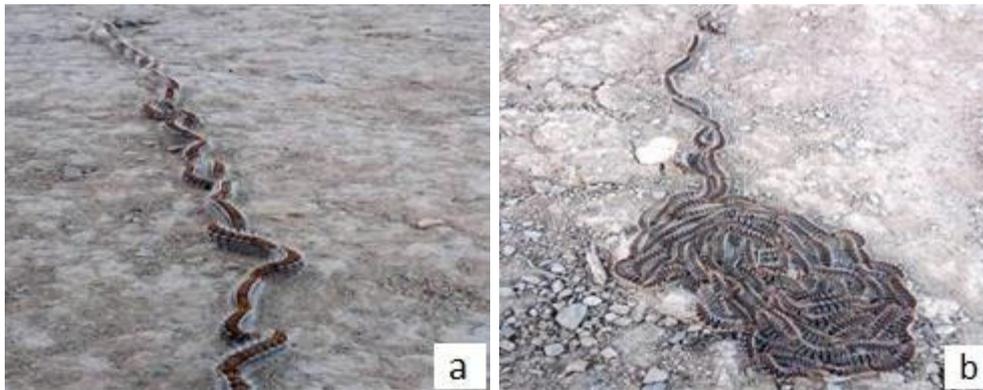


Figure 1.3 :La procession de nymphose de la processionnaire du pin.

(a) Procession de chenilles processionnaires du pin, (b) Chenilles processionnaires du pin cherchant à s'enfouir (Belaïssaoui et *al.*, 2017).

- **Chrysalides et vie souterraine**

La chenille pénètre de 5 à 25 cm dans le sol, c'est alors que l'activité de tissage du cocon de coloration brune commence. Ce cocon mesure 18 à 25 mm de long et 7 à 8 mm de diamètre (Figure 1.4). Quelques jours après la formation du cocon, la chenille se chrysalide, c'est la diapause (Schmidit, 1990). Après leur enfouissement de 2 à 20 cm sous-sol, les chenilles se tissent un cocon de nymphose. Une diapause plus ou moins longue selon les conditions climatiques correspond à un arrêt total de développement. Celui-ci reprend seulement un mois avant la date de sortie des adultes (Dajoz, 1998).



Figure 1.4 :Chrysalide mâle (à gauche) et chrysalide femelle (à droite) extraites de leur cocon (Martin, 2007)

- **La vie de l'adulte**

Les adultes appelés également papillons qui sont typiquement nocturnes ; ils ne peuvent survivre plus de 48 heures. Les papillons mâles (Figure 1.5.a) de 30 à 40 mm d'envergure sont de coloration grisâtre. Les ailes antérieures sont grises et présentent trois lignes transversales noires par contre les ailes postérieures sont blanchâtres. La tête et le thorax sont de couleur gris foncé, l'abdomen est gris brunâtre, les antennes sont bi pectinées et longues de 5 mm environ. Les femelles (Figure 1.5.b) sont de coloration plus claire et de taille plus grande, leurs antennes sont filiformes, l'abdomen est pseudo-cylindrique avec une touffe d'écaillés anales de couleur blonde de plus ou moins foncée. Les yeux composés sont volumineux et comportent un grand nombre d'ommatidies (Demolin, 1962).

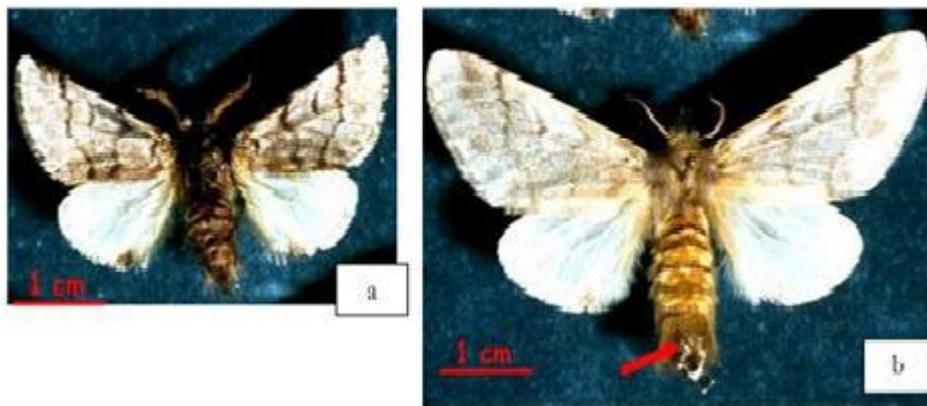


Figure 1.5. : Papillon mâle (a) et femelle (b) de *Thaumetopoea pityocampa* Shiff (DemolinInMartin, 2005)

Les femelles sortent de terre peu de temps avant le coucher de soleil en s'aidant des crêtes clarifiées qu'elles ont sur la tête. Elles s'installent en un endroit surélevé où elles restent immobiles, déploient leurs ailes puis, au bout de 2 à 4 heures d'inactivité, dévirginent leur armure génitale et deviennent attractives pour les mâles. L'accouplement dure près d'une heure. La femelle dépose ensuite ses œufs en commençant par la base des aiguilles du pin, chaque œuf étant recouvert d'un petit paquet d'écaillés que la pondreuse possède en abondance à l'extrémité de l'abdomen. La femelle fécondée ne s'arrête pour pondre que si elle rencontre un pin, seul végétal qui satisfait à ses besoins tactiles qui sont : un diamètre des aiguilles compris entre 1.5 et 2 mm, et une structure rugueuse permettant la fixation des griffes qui terminent les pattes. En absence de pins, les femelles peuvent effectuer des déplacements de plus de 2 km pour rechercher un lieu de ponte, ce qui explique que des pinèdes intactes puissent être rapidement envahies. Les papillons adultes ne vivent guère plus de 24 h (Dajoz, 1998).

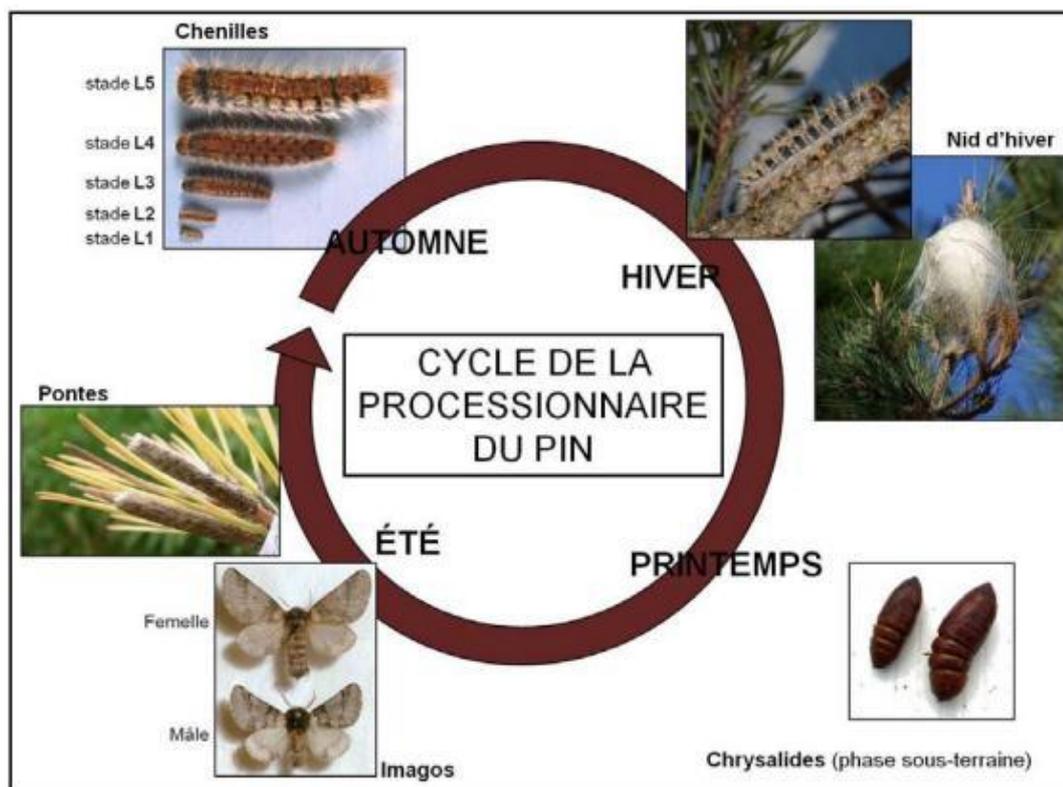


Figure 1.6: Cycle de vie de la processionnaire du pin (*Taumetopoea pityocampa* Shiff.) (Dulaurent, 2010).

1.3. Bio écologie de la chenille

1.3.1. Plante hôte (*Pinus halepensis*)

Le pin d'Alep est un arbre de seconde grandeur ayant une forme conique à l'état jeune (jusqu'à 20 ans), qui s'étale de plus en plus à l'état adulte prenant une forme arrondie. De taille moyenne rarement supérieur à 20 m avec une circonférence maximum de 3,50 m (Boudy, 1950 ; Nahal 1962). Le tronc est rarement rectiligne et la tige exploitable comme bois d'œuvre dépasse rarement 8 mètres, excepté en conditions écologiques favorables, on obtient des arbres droits pouvant donner 10 m de fût utilisable.

L'âge d'exploitabilité des pinèdes est de 80 ans, avec une production moyenne de 1,5 m³ /ha/an. En France, Couhert et Duplat (1993) ont obtenu selon la fertilité des stations, une production de 1 à 6 m³ /ha/an. En Algérie Kadik (1987) l'estimait à 4 m³ /ha/an dans le littoral, de 2 à 4 m³ /ha/an dans le Tell et de 1 à 2 m³ /ha/an au sub-saharien.

Ripert et al (2001) notait que la croissance du pin d'Alep dépend principalement du bilan hydrique local, de la topographie et des caractéristiques édaphiques. Mais c'est le climat qui joue aussi un rôle important à l'échelle régionale : les régions chaudes et humides sont les plus favorables à cette espèce.

1.3.2. Systématique

Selon Nahal(1962), le Pin d'Alep est une espèce appartenant au groupe, des *Halepensis* qui renferme cinq pins tous méditerranéen. Elle se classe comme suit :

Embranchement : Gymnospermes

Classe : Conifères.

Ordre : Coniférales.

Sous ordre : Abiétales.

Famille : Pinacées.

Genre : *Pinus*.

Espèce : *Pinus halepensis* Mill ,1767

Nom berbère : Tayda

Nom arabe : Sanouber El halabi

Nom vernaculaires : «senouber El-halabi » (arabe). « Tayda » (berbère). « Aleppo pine » (anglais). « Pinocaracso » (espagnol).

1.3.3. L'aire de répartition

- **Répartition du pin d'Alep dans le monde.**



Figure1.7 : Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde (Source : FAO ; 2012).

- **Répartition du pin d'Alep en Algérie.**

SchonenbergerinKadik (1987) notait que le pin d'Alep est une essence climacique des régions semi-arides. En Algérie (figure 1.8), il occupe le premier rang et constitue 35 % de la surface boisée, sa répartition est la suivante :

- à l'est, on le trouve dans la région de Tébessa.
- les plateaux constantinois et les Aurès. - dans la région d'Alger, il constitue des peuplements assez importants de l'ouest à l'est. On peut citer les forêts de Médéa.
- à l'ouest, il marque bien sa présence à Bel Abbès, à Saida et dans l'Ouarsenis.
- le pin d'Alep colonise même l'atlas saharien et il forme dans la région de Djelfa de beaux peuplements dans les Monts des Ouled-Nail.

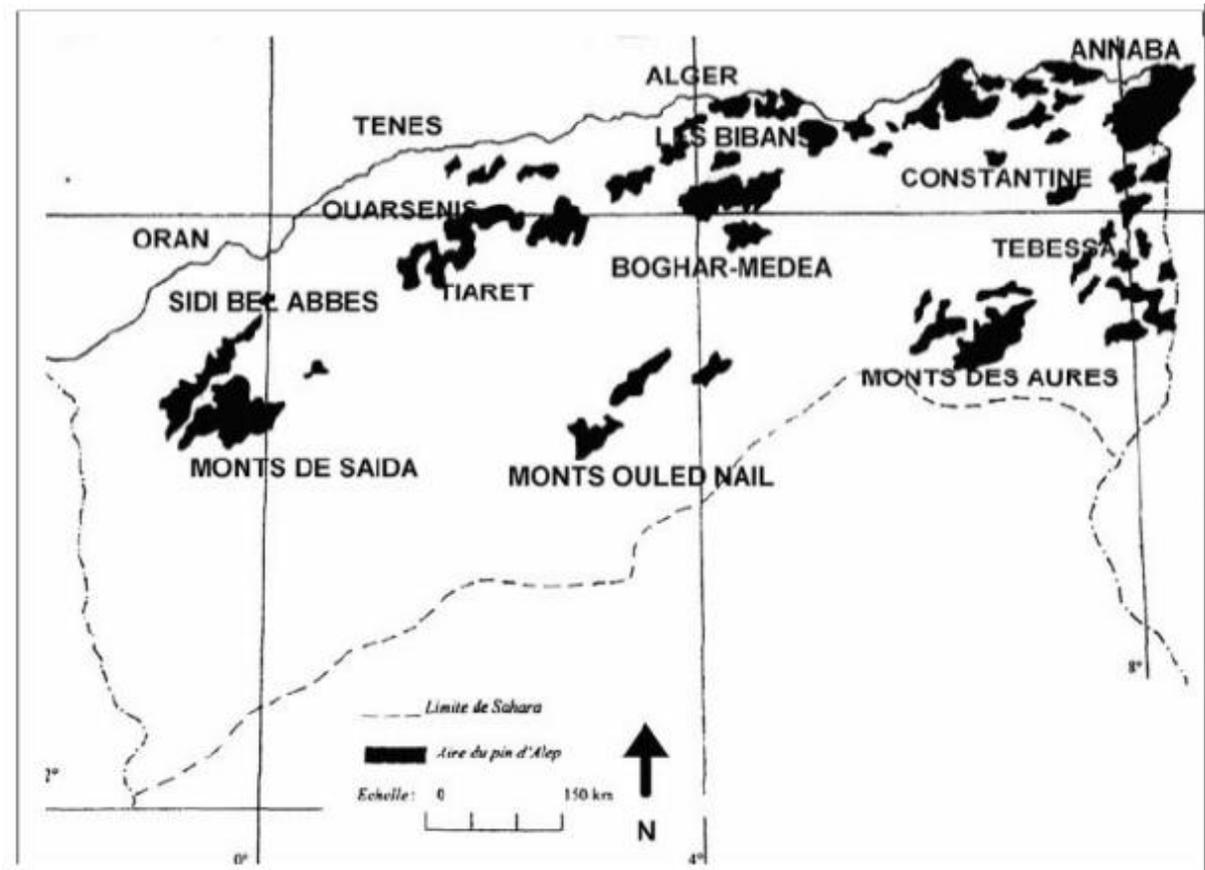


Figure 1.8: Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati, 2006).

1.4. Facteurs écologiques agissant le développement de la chenille

1.4.1. Ensoleillement et radiation solaire

Le rayonnement solaire est un déterminant important de la température de l'air, mais il a rarement été pris en compte dans les études traitant sa combinaison à la température corporelle des larves d'insectes. (Willmer et Unwin, 1981 ; Battistiet *al.*, 2005 ; Anthes, 2008). Le rayonnement solaire varie considérablement avec le microhabitat, en particulier les écosystèmes structurels complexes tels que les forêts (Vande Velde, 2011). Un fait intrigant est que les insectes semblent ajuster leur comportement thermorégulateur en sélectionnant des microhabitats afin de maximiser leur croissance (Coggan, 2011). Le rayonnement solaire est également une composante importante du changement climatique, bien que les effets locaux soient moins faciles à prévoir que la température en raison du nombre élevé de facteurs déterminant la nébulosité (Solomon, 2007).

La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (*Lepidoptera Notodontidae*), qui se nourrit des aiguilles de pin, est fortement dépendante du rayonnement solaire afin d'améliorer la température corporelle au cours du premier stade larvaire

(Ronnàs,2010).*Thaumetopoea pinivora* a une nette préférence pour les pinèdes dispersé en lisière de forêt et les arbres isolés de *Pinus sylvestris*L. Aimiet *al.* (2011) et Battistiet *al.*,(2013) ont émis l'hypothèse que le rayonnement solaire peut être un élément important de la distribution spatial de cette espèce comme cela semble être le cas pour l'espèce sœur *Thaumetopoea pityocampa*(Battisti,2005). Et d'autres Lépidoptères (Vande Velde *et al.*,2011).

1.4.2. Température

Les insectes herbivores étant généralement poïkilothermies sont très sensibles aux changements de leur environnement. La hausse des températures a généralement des effets sur temps de développement des insectes, le voltinisme (nombre de génération), de survie en hiver et la diapause. (Sinclair, 2003 ;Klapwijk,2012).

La dynamique des populations des ravageurs forestiers dépend souvent d'interactions complexes entre des facteurs de régulation abiotiques et biotiques (Sinclair, 2003 ; Klapwijk, 2012).

Au cours des dernières décennies, il a été démontré que le changement climatique avait des conséquences importantes sur les épidémies des ravageurs et la dynamique des populations de plusieurs espèces (Dale*etal.*, 2001 ;Solomon, 2007). L'un des exemples les mieux documentés de l'effet du réchauffement climatique sur la libération de seuils thermiques limitant la répartition des espèces est la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*(Denis &Schiffermüller, 1775) (*Lepidoptera:Notodontidae*), un défoliateur majeur du pin en Europe du sud (Hódar,2003).

Les populations de cet insecte d'origine méditerranéenne en développement se développent vers les plus hautes latitudes et altitudes du sud et à l'ouest de l'Europe hivernales (Battistiet *al.*, 2005). La zone de distribution potentielle de la chenille *T.pityocampa*est délimitée par plusieurs seuils de températures (Huchon etDemolin, 1971 ; Battisti,2005 ; Buffo *etal.*,2007). Donc, *T.pityocampa*penètre dans de nouvelles zones bioclimatiques et bioécologiques où elle pourrait affecter la faune résidente, par exemple, par de nouvelles interactions compétitives pour les ressources de pins, des effets indirects sur la qualité de l'hôte (Jactel, 2012 ; Marini, 2012).Effets en cascades dus aux ennemis naturels (Berggren,2009) et à des parasitoïdes partagé et à la transmission de virus/maladies. De

nombreux effets sont mal connus et peu documentés chez les insectes en expansion et des espèces envahissantes (Kenis, 2009).

Les chenilles processionnaires du pin sont capables de s'adapter afin de compenser d'éventuelles variations climatiques, comme l'illustre la construction et l'orientation du nid d'hiver, permettant d'allier effet de masse (atténuation de fortes variations de température par regroupement de nombreux individus) et insolation maximale. L'optimum de développement se situe entre 20 et 25°C, ce qui explique le développement hivernal de *Thaumetopoea pityocampa*. Le seuil critique inférieur, température basse à laquelle les chenilles meurent, est de -7°C pour un individu isolé, mais il est diminué à -16 °C lorsque les chenilles sont regroupées, grâce à l'effet bénéfique du rassemblement des individus (effet de masse) (Demolin, 1969 ; Hoch, 2009).

L'alimentation des chenilles dépend également de la température. Deux conditions sont en effet nécessaires : association d'une température supérieure à 9°C dans le nid durant le jour et d'une température de l'air supérieure à 0°C la nuit suivante (Battisti *et al.*, 2005). Si l'une de ces conditions n'est pas respectée, le taux de survie des chenilles diminue, car celles-ci ne sortent pas s'alimenter (Buffoet *et al.* 2007).

1.5. Répartition géographique de la *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

La répartition géographique de la chenille processionnaire du pin dépend de plusieurs facteurs écologiques, dont certains étudiés précédemment : l'ensoleillement, la photopériode, la température, l'altitude et la latitude. C'est pourquoi certaines zones géographiques sont plus favorables que d'autres au développement des chenilles processionnaires du pin. Les facteurs climatiques (gel, chaleur...), la présence de prédateurs et parasites, ainsi que la quantité et la qualité des ressources alimentaires (qui conditionnent notamment la fécondité des femelles) participent ainsi aux importantes variations de niveaux de populations, appelées « gradations ». En revanche, la réponse des autres espèces de *Thaumetopoea* au changement climatique reste peu connue ou un sujet de débat, et dans certains cas même leur répartition géographique actuelle est encore imprécise. Il y a longtemps, mais le changement climatique peut permettre à l'heure actuelle la création d'insectes dans les zones situées au-delà de l'aire de répartition naturelle de l'insecte (Robinet *et al.*, 2011).

A l'échelle mondiale, les chenilles processionnaires du pin sont présentes sur plusieurs continents : États-Unis, où elles ont tendance à pulluler et en Europe. Elles se sont

retrouvées plus particulièrement dans les pays méditerranéens (à l'exception de l'Égypte). Elles se sont retrouvées également en France, Grèce, Italie, Algérie, Albanie, Croatie, Liban, Maroc, Tunisie, Turquie, Espagne, en Suisse et en Yougoslavie (Turpin, 2006.). (Figure 1.9). Sa distribution en Algérie est représentée dans la figure 1.10.

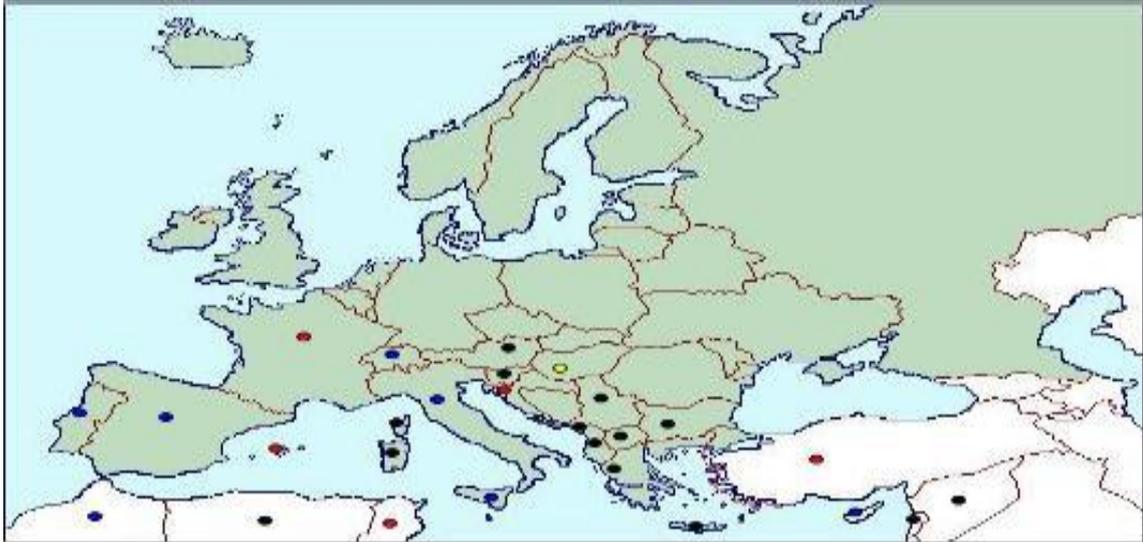


Figure 1.9: Répartition mondiale de la chenille processionnaire du pin d'Alep (Turpin., 2006).

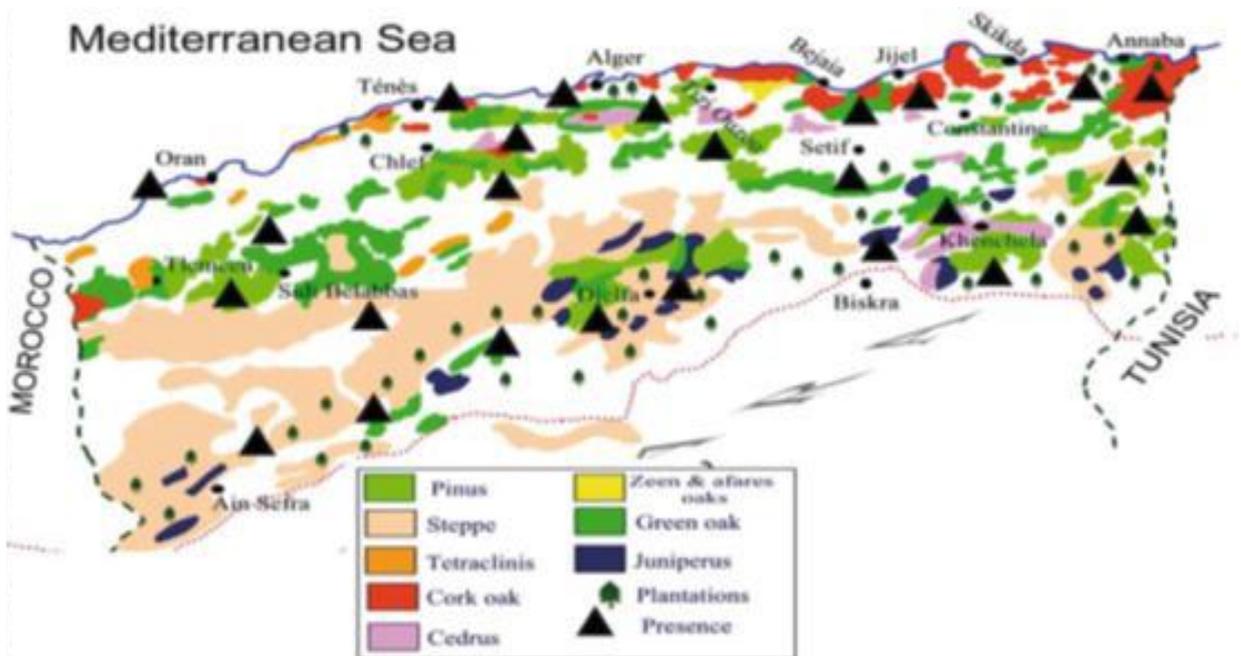


Figure 1.10: Distribution de *Thaumetopoea pityocampa* en Algérie en relation avec la distribution des espèces conifères (Chakali, 2014).

1.6. Conséquences environnementales et dégâts forestiers.

La chenille processionnaire du pin est l'un des principaux déflorateur des peuplements résineux de la zone méditerranéenne (Huchon et Demolin,1970 ; Demolin,1996). Les conséquences environnementales sont à la fois d'ordre esthétique (défoliations, présence de nids d'hiver...) et d'ordre économique (perte de croissance des arbres dans les plantations et forêts de production, parcs et jardins publics devenus inhospitaliers, notamment en raison des dégâts esthétiques et des risques d'urtication). Dans les forêts, la présence des chenilles aurait même provoqué la migration du gibier, fuyant les zones souillées par ces insectes (Demolin,1996 ; Scheiner, 2003).

En Algérie, depuis l'indépendance, l'accroissement des reboisements en pin d'Alep, *Pinus halepensis* L., a entraîné une prolifération de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., mettant en danger les jeunes reboisements (Gachi, 1996).

1.6.1. Conséquences écologiques.

Dès l'éclosion, à l'automne, les chenilles commencent à se nourrir des aiguilles de l'arbre hôte, puis les défoliations s'intensifient au cours de l'hiver. Les chenilles s'alimentent dans un premier temps des aiguilles à proximité de la ponte, puis s'éloignent progressivement au cours de leur développement larvaire. Les préjudices écologiques dépendent donc du stade d'évolution des chenilles (Turpin, 2006).

Les conséquences directes de la défoliation sont l'affaiblissement par diminution du pouvoir de photosynthèse et la perte de croissance des arbres tant en circonférence qu'en hauteur (Arnaldo *et al.* 2010). Une défoliation même totale ne provoque pas la mortalité des arbres atteints. Les chenilles ont donc une action néfaste sur la production et l'accroissement des arbres, mais pas directement sur la mortalité des pins (Lilian, 2016). Les mortalités d'arbres consécutives aux défoliations des chenilles processionnaires sont donc très rares et n'interviennent que si d'autres facteurs affaiblissent les pins (Rousselet,2008) avec un effet indirect, si les populations sont importantes, occasionnant une défoliation massive les arbres deviennent toutefois plus vulnérables aux ravageurs secondaires comme les scolytes ou le pissode (Markalas, 1998) et aux stress thermiques et hydriques (Martin,2005).

1.6.2. Conséquences économiques

Les conséquences économiques sont principalement liées aux pertes de croissance en forêt de production, dues aux défoliations massives par les chenilles processionnaires du pin qui peuvent se répercuter sur plusieurs années. Ainsi, d'après Morel (Morel, 2008), une année de forte Pullulation entrainera une perte économique d'une année complète de production de bois, étalée sur les 3 années suivant l'attaque.

1.7. La lutte contre la chenille processionnaire du pin

La lutte contre la chenille processionnaire du pin a pour principal objectif de maintenir les populations à des niveaux tolérables, afin de protéger la santé humaine et animale ainsi que les peuplements forestiers, mais n'a pas pour finalité son éradication. Il existe plusieurs techniques de lutte, dont l'utilisation varie selon le cycle biologique de l'insecte, lui-même dépendant de la localisation géographique et des conditions climatiques : les périodes de traitement, dépendantes du stade de développement de l'insecte. Il existe actuellement quatre principaux types de mesures de lutte contre ce ravageur : la lutte mécanique, la lutte chimique, la lutte microbiologique et les luttes alternatives (la lutte sylvicole, la lutte biologique et les différents outils de surveillance), ces dernières étant plus respectueuses de l'environnement (Leblond *et al.*, 2010).

La vision traditionnelle en forêt est que les insectes et agents pathogènes qui se nourrissent des plantes sont des agents destructeurs qui doivent être contrôlés pour protéger les ressources de la forêt. Toutefois, tant que sur le plan économique et environnemental, les interventions de lutte antiparasitaire doivent découler d'un besoin évident de gérer cet organisme nuisible, décision qui doit autant que possible être fondée sur des preuves scientifiques (Cayuela *et al.*, 2011).

- **La lutte biologique**

* **Les traitements aériens à base de BtK** : Les traitements insecticides microbiologiques à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki* (BtK) sont les plus employés. La cible est la chenille qui ingère le produit présent à la surface des feuilles, ce qui provoque sa mort. L'application du produit se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires. Ce traitement est respectueux de l'environnement puisqu'il ne persiste que très peu après application et il a une spécificité d'action étroite (Lépidoptères). Le BtK, utilisé en France dans la grande majorité des traitements forestiers contre les chenilles défoliatrices.

La faible persistance d'action sur le feuillage des spores de BtK et son innocuité sur la faune auxiliaire comme sur l'homme, sont des atouts majeurs pour la protection de l'environnement (Martin et Bonnet, 2008).

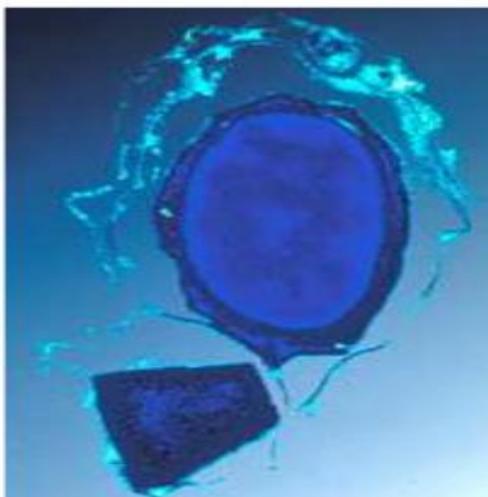


Figure 1.11 : Spore et cristal de *Bacillus thuringiensis* . Institut Pasteur 2007

* **L'utilisation des phéromones sexuelles** : la ptyolure, phéromone sexuelle émise par la femelle, peut être recrée artificiellement. Cette phéromone de synthèse est utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges pour un piégeage massif des mâles ou un suivi de population, « le monitoring ». Le piégeage de masse consiste à quadriller régulièrement une surface sensible avec des pièges à phéromone dans le but de capturer un maximum d'adultes mâles et ainsi d'éviter la rencontre avec les femelles. Le nombre de pièges à disposer à l'hectare est de 6 à 9 pièges. Quel que soit la taille du dispositif (forêt ou jardin), le nombre est le même. Les pièges peuvent être suspendus sur n'importe quel support (feuillus, résineux, clôture...). Cette méthode doit conduire progressivement, d'années en années, à la réduction du niveau de population de la processionnaire du pin. La lutte par confusion sexuelle, bien que très prometteuse par la méthode et les résultats, n'est pas homologuée contre cet insecte faute de firmes pour en assurer le développement (Martin et Bonnet, 2008).



Figure 1.12: Une grande diversité de pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008).

***La prédation par les mésanges :** La présence de nichoirs artificiels adaptés à la mésange (diamètre du trou : 32 mm) favorise largement la nidification et donc potentiellement la prédation des chenilles présentes sur le site. En effet la mésange n'étant pas sensible aux poils urticants est un excellent prédateur des chenilles processionnaires. Le nid d'hiver perforé par celle-ci est très vite vidé de son contenu (Martin et Bonnet, 2008).

- **Lutte mécanique**

Consiste en le prélèvement et destruction manuelle des pontes et nids dans les arbres. A réaliser d'octobre à mars, avant la procession. Nécessité de bien se protéger des poils urticants (masque, lunettes, etc.) contenu (Chapelin.Viscardi, 2012).



Figure 1.13: Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite (K3D Lyon Chenilles).

- **La lutte sylvicole**

Des espèces d'arbres non sensibles à la processionnaire peuvent être plantées. La diversité des essences forestières réduit généralement la colonisation par la processionnaire du pin contenu (Martin et Bonnet, 2008).

- **La lutte chimique**

En raison de son efficacité et de son application facile et pratique, l'utilisation des produits chimiques constitue à l'heure actuelle la technique la plus utilisée pour lutter contre les organismes nuisibles contenus (Maga et Olsen, 2004). Cependant, l'emploi intensif et inconsidéré de ces produits a provoqué une contamination de la biosphère et de la chaîne alimentaire, une éradication des espèces non cibles telles que la faune auxiliaire et l'apparition des organismes résistants. Ces conséquences négatives ayant pour résultat l'attention croissante étant donnée aux produits naturels (Isman, 2005). En effet, de nouveaux produits sont recherchés pour, d'une part, assurer une protection efficace de la production agricole, et d'autre part, contribuer à une gestion durable de l'environnement (Shaaya *et al.*, 1997).

L'insecticide utilisé est le Diflubenzuron (régulateur de croissance, il perturbe le développement larvaire) (Martin et Bonnet, 2008).

1.8. Utilisation des huiles essentielles dans la lutte phytosanitaire.

Plusieurs pesticides sont utilisés dans la lutte contre les ravageurs de culture et de stock. Ces pesticides constitués pour la plupart des produits de synthèse, capables d'agir sur la physiologie des insectes. Ils agissent par fumigation, par contact ou par ingestion (Bloomquist,1999) et provoquent des troubles de comportement aboutissant à la mort de l'insecte. Ils induisent dans bien de cas le phénomène de la résistance chez les insectes traités et ont des effets néfastes sur l'environnement et la santé du consommateur de nos jours, la lutte contre les ravageurs des produits agricoles entre dans une nouvelle phase avec le regain d'intérêt pour les biopesticides d'origine végétale (Ketoh, 1998).

De nouvelles perspectives, à base d'insecticides biologiques ou naturels ayant une faible répercussion écologique sont ainsi, en train de se développer. Ces substances naturelles d'origine végétale sont constituées de molécules organiques biodégradables. Ce sont les métabolites secondaires des plantes et leurs dérivés. De nombreuses stratégies de lutte contre les ravageurs sont donc élaborées à partir de ces substances naturelles. Ainsi, les biopesticides phytochimiques sont utilisés de diverses manières :

- Les organes entiers : ce sont généralement des rameaux feuillés qui sont disposés en couches alternes dans la masse de graines.

- Les poudres de plantes entières ou d'organes végétaux sont utilisées pour l'enrobage des graines à traiter. Cette formulation reste toutefois difficile à appliquer à grande échelle (Ketoh, 1998). L'énorme quantité de matière première à utiliser dans ce traitement limite l'utilisation de cette formulation en dehors du laboratoire (Taylor, 1974).

- Les extraits bruts de plantes sont obtenus par extraction au solvant suivie de son évaporation. On obtient ainsi des extraits concentrés que l'on peut utiliser dans les traitements phytosanitaires. L'utilisation des extraits bruts standardisés est plus rentable que celle des composés purs, le coût de production étant réduit (Arnason,1992). L'effet synergique d'autres composés présents dans les extraits bruts renforce l'activité du principe actif (Nuto, 1995) Toutefois, l'action des composés antagonistes n'est pas à exclure. Les huiles essentielles jouent divers rôles dans les plantes qui les produisent. Chez certaines plantes, elles ont un rôle protecteur car elles repoussent les insectes. D'autres propriétés (antimicrobienne, antioxydante) sont également évoquées et montrent la diversité du potentiel des huiles essentielles (Goudoum, 2010).

La protection des plantes contre les organismes nuisibles sans l'inconvénient des pesticides de synthèse, exige la recherche d'autres méthodes alternatives, en protection phytosanitaire (Larew et Locke, 1990 ; Gomez ,1997). Une alternative aux pesticides s'imposant, le monde scientifique s'est mis à la recherche d'un produit biodégradable, plus sélectif que les substances chimiques et sans danger pour les plantes, les animaux et les humains (Lamontagne., 2004 ; Deguine et Ferron, 2006 ; Rochefort *et al.*,2006). Les plantes spontanées et aromatiques grâce à leurs molécules bioactives sont considérées comme des outils de choix dans les programmes de gestion de la résistance des bioagresseurs (Budavari, 1996).

Les huiles essentielles se trouvent dans tous les organes de la plante : racine, fruits, graines, fleurs, feuilles, écorces, bois, etc... Elles se forment dans des cellules spécialisées, le plus souvent, regroupées en canaux ou en proches sécréteurs et elles sont ensuite transportées dans les différentes parties de la plante, lors de la croissance de cette dernière (Bernard,1988).

Dans le domaine phytosanitaire et agro-alimentaire, les huiles essentielles ou leurs composés actifs pourraient également être employés comme agents de protection contre organismes phytopathogènes et les microorganismes envahissant la denrée alimentaire (LisBalchin, 2002). Certaines huiles essentielles servent à la défense des plantes contre les herbivores, insectes et micro-organismes (Capo,1990), elles protègent les cultures en inhibant la multiplication des bactéries et des champignons. Elles empêchent la dessiccation de la plante (perte d'eau) par évaporation excessive et protègent la plante contre la lumière soit par diminution ou concentration. Par ailleurs leurs composés interviennent dans les réactions d'oxydo-réduction, comme donneurs d'hydrogène. Par exemple l'isoprène réagit rapidement avec l'ozone et les radicaux hydroxyles. Aussi, elles émettent l'excès de carbone et d'énergie (Sharkay et Sumsum, 2001).

Également, dans le domaine de l'aromathérapie, la pharmacie, la parfumerie, et en cosmétique des parfums et cosmétiques, les huiles essentielles sont employées en tant qu'agents conservateurs grâce à leurs propriétés antimicrobiennes qui permettent d'augmenter la durée de conservation du produit. Cependant, c'est surtout pour leurs caractéristiques odorantes qu'elles sont utilisées, notamment dans la formulation de parfums, de produits d'entretien personnels ou ménagers (Aburjai et Natsheh, 2003). Leur utilisation est liée à leurs larges spectres d'activités biologiques reconnues (Paster *et al.*, 1990 ; Cowan, 1999 ; Nielsen et Rios,2000 ;Lamiriet *al* 2001 ;Cimanga, 2002 ; Ziming,2006).

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes constitués principalement de composés terpéniques qui font partie des métabolites dits secondaires de la plante (Banthorpe, 1994 ;Mazen, 2002; Wallach (1907)présente les terpènes comme formes d'unités d'isoprènes (2-méthylebuta-1,3diene) et classés en : hémiterpènes (C5), monoterpènes (C10), sesquiterpènes (C15), diterpènes (C20), sesterpènes (C25), triterpènes (C30), tétraterpènes (C40) et polyterpènes ou polyisoprènes (>C40), suivant le nombre d'unités d'isoprènes.

1.8.1. Activité biologique des huiles essentielles

- **Activité insecticide**

Les huiles essentielles se disposent de grands potentiels, qui les rend une piste de recherche très prometteuse, et particulièrement leur effet insecticide (Glitho, 2002). La grande majorité de ces études portaient sur les moustiques, que ce soit sur l'effet répulsif des huiles essentielles ou sur leur effet ovicide ou larvicide (Markouket *al.*,2000).

L'effet insecticide des huiles essentielles par contact, ingestion et par fumigation a été bien démontré contre les déprédateurs des denrées entreposées (Regnault.Rogeret *al.*, 1993), de nombreux travaux ont porté sur l'amélioration des formes d'utilisation des plantes qui permettent de renforcer et de rentabiliser leur activité insecticide (Isman, 2005), Certaines observations ont montré que l'extrait brut éthanolique (Tierro.Nieber,1992 ;Nuto,1995) ou à l'éther de pétrole (Gakuru et Foua, 1996) de matériel végétal possède une toxicité effective vis-à-vis des ravageurs de stocks. D'autres résultats indiquent que les huiles essentielles extraites de plantes odorantes ont une activité insecticide indéniable vis-à-vis de *Callosobruchus maculatus* F. (Glitho,1997 ; Gakuru et Foua, 1996). En Algérie, des travaux ayant le même axe de recherche ont été entrepris. Kechout(Kechout, 2001), avait testé l'efficacité de l'huile essentielle du thym sur *Sitophilusorysae* L., traduite par un taux de mortalité évalué à 85%. La sensibilité d'un insecte pour une huile essentielle évolue en fonction de son cycle biologique (Isman, 2000).

Le mode d'action des huiles essentielles est relativement peu connu chez les insectes (Isman, 2000). Elles ont des effets anti-appétent, affectant ainsi la croissance, la mue, la fécondité et le développement des insectes et acarien. Des travaux récents montrent que les monoterpènes inhibent l'acétyle (Keane *et al.*, 2003).

- **Activité microbiologique**
 - ✚ **Bactériologique**

Le traitement microbiologique est réalisé à l'aide d'un insecticide, le *Bacillus thuringiensis*, ayant une bonne efficacité, un faible coût et surtout aucune conséquence sanitaire sur la santé humaine. C'est actuellement le bio pesticide le plus utilisé au monde (il représente environ 90% du marché mondial des bios pesticides (Martin,2005). Cette bactérie aérobique gram positive ubiquiste, qui existe à l'état naturel dans le sol, la nourriture et l'air, agit par ingestion : elle doit être pulvérisée sur les arbres à protéger et persiste sur le feuillage pendant une semaine, ce qui permet l'intoxication progressive des chenilles lors de leur phase alimentaire jusqu'à ingestion de la dose létale.



Figure 1.14: Traitement microbiologique par hélicoptère (Martin, 2005, photo Démolin G. en haut), ou par pulvérisateur en milieu périurbain (Martin et Bonnet, 2008, en bas)

- ✚ **Virale**

A la suite de l'isolement d'un virus responsable de la mortalité de chenilles processionnaires du pin, des études ont été conduites dans les années afin d'évaluer l'utilisation potentielle de ce virus cytoplasmique, le *Smithiavirus pityocampa*, comme moyen de lutte contre *T. pityocampa* (Grison *et al.*, 1959). Il induit l'hypertrophie des cellules de l'épithélium de l'intestin moyen et leur destruction, ce qui conduit à la mort de la chenille infestée, généralement au cours d'une mue. Certains ont alors observé les chenilles mourantes accrochées par leurs « fausses-pattes » à l'extérieur du nid (figure.1.15).



Figure :1.15 : Chenilles mortes après traitement au BtK. La disposition particulière des chenilles est également observée lors d'un traitement biologique viral (Martin, 2005).

En tant que premier agent de contrôle des chenilles processionnaires produit en masse et utilisé sur le terrain en 1959, la poudre épandable mise au point à partir de ce virus a prouvé son efficacité (4% de chenilles survivantes non virosées dans les zones traitées, contre 90% dans les zones témoins). Outre la diminution des niveaux de populations et des dégâts forestiers, une rémanence sur la génération suivante a été observée (feuillage encore infectieux et pontes contaminées par voie verticale).

Toutefois, la production du virus en masse nécessitant une multiplication sur des organismes vivants et impliquant un élevage important de chenilles processionnaires, cette méthode n'a pas été retenue comme moyen de lutte à long terme (Grison *et al.*, 1959 ; Vago, 1964).

Un autre virus à corps d'inclusion polyédrique cytoplasmique a été récemment isolé en Turquie de larves de *Thaumetopoea pityocampa*, le « *Thaumetopoea pityocampa cytoplasmic polyhedrosis virus* » (TpCPV, genre *Cypovirus*, famille des *Reoviridae*). Les effets de ce virus sur les populations de chenilles ont été étudiés (Ince *et al.*, 2007) : il provoque une infection des cellules de l'intestin moyen, une diminution de la prise alimentaire et de la mobilité des chenilles, ainsi qu'une augmentation de la durée de développement larvaire. Ce virus est létal pour les chenilles, la mortalité apparaissant dès le cinquième jour post-infection et étant proportionnelle à la dose de virus. A la fin du 15^{ème} jour, les pourcentages de mortalité aux fortes et faibles doses de virus étaient respectivement de 90 et 50%. Ainsi, les conséquences physiologiques du virus conduisent à une diminution des défoliations les jours

suivant le traitement, puis à la mort rapide des chenilles, même avec de faibles doses. Ce nouveau virus peut donc être considéré comme un agent potentiel de lutte biologique contre la chenille processionnaire du pin. Le problème de production de masse se pose toutefois toujours.



Chapitre 02
Matériel et méthodes

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

2.1. Objectifs de l'étude

Le présent travail a pour objectifs d'évaluer l'efficacité de trois huiles essentielles formulées sur les larves de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) comparée à un insecticide conventionnel (Lambda-Cyhalothrine 5%) et cela par l'étude *in vitro* de leur pouvoir insecticide sur les larves au stade (L₁).

2.2. Etude de l'activité insecticide des différents types de traitement *in vitro*

2.2.1 Conditions expérimentales

2.2.2. Modèle biologique

Le modèle biologique retenu pour notre étude est la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au stade L₁. L'étude a été menée durant la fin d'automne, de Septembre jusqu'à Novembre plusieurs raisons ont présidé à ce choix : il s'agit d'un insecte redoutable du pin d'Alep, responsable des ralentissements de la croissance de l'arbre ainsi que d'une vulnérabilité plus forte de ces arbres aux maladies et autres ravageurs des forêts, elle constitue également un problème de santé publique. Les larves sont prélevées des pré-nids tissés tout autour de la ponte (Figure.2.3).



Figure 2.3 : Pré-nids et larves L₁ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Originale, 2018)

2.2.3. Description botanique des plantes étudiées

- *Thymus pallescens* Noé.

Le thym est une plante qui appartient à la famille des Labiacées. C'est une plantesous-ligneuse, odorante, il forme des touffes compactes très ramifiées qui s'élèvent à une vingtaine de centimètres au-dessus du sol. Les feuilles sont plus ou moins contractées et les inflorescences sont en faux verticilles (Figure 2.4). Le calice quant à lui est tubuleux et la corolle est plus ou moins exserte. Le thym pousse de façon spontanée sur les coteaux secs et rocailloux et dans les garrigues (Quezel et Santa, 1963). En Algérie, le thym est une plante répandue, les différentes espèces qui y existent sont réparties le long du territoire national, du Nord Algérois à l'Atlas saharien, et du Constantinois à l'Oranais (Kaboucheet *al.*, 2005).

L'huile essentielle de thym contient 46% de phénols dont 44% thymol et 3,6% carvacrol et aussi des éléments importants, diverses études confirment que l'huile de thym contient de l'acide polyphénolique (acide oléanique, l'acide rosmarinique, triterpène et l'acide caféique) (Rizk, 1986). La composition chimique d'huile essentielle de thym comme celles des autres plantes aromatiques dépend de plusieurs facteurs tels que la génétique de la plante, l'âge, les conditions édapho- climatiques, ...etc. (Teuscheret *al.*, 2005).



Figure2.4 : *Thymus pallescens* Noé (Durieuet *al.*, 1849)

➤ ***Artemisia herba alba* Asso.**

L'espèce *Artemisia herba alba* Asso (Armoise blanche, Chih) ; est un arbrisseau méditerranéen de 30 à 60 cm (Boullard, 2001) nain médicinal et aromatique, sauvage (Salidoet *al.*, 2004) appartenant à la famille des Astéracées (Akrouit, 2004), connue depuis des millénaires. C'est une plante herbacée poussant en grandes touffes, à tiges ligneuses et ramifiées, très feuillées (figure 2.5) (Pottier, 1981). Cette plante septique reste toujours verte,

sa croissance végétative à lieu à l'automne ou les feuilles sont de grande taille. Dès la fin de l'hiver et au printemps, les feuilles seront plus petites (Le Floc'he, 1983).

La floraison commence en Juin et se développe essentiellement en fin d'été, présente une forte production de graines et un pouvoir de régénérations élevé (Nabli, 1989). L'armoise blanche se développe dans les zones bioclimatiques qui vont de la partie supérieure semiarides à la partie inférieure Subsaharienne (Gharabiet *al.*, 2008).

Elle se caractérise par une bonne valeur fourragère et par une composition en huiles essentielles ayant plusieurs activités biologiques, telles que l'activité antimicrobienne (Setzeret *al.*, 2004), antioxydante (El-Massry et *al.* 2002, Kim et *al.* 2003, Kordali et *al.* 2005), antiinflammatoire (Guardia et *al.* 2003) et insecticide (Negahbanet *al.*, 2007).

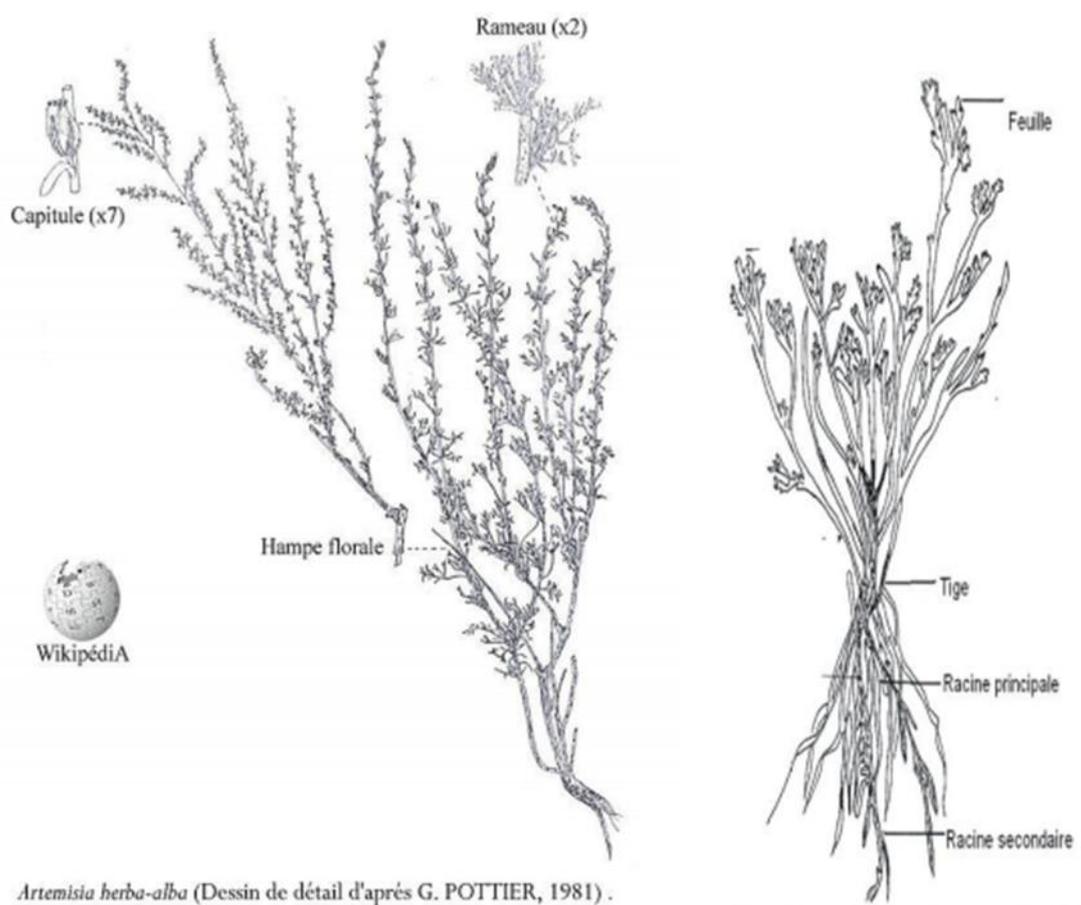


Figure 2.5: *Artemisia herba-alba* Asso. (Pottier, 1981).

➤ ***Pinus halepensis* Mill.**

Pinus halepensis Mill. (Pinales. *Pinaceae*) est une espèce typique du pourtour méditerranéen (Nahal, 1962), C'est un arbre de 20 à 25 m de hauteur et de 1,2 à 1,5 m de

diamètre (Figure 2.6). Le tronc est sinueux et penché. La cime est aplatie, irrégulière et claire. Le bourgeon est cylindrique, pointu et non résineux. Les cônes ont une longueur moyenne de 6 à 12 cm et des pédoncules épais. L'écorce est lisse et grise argenté. L'arbre fleurit au printemps et fructifie en été. La reproduction est assurée par la graine et également par la voie asexuée (Gaussen *et al.*, 1982). Cet arbre accepte tous les types de roches mères mais préfère le calcaire. Il est utilisé pour la protection des sols et se développe mieux que toute autre espèce sur des sols très dégradés. Sa régénération naturelle est facile (Riou-Niver, 2001).

La composition chimique de l'essence du pin d'Alep se caractérise par un pourcentage constitué majoritairement par l' α pinène (environ 86%) suivie en plus faible quantité de β -pinène (1,03%), myrcène (1,20%) et limonène (0,83%) (Angioniet *al.* 2003).



Figure 2.6: *Pinus halepensis* Mill. (Originale, 2018).

2.2.4. Procède d'extraction et de formulations des huiles essentielles

Dans un alambic, nous avons porté à ébullition 100 gr de *Thymus pallescens* Noé, *Artemisia herba alba* Asso. Et *Pinus halepensis* Mill. Dans 1 litre d'eau. Les cellules du végétal éclatent et libèrent alors les molécules chimiques odorantes qui sont entraînées par la vapeur d'eau. Ces derniers sont récupérés dans une burette après condensation dans le réfrigérant. L'hydrodistillation obtenue contient une phase aqueuse (hydrolat) ainsi qu'une phase organique (l'huile essentielle). L'huile essentielle est récupérée et conservée dans des tubes opaques en verre à une température comprise 0°C et 6°C. Les huiles essentielles obtenues, sont par la suite formulées.



Figure 2.7: Appareil d'hydrodistillation de type clevenger (Originale, 2018)

2.2.5. Préparation des traitements

- **Préparation de la gamme de doses des huiles essentielles étudiées**

Dans notre étude nous avons procédé par l'extraction et la formulation des huiles essentielles de trois plantes à savoir le Thym, l'Artemisia et le Pin d'Alep. Les extraits des huiles essentielles obtenus des trois plantes étudiées, ont été formulés par le tween 80 à 3%. Une gamme de doses été retenus pour chaque huile pour l'évaluation de leur pouvoir insecticide. Les doses utilisées sont : Pourle Thym (0.25 %, 0.5%, 1%) ; Artemisia (0.5 %, 1 %, 1.5 %) ; Pin d'Alep (1 %,1.5 %, 2 %).

- **Préparation et application de l'insecticide conventionnel**

L'insecticide conventionnel utilisé dans cette étude est une préparation commerciale contenant 5% de la matière active lambda-cyhalothrine (Figure 2.8) ; du groupe chimique des pyréthrioidesa été retenu comme insecticide à l'étude. Les pyréthrioides sont neurotoxiques et affectent à la fois le système nerveux central et périphérique (Regnault Roger, 2005). Ce sont des insecticides résiduels de contact ce qui signifie que le résidu conserve la propriété insecticide et pénètre à travers la cuticule de l'insecte (Regnault-Roger,2005). Les pyréthrioides agissent sur le système nerveux en inhibant la conduction du Na^+ et du K^+ dans les cellules nerveuses bloquant ainsi la transmission de l'influx. Ce sont des insecticides ayant un haut niveau d'activité contre une grande variété d'insectes. Ils agissent rapidement à tous les stades de croissance et particulièrement contre les larves (Sánchez-Fortun et Barahona,

2005). Leur haute activité permet l'application de petites quantités soit environ 100 grammes à l'hectare (g/ha). Les pyréthrinoïdes sont considérés comme très toxiques pour les invertébrés aquatiques et pour la plupart des poissons (Sánchez-Fortun et Barahona, 2005).

Nous avons procédé par la méthode de contact direct du produit avec les chenilles par la pulvérisation de ces derniers et au mélange de la dose homologuée de l'insecticide avec les feuilles du pin qui seront ingérées par les larves considérées de ce ravageur.



Figure 2.8 : L'insecticide conventionnel (Lambda-cyhalothrine 5%) (Originale, 2018).

2.3. Méthodes d'étude

2.3.1. Dispositif expérimental

Vingt chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, aux stades larvaires L₁, sont prélevées de leurs pré-nids placées dans des gobelets en plastique transparents recouverts par un tissu perforé transparent (figure 2.9), afin de permettre l'aération et pour faciliter l'application des traitements (*Thymus Palleescens* Noé, *Pinus halepensis* Mill. Et *Artemisia herba alba* Asso.).

Dans chaque gobelet, on met des aiguilles de pin d'Alep, pour assurer la nourriture des chenilles. L'ensemble des gobelets contenant les chenilles, sont des conditions ambiantes de température moyenne de 28°C, avec une alternance lumière /obscurité 12h/12h.



Figure.2.9 : Dispositif expérimental (Originale, 2018)

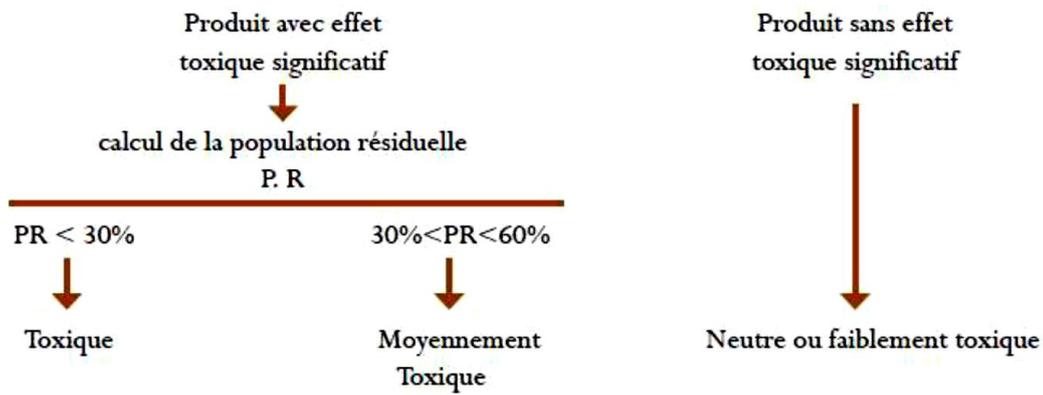
Afin d'étudier la toxicité des huiles essentielles formulées, extraites des trois plantes à savoir le Thym, l'Artemisia et le pin d'Alep, nous avons pulvérisé les gobelets préparés par les traitements formulés avec leurs différentes doses. Pour le témoin, nous avons pulvérisé les individus de la chenille par un mélange de tween 80 à 3% et de l'eau.

Après 24h, 48h, 72h et une semaine de contact, nous avons dénombré les larves mortes, et les résultats obtenus de la sensibilité larvaires envers ces traitements ont été exprimés en pourcentage de la mortalité en fonction des concentrations d'huile essentielle utilisée.

2.4. Estimation de l'activité insecticide des huiles essentielles étudiés et de l'insecticide

✓ Calcul du pourcentage des populations résiduelles

L'évaluation de l'effet toxique des huiles essentielles formulées et de l'insecticide a été réalisée par le calcul de la population résiduelle (P.R) selon le TEST de Dunnett(Magali, 2009).



$$PR = \frac{\text{Nb de formes mobiles (NFM) par traitement} \times 100}{\text{Nb de formes mobiles par témoin (eau)}}$$

P. R < 30% molécule toxique

30% < P.R < 60% molécule moyennement toxique

P.R > 60% molécule neutre ou faiblement toxique

2.5. Analyse statistique

L'analyse de l'effet de la dose s'appuie en général sur la régression logistique pour modéliser l'impact des doses d'une substance sur un phénomène binaire (mortalité ou non)

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.). Par exemple, si on désire connaître l'effet des facteurs A, B et C et seulement l'interaction entre A et C, il suffit de sélectionner explicitement ces catégories. Le seuil de 5% a été retenu pour tous les tests.

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (mortalité journalière, mortalité), il est préconisé de réaliser une analyse de variance.



Chapitre 03

Résultats et Discussion



Chapitre 03

Résultats et Discussion

Chapitre 3. Résultats et Discussion

3.1. Evaluation de l'effet insecticide des huiles essentielles de *Thymus pallescens* Noé, *Pinus halepensis* Mill. Et d'*Artemisia herba alba* Asso. Sur les populations de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Au stade L₁.

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M) pour étudier la variation des taux de populations résiduelles de chaque huile essentielle du pin d'Alepen fonction de deux facteurs, les doses des traitements et les variations temporelles.

3.1.1. Évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle du pin d'Alep (*Pinus halepensis*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff en fonction du temps et des doses

Tableau 3.I : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée du pin d'Alep (*Pinus halepensis*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff au stade larvaire L₁

Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Écarts	F-ratio	P
Doses	12010.637	3	4003.546	4.681	0.005**
Temps	30363.562	3	10121.187	11.835	0.000***

N.S. : non significative, * : Probabilité significative à 5 % ; ** : Probabilité significative à 1 % ; *** : Probabilité significative à 0,1 %.

Le tableau ci-dessus (Tableau 3.I) indique que les facteurs doses et temps après l'application de l'huile essentielle du Pin d'Alep révèlent l'existence d'une différence hautement significative à très hautement significative sur la variabilité des taux des populations résiduelles, avec les valeurs respectives (F ratio=4,681; p=0,005 ; p<1%), (F-ratio =3,653 ; p=0,000 ; p<0,1%).

La lecture de l'évaluation temporelle des populations résiduelles en fonction du temps après application de l'huile essentielle considérée a montré une toxicité faible à neutre (P.R >30 %) dès les 24h d'application du traitement et qui au bout de 48h et jusqu'à 7ème jour la molécule bioactive devient toxique (P.R <30 %). Le résultat de la variation de la toxicité en fonction des différentes doses appliquées révèle que l'huile essentielle *Pinus halepensis* est moyennement toxique pour les trois doses (Figure 3.1).

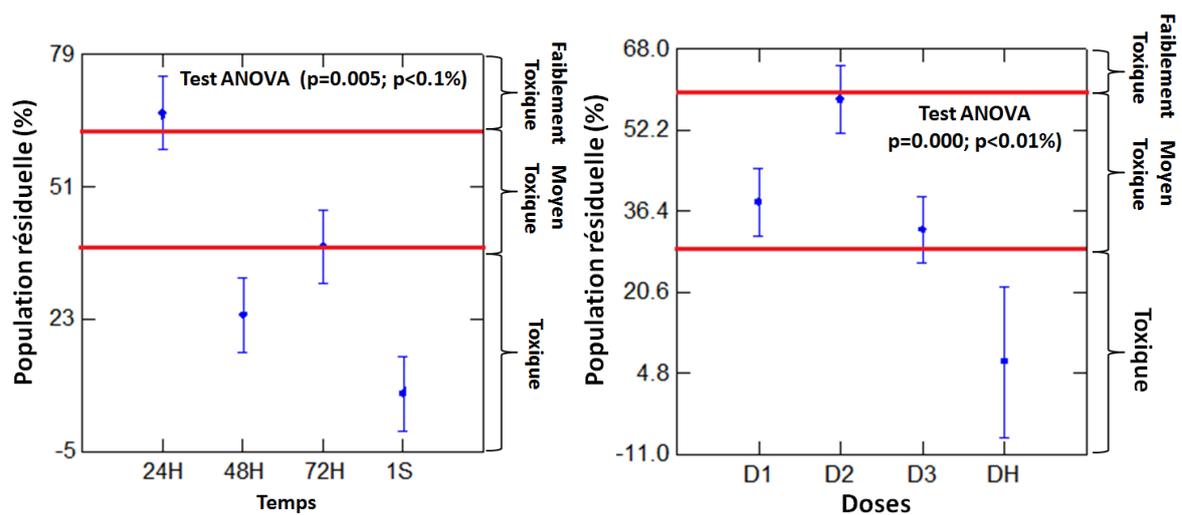


Figure 3.1: Effet de l'huile essentielle du pin d'Alep (*Pinus halepensis*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiffen fonction du temps et des doses

3.1.2. Effet comparé de l'huile essentielle de *Pinus halepensis* Mill et de l'insecticide sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff

Tableau 3.II. G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* Mill et de l'insecticide sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Écarts	F-ratio	P
Type de traitement	708.984	1	708.984	1.696	0.066*

N.S.: non significative, *: Probabilité significative à 5 % ; **: Probabilité significative à 1 % ; ***: Probabilité significative à 0,1 %.

Le tableau ci-dessus (Tableau 3.II) indique que le type de traitement (HEF et/ou chimique) des matières actives génère un effet significatif sur la variabilité des taux des populations résiduelles (F ratio= 1,696 ; p< 0,066).

La matière active de l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* Mill. Présente un effet sur les populations résiduelles qui se traduit par un effet moyennement toxique (PR<30%), alors que l'insecticide (Lambda cyhalothrine) révèle un effet très toxique (Figure 3.2).

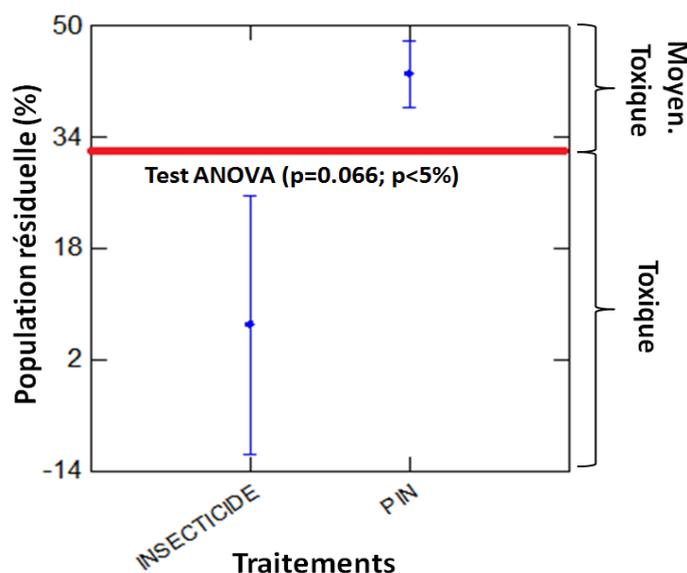


Figure 3.2 : Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* et l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

3.1.3. Évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiffen fonction du temps et des doses

Tableau 3.III : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff au stade larvaire L₁

Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Écartés	F-ratio	P
Doses	2309.000	3	769.667	3.743	0.054*
Temps	6663.500	3	2221.167	10.803	0.002**

N.S: non significative, * : Probabilité significative à 5 % ; ** : Probabilité significative à 1 % ; *** : Probabilité significative à 0,1 %.

Le tableau ci-dessus (Tableau 3.III) indique que les facteurs doses et temps après l'application de l'huile essentielle de l'armoise blanche révèlent l'existence d'une différence significative pour le facteur dose et une différence hautement significative pour le facteur temps sur la variabilité des taux des populations résiduelles, avec les valeurs respectives (F ratio=3,743; p=0,054 ; p<5%), (F-ratio =10,803; p=0,002 ; p<10,1%).

La lecture de l'évaluation temporelle des populations résiduelles en fonction du temps après application de l'huile essentielle considérée montrée une toxicité moyenne (P.R

>30>60%) dès les 24h d'application du traitement et qui au bout de 48h et jusqu'à 7ème jour la molécule bioactive devient toxique (P.R <30 %).Le résultat de la variation de la toxicité en fonction des différentes doses appliquées révèle que l'huile essentielle *Pinus halepensis* est moyennement toxique pour les trois doses (Figure 3.3).

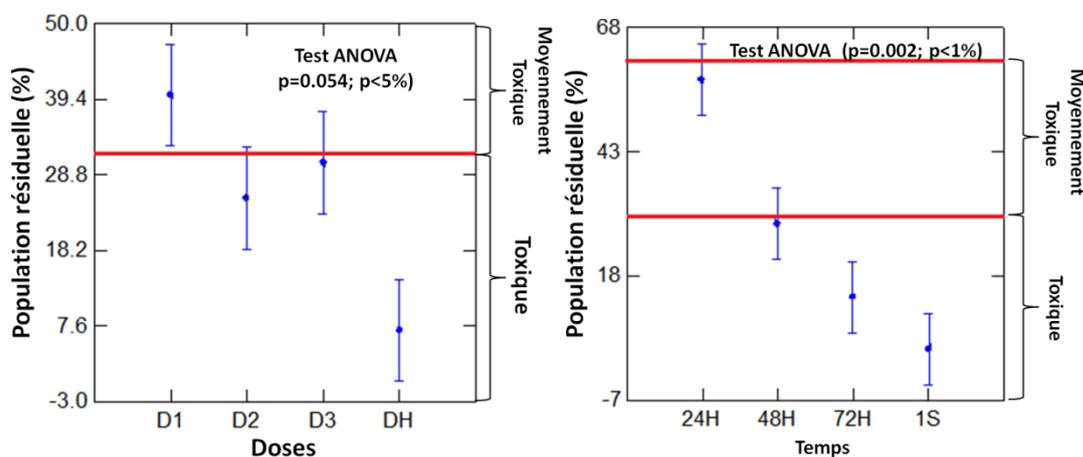


Figure 3.3: Effet de l'huile essentielle de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff en fonction du temps et des doses

3.1.4. Effet comparé de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* et de l'insecticide sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff .

Tableau 3.IV.G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée d'*Artemisia herba alba* et de l'insecticide sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff

Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Écarts	F-ratio	P
Type de traitement	66533.400	1	66533.400	29.033	0.000***

N.S: non significative, * : Probabilité significative à 5 % ; ** : Probabilité significative à 1 % ; *** : Probabilité significative à 0,1 %.

Le tableau ci-dessus (Tableau 3.IV) indique que le type de traitement (HEF et/ou chimique) des matières actives génère un effet très hautement significatif sur la variabilité des taux des populations résiduelles (F ratio= 29.033 ; p< 0,000, p<0.1%).

La matière active de l'huile essentielle formulée d'*Artemisia herba alba* présente un effet sur les populations résiduelles qui se traduit par un effet moyennement toxique (PR<30%), alors que l'insecticide (Lambda cyhalothrine) révèle un effet très toxique (Figure 3.4).

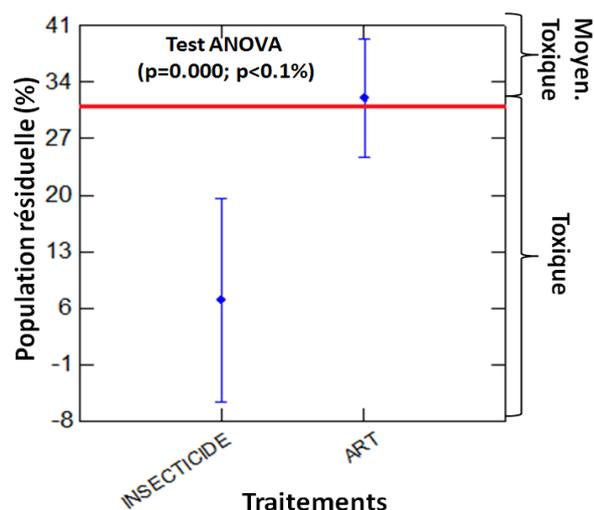


Figure 3.4 : Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de *Artemisia herba albaet* l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

3.1.5. Évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle du thym (*Thymus pallescens*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff en fonction du temps et des doses.

Tableau 3.V : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulé du thym (*Thymus pallescens*) sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* au stade larvaire L₁

Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Écarts	F-ratio	P
Doses	746.750	3	248.917	8.526	0.005**
Temps	1874.250	3	624.750	21.400	0.000***

N.S: non significative, * : Probabilité significative à 5 % ; ** : Probabilité significative à 1 % ; *** : Probabilité significative à 0,1 %.

Le tableau ci-dessus (Tableau 3.V) indique que les facteurs doses et temps après l'application de l'huile essentielle du thym révèlent l'existence d'une différence hautement significative pour le facteur dose et une différence très hautement significative pour le facteur temps sur la variabilité des taux des populations résiduelles, avec les valeurs respectives (F ratio=8.526 ; p=0,005 ; p<1%), (F-ratio =10,803; p=0,000 ; p<0,1%).

La lecture de l'évaluation temporelle des populations résiduelles en fonction du temps après application de l'huile essentielle considérée a montré une toxicité moyenne (P.R >30>60%) dès les 24h d'application du traitement et qui au bout de 48h et jusqu'à 7^{ème} jour la

molécule bioactive devient toxique (P.R <30 %). Le résultat de la variation de la toxicité en fonction des différentes doses appliquées révèle que l'huile essentielle *Thymus pallescens* est toxique pour les trois doses (Figure 3.5).

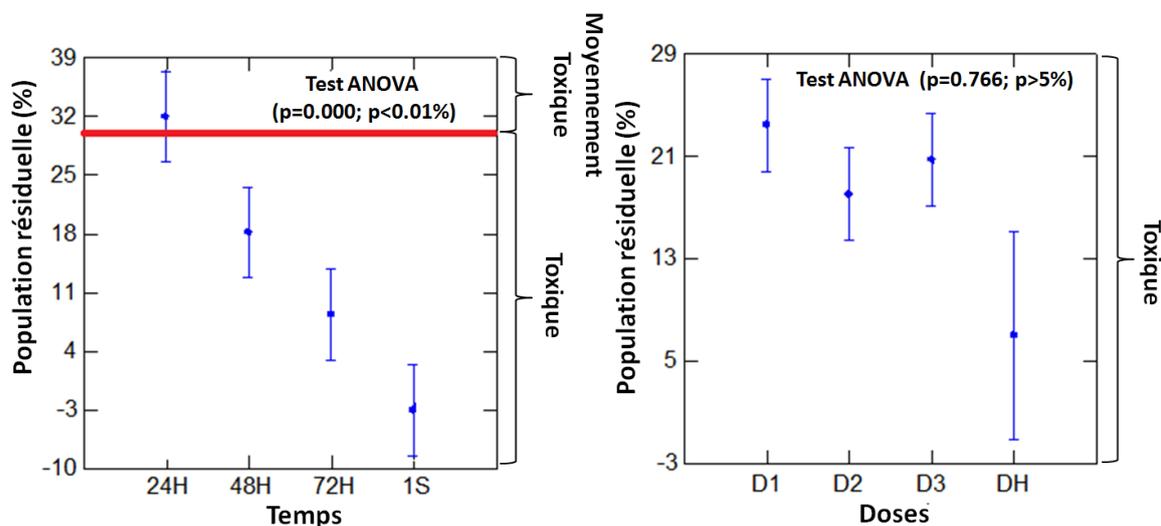


Figure 3.5: Effet comparé des facteurs doses des traitements et temps d'exposition de l'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* sur la variation des populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

3.1.6. Effet comparé de l'huile essentielle de *Thymus pallescens* et de l'insecticide sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff .

Tableau 3.VI: G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base de l'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* et de l'insecticide sur les populations résiduelles des chenilles du pin

Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Écarts	F-ratio	P
Type de traitement	708.984	1	708.984	1.696	0.198 ^{NS}

N.S: non significative, * : Probabilité significative à 5 % ; ** : Probabilité significative à 1 % ; *** : Probabilité significative à 0,1 %.

Le tableau ci-dessus (Tableau 3.VI) indique que le type de traitement (HEF et/ou chimique) des matières actives génère un effet non significatif sur la variabilité des taux des populations résiduelles (F ratio= 1.696; p= 0.198^{NS}, p>5%).

La matière active de l'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* ainsi que l'insecticide (Lambda cyhalothrine) révèlent un effet très toxique sur les populations résiduelles (PR<30%) (Figure 3.6).

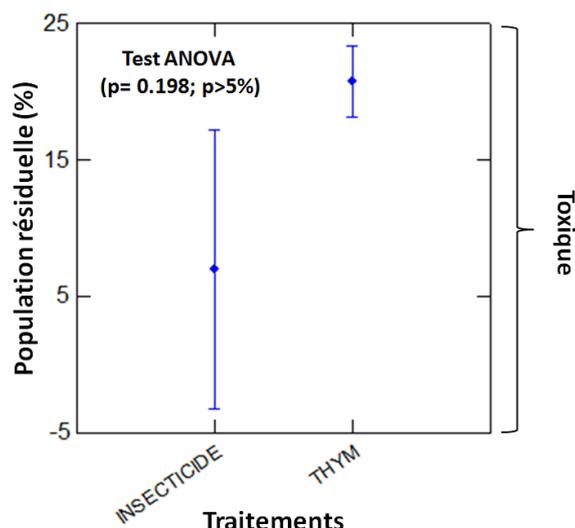


Figure 3.6 : Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* et l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

3.2. Effet comparé de la toxicité des huiles essentielles de *Pinus halepensis*, *Artemisia herba alba*, *Thymus pallescens* et de l'insecticide vis-à-vis des populations résiduelles des larves L₁ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff

Tableau 3.VII: G.L.M. appliqué aux essais de traitement à base des huiles essentielles étudiées de *Pinus halepensis* Mill et *Artemisia herba alba* Asso. Et *Thymus pallescens* Noé., sur les populations résiduelles des larves L₁ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Facteurs	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Écarts	F-ratio	P
Type de traitement	3272.233	3	1090.744	9.048	0.000***
Doses	66533,400	3	66533,400	29.033	0.000***
Temps	9441.611	3	3147.204	26.106	0.000***

N.S: non significative, * : Probabilité significative à 5 % ; ** : Probabilité significative à 1 % ; *** : Probabilité significative à 0,1 %.

Le tableau ci-dessus (Tableau 3.VII) indique que le type de traitement (HEF et/ou chimique) des matières actives génère un effet très hautement significatif sur la variabilité des taux des populations résiduelles. Ainsi que les facteurs doses et temps d'exposition qui révèlent l'existence d'une différence très hautement significative sur les taux de populations résiduelles avec les valeurs respectives (F ratio= 9.048; p=0,000 ; p< 0,001), (F-ratio = 29.033; p=0,000 ; p< 0,001) et (F-ratio= 26.106; p=0,000 ; p< 0,001).

En se référant au test de Dunnett et selon le taux des populations résiduelles révélé par l'ANOVA, il apparaît que les matières actives de l'huile essentielle de *P. halepensis* Mill. et *A. herba alba* présente un effet moyennement toxique ($PR < 30\%$), alors que l'huile essentielle d'*T. pallese* et l'insecticide (Lambda cyhalothrine) révèlent un effet très toxique sur les larves L₁ de *T. pityocampa* (Figure 3.7).

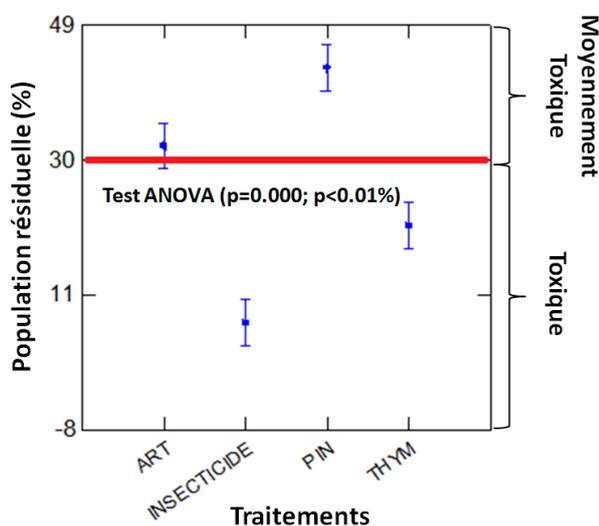


Figure 3.7 : Effet comparé du facteur type de traitements de l'huile essentielle formulée de *P. halepensis*, *A. herba alba*, *T. pallese* et l'insecticide conventionnel sur la variation des populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

La figure ci-dessous (Figure 3.8) indique que les doses de l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* Mill. sont moyennement toxique ($30\% < PR < 60\%$), Pour ce qui est de l'huile essentielle d'*A. herba alba* l'effet toxique est moyen à la D1 mais qui augmente avec l'augmentation de la dose et devient toxique à la D2 et D3. Concernant l'huile essentielle de *T. pallese*, la toxicité de cette dernière s'annonce de la D1 à la D3. L'insecticide a un effet toxique à la dose homologuée.

L'efficacité temporelle des différents types de traitement appliqué désigne une différence très hautement significative ($p = 0,000$; $p < 0,01$) sur la variabilité des taux des populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff durant la période d'investigation. La lecture de l'évolution temporelle des densités des populations résiduelles en fonction du temps après application des différents traitements (biologique et chimique) l'extrait de l'huile essentielle formulée montre que le Pin d'Alep et l'armoise blanche affiche les mêmes tendances de la toxicité qui débute faiblement toxique à neutre à 24h après application et deviennent à 48h moyennement toxique et toxique dès les 72h jusqu'à une semaine après

application. L'huile essentielle de *T. pallescens* enregistre une toxicité moyenne à 24 h après application et devient et se maintiennent très toxique durant les 7J d'exposition (figure 3.8).

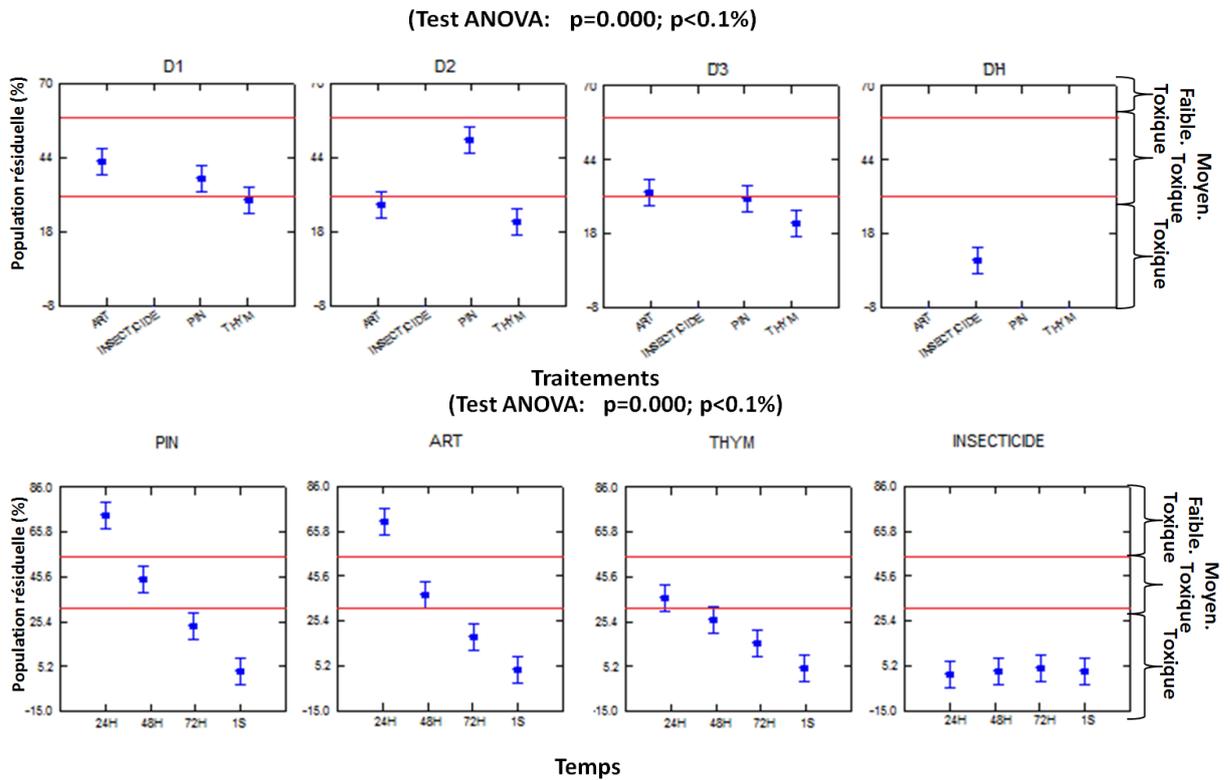


Figure 3.8 : Effet comparé de la toxicité des huiles essentielles étudiées sur la variation des populations résiduelles des larves L_1 de *Thaumetopoea pityocampa*. En fonction du type de traitement, dose appliquée et temps d'exposition.

3.3. Discussion générale

Le recours à la lutte chimique reste la méthode la plus employée et la plus appréciée par les agriculteurs pour la destruction plus ou moins sélective d'insectes, de champignons, de mauvaises herbes, de micro-organismes ou d'autres agents de maladies chez les végétaux. Malgré son efficacité rapide, elle est non durable (Blancard, 1988 ; Urban, 1997).

L'utilisation répandue des insecticides synthétiques a mené à beaucoup de conséquences négatives (la résistance des insecticide, la toxicité sur la faune auxiliaire, les problèmes de résidu et la pollution environnemental) ayant pour résultat l'attention croissante étant donnée aux produits naturels (Isman, 2005).

Les plantes peuvent fournir des solutions de rechange potentielles aux agents actuellement utilisés contre les insectes parce qu'elles constituent une source riche en produits chimiques bioactifs. Beaucoup d'effort a été donc concentré sur les matériaux dérivés de plante pour les produits potentiellement utiles en tant qu'agents commerciaux de lutte contre les insectes (Kim *et al.*, 2003). Les plantes aromatiques sont parmi les insecticides les plus efficaces d'origine botanique et les huiles essentielles constituent souvent la fraction bioactive des extraits de plantes (Shaaya *et al.*, 1997).

Dans ce contexte, cette étude vise à rechercher de nouvelles molécules bioactives d'origine végétale à activité insecticide. Nous avons tenté de mettre en évidence l'effet toxique des huiles essentielles formulées de trois plantes aromatiques à savoir, *Thymus pallescens* L., *Pinus halepensis* Mill. et d'*Artemisia herba alba*, sur les populations résiduelles de la chenille processionnaire du pin (Lépidoptera, Notodontidae), en comparaison avec un insecticide de synthèse dont sa matière active la Lambda cyhalothrine 5%.

Les résultats obtenus montrent que les traitements à base d'huiles essentielles formulées de *Thymus.*, *Pinus halepensis* Mill., *Artemisia herba alba* et du traitement chimique à lambda cyhalothrine ont montré un effet toxique précoce sur les larves traitées. Cet effet de choc estimé sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. présente une gradation de toxicité allant l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* Mill., puis l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* extraite de puis l'huile essentielle formulée *Thymus.*, et enfin le traitement chimique.

Toutes les huiles essentielles formulées testées ont révélé un effet très hautement significatif sur le taux des populations résiduelles des larves L₁ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. D'après les résultats, nous constatons que le taux de mortalité augmente au fur et à mesure l'augmentation de la dose et le temps d'exposition.

En effet, l'activité insecticide des huiles essentielles peut s'expliquer par les principaux composés des huiles essentielles (Carovic-Stanko *et al.*, 2010; Herman *et al.*, 2016), cette toxicité sur les insectes est induite par l'action de leurs composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) (Seri-Kouassi *et al.*, 2004), qui ont des efficacités insecticides soit singulière ou lorsqu'elles sont mises ensemble (Ngamo et Hance, 2007).

L'effet insecticide des huiles essentielles a été expliqué par Enan (2002) par les composés terpéniques qu'elles renferment qui agiraient comme des composés neurotoxiques. Autrement, Chiasson et Beloin (2007) ont émis l'hypothèse de l'effet directe sur la cuticule des insectes et les acariens surtout ceux à corps mou.

Des composés chimiques qui ont une grande efficacité et à plus large spectre sont présents dans les huiles essentielles en particulier les phénols (1,8 cinéole, carvacrol, octanol, ..) les alcools, (α - terpineol, terpinen-4-ol, linalol), les aldéhydes, les cétones (Camphor, etc.) (Sokovic et Griensven, 2006 ; Herman *et al.*, 2016 ; Carovic-Stanko *et al.*, 2010 ; Dorman et Deans, 2000), revoir le classement des auteurs par ordre chronologique ce qui peut probablement expliquer l'activité insecticides sur la chenille processionnaire de pin.

De ce fait, on peut émettre l'hypothèse que les substances actives des huiles essentielles formulées étudiées, probablement neurotoxique ont provoqué un effet de choc sur les larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Même si la composition chimique des huiles varie, les huiles essentielles ont été considérés comme des composés potentiellement prometteuses pour le traitement de nombreux agents pathogènes et aux insectes (You *et al.*, 2014). Il est clair que les huiles essentielles de ces plantes aromatiques sont riches en composés monoterpénoïdes, qui possèdent une activité insecticide contre diverses espèces d'insectes (Houël, 2011). Ils agissent par fumigation, contact, ou répulsion et présentent différents modes d'action. Cependant, les mécanismes d'action des huiles essentielles sont méconnus et relativement et peu étudiés (Isman, 2000).

Les travaux menés par Ngamo et Hance, (2007) ont montré que les monoterpènes agissent au niveau des récepteurs de l'acétyl-cholinestérase des jonctions neuromusculaires.

Enan (2002) a montré que les huiles essentielles de *Eucalyptus globulus*, *Thymus vulgaris*, et *Menthaspicatase* sont révélées comme les substances les plus toxiques à l'égard de *Callosobruchus maculatus*, et ce dans les trois tests réalisés (Contact, fumigation et répulsivité). Don Pedro (1989) ; montre par ces travaux que les vapeurs d'huiles essentielles affectent le système nerveux des insectes en entraînant le déclenchement rapide d'un mécanisme de feed back négatif.

Selon Badreddine *et al.*, (2015), les monoterpènes sont connus par son activité insecticide. En effet, eugenol et le 1.8-Cineol ont rapporté comme des composés avec une bonne activité larvicide. Prates *et al.*, (1998) et Badreddine *et al.*, (2015), ont confirmé cette activité dont le mode d'action est pratiqué essentiellement par contact percement de la cuticule, par inhalation sur les activités respiratoires des insectes ainsi que par ingestion principalement sur le système digestif. Le même composé extrait à partir de l'espèce *Eucalyptus globulus* est avéré comme une substance acaricide particulièrement sur *Boophilusmicroplus*. Egalement, Simas *et al.*, (2004), ont mentionné que le α et β -pinene possèdent une excellente activité larvicide contre les larves d'*Aedeaeegypti*.

En effet, les différences des résultats pourraient être attribuées à la nature même de la composition chimique de plantes utilisées. Selon Oussalah *et al.*, (2006), l'activité biologique d'une plante est à mettre en relation avec sa composition chimique, les groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, aldéhydes). Ainsi les composés chimiques les plus efficaces et qui possèdent un large spectre d'action antimicrobienne sont les phénols (thymol, carvacrol et eugénol), les alcools (α -terpinéol, terpinen-4-ol, menthol, géraniol, linalol), les aldéhydes (géraniol, citral et néral), les cétones (carvone, pulégone et camphre), (Moleyar et Narassimham, 1992 ; Dorman et Deans, 2000).

L'étude sur l'action de monoterpènes sur le troisième stade larvaire d'*Anisakis simplex* effectuée par Aslan *et al.* (2004) a montré que le carvacrol était responsable de la lyse des cellules, l'altération de la membrane et la perforation du tube digestif.

La grande majorité de la littérature sur les effets Terpénoïdes sur les insectes a rapporté l'inhibition de la croissance, perturbe la maturation, réduit la capacité de reproduction, la suppression de l'appétit et la mort des insectes par l'appétence ou la toxicité

directe (Viegas-Junior, 2003). Monoterpène limonène a démontré une activité insecticide en pénétrant la cuticule de l'insecte "effet de contact", inhalation "effet de fumigant» et dans le système digestif "l'effet par ingestion» (Prates, 1998).

Nos résultats se corroborent avec ceux obtenus par Kesdek *et al.*, (2013) sur l'effet des huiles essentielles sur la chenille processionnaire du pin. Les résultats obtenus montrent une sensibilité accrue vis-à-vis les extraits de six plantes *Achillea wilhelmsii* C. Koch, *Nepeta meyeri* Benth, *Satureja hortensis* L, *Origanum onites* L, *O. Rotundifolium* Boiss, *Tanacetum argyrophyllum*. Cependant, l'intervalle de toxicité varie entre la toxicité faible, moyenne ou forte suivant l'espèce végétale, la dose appliquée, ainsi que le temps d'exposition.

Les travaux menés par Cetinet *et al.*, (2006) ont montré une activité larvicide prononcée des huiles essentielles de deux espèces à savoir *Origanum onites* L. et *Citrus aurantium* L sur les larves de *Thaumetopoea wilkinsoni*. Les mêmes auteurs ont conclu l'effet dose dépendant. La toxicité d'*O. onites* et *C. aurantium* est inférieure à 20% après 24 h à une dose de (0.1%). Cependant, elle est de 97.5 et 72.5% à une dose (1%), respectivement. Les valeurs de la DL₅₀ et la DL₉₀ calculées sont environ 0.288 et 0.926% pour *O. onites*, 0.530 et 2.306% pour *C. aurantium*, respectivement.

Selon Roman (2009), les huiles essentielles obtenues à partir de *Thymus vulgaris* ont été testés pour la mortalité des larves de moustiques *Culex quinquefasciatus*. Ce dernier a été trouvé sensible à une CL₅₀ de 33 microgrammes/ml (33 ppm).

Selon Kim *et al.*, (2002), les propriétés répulsives des huiles essentielles sont souvent associées à la présence de monoterpénoïdes et de sesquiterpènes bien que les effets toxiques dépendent de l'espèce d'insecte, de la plante et du temps d'exposition à l'huile essentielle.

En effet, les travaux de Tchoumbounganget *et al.* (2009) ont montré que les huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* Stapf., var *gratissimum* L. et *Thymus vulgaris* L., induisent la mortalité des larves de stade 4 d'*Anopheles gambiae*.

Nos résultats sont analogues à ceux de Shaaya *et al.* (1991) qui ont testé les huiles essentielles extraites à partir de certaines Labiées comme l'origan, le basilic, la marjolaine, le thym, la sauge, le romarin et la lavande ; ces substances ont causé 100% de mortalité chez *Rhyzoperta dominica* (F.) (Coleoptera:Bostrychidae), *Oryzaephilus surinamensis* (L.)

(Coleoptera:Silvanidae), *Triboliumcastaneum*(Hbst.) (Coleoptera : Tenebrionidae) et *Sitophilusoryzae*(L.) (Coleoptera : Curculionidae), à des doses variant de 10 à 15 µl/ l d'air.

Bittner *et al.* (2008) ont testé l'efficacité des huiles essentielles de cinq plantes aromatiques sur *Acanthoscelidesobtectus*(Coleoptera: Bruchidae) et *Sitophiluszeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Les résultats montrent que les huiles extraites d'*Eucalyptus globulus*(Myrtacées) et *Thymus vulgaris* L. (Lamiacées) sont les plus toxiques sur *S. zea mais*.

Regnault-roger et Hamraoui (1995), ont observé un effet toxique des monoterpènes sur le bruche *Acanthoscelidesobtectus*. Le linalool étant le plus toxique et l'estragole étant le moins. Le carvacrol, linalool, eugénol, thymol, et terpinéol agissent sur l'émergence des adultes d'*Acanthoscelidesobtectus* selon Regnault-Roger *et al.* (2002).

Pushpanathan *et al.*, (2006) a montré que l'huile essentielle de *Cymbopogoncitratu* montre des effets larvicide, ovicide et répulsif contre le moustique *Culex quinquefasciatus* ce qui confirme nos résultats par un effet répulsif contre la chenille processionnaire.

Chaumont *et al.* (2001) ainsi que Koba *et al.*, (2003) ont aussi affirmé suite à des bioessais et à des analyses chimiques que l'huile de la Citronnelle serait plutôt active contre les microbes que contre les insectes, ce qui explique son faible effet tardif sur les larves de la chenille processionnaire du pin.

Selon Ojimekwe et Adler (1999), α -pinène (composé majeur de l'HE du pin d'Alep) a révélé un effet insecticide intéressant contre le ténébrion brun de la farine *Triboliumconfusum*(Coleoptera:Tenebrionidae), des effets similaires ont été également notés avec le α -terpinéol, le cinéole et le limonène (Prates *et al.*, 1998). Après les analyses chromatographiques les chercheurs ont conclu que cette activité est liée au taux élevé de monoterpéniques Hydrocarbonés présentes dans l'huile essentielle de *Pinus halepensis* L. L' α -pinène, β -pinène sont très toxiques vis-à-vis des deux moustiques *Culex pipiens* et *Aedes aegypti*(Diptera:Culicidae), et le ravageur des conifères *Pityogenesbidentatus*(Coleoptera:Curculionidae) (Mercier *et al.*, 2009).



Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Le contexte général de cette présente étude, vise à rechercher de nouvelles molécules bioactives à activité biocide. L'évaluation de l'efficacité globale des huiles essentielles formulées de *Thymus palleescens* Noé., *Pinus halepensis* Mill., et *Artemisia herba alba* Asso., constitue une approche d'exploit dans le domaine de la protection intégrée. Lors de cette étude, nous avons procédé à l'extraction des huiles essentielles de ces trois plantes par l'hydrodistillation (Clevenger) afin d'évaluer leur potentiel larvicide sur la chenille processionnaire du pin d'Alep (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) en comparaison avec un insecticide de synthèse (Lambda cyhalothrine). A partir de cette investigation nous pouvons dégager les résultats suivants :

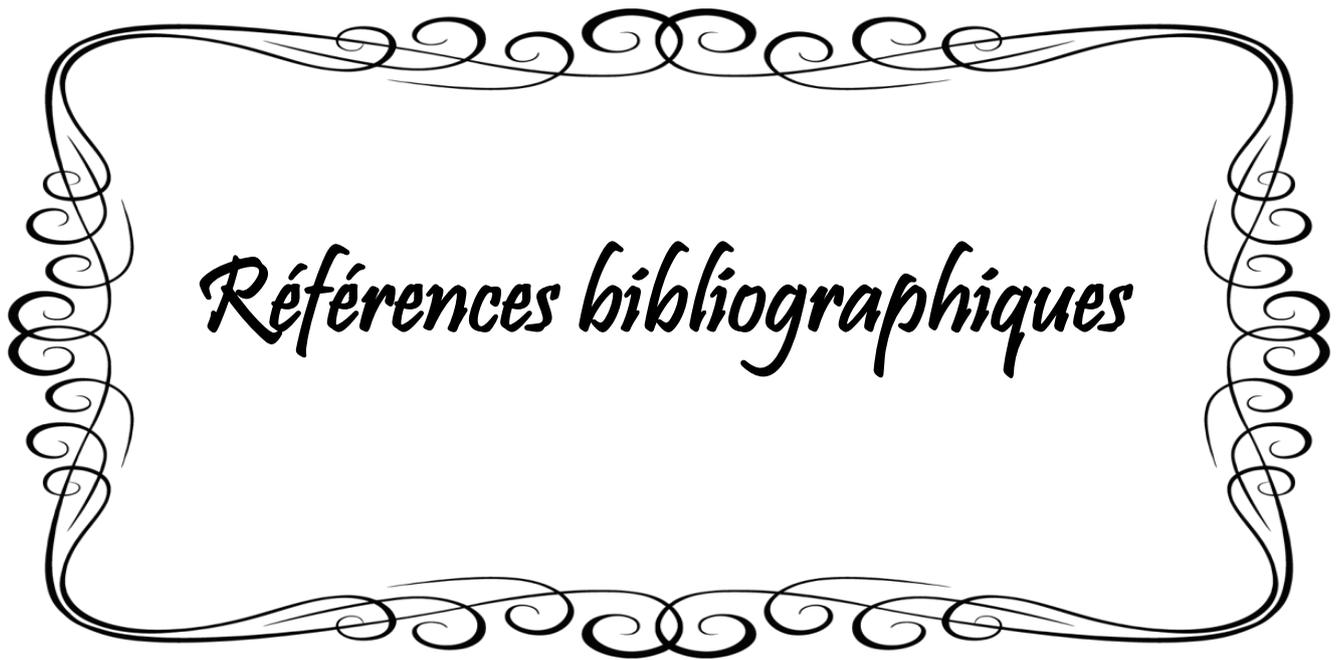
En matière d'activité biocide, les trois huiles essentielles formulées testées le *Thymus palleescens* Noé., *Pinus halepensis* Mill., et *Artemisia herba alba* Asso., se sont montrées très efficaces, la mortalité est de 100% après 48 heures d'exposition pour le thym (effet choc) et se varie temporellement pour l'armoise blanche et le pin d'Alep (effet tardif). En outre, les taux de mortalité augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la dose et le temps d'exposition. L'huile essentielle de thym s'est montrée plus efficace que les autres huiles essentielles.

Cet effet de choc estimé sur les populations résiduelles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., présente une gradation de toxicité allant de l'huile essentielle extraite de *Pinus halepensis* Mill., *Artemisia herba alba* asso, puis l'huile essentielle formulée de *Thymus palleescens* L. et enfin le traitement chimique.

Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes, Il est important d'identifier les molécules actives de ces substances naturelles pour la formulation et la fabrication des produits phytosanitaires propres sans effets secondaires. Nous envisageons de poursuivre cette étude afin de préciser la nature du (ou des) composé (s) responsable (s) de cette activité larvicide par un fractionnement mené en parallèle avec les tests biologiques. Les essais au champ seront nécessaires pour confirmer l'intérêt pratique de ces résultats dans l'élaboration d'un pesticide naturel contre ce ravageur.

La connaissance des phénomènes biologiques au niveau des insectes nuisibles est évidemment fondamentale, c'est un moyen permettant d'empêcher l'apparition de la diapause dans les populations naturelles, il est ainsi possible d'obliger des chenilles à continuer leur

développement pendant la période hivernale qui leur est défavorable, et entraîner ainsi une mortalité pouvant atteindre 90%. Ce qui également à retenir, c'est que la lutte biologique a encore des progrès à faire, et qu'il y a beaucoup d'autres choses qui devront être étudiées dans les années à venir.



Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- Aburjai, T ; Natsheh, F. M. (2003).** Phytotherapy Research, 17, 987.1000.
- Aimi, A., Larsson, S., Ronnâs, C., Frazao, J. et Battisti, A. (2008).** Growth and survival of larvae of *Thaumetopoea pinivora* inside and outside a local outbreak area. *Agricultural and Forest Entomology*, **10**: 225–232.
- Anthes, N., Fartmann, T. et Hermann, G. (2008).** The Duke of Burgundy butterfly and its dukedom. larval niche variation in *Hamearis lucina* across Central Europe. *Journal of Insect Conservation*, **12**:3–14.
- Angioni A., Barra M.T. Russo V. Coroneo S. Dessi et Cabras P., 2003.** Chemical composition of the essential oils of *Juniperus* from ripe and unripe berries and leaves and their antimicrobial activity. *J. Agric. Food Chem.* (51) 3073-3078.
- Arnaldo. P.S., Chacim. S., et Lopes. D. (2010).** Effects of defoliation by the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* on biomass growth of young stands of *Pinus pinaster* in northern Portugal. *Forest. Biogeosciences and Forestry*, **3**:159.162.
- Arnason J. T., Mackinnon S., Isman M. B. and Durst A. (1992).** Insecticides in tropical plants with neurotoxic modes of action. *Phytochem.* **28**:107. 131.
- Baali F. (2016).** Effet insecticides des huiles essentielles *Thymus vulgaris* L. *Artemisia herba alba* . *Pinus halepensis* Mill: 2-55pp.
- Banthorpe D.V. (1994).** Terpenoids. In Mann J., Davidson R.S., Hobbs J., Banthorpe D., Harborne J. Natural Products. Their chemistry and biological significance. Longman Scientific and Technical, England, pp 289.359.
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A., et Larsson, S. (2005).** Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, **15** :2084.2096.
- Belaïssaoui M Ch., Habitouche F., Diafat A. (2017).** Etude de quelques paramètres bioécologiques de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiff er Müller, 1775). Mémoire du master.
- Bentouati A. (2006).** Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du massif de Ouled Yagoub (Kenchela-Aurès). Mémoire Doctorat. AGRO BATNA. 116 p.
- Berggren Å, Björkman C, Bylund H, Ayres M.P. (2000).** The distribution and abundance of animal populations in a climate of uncertainty. *Oikos* **118**(8):1121–1126.
- Bernard, T., Perineau, F ; Bravo, P. ; Delmas, M. et Gaset. (1988) .** « informations chimie », Oct, n° 298, 179p.
- Bloomquist J. R. (1999).** Insecticides. Chemistries and characteristics. Bloomquist . Insecticides.
- Budavari S. (1996).** The Merck Index, Print version, Twelfth Edition. Eds CRC Press. 1741p.
- Buffo, E., Battisti, A., Stastny, M., Larsson, S. (2007).** Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agricultural and Forest Entomology* **9**: 65–72. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461.9563.2006.00321.x>.
- Capo. M., Couilleau. V., et Valette. C. (1990).** Chimie des couleurs et des odeurs. *Culture et techniques*, 204 p.
- Cayuela, L., Hódar, J.A., Zamora, R. (2011).** Is insecticide spraying a viable and cost-efficient management practice to control pine processionary moth in Mediterranean woodlands? *Forest Ecol. Manage.* **261**: 1732–1737.
- Chakali G. (2014).** Processionary Moths and Climate Change. *Alain Roques Editor An Update* 42p.

- Chapelin.Viscardi J.D. (2012).** La Protection Biologique Intégrée à Orléans . La lutte contre la Processionnaire du Pin .Ed Laboratoire d'Eco.Entomologie .Orléans.
- CherakI .(2010).** Facteurs d'échec et de réussite des reboisements de pin d'Alep dans trois stations : Ain-Touta, Tazoult et Bouilef. Mémoire de Magistère, Sciences agronomiques. 4p.
- Chinery M.(1988).** Insectes d'Europe occidentale. Ed: Arthaud. 317p.
- Couhert B., et Duplat P. (1993)** .le pin d'Alep. Rencontres forestiers-chercheurs en forêt méditerranéenne. La Grande-Motte (34), 6-7 octobre 1993. Ed. INRA, Paris 1993 (les colloques n°63), 125-147.
- Cimanga K.(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.
- Coggan, N., Clissold, F.J. et Simpson, S.J.(2011).**Locusts use dynamic thermoregulatory behaviour to optimize nutritional outcomes. *Proceedings of the Royal Society B*, 278: 2745–2752.
- Cowan. M.M.(1999).** Plant products as antimicrobial agents.*Clin. Microbiol. Rev.*, 12: 564.582
- Dale VH, Joyce LA, McNulty S, Neilson RP, Ayres MP, Flannigan MD, Hanson PJ, Irland LC, Lugo AE, Peterson CJ, Simberloff D, Swanson FJ, Stocks BJ, Wotton M. (2001).** Climate change and forest disturbances. *BioScience* 51(9) :723–734.
- Dajoz R.(1998).** Les insectes et la forêt. ed. Lavoisier Tec& Doc. 594 p. Paris.
- Deguine. J. ET Ferron. P.(2006).**Protection des cultures, préservation de labiodiversité, respect de l'environnement. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*. Vol 15 :307.311.
- Demoli N G.(1962).** Comportement des Adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff . C.R. Acad. Sci. Paris, 255 : 2838-2839pp.
- Demolin, G.(1969b).** Comportement des adultes de *Thaumetopoea pytiocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Annales des Sciences Forestières* 26 : 81–102.
- Demolin G., Millet A.(1981).**Essais insecticides contre la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). Action comparative de différentes spécialités commerciales de Bactospeine, Dipel, Thuricide etDimilin. *Ann. Sci. Forest* [en-ligne] 38(3) : 389-404. [<http://www.afs-journal.org/>] (consulté le 09 Mars 2011).
- Demolin G., Millet A.(1983).** Le dimilin utilisé à trois doses sur la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Rev. For. Fr.* [en-ligne] 35(2) 107-111. [<http://documents.irevues.inist.fr>] (consulté le 10 Mars 2011).
- Denis et Schiffermüller.(1775).** Systematischesverzeichnis des schmetterlinge de wienergegend. Wien : bernardi, 343 p.
- Dulaurent, A., Rossi, J., Deborde, C., Moing, A., Menassieu, P., Jactel, H.(2010).** Honeydew feeding increased the longevity of two egg parasitoids of the pine processionary moth. *Journal of AppliedEntomology*, in press.
- Gachi. M.(1996).** La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Conférence Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S.. Jijel. 17 pp.
- Gakuru S. et Foua.BI K.(1996).** *Effet d'extraits de plantes sur le bruche du niébé Coltosobructiu smaculatusFab. Et le charançon du riz Sitophilusorizae L. Cahiers Agriculture; vol. 5. T 1, pp.39.42.*

- Glitho I.A., Ketoh K.G. et Koumaglo H.K. (1997).** Effets de quelques huiles essentielles sur l'activité reproductrice de *Callosobruchus maculatus* Fab. *Annales de l'Université de Ouagadougou Série B, Vol. N° 5*, pp. 174-185.
- Glitho I.A. (2002).** Annexe post récolte des biopesticides en Afrique. In Regnault –Roger C., Philogène BJR, Vincent C., Biopesticides d'origine végétales. *Tec et Doc L'Mavoisier*, Paris, pp. 313-321.
- Gomez. P., Cubillo. D., Mora. GA., Hilje. L. (1997).** Evaluacion de posibles repelentes de *Bemisia tabaci*. II. Extractos vegetales. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* **29**, p. 17–25.
- Goudoum A. (2010).** Impact des huiles essentielles sur le potentiel technologique et nutritionnel des grains et farine de maïs au cours du stockage. Thèse de Doctorat, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Cameroun, 180 p.
- Hódar JA, Castro J, Zamora R. (2003).** Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation* **110**, 123–9.
- Hódat, J.A., Zamora, R., Cayuela, L. (2012).** Climatic change and the incidence of a forest pest in Mediterranean ecosystems: can the North Atlantic Oscillation be used as a predictor? *Clim. Change* **113** (3–4), 699–711.
- Hoch. G., Toffolo. E.P., Netherer. S., Battisti. A., & Schopf. A. (2009).** Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, **11**-pp 313-320.
- Huchon H. et Demolin G. (1971).** La bioécologie de la processionnaire du pin dispersion potentielle dispersion actuelle. F ; F ; XXII. Spécial la lutte biologique en forêt. 220.234 p.
- Huignard J., Lapied B., Dugravot S., Magnin. Robert M. et Ketoh K. G. (2008b).** Modes d'actions neurotoxiques des dérivés soufrés et de certaines huiles essentielles et risques liés à leur utilisation. In « *Biopesticides d'origine végétale* », 2ème Ed, pp. 219-230.
- Ince I.A., Demir I., Demirbag Z., Nalcacioglu R. (2007).** A cytoplasmic polyhedrosis virus isolated from the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *J. Microbiol. Biotechnol.* **17**(4), 632-637.
- INRA. (2013).** Institut National de la Recherche Agronomique, Avignon.
- Isman. M. B. (2000).** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop protection.* **19**. pp. 603-608.
- Isman M.B. (2005).** Problems and opportunities for the commercialization of botanical insecticides. In *Biopesticides of Plant Origin*, ed. C Regnault. Roger, BJR Philogene, C Vincent, Paris. Lavoisier. pp. 91-283.
- Jactel, H., Branco, M., Duncker, P., Gardiner, B., Grodzki, W., Langstrom, B., Moreira, F., Netherer, S., Nicoll, B., Orazio, C., Piou, D., Schelhaas, M.J., Tojic, K. (2012).** A multicriteria risk analysis to evaluate impacts of forest management alternatives on forest health in Europe. *Ecol. Soc.* **17** (4). Art 52.
- Kabouche A., Kabouche Z. et Bruneau C. (2005).** Analysis of the essential oil of *Thymus numidicus* (Poiret) from Algeria. *Flavour and Fragrance Journal*, **N° 20**, pp. 235-236.
- Kadik B. (1987).** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie : Ecologie, dendrométrie, morphologie. O.P.U., 581 p.
- Keane Ch., Marx J., Edmund R. (2003).** The service privatized in local health departments. *A., J. Public Health.* 2003 ; **93** (4) pp. 520-521.
- Kechout. F. (2001).** Efficacité de trois extraits végétaux et de deux insecticides vis.à.vis de *Sitophilus oryzae* L. (*Coleoptera, Curculionidae*). Thèse ing., sci. agr., I.N.A., El Harrach, pp. 30-35.

- Kenis M, Auger.RozenbergM.A, Roques A, Timms L, Pe're' C, Cock MJW, Settele J, Augustin S et Lopez.Vaamonde C.(2009).** Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions* **11**, 21–45.
- Ketoh K. G.(1998).** Utilisation des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques au Togo comme biopesticides dans la gestion des stades de développement de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera. Bruchidae). Thèse de Doctorat, Univ. du Bénin, Lomé, 141 p.
- Klapwijk MJ, Ayres MP, Battisti A.(2012).** Assessing the impact of climate change on outbreak potential. In: Barbosa P, ed. *Insect Outbreaks Revisited*. Academic, New York.
- Lamiri. A., Lhaloui. S., Benjilali. B. et Berrada. M.(2001).** Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, *Mayetiola Destructor* (Say). *Field CropsRes.*, 71, 9.15p.
- Lamontagne. E.(2004).** Caractérisation de nouvelles souches de *Bacillus thuringiensis* d'intérêt pour la production des biopesticides et d'enzyme par fermentation de boues d'épuration municipale. Mémoire de maîtrise en science de l'eau. Université du Québec INRSETE. 122p.
- Larew. HG., Locke. JC.(1990).** Repellency and toxicity of horticultural oil against whitefly on *Chrysanthemum*. *HortScience* **25** (11), p. 1406–1407.
- Leblond, A., Martin, J.C., Napoléone, C., Geniaux, G., Robinet, C., Provendier, D., et Gutleben, C.(2010).** La processionnaire du pin vue par ses gestionnaires . Une enquête auprès des communes françaises donne un nouveau regard sur ce ravageur. *Phytoma*, **633**, 18.23.
- Lilian M.(2016).** La chenille processionnaire du Pin, une présence cyclique. *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiff er Müller, 1775). Office National des Forêts, correspondant du Département Santé des Forêts pour le 04.
- Lis.Balchin. M.(2002).** Lavender. the genus *Lavandula*. Taylor and Francis, London.p. 37, 40, 50, 155.200.
- Lequet A.(2010)** Les pages entomologiques d'André Lequet. [en-ligne]. Mise à jour le 05 Décembre 2010 [http://www.insectes-net.fr/] (consulté le 22 décembre 2010).
- Maga. N. et Olsen. M.(2004).** Mycotoxines in food. Detection and control, Woodhead publishing in Food Science and Technology.P.190.203p. a
- Makhloufi L. & Sadi S.(2002).** Impact de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) sur la croissance du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans la région de Ain-Abessa (Sétif). Mémoire d'ing. Biologie Sétif. 24p.
- Marini L, Ayres MP, Battisti A, Faccoli M.(2012).** Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Clim Change* **115**:327–341.
- Markalas. S.(1998).** Biomass production of *Pinus pinaster* after defoliation by the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), in Population dynamics, impacts, and integrated management of forest defoliating insects (ed. Mc Manus, M.L. and Liebhold, A.M.).
- Martin J.C.(2005).** La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. Synthèse des recherches bibliographiques et des connaissances, INRA Avignon. [en-ligne] [http://www.prodinra.inra.fr/prodinra /pinra/index.xsp] (consulté le 23 Novembre 2010).
- Martin J.C. and N. Warzee. (2006).** Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. For. Sci.* **63** :613–624.
- Martin J.C. (2007).** « la chenille processionnaire du pin », futura .sciences. [en ligne].http://www.futura.sciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologie.Chenille processionnaire. Pin.

- Martin J.C., Bonnet C.(2008).** Les moyens de lutte disponibles et à venir en milieu forestier et urbain. *In . Colloque Insectes et changement climatique.* [en.ligne] Micropolis, Aveyron (France), 15 novembre 2008.
- Markouk M., Bekkouche K., Larhsini M., Bousaid M.(2000).** Evaluation of some Moroccan medicinal plants extracts for Larvacidal activity. *Journal of Ethnopharmacology* **73**, pp. 293.297.
- Morel. E.(2008).** La chenille processionnaire du pin et ses parasites oophages. vers un moyen de lutte biologique? *In. Collaborations scientifiques, un stage . Les parasites oophages de la processionnaire.* [en.ligne] Master Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité, Montpellier, 66p.
- Mazen K.E.T.(2002).** Molecular regulation of plant monoterpenes biosynthesis in relation to fragrance. Thesis Proefschrift Wageningen, University, Netherland, 206 p.
- Nahal. I.(1962).** Le pin d'Alep. Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.* **4** . 533.627.
- 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.
- Nuto Y.(1995).** Synergistic action of cooccurring toxins in the root barks of *Zanthoxylum anthoxyloides* (Rutaceae) against the cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera. Bruchidae). *Thesis of Ph.D.S.U.N.Y. Syracuse, New York, 107p.*
- Paster. N.(1990).** Inhibitory effect of oregano and thyme essential oils on molds and foodborne bacteria. *Lett. Appl. Microbiol.,* **11** : 33.37.
- Pottier G.(1981).** *Artemisia herba-alba.* Flore de la Tunisie : angiospermes-dicotylédones gamopétales. 1012p.
- Quezel P.(1986).** Les pins du groupe « halepensis » : Ecologie, Végétation, Ecophysiologie. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1 :11-24.
- Riou Nivert P., 2001.** Les résineux. Tome 1. Connaissance et reconnaissance. 2ème édition. Institut pour le développement Forestier pp : 15-27.
- Ripert C., Vennetier, M. (2001).** Croissance et écologie du pin d'Alep en France. Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et l'environnement, Antony, France : CEMAGREF-01-0459.
- Robinet. C.(2006).** *Modélisation mathématique des phénomènes d'invasion en écologie: exemple de la chenille processionnaire du pin.* Thèse de doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, France, 188p.
- Robinet C, Imbert C.E, Rousselet J, Sauvard D, Garcia J, Goussard F, Roques A.(2011).** Human-mediated long distance jumps of the pine processionary moth in Europe. *Biol Invasions* **14**(8).1557–1569.
- Regnault Roger. C, Hamraoui. A, Holeman. M, Théron. E, Pinel. R.(1993).** Insecticidal effect of essential oils from Mediterranean plants upon *A. obtectus* Say (Coleoptera, Bruchidae), a pest of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *J ChemEcol,* **19** :1231.1242p.
- Rochefort. S., Lalancette. R., Labbe. R. ET Brodeur. J.(2006).** Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement. Rapport final, Projet PARDE, Volet Entomologie, Université Laval. Pp.10. 28.
- Ronnàs, C., Larsson, S., Pitacco, A. et Battisti, A.(2010).** Effects of colony size on larval performance in a processionary moth. *Ecological Entomology,* **35** :436–445.

- Rousselet. J.(2008).** La chenille processionnaire du pin et le réchauffement climatique. Vers de nouvelles méthodes de lutte contre un insecte forestier urticant qui s'invite en ville. *In. Colloque Insectes et changement climatique* [en.ligne]. Micropolis, Aveyron (France), 15 novembre 2008.
- Sánchez-Fortun S. et Barahona M. V. (2005).** «Comparative study on the environmental risk induced by several pyrethroids in estuarine and freshwater invertebrate organism». *Chemosphere*, vol. 59, no 4, p. 553-559.
- Schoenbeger A.(1970)** . Inventaire des massifs de S'gag et Chélia. *FAO- projetAlgérie 15* : 14 p.
- Scheiner. P.(2003).** Les chenilles processionnaires chez le chien. Thèse Méd. Vét., Lyon, N°136, 122p.
- Shaaya E., Kostjukovski M., Eilberg J. et Sukprakarn C.(1997).** *Plant oils as fumigants and contact insecticides for control of stored product insects, Journal Stored Product Research.N° 33, pp 7.15.*
- Sharkay. T.D. et Sumsum., Y.(2001).** *Ann. Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol. 52*: 407.436.
- Schmidit. (1990).** Life cycle of *Thaometopoea pityocampa* Schiff. Symposium of *Thaometopoea pityocampa* Newsdals. *Hanover Deutschland. Jill 1989*: 95-99 p
- Sinclair BJ, Addo.Bediako A, Chown SL.(2003).** Climatic variability and the evolution of insect freeze tolerance. *Biol Rev CambPhilos Soc 78(2)*.181–195.
- Solomon, S.(2007).**Technical summary. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed. by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller), Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, New York.pp. 19–91.
- Taylor T. A.(1974).** On the population dynamics of *Taeniothripsjostedti*(Tribom) (Thrisanoptera. Thripidae) on cowpea and alternate.
- Teuscher., Anton R., Lobstein A. (2005).** Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Paris, Lavoisier, 522p.
- Tierto.Nieber B., Hellenius J., Varis A.L.(1992).** Toxicity of plant extract to three storages beetles (Coleoptera) *J.Appl.Ent.* N° 113, pp. 202.208.
- Trenberth KE, Jones PD .(2007).**Observations. Surface and Atmospheric Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- Turchin P, Wood SN, Ellner SP, Kendall BE, Murdoch WW, Fischlin A, Casas J, McCauley E, Briggs CJ .(2003).** Dynamical effects of plant quality and parasitism on population cycles of larch budmoth. *Ecology 84(5)*.1207–1214.
- Turpin. M .(2006).**Les chenilles urticantes. Effets pathogènes chez l'homme et chez l'animal et données actuelles sur les venins et les moyens de lutte. Thèse.Méd.Vét. Nantes, N°097, 182p.
- Vande Velde, L., Turlure, C. et Van Dyck, H. (2011).**Body temperature and territory selection by males of the speckled wood butterfly (*Parargeaegeria*). what makes a forest sunlit patch a rendezvous site? *Ecological Entomology*, 36: 161–169.
- Wallach.(1907).**Contributions to our knowledge terpenes and etherealoils. *Berichte der DeutschenChemischen Gesellschaft, 80* :585.591.
- Wright C. W. (2002).** Artemisia. Taylor & Francis, London and New York, 359.
- Willmer, P.G. et Unwin, D.M. (1981).**Field analyses of insect heat budgets. Reflectance, size and heating rates. *Oecologia (Berlin)*, 50: 250–255pp.

ZimingW., Lan D., Tiechun L., Xin Z., Lu W., HanqiZh., Li L., YingL., Zhihong L., HongjuW,HongZ.Hui H. (2006). Improved solvent free microwaveextraction of essential oil from dried Cuminumcuminum L. and Zanthoxylumbungeanum Maxim. *Journal of Chromatography A*, **1102**: 11.17p.

ملخص

تأثير المبيد الحشري إيلانة زيوت أساسية مصنوعة (*Thymus vulgaris* L., *Pinus halepensis* Mill. et *Cymbopogon Citratus* Stapf.) على يرقات دودة الصنوبر (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff).

الدودة الجرارة للصنوبر الحلبي (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) هي أحد العناصر الرئيسية تتسبب في إصابات بليغة لغابات الصنوبر الحلبي في حوض البحر الأبيض المتوسط. تظهر هذه الفراشات خلال فصل الصيف ولها عمر قصير، من بضع ساعات إلى بضعة أيام. تعتبر المكافحة الكيميائية وسيلة فعالة ضد هذه الحشرة ولكن مشاكل المقاومة والضرر من هذه المبيدات الحشرية الاصطناعية قد أدت إلى الحاجة إلى إيجاد بدائل أكثر فعالية وأكثر صحة، والزيوت الأساسية هي أكثر المنتجات المختبرة حاليًا. تتمتع هذه المبيدات الحشرية الطبيعية بالعديد من المزايا على المبيدات التقليدية بسبب تحللها البيولوجي السريع وانتقائها وتقليل المخاطر البيئية. تركز دراستنا لتقييم الإمكانيات الحشرية لثلاثة زيوت أساسية *Thymus pallescens* Noë و *Pinus halepensis* Mill و *Artemisia herba alba* Asso في مواجهة يرقات المرحلة L1 من (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff). مقارنة بمبيد حشري صناعي (Lambda cyhalothrin 5 %)، من أجل البحث عن منتجات حيوية جديدة. كشفت النتائج عن وجود أنشطة مهمة لمكافحة المبيدات الحشرية على يرقات المرحلة الأولى من الزيوت الأساسية المصممة بالزعر والسنوبر وحلب الصنوبر بجرعات 0.5% و 2% و 2% على التوالي. تم اختبار 100% من الأفراد بعد 24 ساعة من التعرض مقارنة بالمادة الكيميائية. بالمقارنة مع المبيدات التجارية (5% Lambda cyhalothrin) المستخدمة كعنصر تحكم إيجابي قياسي في الجرعة المسجلة. وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية كبيرة من العلاجات التطبيقية. تم تقييم تأثير الصدمة على السكان المتبقين في *Thaumetopoea pityocampa* Schiff، وبشكل ملموس تدرج تدريجي للسمية يبدأ من الزيت العطري المصنوع من *Pinus halepensis*، ثم الزيت العطري المصنوع من *Artemisia herba alba* Asso. من الضروري النفط وضعت من الغدة الصعترية *pallescens* Noë، وأخيرا العلاج الكيميائي. تشير هذه النتائج إلى أن الزيوت الأساسية التي تم اختبارها يمكن أن تكون بدائل للمبيدات الكيميائية الصناعية في مكافحة هذه الآفة لاشجار الصنوبر الحلبي.

الكلمات المفتاحية: دودة الصنوبر الجرارة، زيوت أساسية، الصنوبر الحلبي، تأثير المبيد الحشري، الافراد المقاومة، مركبات طبيعية ذات نشاط بيولوجي، زعيرة .

Résumé

Effet insecticide de trois huiles essentielles formulées (*Thymus pallescens* Noë ; *Pinus halepensis* Mill ; et *Artemisia herba alba* Asso.) sur les larves L₁ de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (1775).

La chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) est l'un des principaux défoliateurs des forêts de pin d'Alep des régions du bassin méditerranéen. Ces papillons apparaissent durant l'été et ont une durée de vie courte, de quelques heures à quelques jours. La lutte chimique considère comme un moyen efficace contre cet insecte mais les problèmes de la résistance et de la nocivité de ces insecticides synthétiques ont abouti à la nécessité de trouver des alternatives plus efficaces et plus saines, les huiles essentielles sont les produits les plus testés actuellement. Ces insecticides naturels, présentent plusieurs

avantages par rapport aux pesticides conventionnels à cause de leur biodégradation rapide, leur sélectivité et la réduction des risques de l'environnement. Notre étude est consacrée à la valorisation du potentiel insecticide de trois huiles essentielles de *Thymus pallescens* Noë, *Pinus halepensis* Mill., et *Artemisia herba alba* Asso vis-à-vis les larves de stade L1 de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) comparé à un insecticide de synthèse (Lambda cyhalothrine 5%), dans le but de rechercher de nouveaux produits bioactifs naturels. Les résultats ont révélé des activités insecticides importantes sur les larves de stade L₁ des huiles essentielles formulées de thym, de l'armoise et du pin d'Alep aux doses : 0.5%, 2% et 2% respectivement. Ces formulations sont causées une mortalité de 100% de individus soumis au test après 24h d'exposition en comparaison avec le produit chimique. Par comparaison au pesticide commercial (Lambda cyhalothrine 5%) utilisé comme témoin positif standard, à la dose homologuée. Les résultats décrochés ont montré une efficacité notable des traitements appliqués. L'effet de choc évalué sur les populations résiduelles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., concrète une gradation progressive de toxicité allant de l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* Mill., ensuite l'huile essentielle formulée de *Artemisia herba alba* Asso., ensuite l'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* Noë., et enfin le traitement chimique. Ces résultats indiquent que les huiles essentielles testés peuvent être des solutions alternatives aux pesticides chimiques de synthèse dans la lutte contre ce ravageur du pin d'Alep.

Mots clés : Armoise blanche, chenille processionnaire, effet insecticide, huile essentielle, Molécules bioactives naturelles Population résiduelle, Pin d'Alep, Thym.

Abstract

Insecticidal effect of three formulated essential oils (*Thymus pallescens* Noe, *Pinus halepensis* Mill, and *Artemisia herba alba* Asso.) On larvae L1 of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (1775).

The pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) Is one of the main defoliators of Aleppo pine forests in the Mediterranean basin. These butterflies appear during the summer and have a short life, from a few hours to a few days. Chemical control considers an effective means against this insect but the problems of resistance and the harmfulness of these synthetic insecticides have led to the need to find more effective and healthier alternatives, essential oils are the most tested products currently. These natural insecticides

have several advantages over conventional pesticides because of their rapid biodegradation, their selectivity and the reduction of environmental risks. Our study is devoted to the valuation of the insecticidal potential of three essential oils of *Thymus pallescens* Noe, *Pinus halepensis* Mill., And *Artemisia herba alba* Asso vis-à-vis the L1 stage larvae of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) compared to a synthetic insecticide (Lambda cyhalothrin 5%), in order to search for new natural bioactive products. The results revealed important insecticidal activities on stage L1 larvae of the essential oils formulated with thyme, mugwort and Aleppo pine at doses of 0.5%, 2% and 2%, respectively. 100% of individuals tested after 24 hours of exposure compared to the chemical. Compared to the commercial pesticide (Lambda cyhalothrin 5%) used as a standard positive control at the registered dose. The results obtained have shown a significant effectiveness of applied treatments. The shock effect evaluated on the residual populations of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., Concretely a progressive gradation of toxicity ranging from the essential oil formulated with *Pinus halepensis* Mill., Then the essential oil formulated from *Artemisia herba alba* Asso. essential oil formulated from *Thymus pallescens* Noë., and finally the chemical treatment. These results indicate that the essential oils tested can be alternatives to synthetic chemical pesticides in the fight against this pest of Aleppo pine.

Key words: Pine processionary, caterpillar, essential oil, Aleppo pine, insecticides effect resident population natural, bioactive molecules, Thym.