



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 البيولوجية
Département des Sciences Biologiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biotechnologie et protection des végétaux

Thème

Evaluation de l'effet insecticide et l'allocation des biomarqueurs énergétiques de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) sous l'effet de trois huiles essentielles formulées (*Thymus pallescens* Noé, *Artemisia herba alba* Asso. et *Pinus halepensis* Mill.)

Présenté par : Bouchakour Sabrina.
Aissaoui Yasmine.

Devant le jury :

Président : M^f Sayah. T M.A.A (Univ Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A)
Encadrant : M^{me} Ziouche. S M.A.A (Univ Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A)
Examineur : M^f Moutassm. D M.A.A (Univ Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A)
Invité : M^{elle} Baâli. F Doctorante (Univ Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A)

Année universitaire : 2016/2017

Remerciement

La réussite d'une thèse doit beaucoup à l'environnement scientifique et humain dans laquelle elle se déroule. La réduction de ces pages clôt une aventure qui n'a pas toujours facile.

Avant tout Merci à Dieu le tout puissant, de nous avoir donnée courage, volonté et patience pour réaliser ce travail.

Toutes notre gratitude et notre reconnaissance va à Madame Ziouche Siham, notre directeur de cette mémoire pour nous avoir accepté et dirigé ce modeste travail, pour son aide, sa patience et ses conseils ainsi que ses encouragements.

Un grand merci à Faiza Baâli notre 2^{ème} directeur de cette mémoire, pour sa grand aide surtout dans notre partie pratique sa disponibilité et sa grand soutien moral.

Nous remercies également les jurys M^c Moutasem. D et M^c koudoure, qui nous fait l'honneur d'accepter de jury cette thèse.

Nous n'oublions pas de remercier tout les techniciennes de laboratoire de l'université de bordj bou Arréridj, pour l'aide précieuse qu'elles nous apportée.

Nous réservons une mention particulière à toutes les personnes qui nous apportons leur soutien et leur aide.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, sources de mes joies et secret de ma force, vous serez toujours le modèle : mon père dans ta détermination, ta force et ton honnêteté, ma mère dans ta bonté, ta patience et ton dévouement pour nous. Merci pour vos sacrifices. C'est à vous que je dois cette réussite.

À mes frères Abd el Karim et Mohammed el amine, en reconnaissance de leur affection toujours constante.

A me très cher sœur Sarah.

A ma très chère amie et ma grand sœur Faiza.

A ma tout belle famille "Bouchakour".

Tous mes proches

Mes amis

Mes camarades de promotion

A toutes personnes qui me connaisse de loin ou de près.

Sabrina



Dédicace

C'est avec un grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde mes chers parents qu'ont permis de continuer mes études dans les meilleurs conditions et qui m'ont appris à ne jamais baissé les bras.

Je dédie aussi cette modeste réalisation :

- Ames chères tantes : Saghira, Kafia et des filles Yasmine, Radia et Kenza.
- A mes fidèles amies : Faiza, Mayada, Warda, Soriya et Yasmina.
 - A toute ma famille.

Que ce travail soit une part de ma reconnaissance envers eux.

Yasmine

Résumé

Evaluation de l'effet insecticide et l'allocation des biomarqueurs énergétiques de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) sous l'effet de trois huiles essentielles formulées (*Thymus pallescens* Noé, *Artemisia herba alba* Asso. et *Pinus halepensis* Mill.)

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. La lutte chimique considère comme un moyen efficace 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. Notre étude est consacrée à la valorisation du potentiel insecticide de trois huiles essentielles de *Thymus pallescens* Noé, *Pinus halepensis* Mill., et *Artemisia herba alba* Asso vis-à-vis les larves L₂ et L₃ de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), dans le but de rechercher de nouveaux produits bioactifs naturels. Dans la même étude, nous avons effectué une série de dosage des biomarqueurs énergétiques pour quantifier et comparer les variations et l'allocation des réserves énergétiques dans le but de savoir la réponse des chenilles traitées face à cette exposition. D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que les huiles essentielles des trois plantes aromatiques testées montrent une grande efficacité sur les larves L₂ et L₃, cette dernière est estimée par des mortalités remarquables au niveau des populations des chenilles, en outre, ces mortalité augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la dose et le temps d'exposition. Les résultats décrochés ont montré que l'huile essentielle de thym est la plus efficace parce qu'elle a enregistré une mortalité de 100% de tous les individus de stade L₂ et L₃ (effet de choc). L'étude des réserves énergétiques a montré la prédominance des réserves lipidiques, ce qui expliquerait un gain d'énergie pour une accumulation des réserves chez les chenilles destiné pour la reproduction.

Mots clés : Potentiel insecticide, Huile essentielle, thym, pin d'Alep, Armoise blanche, biomarqueurs, réserves énergétiques.

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Partie I : Synthèse bibliographique.

Introduction général.....	01
Chapitre 1. Modèle d'étude : la chenille processionnaire du pin « <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.»	
1.1. La place de la processionnaire du pin parmi les <i>Thaumetopoeinae</i>.....	03
1.2. Classification systématique.....	03
1.3. Cycle de développement.....	04
1.3.1. La phase aérienne.....	05
1.3.2. Phase souterraine.....	08
1.4. Bioécologie et particularités du cycle de la chenille processionnaire du pin.....	09
1.4.1. Plante hôte : (<i>Pinus halepensis</i> Mill.).....	09
1.4.2. Facteurs écologiques influençant le développement de la chenille.....	09
1.4.2.1. Ensoleillement et photopériode.....	09
1.4.2.2. Température.....	10
1.4.2. Répartition géographique de la <i>Thaumetopoea pityocampa</i>.....	10
1.4.3. Conséquences environnementales et dégâts forestiers.....	11

1.4.4.2. Conséquences écologiques.....	12
1.4.4.2. Conséquences économiques.....	12
1.5. Moyens de lutte.....	12

Chapitre 2. Les pesticides d'origine botanique

Introduction.....	14
2.1.Le rôle des huiles essentielles.....	14
2.2.Toxicité des huiles essentielles.....	15
2.3.Activité biologiques des H.Es et de leurs constituants.....	16
2.3.1 Activité insecticide.....	16
2.3.2. Activité antibactérienne.....	16
2.3.3. Activité acaricide.....	17
2.3.4. Activité antifongique.....	17

Chapitre 3. Les biomarqueurs

3.1. Définition.....	18
3.2. Les différents types des biomarqueurs.....	18
3.2.1. Les biomarqueurs d'exposition.....	19
3.2.2. Les biomarqueurs d'effet.....	19
3.2.3. Les biomarqueurs de sensibilité.....	19
3.3. Intérêt des biomarqueurs.....	19
3.4. Les réserves énergétiques comme biomarqueurs.....	20

Partie II : Expérimentation

Chapitre 1 : Matériel et Méthodes

1.1.Présentation du Milieu de prélèvement.....	22
1.2.Description botanique des plantes étudiées.....	22
1.2.1. <i>Thymus palleescens</i> Noé.....	22
1.2.2. <i>Artemisia herba alba</i> Asso.....	23
1.2.3. <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	24
1.3.Conditions expérimental.....	25
1.3.1. Matériel biologique.....	25
1.3.2. Procèdes d'extraction et de formulations des huiles essentielles.....	25
1.3.3. Préparation de la gamme de doses des huiles essentielles étudiées.....	26
1.4.Méthodes d'étude.....	26
1.4.1. Dispositif expérimental.....	26
1.4.2. Calcul le DL ₅₀	27
1.4.3. Méthodes d'estimation de certains paramètres populationnels.....	27
1.4.3.1. Mortalité journalière.....	27
1.4.3.2. Mortalité corrigée.....	27
1.4.4. Méthodes d'estimations de certains paramètres biochimiques.....	28
1.4.4.1. Dosage des protéines.....	28
1.4.4.2. Dosage des lipides et des glucides.....	29
1.5. Analyse statistique des données.....	30

Chapitre 2 : Interprétation des résultats

2.1. Variation temporelle de la mortalité en fonction des différentes doses des huiles essentielles étudiées.....	32
2.1.1. Sur les larves L ₂	32
2.1.2. Sur les larves L ₃	33
2.2. Evaluation de l'effet biocide 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 L₂.....	35
2.2.1. Effet des huiles essentielles étudiées sur la mortalité corrigée de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff. en fonction du temps et des doses.....	35
2.3. Evaluation de l'effet biocide 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 L₃.....	39
2.3.1. Effet des huiles essentielles étudiées sur la mortalité corrigée de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff. en fonction du temps et des doses.....	39
2.4. Etude comparée de l'efficacité des huiles essentielles étudiées sur les L₂ et L₃ de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	43
2.5. Evaluation temporelle de l'effet biocide des différentes huiles essentielles étudiées sur l'allocation des réserves énergétiques de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	45
2.5.1. Sur les larve au stade L ₂	45
2.5.2. Sur les larves au stade L ₃	46
2.6. Evaluation de l'effet des huiles essentielles étudiées sur des réserves énergétiques de deux stades larvaires de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	48
2.6.1. Les réserves glucidiques.....	48

2.6.2. Les réserves lipidiques.....	49
2.6.3. Les réserves protéiques.....	49
2.7. Etude comparée de la variation des réserves énergétiques en fonction des différents traitements appliqués chez les larves L₂ et L₃ de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	50
2.8. Discussions.....	52
2.8.1. Evaluation de l'effet insecticide des huiles essentielles étudiées les larves <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	52
2.8.2. Évaluation de l'allocation des réserves énergétiques des larves L ₂ et L ₃ de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff. sous l'effet des différentes huiles essentielles appliquées.....	55
Conclusion et perspectives.....	59

Références bibliographiques

Résumé

Liste des figures

Figure I.1.1 : Les aspects morphologiques des différentes espèces du genre <i>Thaumetopoea</i>	04
Figure I.1.2 : Le cycle de vie de la processionnaire du pin.....	05
Figure I.1.3 : différence de taille des Adulte	06
Figure I.1.4 : Accouplement des papillons de processionnaires du pin.....	06
Figure I.1.5 : le pont (manchon).....	06
Figure I.1.6 : les différents stades larvaires.....	06
Figure I.1.7 : Nid d'hiver.....	08
Figure I.1.8 : Fin de la procession et début d'enfouissement.....	08
Figure I.1.9 : Chrysalides.....	08
Figure I.1.10 : Distribution de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en Algérie en relation avec la distribution des espèces conifères.....	11
Figure I.3.1 : représentation schématique de la répartition de l'énergie dans la théorie....	20
Figure II.1.1 : la forêt de Boumergued.....	22
Figure II.1.2 : <i>Thymus pallescens</i> Noé.....	23
Figure II.1.3 : <i>Artemisia herba alba</i> Asso.....	24
Figure II.1.4 : <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	25
Figure II.1.5 : Présentation du pré-nids et larves de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff	25
Figure II.1.6 : Dispositif expérimental.....	26
Figure II.1.7 : Extraction et dosage des protéines.....	28
Figure II.1.8 : extraction et dosages des lipides.....	29

Figure II.1.9 : extraction et dosage de glucides.....	30
Figure II.2.1 : Variation temporelle des taux de mortalité des larves au deux stades larvaires de <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff. exposées à différentes doses des huiles essentielles formulées (Moyenne \pm écart type).....	34
Figure II.2.2.1 : Effet des différentes doses et des évolutions temporelles de traitement à base de l'huile essentielle formulée de trois plante sur la mortalité corrigée <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff.....	38
Figure II.2.2.2 : Effet des différentes doses et des évolutions temporelles de traitement à base de l'huile essentielle formulée de trois plantes sur la mortalité corrigée <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff.....	42
Figure II. 2. 3 : Effet des trois huiles essentielles formulées sur la mortalité corrigée de deux stades larvaires de <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff.....	44
Figure II.2.4 : Variations temporelles des réserves énergétiques chez les larves L ₂ et L ₃ de <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff en fonction des différents traitements.....	47
Figure II.2.5.a : Variations comparée des glucides chez les larves L ₂ et L ₃ de <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff. en fonction des différents traitements.....	48
Figure II.2.5.b : Variations comparée des lipides chez les larves L ₂ et L ₃ de <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff. en fonction des différents traitements.....	49
Figure II.2.5.c : Variations comparée des protéines chez les larves L ₂ et L ₃ de <i>Thaumatopoea pityocampa</i> Schiff. en fonction des différents traitements.....	50
Figure II.2.6.a : Variations des réserves énergétiques (lipides, glucides, protéines) en fonction des différents traitements.....	51
Figure II.2.6.b : Variations temporelle des réserves énergétiques (lipides, glucides, protéines) en fonction des différents traitements.....	51

Liste des tableaux

Tableau I : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base des huiles essentielles de thym, de Pin d'Alep et d'Armoise blanche sur la mortalité corrigée de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	35
Tableau II : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base des huiles essentielles de thym de pin d'Alep et d'Armoise blanche sur les mortalités corrigées <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	39
Tableau III : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base des huiles essentielles de thym, de Pin d'Alep et d'Armoise blanche sur les mortalités corrigées les deux stades larvaires de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff.....	43

Liste des abréviations

% : pourcentage.

µl : Microlitre

An : année.

ANOVA: Analyse of Variance.

BBA: bordj bou Arreridj.

C° : Degré Celsius.

Cm : centimètre.

D : dose.

DL₅₀ : dose létale 50.

G.L.M : le modèle générale linéaire.

g: gramme.

H : heurs.

H.Es : huile essentielles.

ha : hectare.

HEF : huile essentielles formule.

Kg : kilogramme.

L : litre.

m : mètre.

MC : Mortalité corrigé.

Mg : milligramme.

Min : minute.

ml : microlitre.

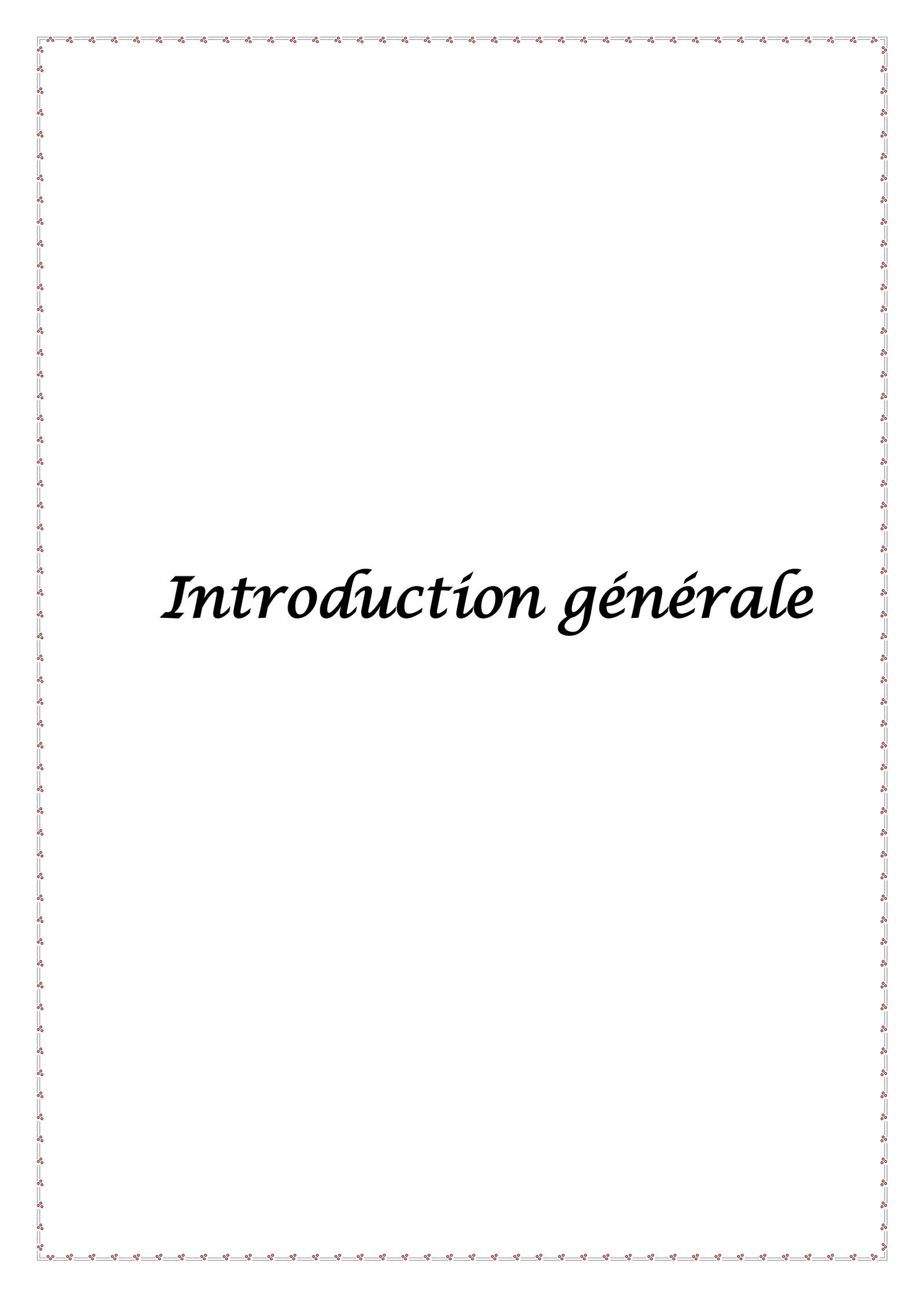
mm : millimètre.

nm : nanomètre.

P : probabilité.

T : Température.

µg : microgramme.



Introduction générale

Introduction générale

Les forêts résineux et surtout les forêts du pin d'Alep est sujet à divers problèmes sanitaires d'origine abiotiques (lors d'événements climatiques particuliers : gel, chutes de neige...) ou biotiques (pathogènes, insectes...) (**Marion, 2014**).

Parmi les différents facteurs qui peuvent affecter la santé du pin d'Alep, ce sont les facteurs climatiques qui jouent le rôle le plus important. Les "accidents climatiques" tels les grands froids ou les grandes sécheresses ont des conséquences directes sur l'essence provoquant quelquefois la mort des arbres, mais toujours une coloration rousse des feuilles et un ralentissement de croissance pendant une ou plusieurs années (**Bedel, 1986**), mais ils favorisent souvent l'intervention de facteurs entomologiques ou pathologiques dits "aggravants". Plus rarement une pluviométrie supérieure à la normale peut induire des phénomènes phytosanitaires sur le pin d'Alep (**Mirault et Recad, 1992**).

Dans les pineraies, la chenille processionnaire du Pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) constitue la principale source de perturbation forestière, présenter des pullulations abondantes et provoquer des dégâts importants (**Khous, 1992**) sur les plantes qui en consomment différentes parties (feuilles, racines, fleurs, fruits...) de façon plus ou moins sélective selon les espèces. L'intensité des dommages causés à la plante dépend du type et de la fréquence des attaques ainsi que du stade de développement de l'insecte (**Marquis, 1992**).

Face à cette situation écologique préoccupante, la lutte contre la chenille processionnaire du pin exige de grands efforts et une surveillance continue, elle peut prendre quatre formes principales : 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), dont l'utilisation des produits chimiques constitue à l'heure actuelle la technique la plus utilisée pour lutter contre les organismes nuisibles (**Magan et Olsen, 2004**). Cependant l'emploi intensif et inconsidéré de ces produits a provoqué une contamination de la biosphère et de la chaîne alimentaire.

De ce fait, les recherches à l'heure actuelle s'orientent vers les plantes aromatiques contenant des huiles essentielles qui agissent comme des biopesticides (**Tapondjou et al., 2003 ; Kellouche, 2005**). Ce sont des produits biodégradable, plus sélectif que les substances chimiques et sans danger pour les êtres humains pour favoriser la mise en œuvre de techniques de lutte alternative (**Leblond et al., 2010**).

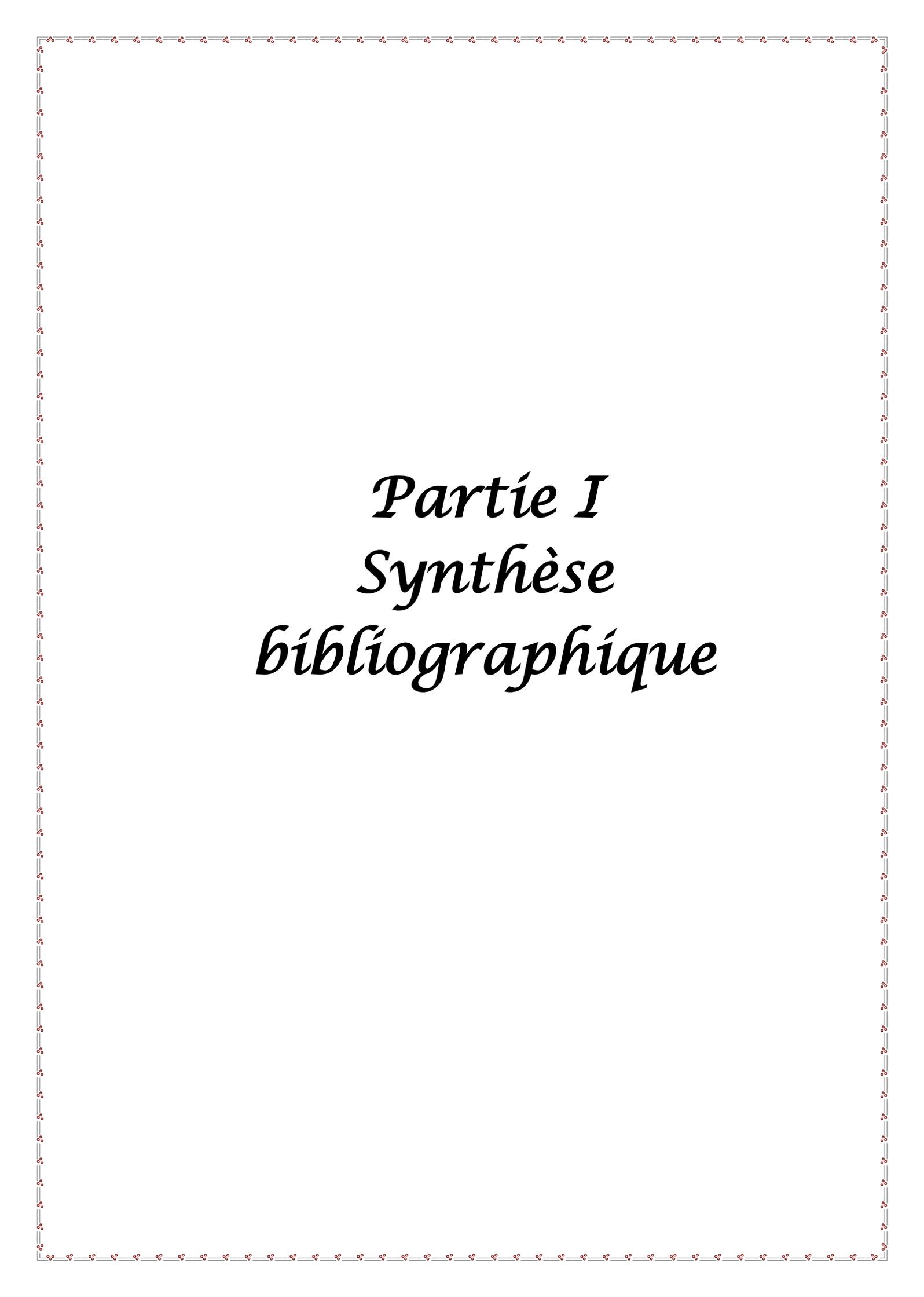
L'évaluation des effets de la toxicité chimique des huiles essentielles sur la réponse des larves passe par le développement d'outils biologiques permettant l'estimation de leur état de santé.

En effet, l'exposition de la chenille à des huiles essentielles peut entraîner un déséquilibre de leur balance énergétique qui se traduisant par une hausse des dépenses énergétiques pour assurer leur survie, au dépend de l'énergie destinée à la croissance et à la reproduction (**Calow et Sibly, 1990**).

Les biomarqueurs apparaissent comme des outils d'intérêt pour évaluer les effets de l'exposition des organismes à l'état de xénobiotique, Ils permettent d'appréhender les modes d'action des contaminants. (**Forbes et al., 1997 ; McLoughlin et al., 2000**). Leurs mesures permettent de fournir une information quant à la contamination et à ses effets.

Dans cette étude, nous nous sommes fixés comme objectif principal, l'évaluation du potentiel insecticides de trois huiles essentielles formulées extraites du thym (*Thymus palleescens* Noé.) ; du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba* Asso.), à différentes doses sur deux stades larvaires (L₂ et L₃) de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), de 24h jusqu'à une semaine d'exposition au stress chimique.

Ainsi nous avons réalisés une série de dosage des réserves énergétiques des chenilles de la processionnaire exposées a différentes doses des huiles essentielles considérées dans le but de chercher et comprendre les conséquences vis-à-vis de l'exposition à un stress chimiques.



Partie I
Synthèse
bibliographique

Chapitre 1. Modèle d'étude : la chenille processionnaire du pin

« *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.»

1.1. La place de la processionnaire du pin parmi les *Thaumetopoeinae*

Les *Thaumetopoeinae* est une sous famille des *Notodontidae* qui elle-même appartient à l'ordre des Lépidoptères. Le genre *Thaumetopoea* regroupe 9 espèces de chenilles processionnaires (Agenjo, 1941 ; Kiriakoff, 1970).

Ces espèces peuvent localement coexister et qui sont parfois difficiles à distinguer. Toutefois, il existe certaines différences morphologiques (Figure I.1.1) (telles que l'intensité de la couleur des ailes) et biologiques (notamment en ce qui concerne les plantes hôtes et la date d'éclosion, qui peut avoir lieu au printemps pour *Thaumetopoea bonjeani* (Powell), *Thaumetopoea pinivora* (Treitschke), *Thaumetopoea processionea* (L.), ou en fin d'été pour *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller), *Thaumetopoea wilkinsoni* (Tams), *Thaumetopoea solitaria* (Freyer), *Thaumetopoea jordana* (Staudinger), *Thaumetopoea herculeana* (Rambur) et *Thaumetopoea cheela* (Moore) (Agenjo, 1941). Le développement larvaire est donc printanier à estival pour les trois premières espèces, et hivernal pour *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller), *Thaumetopoea wilkinsoni* (Tams) (Imbert, 2012).

1.2. Classification systématique

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1775. En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (*campa* = 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).

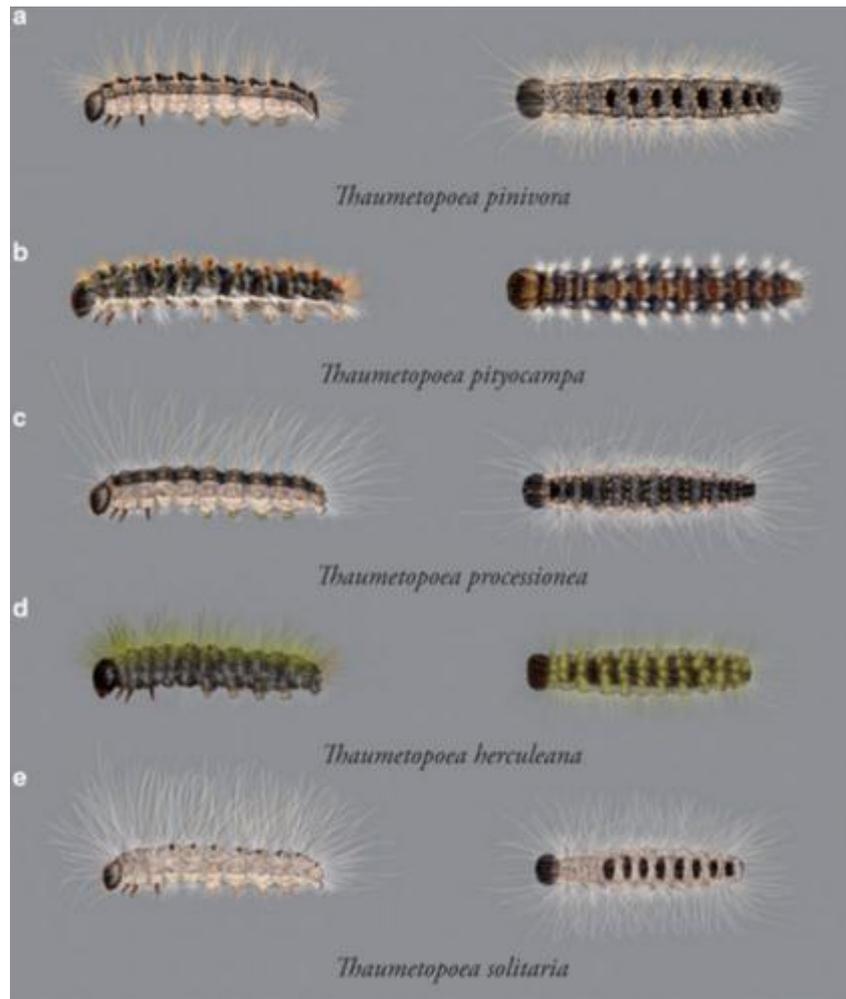


Figure I.1.1 : Les aspects morphologiques des différentes espèces du genre *Thaumetopoea*; (a) *T. pinivora*; (b) *T. pityocampa*; (c) *T. processionea*; (d) *T. herculeana*; (e) *T. solitaria*;

Photo de : CARLOS GOMEZ DE AIZPU'RA; (D) CREDIT: L. BERARDI (1986).

1.3. Cycle de développement

Le cycle de vie de la processionnaire du pin est généralement annuel mais il peut s'étendre sur plusieurs années, si les conditions sont défavorables (Escalón et al., 2013). Elle a un comportement grégaire durant toute la vie larvaire notamment lors des déplacements en procession alimentaire ou de nymphose et au moment des enfouissements dans le sol. La vie grégaire des chenilles constitue un atout fondamental pour la survie de cet insecte. Ainsi, l'effet de groupe permet la réussite de la prise alimentaire car les chenilles néonates isolées sont incapables de se développer. Une colonie de 200 chenilles résiste à -12°C alors qu'une chenille isolée meurt à -7°C (Démolin, 1969a).

Le cycle s'effectue en deux phases à deux strates différentes de l'écosystème : l'une aérienne (évolution larvaire en cinq stades), l'autre souterraine (prénymphose et nymphose)

(Martin et Bonnet, 2007). Les différentes écophases de son évolution sont synthétisées et illustrées par la figure I.1.2.

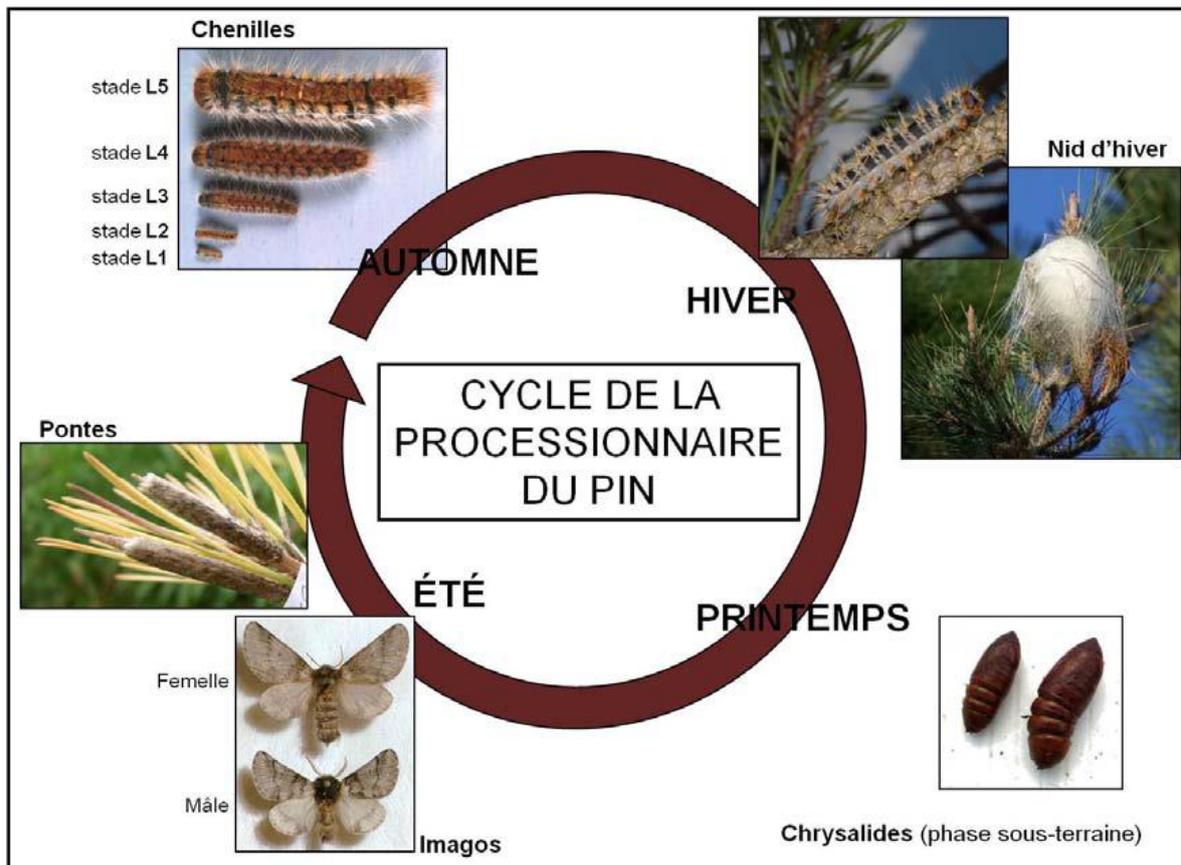


Figure I.1.2. : Le cycle de vie de la processionnaire du pin (Martin et Bonnet, 2007).

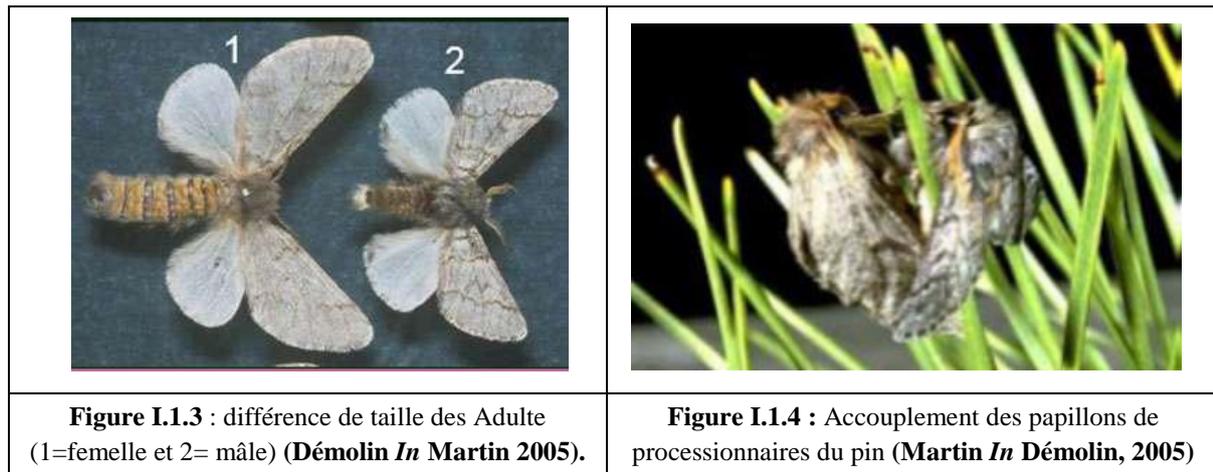
1.3.1. La phase aérienne :

Ce cycle est habituellement annuel, mais il peut se prolonger jusqu'à cinq ans. Selon les conditions environnementales, notamment la température et l'ensoleillement, donc l'altitude et la latitude, peuvent en effet fortement influencer le déclenchement des différents stades. La phase aérienne dure cinq à huit mois et comprend plusieurs étapes, de l'émergence des papillons jusqu'à l'enfouissement précédent la nymphose (Martin, 2007).

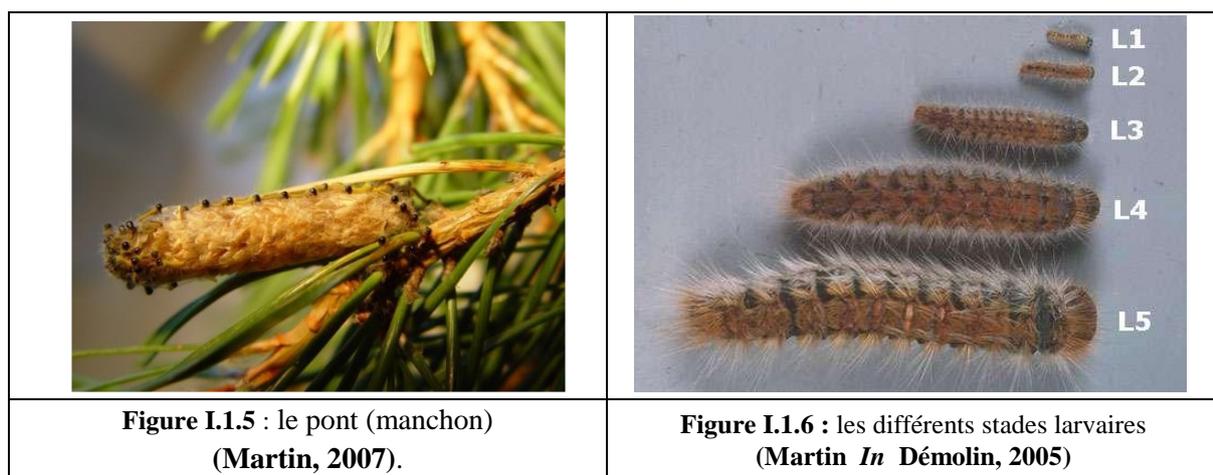
Les adultes de processionnaires du pin émergent au cours de l'été entre la fin Juin et la fin Août avec un pic d'émergence aux alentours de la mi-juillet. Les papillons sortent de terre où les nymphes étaient enterrées. Cette émergence se fait au coucher du soleil. Les mâles apparaissent avant les femelles (environ une demi-heure). Généralement, la sex-ratio est équilibrée entre les mâles et les femelles. Morphologiquement, les deux sexes se ressemblent notamment par leurs ailes de couleur gris-blanchâtre. Les papillons adultes mesurent de 35 à 40 mm. La femelle a un abdomen volumineux, cylindrique avec une partie terminale noire. Ses antennes sont filiformes. Les mâles sont plus petits, avec un abdomen plus étroit présentant un pinceau de poils écailleux à

son extrémité. Leurs antennes sont longues et pectinées (Figure I.1.3) les mâles sortent les premiers et sont suivis peu de temps après par les femelles (**Escalón et al., 2013**).

Les papillons rejoignent un emplacement surélevé à proximité pour y déployer leurs ailes. A la tombée de la nuit, la femelle va commencer à émettre une phéromone sexuelle afin d'attirer les mâles pour l'accouplement (Figure I.1.4). Une fois celui-ci terminé, le mâle meurt quelques heures après, alors que la femelle va chercher un arbre par sa silhouette (**Démolin, 1969b**).



Après l'accouplement et une fois son hôte trouvé les femelles vont pondre ses œufs généralement en une seule et unique ponte disposée en manchon autour de deux aiguilles, formant un manchon de 5 cm de long, contenant 7 à 220 œufs, protégés par les écailles de l'abdomen maternel (Figure I.1.5). Elle mourra quelques heures après la ponte (**Escalón et al., 2013**).



Quand la somme des températures moyennes journalières a atteint 780°C correspondant au cumul des températures moyennes des 30 à 45 jours après l'émergence des adultes, les chenilles L1 éclosent. La période d'éclosion va de fin juillet à la fin de septembre.

Les larves sont des chenilles de quelques millimètres à 40 mm de long, brun noirâtre avec des tâches rougeâtres sur le dessus et les flancs. Sa face ventrale est jaune (Figure I.1.6). Elles possèdent en position dorsale des miroirs composés de poils urticants, de très petite taille (0,08-0,16 nm) et réfléchissant la lumière. Ils sont fusiformes avec une extrémité portant des barbules acérées qui permettent leur pénétration dans la peau mais pas leur extraction. Ces poils contiennent une protéine urticante, la thaumétopoéine (**Escalón et al., 2013**).

Les chenilles évoluent en cinq stades larvaires (L1 à L5) (Figure I.1.6) ; Ils sont différenciables selon trois critères : la quantité de soies (poils), la taille de la chenille (en longueur et en diamètre), la largeur de sa capsule céphalique. La période moyenne de développement des 5 stades larvaires s'étale sur 10 mois (aout-septembre à avril-mai) pour les populations d'altitude, sur 6 mois (octobre-novembre jusqu'à fin janvier- début mars) pour celles évoluant sur le littoral, sur 7 à 8 mois (aout –septembre à mars-avril) pour celles localités continentales des hauts plateaux et du versant nord de l'atlas Saharien (**Zamoum et Démolin, 2002**).

Au stade L1, les chenilles mesurent deux à trois millimètres et sont de couleur jaune. Leurs soies dorsales sont noires, tandis que leurs soies latérales sont blanches et plus longues. Leur capsule céphalique, noire, est déjà volumineuse et leur permet dès ce stade de s'attaquer à une nourriture solide et résistante. La durée de ce stade larvaire est de 8 à 12 jours. Les chenilles deviennent rousses à deuxième stade larvaire (L2) qui dure de 12 à 18 jours. Le nombre de soies latérales augmente significativement. Ce phénomène s'amplifie encore au troisième stade larvaire (L3) et s'accompagne de l'apparition de poils urticants, localisés à la face dorsale de certains segments abdominaux ce stade larvaire dure 30 à 60 jours. L'appareil urticant continue à se développer au cours des deux stades suivants L4 et L5, La durée de ces deux stades larvaires est de 30 à 60 jours. Au stade L5, les chenilles mesurent quatre à cinq centimètres. A chaque changement de stade larvaire, les chenilles entrent dans une période de mue où elles cessent de s'alimenter (**Martin, 2005**).

La construction de « nid » commence dès la sortie des chenilles L1. Celles-ci tissent un entrelacement de soie très fin tout autour de la ponte aussi appelé « pré-nid » (**Dajoz, 1998**). Elles commencent à se déplacer la nuit pour s'alimenter pouvant aussi changer de lieu de regroupement. Elles partent se nourrir en procession. Cette alimentation nocturne est réglée sur la période d'obscurité. Mais dans des cas exceptionnels, comme la surpopulation ou des températures nocturnes trop froides, l'alimentation peut se faire pendant la période diurne (**Burjeron, 1972**). Dès l'arrivée des premiers froids, la colonie commence la construction du nid

d'hiver (Figure I.1.7) qui est un radiateur thermique captant les rayons du proche infrarouge émis par le soleil permettant ainsi la survie du groupe (**Démolin, 1969**).



Figure I.1.7 : Nid d'hiver (**Martin, 2007**).

1.3.2. Phase souterraine

La phase aérienne se termine par la procession qui peut durer jusqu'à six jours. La chenille de tête est une femelle (**Démolin, 1971**). Elle se dirige vers un terrain qui est ensoleillé et meuble. Les chenilles de la procession se regroupent et l'enfouissement peut commencer (Figure I.1.8). Elles peuvent aller de 5 à 20 cm sous terre. Si les conditions d'espace et de température ne sont pas réunies, les chenilles peuvent ressortir pour chercher une zone plus propice (**Dajoz, 1998**).

La phase souterraine peut alors commencer. Elle peut durer de quelques jours à plusieurs mois de mars à juillet. Une fois sous terre, En fonction de l'altitude, de la latitude et de l'ensoleillement, la chenille processionnaire adapte son cycle de développement grâce à la diapause au stade chrysalide (Figure I.1.9). Dans les régions méditerranéennes, il reprend activement quelques semaines avant l'émergence des adultes. Quand les conditions sont défavorables, la diapause peut être prolongée et peut durer jusqu'à cinq ans (**Markalas, 1989**).



Figure I.1.8 : Fin de la procession et début d'enfouissement (**Martin, 2007**).



Figure I.1.9: Chrysalides.
Male (à gauche) ; femelle (à droite) (Martin, 2007).

1.4. Bioécologie et particularités du cycle de la chenille processionnaire du pin

L'étude de la bio écologie des chenilles processionnaires du pin permet de considérer les zones et les périodes à risque pour la faune et la flore, éléments indispensables pour le choix d'un plan de lutte efficace.

1.4.1. Plante hôte : (*Pinus halepensis* Mill.)

La chenille processionnaire du pin est phytophage : elle se nourrit des aiguilles de pins. L'origine du nom *Pinus* proviendrait du mot «pit», mot indo-européen désignant la résine ou encore du mot celte «pen» désignant la tête. En latin «*pinus*» désigne le pin parasol et *halepensis* signifie Alep (région d'Alep en Syrie) (Nahal, 1986).

La première classification du pin d'Alep est celle de Miller en 1768, reprise par Ozenda, (2006).

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Embranchement	<i>Spermaphytes</i>
Sous-embranchement	<i>Gymnospermes</i>
Classe	<i>Pinopsida</i>
Ordre	<i>Coniférales</i>
Famille	<i>Pinaceae</i>
Sous-famille	<i>Pinoideae</i>
Genre	<i>Pinus</i>
Espèce	<i>Pinus halepensis</i> Miller, 1768
Noms Vernaculaire	Snaouber halabi (Arabe), Azoumbei, tayada (Berbère), « Allepo pine » (anglais).« Pino caracso » (espagnol).

Le pin d'Alep est un arbre de taille moyenne, pouvant atteindre une hauteur totale de 25 à 27 mètres (Nahal, 1962). En Algérie, est un arbre de seconde grandeur et sa hauteur dépasse rarement les 20 mètres (Leutrech, 1982). La longévité du Pin d'Alep est estimée à 150 ans avec une moyenne de 120 ans (Bouguenna, 2011).

1.4.2. Facteurs écologiques influençant le développement de la chenille

1.4.2.1. Ensoleillement et photopériode

La chenille processionnaire du pin n'est présente que dans les régions où la durée moyenne d'insolation annuelle est supérieure à 1800 heures. La photopériode joue également un rôle prépondérant dans le cycle de *Thaumetopoea pityocampa*: en effet, les chenilles processionnaires

s'alimentent la nuit, lorsque les températures sont basses, et se regroupent dans la journée pour digérer.

1.4.2.2. Température

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) (Hoch et al., 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 (Buffo et al., 2007).

1.4.3. Répartition géographique de la *Thaumetopoea pityocampa*

A l'échelle mondiale, les chenilles processionnaires du pin sont présentes sur plusieurs continents aux : Etats-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'Egypte). Elles se sont retrouvées également en France, Grèce, Italie, Algérie, Albanie, Croatie, Liban, Maroc, Tunisie, Turquie, Espagne, en Suisse et en Yougoslavie (Turpin, 2006). La distribution de la *Thaumetopoea pityocampa* en Algérie est représentée dans la figure I.1.10.

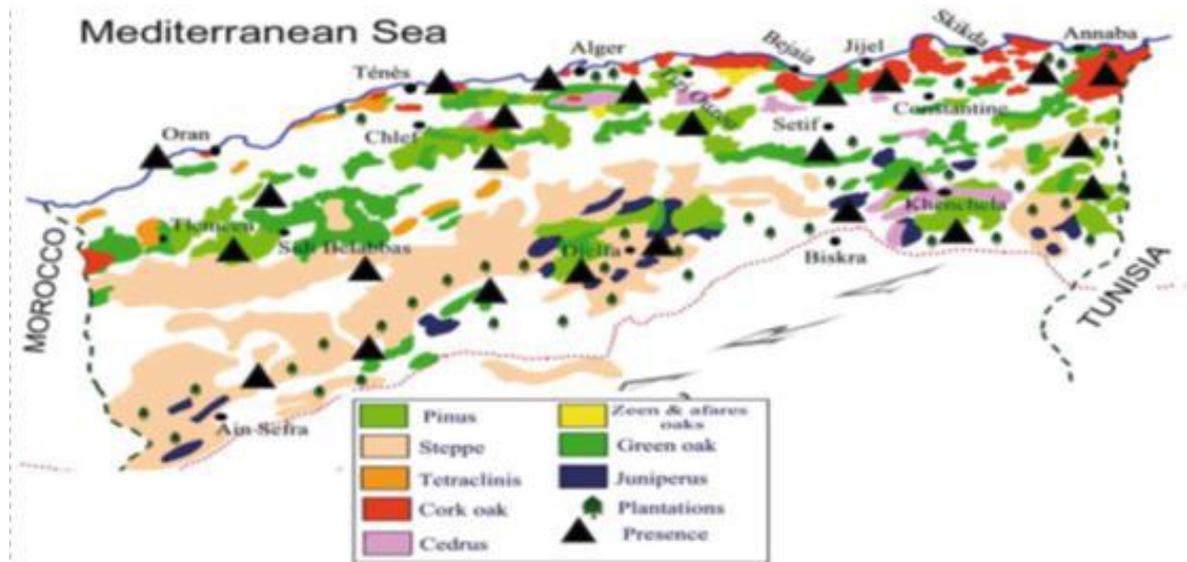


Figure I.1.10 : Distribution de *Thaumetopoea pityocampa* en Algérie en relation avec la distribution des espèces conifères (Roques, 2014).

1.4.4. Conséquences environnementales et dégâts forestiers

Cet insecte est un des plus grands défoliateur, d'intérêt économique considérable en raison des dégâts causés aux forêts résineux. La larve, ou chenille, est tristement célèbre nom seulement pour les dégâts économiques (pertes de croissance des arbres) et esthétiquement (défoliations, présence de cocons) qu'elle provoque, mais aussi et surtout pour ces propriétés urticantes (Démolin et al, 1996).

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

La chenille processionnaire du pin est l'un des principaux défoliateur des peuplements résineux de la zone méditerranéenne (Huchon et Démolin, 1970).

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 auraient même provoqué la migration du gibier, fuyant les zones souillées par ces insectes (Scheiner, 2003).

Les conséquences écologiques et sanitaires de la présence de la chenille processionnaire du pin justifient la mise en place d'une lutte environnementale contre ce ravageur forestier.

1.4.4.1. 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, 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**).

1.4.4.2. 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 (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.

1.5. Moyens de lutte

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**). Elle n'est pas toujours obligatoire et, si elle est mise en œuvre, doit être adaptée au contexte et pratiquée de manière raisonnée.

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**).

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 (**Magan 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**).

Chapitre 2. Les pesticides d'origine botanique

Introduction

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 et al., 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. Les biopesticides représentent une bonne alternative aux produits chimiques (**Lamontagne, 2004 ; Rochefort et al., 2006 ; Deguine et Ferron, 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 bio-agresseurs. Les huiles essentielles ou essences végétales sont des produits huileux, volatils, odorants et incolores ou légèrement teintés (**Budavari et al., 1996**), ces essences végétales sont largement distribuées dans le règne végétal et n'existent que chez les végétaux supérieurs (**Richter, 1993**).

Les huiles essentielles se trouvent dans tous les organes de la plante : racine, fruits, graines, fleurs, feuilles, écorces, bois, etc... Elles se forment dans 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 et al., 1988**).

Elles se différencient des huiles grasses, par leurs propriétés physiques et leur composition, du fait qu'elles se volatilisent à la chaleur et que leurs taches sur le papier sont passagères (**Sallé, 1991**). Elles se caractérisent par leurs propriétés organoleptiques (odeur, couleur et goût). A la température ambiante, elles sont généralement liquides de densité souvent inférieure à celle de l'eau. Elles sont incolores ou jaune pâle, sauf quelques exceptions.

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 (**Lis-Balchin, 2002**).

2.1. Le rôle des huiles essentielles

Les huiles essentielles des plantes ont trouvé leur place en aromathérapie, en pharmacie, en parfumerie, en cosmétique, dans la conservation des aliments et dans la protection des cultures.

Leur utilisation est liée à leurs larges spectres d'activités biologiques reconnues (**Paster et al., 1990 ; Caccioni et al., 1994 ; Cowan, 1999 ; Nielsen et al., 2000 ; Lamiri et al., 2001 ; Cimanga et al., 2002**).

Ces sont très efficaces sur les germes résistants aux antibiotiques, ce qui leur donne une place parmi les moyens thérapeutiques pour guérir, atténuer ou prévenir les maladies et les infections, notamment les infections respiratoires (**Buchbauer et Jirovetz, 1994**).

Dans le domaine 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 al., 2003**).

Certaines huiles essentielles servent à la défense des plantes contre les herbivores, insectes et micro-organismes (**Capo et al., 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 al., 2001**).

2.2. Toxicité des huiles essentielles

Les huiles essentielles ne sont pas des produits qui peuvent être utilisés sans risque. Comme tous les produits naturels: "ce n'est pas parce que c'est naturel que c'est sans danger pour l'organisme". Certaines huiles essentielles sont dangereuses lorsqu'elles sont appliquées sur la peau en raison de leur pouvoir irritant (huiles riches en thymol ou en carvacrol), allergène (huiles riches en cinnamaldéhyde (**Smith et al., 2000**) ou phototoxique (huiles de *citrus* contenant des furocoumarines (**Naganuma et al., 1985**)). D'autres huiles essentielles ont un effet neurotoxique, Il existe aussi quelques huiles essentielles dont certains composés sont capables d'induire la formation de cancers (**Homburger et al., 1968**).

Les huiles essentielles ont une toxicité aiguë par voie orale, la majorité de celles qui sont couramment utilisées ont une DL 50 comprise entre 2 et 5 g/Kg (anis, eucalyptus, girofle, etc...),

ou ce qui est le plus fréquent, supérieure à 5 g/Kg (camomille, citronnelle, lavande, marjolaine, vétiver, etc...) (**Bruneton, 1999**).

2.3. Activité biologiques des H.Es et de leurs constituants

2.3.1. Activité insecticide

L'effet insecticide des huiles essentielles par contact, par ingestion et par fumigation a été bien démontré. Contre les déprédateurs des denrées entreposées, plusieurs études ont été réalisées sur l'efficacité des huiles essentielles (**Regnault-Roger et al., 1993**).

En Algérie, des travaux ayant le même axe de recherche ont été entrepris. **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. La cible d'action de ces huiles au niveau des insectes est différente de celle des hommes, ce qui fait qu'aucune toxicité directe sur l'Homme n'a été pour le moment mise en évidence. En effet, les récepteurs chimiques chez les insectes n'existent pas dans le système nerveux des mammifères (**Isman, 2000**). Ainsi, il a été montré que plusieurs composés des huiles essentielles (thymol, eugenol) sont des neurotoxines qui interfèrent avec le neurotransmetteur octopamine unique aux Arthropodes (**Isman, 2002**). A cause de leur faible persistance, les huiles essentielles des plantes aromatiques ne présentent pas de risques pour l'environnement (**Regnault-Roger, 2002**).

2.3.2. Activité antibactérienne

Les huiles essentielles ont un spectre d'action très large puisqu'elles inhibent aussi bien la croissance des bactéries que celle des moisissures et des levures. Leur activité antimicrobienne est principalement fonction de leur composition chimique, et en particulier de la nature de leurs composés volatils majeurs (**Sipailiene et al., 2006**). En général les huiles essentielles empêchent la multiplication, la sporulation et la synthèse des toxines des bactéries (**Hulin et al., 1998**).

Rhayour (2002) a observé que le traitement des Mycobactéries par les huiles essentielles, engendre la turgescence des cellules bactériennes suite à l'entrée massive du milieu, qui ne peut être réalisée qu'à travers des ouvertures localisées au niveau de l'enveloppe cellulaire, alors que ce phénomène n'est pas observé en utilisant des antibacillaires.

2.3.3. Activité acaricide

Phytophage ou ectoparasites, les acariens ont été la cible de plusieurs essais testant l'efficacité des huiles essentielles pour une éventuelle utilisation dans la lutte contre ces déprédateurs.

En Algérie, **Chouat (2004)**, a réalisé des tests sur l'efficacité des huiles essentielles d'*Artemisia herba alba* (armoïse blanche) et de *Origanum glandulosum* (Origan) sur les formes mobiles et les œufs de *Tetranychus cinnabarinus*. Les résultats étaient significatifs pour les deux stades, le test sur les formes mobiles arrêta 0.25% la dose la plus faible qui donna des mortalités de 61,11% et 73,62% pour l'Armoïse blanche et l'Origan respectivement. Alors que pour les œufs, la létalité de la même dose fut traduite par un taux d'œufs non éclos de 77,27% pour l'Armoïse blanche et 69,54% dans le cas de l'Origan.

L'efficacité maximale d'un produit acaricide est atteinte lorsque la matière active est répartie de façon homogène dans la ruche, de manière à exposer chaque acarien à une dose létale. On distingue des méthodes traditionnelles comme, l'évaporation, l'aspersion ou la fumigation, et des techniques modernes comme l'utilisation de la voie systémique ou l'aérosolisation thermique, comme les huiles de thym et d'origan (**Oie, 2013**).

2.3.4. Activité antifongique

Comme pour l'activité antibactérienne, le pouvoir antifongique est attribué à la présence de certaines fonctions chimiques dans la composition des H.Es. Plusieurs travaux ont révélé que le pouvoir inhibiteur était essentiellement dû à la réactivité de la fonction aldéhyde avec le groupement thiol des acides aminés impliqués dans la division cellulaire (**Kurita et al., 1979**).

D'autres auteurs ont démontré que la formation d'un complexe entre le donneur d'électrons et l'aldéhyde induit un changement de l'état ionique de la membrane traduisant par un déséquilibre d'échange avec le milieu extérieur. Ce déséquilibre entraîne la mort cellulaire (**Baser et Buchbauer, 2010**).

Les huiles essentielles les plus étudiées dans la littérature pour leurs propriétés antifongiques appartiennent à la famille des *Labiatae*: thym, origan, lavande, menthe, romarin, sauge, etc... L'essence de thym est souvent rapportée comme étant parmi les huiles les plus actives (**Bourrel, 1993 ; Agnihotri et al., 2003**).

Chapitre 3. Les biomarqueurs

3.1. Définition

Un biomarqueur est défini comme un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui révèle l'expression présente ou passé d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant (**Doly, 2007**). L'approche « biomarqueur» peut être illustrée par une relation entre l'état de santé d'un organisme et sa réponse à des concentrations croissantes de contaminants dans son environnement (**Timbrell et al., 1994; Lagadic et al., 1997; Van der Oost et al., 2003**).

Les biomarqueurs sont des variables biologiques permettant à la fois de caractériser l'état physiologique des individus dans un environnement donné et de détecter, de façon précoce, tout dérèglement pouvant avoir des répercussions à plus long terme sur les écosystèmes (populations et communautés) (**Schlenk, 1999**).

3.2. Les différents types des biomarqueurs

On distingue trois types (**Margand, 2001**). Les biomarqueurs d'exposition concernent la réponse à une interaction entre un agent xénobiotique et une molécule ou cellule cible. Cette réponse rend compte de la pénétration du polluant dans l'organisme, telle que l'induction des protéines de stress. Les seconds sont les biomarqueurs d'effet qui donnent des informations sur l'état de santé de l'organisme, telles que les réserves énergétiques. Le troisième type concerne les biomarqueurs de sensibilité. Ce type de biomarqueurs indique que l'organisme a déjà été soumis au même polluant et qu'il s'y est adapté. On peut citer par exemple la résistance à un insecticide chez les insectes. Il s'agit surtout de modifications génétiques.

Ces trois types de biomarqueurs peuvent être soit non-spécifiques, soit spécifiques à un type de polluant (par exemple à une exposition à des métaux ou des pesticides organohalogénés) (**Depledge et Fossi, 1994**).

Néanmoins, tous les auteurs ne catégorisent pas les biomarqueurs de la même manière. La division proposée par **De La fontaine et al. (2000)** semble plus adaptée. Elle divise les biomarqueurs en deux catégories : Les biomarqueurs de défense regroupent les biomarqueurs qui indiquent la mise en place de mécanismes de régulation. Les biomarqueurs de dommage quant à eux regroupent les biomarqueurs qui indiquent une atteinte biologique. Ces atteintes peuvent éventuellement conduire à une altération des fonctions biologiques, comme par exemple la fonction de reproduction, voire de la survie (**Amiard-Triquet et Amiard, 2008**).

3.2.1. Les biomarqueurs d'exposition

Les biomarqueurs d'exposition permettent de détecter et de mesurer une interaction entre une molécule chimique et des molécules (ou cellules) cibles comme l'ADN ou les protéines. Ils peuvent être utilisés pour confirmer et évaluer l'exposition des individus à un contaminant particulier. Par exemple, l'activité de l'acétylcholinestérase et les adduits d'ADN sont intégrés à cette catégorie (**Lagadic et al., 1997 ; Van der Oost et al., 2003**).

3.2.2. Les biomarqueurs d'effet

Les biomarqueurs d'effet permettent de mesurer les altérations biochimiques, physiologiques ou autres. Ils se mesurent dans les tissus ou fluides corporels d'un organisme et ils peuvent être associés à des perturbations de la santé des organismes ou à des maladies. Par exemple, les biomarqueurs liés à la peroxydation lipidique et à la stabilité des membranes lysosomales font partie de cette catégorie (**Lagadic et al., 1997 ; Van der Oost et al., 2003**).

3.2.3. Les biomarqueurs de sensibilité

Les biomarqueurs de sensibilité indiquent la capacité inhérente ou acquise d'un organisme à répondre au challenge de l'exposition à un xénobiotique. Par exemple l'activité de l'éthoxyrésorufine O-déséthylase (EROD), l'activité de la glutathion-S-transférase (GST) et les métallothionéines sont intégrés à cette catégorie (**Lagadic et al., 1997 ; Van der Oost et al., 2003**).

3.3. Intérêt des biomarqueurs

Lors du contact entre un organisme et un contaminant, les premiers événements mesurables ont lieu au niveau moléculaire par l'interaction du xénobiotique avec des molécules endogènes (**Lagadic et al., 1997a**). Les biomarqueurs, peuvent fournir des informations sur les stratégies et/ ou les mécanismes moléculaires et cellulaires qu'un organisme développe pour faire face aux effets néfastes de cette interaction. Cet aspect préventif leur permet donc de diagnostiquer de façon précoce des dysfonctionnements physiologiques de l'individu, c'est-à-dire avant que des dommages tissulaires ou des effets néfastes sur les principales fonctions biologiques ne soient détectables (**Van der Oost et al., 2003**). Les espèces supports sélectionnées pour l'étude de la réponse des biomarqueurs (peuvent en fonction de leur habitat et de leur position dans le réseau trophique, fournir des informations sur la façon dont se comportent les polluants ans les écosystèmes (**Lagadic et al., 1997a ; Stegeman et al.,1992**).

Les biomarqueurs présentent donc un caractère intégrateur important qui leur confère un indéniable avantage par rapport aux méthodes chimiques ou aux méthodes biologiques basées sur la bioindication classiquement mises en œuvre pour la surveillance des écosystèmes. Ils permettent une évaluation géographique et temporelle de la contamination des milieux et des effets associés.

3.4. Les réserves énergétiques comme biomarqueurs

L'exposition des organismes vivants à des cocktails de polluants est susceptible d'engendrer une perturbation de leur métabolisme énergétique. En effet, les mécanismes de défense vis-à-vis des facteurs de stress environnementaux sont considérés comme métaboliquement coûteux (Calow, 1991), impliquent une diminution de l'énergie disponible en faveur d'autres processus : le métabolisme basal, la croissance et la reproduction (Holloway et al., 1990). Parmi les biomarqueurs du métabolisme énergétique couramment utilisés les réserves énergétiques (Le Gal et al., 1997 ; Mayer et al., 2002 ; Durou, 2006).

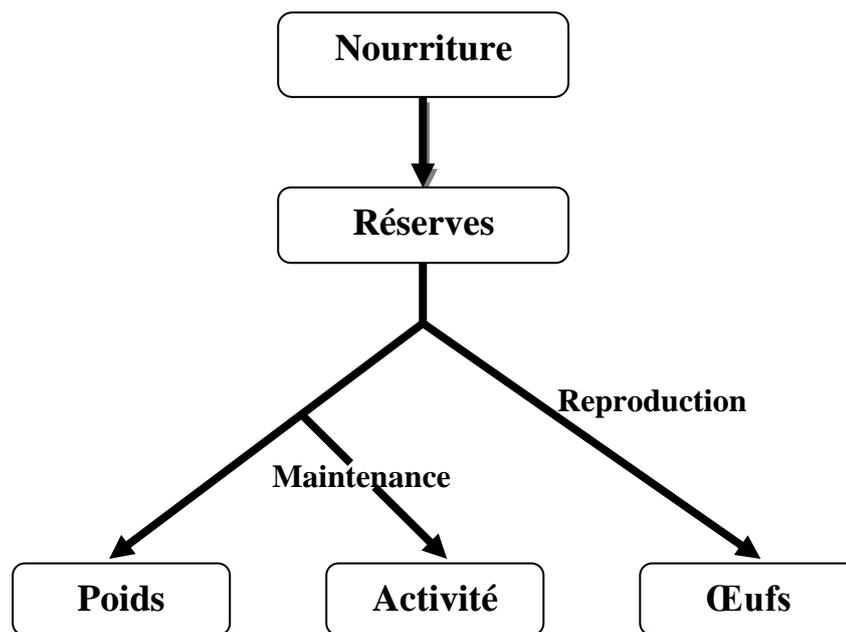


Figure I.3.1 : représentation schématique de la répartition de l'énergie dans la théorie (Kooijman., 2000).

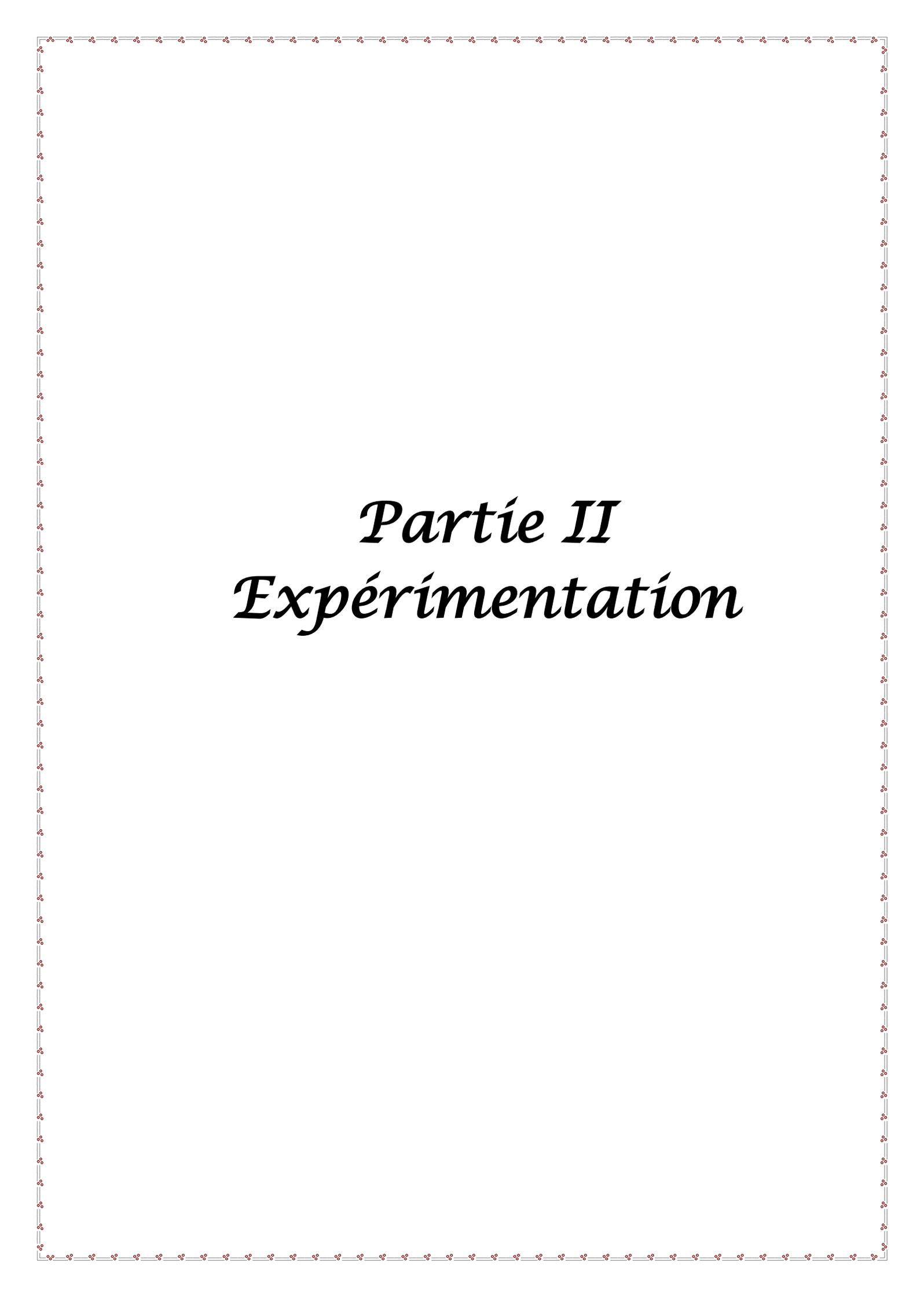
Il existe trois types de réserves énergétiques : les glucides, les lipides et les protéines. La première source d'énergie, et immédiate, utilisée lors d'un stress correspond généralement aux glucides, et plus particulièrement au glycogène (Umminger, 1977).

Les lipides sont la seconde source d'énergie utilisée lors d'un stress (Sujatha et al., 1996 ; Bhavan et Geraldine, 1997). Les lipides peuvent aussi être mobilisés en premier lorsque la

nourriture devient rare (**Sargent et al., 1989 ; Hashemi et al., 2008**). Une diminution des concentrations en lipides est généralement observée quand la concentration en glucides devient faible ou quand la demande énergétique est trop forte (**Blem, 1992**).

Les protéines sont la dernière source d'énergie utilisée lors d'un stress. Face à un stress, les organismes ont besoin de beaucoup d'énergie pour lutter et se maintenir, et cette énergie peut être stimulée par le catabolisme des protéines (**Ribeiro et al., 2001**). Une diminution de la concentration en protéines peut être due à la formation de lipoprotéines utilisées pour réparer les dommages causés aux organites des cellules et des tissus (**Rambabu et Rao, 1994 ; Sancho et al., 1998**) ou peut être attribuée à une diminution de l'activité métabolique générale (**Baudrimont et al., 1997 ; Geret, et al., 2003**). Cette diminution indique donc une protéolyse qui permet la production d'acides aminés libres. Ces acides aminés vont pouvoir être utilisés par le cycle de Krebs pour fournir de l'énergie ou par la gluconéogenèse pour fournir du glucose.

Les lipides et les protéines sont considérés comme de bons indicateurs de l'état nutritionnel et reflètent l'état physiologique des organismes (**Guisande et al., 1991 ; Printes et Callaghan, 2003**).



Partie II

Expérimentation

Chapitre 1 : Matériel et Méthodes

1.1. Présentation du Milieu de prélèvement

L'espèce *Thaumetopoea pityocampa* utilisée comme modèle d'étude, a été prélevée de la forêt de Boumergued (Flore de Djebel Djehifa) qui se situe à l'Est de la ville de Bordj Bou Arréridj, la superficie globale de la forêt est de 301 ha divisé en 2 communes, BBA et El Annasser dont la superficie respectivement de l'une est 128 ha et l'autre 173 ha (figure II.1.1), les coordonnées géographiques étant : 36°04'01.0" Nord, 4°47'34.7" Est, altitude : 3.28 Km. La forêt de Boumergued est connue par la forte infestation de ses arbres par la chenille processionnaire du pin (C.S.F. 2017a).



Figure II.1.1: la forêt de Boumergued (C.S.F. 2017b).

1.2. Description botanique des plantes étudiées

Les plantes utilisées dans l'évaluation de l'effet insecticide récoltées à différentes régions d'Algérie, Les échantillons de *thymus palleescens* à la région de Mascara, *Artemisia herba alba* et le *Pinus halepensis* à bordj Bou Arréridj, ce sont :

1.2.1. *Thymus pallescens* Noé

Le genre *Thymus* est un des 220 genres les plus diversifiés de la famille des labiées, avec pour centre de diversité la partie occidentale du bassin méditerranéen (Morales, 2002). Le *Thymus pallescens* Noé appartient à la famille des lamiacées. Originnaire du bassin méditerranéen, cet arbrisseau aux nombreux rameaux serrés, est une espèce végétale vivace (Lucchesi, 2005).

C'est un petit arbuste de 36 cm de longueur en moyenne, portant des tiges dressées et robustes. Les feuilles sont oblongues, lancéolées, glabres et rarement hispides (figure II.1.2).

L'inflorescence est plus ou moins interrompue à la base. Le calice est à 5 dents toutes longuement subulées, bien plus longues que le tube, à lèvre supérieure divisée dans son tiers supérieur. Les fleurs sont blanches à peine plus longues que le calice. Le période de floraison s'étale du mois d'avril au mois de juillet. (Quezel et Santa, 1963 ; Morales, 2002).

Thymus pallescens Noé est une espèce endémique en Algérie, elle pousse généralement entre 450 et 750 mètres d'altitude (Quezel et Santa, 1963 ; Morales, 2002). Cette plante possède différentes propriétés biologiques, antibactériennes (Sahraoui et al., 2007 ; Hazzit et al., 2009), antifongiques (Belkheir et al., 2012 ; Rasooli et al., 2006) et anti-oxydantes (Sahraoui et al., 2014 ; Bouhdid et al., 2006).



Figure II.1.2 : *Thymus pallescens* Noé (Durieu et al., 1849).

1.2.2. *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 (Salido et al., 2004) appartenant à la famille des Astéracées (Akrouf, 2004), connue depuis des millénaires. C'est une plante herbacée poussant en grandes touffes, à tiges ligneuses et

ramifiées, très feuillées (figure II.1.3) (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 semi-arides à la partie inférieure Subsaharienne (Gharabi et 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 (Setzer et al., 2004), antioxydante (El-Massry et al., 2002, Kim et al., 2003, Kordali et al., 2005), anti-inflammatoire (Guardia et al., 2003) et insecticide (Negahban et al., 2007).



Figure II.1.3: *Artemisia herba alba* Asso. (Bouchikhi, 2011).

1.2.3. *Pinus halepensis* Mill.

Pinus halepensis Mill., ou pin d'Alep appartient à la famille des pinacées (Abiétacées), genre *pinus*, est un arbre de 20 à 25 m de haut, aux branches étalées qui occupe une aire de répartition morcelée sur tout le pourtour méditerranéen (Quezel et Santa, 1963 ; Nahal, 1985 ; Coombes, 1993). Il se développe dans les zones semi-arides à faible pluviométrie de 300 à 450 mm. Il est bien connu par sa plasticité et son adaptation à différents types de sol (Maatoug, 1998).

L'arbre du pin d'Alep est toujours vert, vivace, a écorce lisse de couleur gris-argentée, devient crevassée gris-brunâtre, riche en tanins. Les aiguilles sont de fausses feuilles persistantes, filiformes, groupées par paire (figure II.1.4). Les cônes femelles ovoïdes de 6 à

12 cm de long, sont d'un roux vif, luisant à maturité (Quezel et Santa, 1963 ; Nahal, 1985 ; Coombes, 1993).

La régénération du pin d'Alep est facile et abondante ; une fois que les graines tombent sur le sol, elles germent rapidement, à la lumière, pendant la saison humide (Goubi, 2011).



Figure II.1.4 : *Pinus halepensis* Mill. (Original, 2017).

1.3. Conditions expérimental

1.3.1. Matériel biologique

L'étude a été menée durant la fin d'automne, du Novembre jusqu'au Décembre sur deux stades larvaires (L₂ et L₃) de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. évoluant dans des pré-nids tissés tout autour de la ponte sur les quelles sont prélevées. (Figure II.1.5).



Figure II.1.5: Présentation du pré-nids et larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Original, 2017).

a : Pré-nids. b : Larves.

1.3.2. Procèdes d'extraction et de formulations des huiles essentielles

Dans un alambic, nous avons porte 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.

1.3.3. Préparation de la gamme de doses des huiles essentielles étudiées

Le choix des doses des huiles essentielles est basé sur plusieurs tests préliminaires, Trois doses ont été préparées à partir d'une dose initiale. Les extraits des huiles essentielles obtenus des trois plantes étudiées, ont été formulés par le tween 80 à 3%. Pour les trois huiles essentielles considérées trois doses retenus à savoir de 0,25%, 0.5% et 1 % pour le thym, de 1%, 1.5 % et 2 % pour le pin d'Alep et de 0,5%, 1 % et 1.5% pour l'armoise blanche.

1.4. Méthodes d'étude

1.4.1. Dispositif expérimental

Vingt chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, aux stades larvaires L2 et L3, sont prélevées de leurs pré-nids placées dans des gobelets en plastique transparents recouverts par un tissu perforé transparent (figure II.1.6), afin de permettre l'aération et pour faciliter l'application des traitements (*Thymus pallescens* Noé, *Pinus halepensis* Mill. et *Artemisia herba alba* Asso.).

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



Figure II.1.6: Dispositif expérimental (Original, 2017).

A fin d'étudier la toxicité des huiles essentielles formulées, extraites des trois plantes à savoir le Thym, l'Armoise et le pin d'Alep, nous avons pulvérisé les gobelets préparés précédemment, par les traitements formulés avec leurs différentes doses, Thym (0.25 %, 0.5%, 1%) ; Armoise (0.5 %, 1 %, 1.5 %) ; Pin d'Alep (1 %, 1.5 %, 2 %).

Pour les témoins, nous avons pulvérisé les individus de chenilles 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.

1.4.2. Calcul le DL₅₀

L'efficacité d'un toxique se mesure par sa DL₅₀ qui représente la quantité de substance toxique entraînant la mort de 50% d'individus. L'efficacité d'un produit est évaluée par la mortalité. Le nombre d'individus dénombrés morts dans une population traitée par un toxique n'est pas le nombre réel d'individus tué par ce toxique.

1.4.3. Méthodes d'estimation de certains paramètres populationnels

1.4.3.1. Mortalité journalière

L'évaluation de l'effet toxique des traitements ont été estimés selon la courbe de survie est une courbe figurant la proportion d'individus vivants en fonction du temps (ou d'une dose de traitement).

1.4.3.2. Mortalité corrigée

Afin de suivre l'évolution chronologique de la mortalité des chenilles soumis aux différentes huiles à différentes concentrations, les observations sont réalisées successivement après 24 heures, 48 heures, 72heures et une semaine.

Il existe, en fait dans toute population traitée une mortalité naturelle qui vient s'ajouter à la mortalité provoquée par ce toxique, les pourcentages de mortalité doivent être corrigés par la formule d'**Abbott (1925)** :

$$MC\% = (M - Mt * 100) / (100 - Mt)$$

MC% = mortalité corrigée en pourcentage ;

M = mortalité de l'échantillon testé ;

Mt = mortalité dans le témoin non traité.

1.4.4. Méthodes d'estimations de certains paramètres biochimiques

1.4.4.1. Dosage des protéines

La méthode de **Bradford (1976)** est une méthode d'analyse spectroscopique utilisée pour mesurer la concentration des protéines en solution. C'est un dosage colorimétrique basé sur le changement d'absorbance (la mesure se fait à 595 nm), se manifestant par le changement de la couleur du bleu de Coomassie après liaison (complexification) avec les acides aminés basiques (arginine, histidine, lysine) et les résidus hydrophobes des acides aminés présents dans les protéines. Les protocoles d'extraction et de dosage illustré respectivement dans la figure II.1.7.

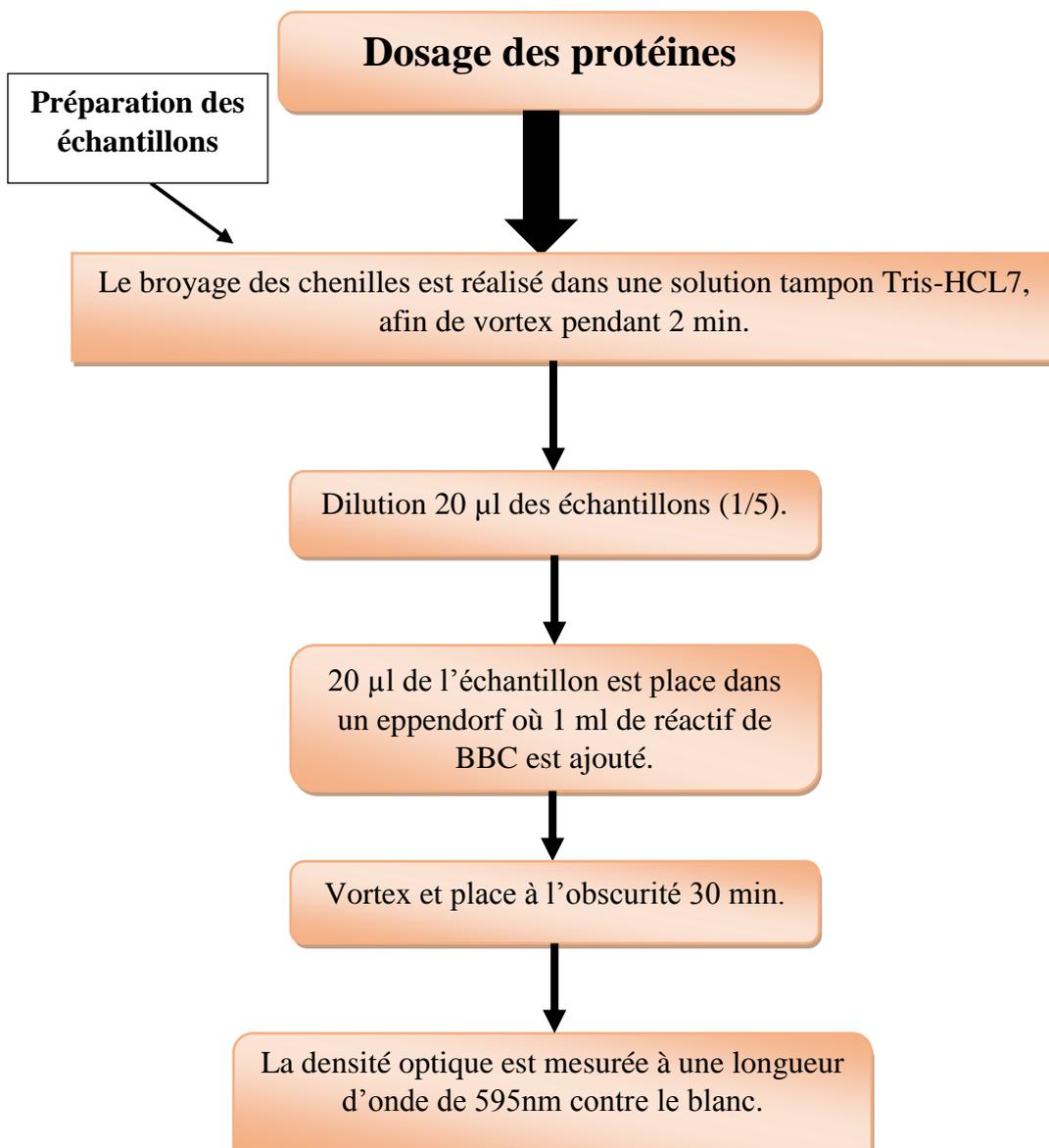


Figure II.1.7 : Extraction et dosage des protéines (**Bradford, 1976**).

Dans un premier temps, une courbe d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de sérum albumine bovine (BSA) à 1mg/mL.

1.4.4.2. Dosage des lipides et des glucides

Au cours de ces dosages, la quantité de lipides, de glycogène et de sucres libres est déterminée de façon individuelle, le dosage est basé sur les protocoles suivants qui sont une adaptation des méthodes de **Van Handel (1985a, b)** et **Plaistow et al. (2003)**.

Le broyage des chenilles est réalisé dans 800 μ l de méthanol pour 2 minutes. Chaque échantillon ainsi homogénéisé est divisé en deux volumes identiques (A et B) consacrés respectivement au dosage des lipides et à celui des sucres libres et du glycogène.

Une gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de lipides (2.5mg/ml) comme standard. Pour les glucides, une gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de glucose (1g/l) comme standard. Les protocoles d'extraction et de dosage des lipides et glucides sont illustrés respectivement sur les figures (II.1.8) et (II.1.9).

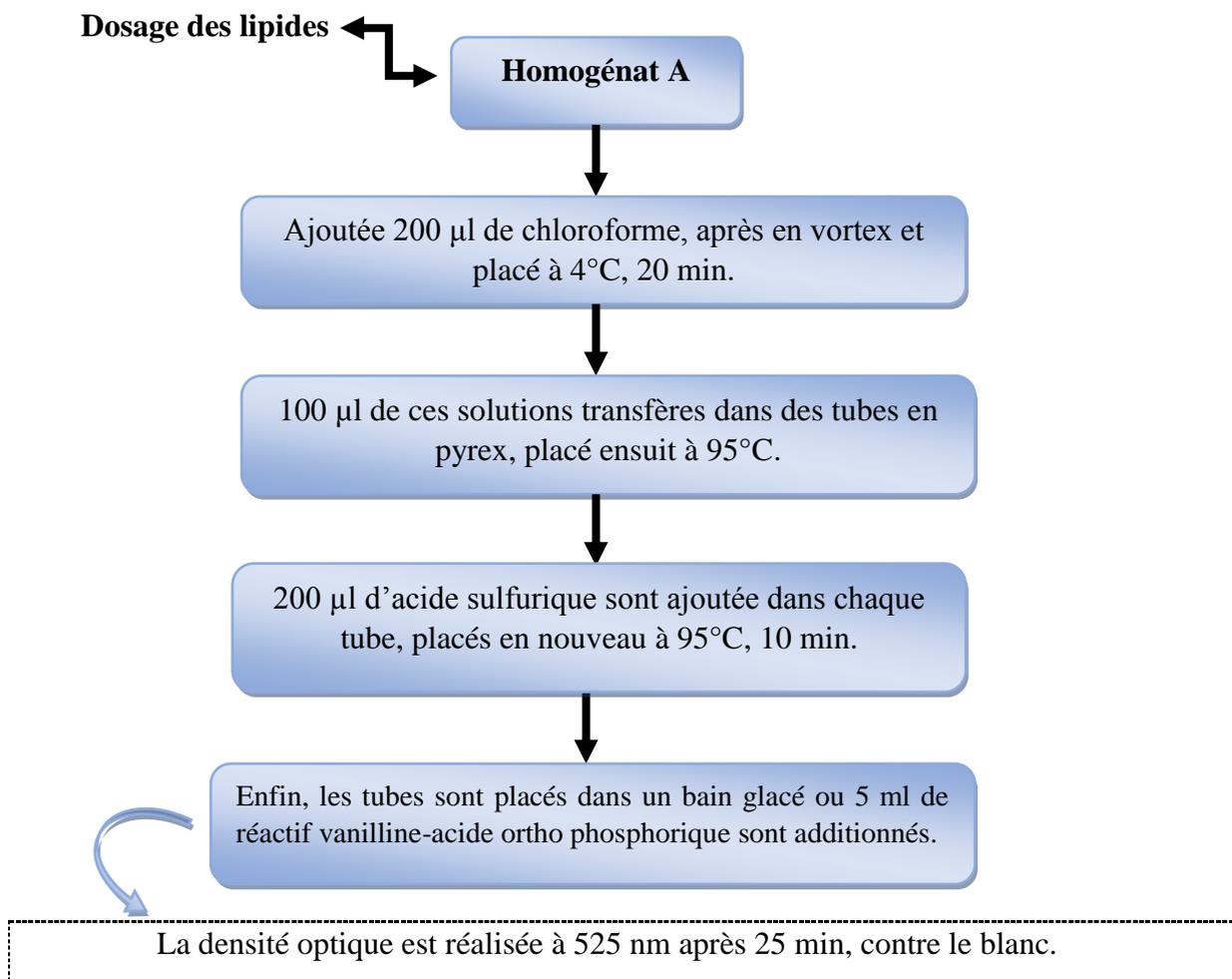


Figure II.1.8 : extraction et dosages des lipides (**Van Handel, 1985a, b**).

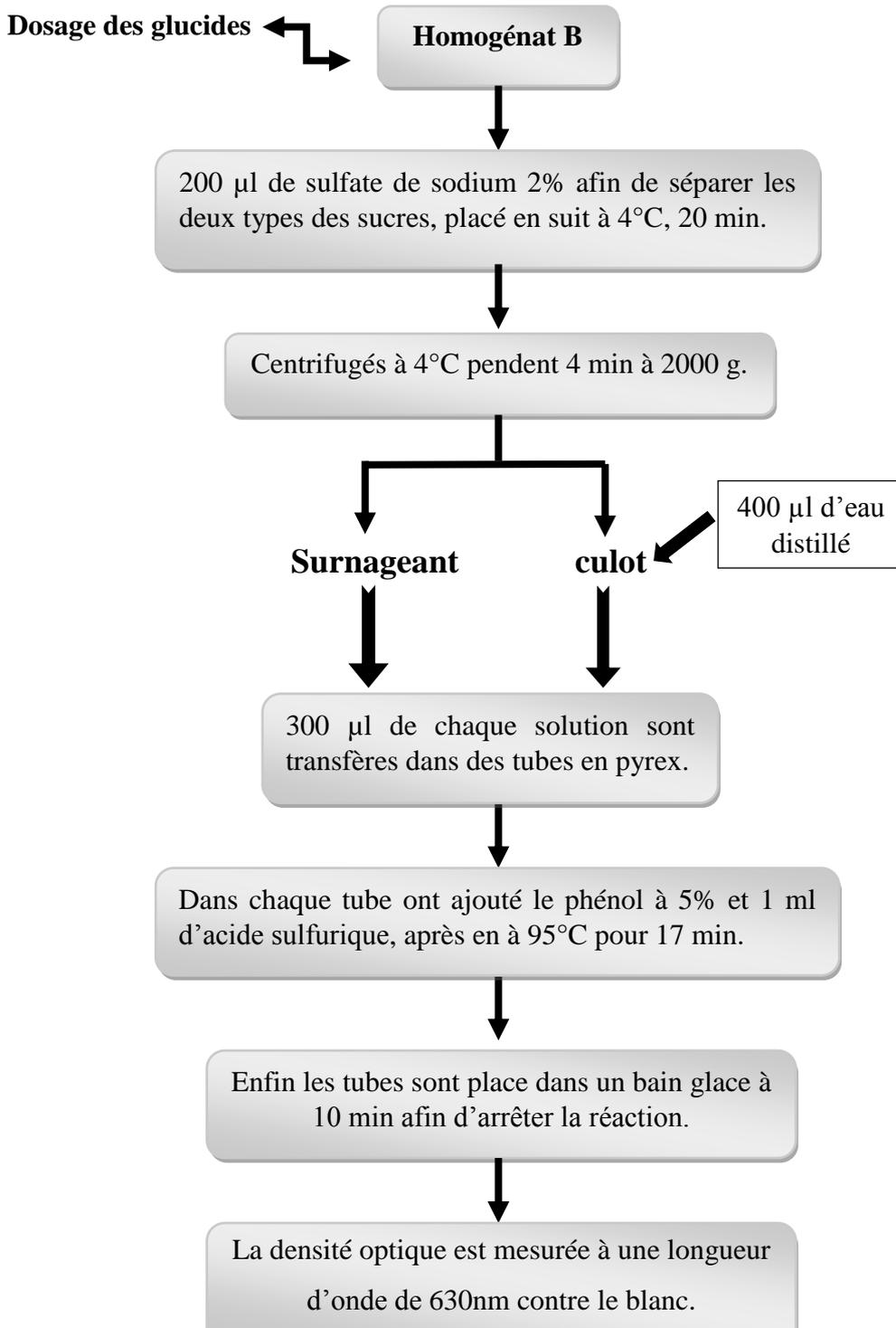
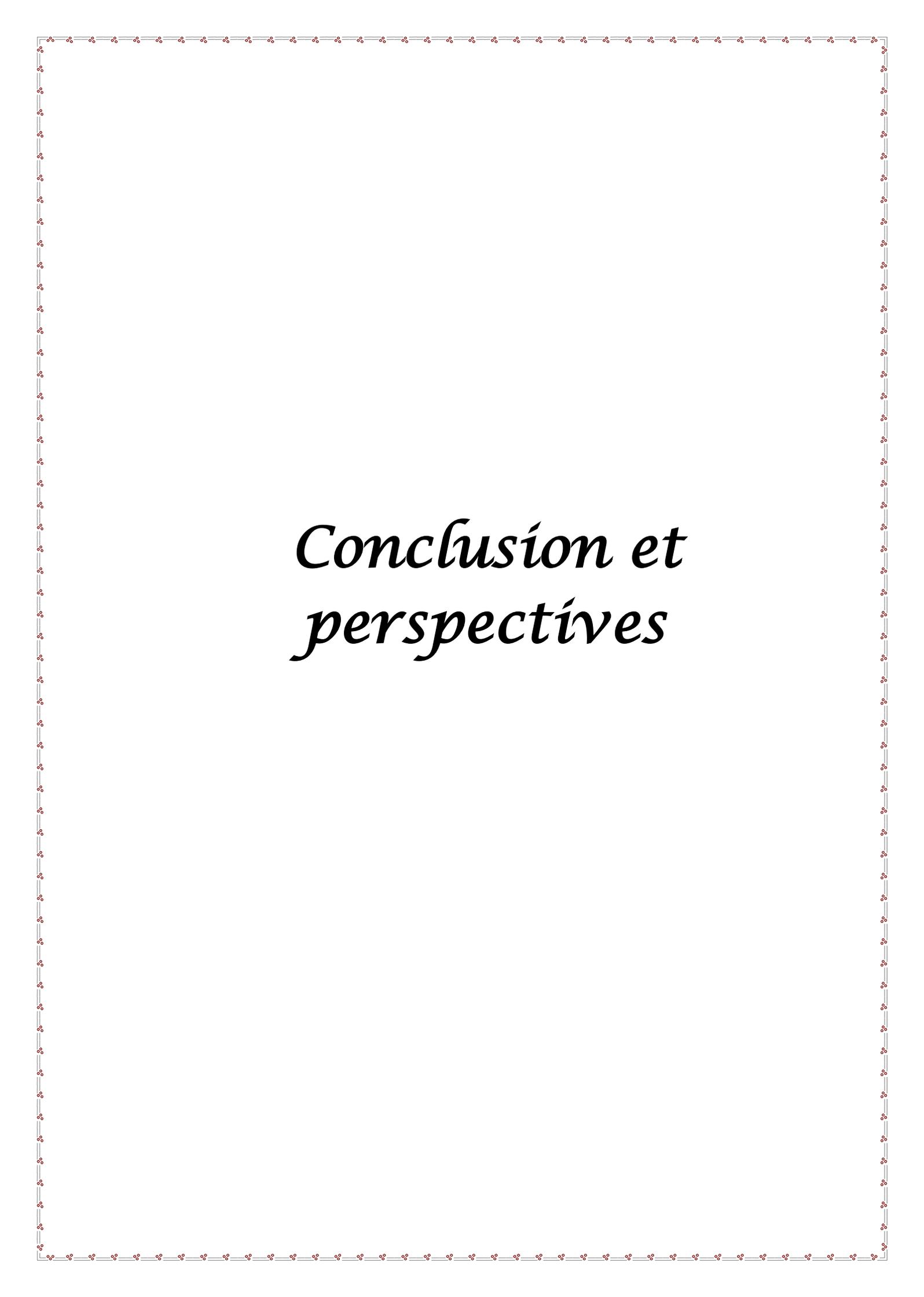


Figure II.1.9 : extraction et dosage de glucides (Plaiستow et al., 2003).

1.5. Analyse statistique des données

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

Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour *ANalysis Of VAriance*), la distribution de la variable quantitative doit être normale. Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.). 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. Les tests statistiques ont été déroulés par le logiciel PAST version 3.1 (**Hammer *et al.*, 2001**). Le seuil de 5% a été retenu pour tous les tests.



Conclusion et perspectives

Chapitre 2 : Interprétation des résultats

2.1. Variation temporelle de la mortalité en fonction des différentes doses des huiles essentielles étudiées

2.1.1. Sur les larves L₂

Les variations temporelles des taux de mortalité des larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au stade L₂ exposées aux différentes doses des huiles essentielles formulées de *Thymus pallescens* Noé., *Pinus halepensis* Mill., et *Artemisia herba alba* Asso., montrent un effet toxique progressif des substances bioactives étudiées, ces derniers sont reportés sur la figure II.2.1.

Cet effet s'étale sur une période de 24h à 7 jours. Cependant, l'effet des différentes doses appliquées lors des traitements montre que l'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* Noé s'est démarquée des autres substances. L'huile essentielle formulée du thym à la dose D3 se révèle efficace et atteint son efficacité maximum (100%) dès les 24h, jusqu'à 7 jours d'application, donc cette substance révèle une forte toxicité vis-à-vis la chenille processionnaire.

Concernant les huiles essentielles formulées *Pinus halepensis* Mill., *Artemisia herba alba* Asso., ces dernières enregistrent un taux de mortalité variable en fonction des doses et dans le temps. L'HE de pin d'Alep est plus toxique par rapport l'HE d'armoise blanche, qui a enregistré des taux de mortalité les plus faible. L'huile essentielle formulée d'armoise blanche aux trois doses (D1, D2 et D3) se révèle faiblement efficace après 24h, s'accroît à 48h et atteint son efficacité maximum qu'au 7^{ème} jour (80%), donc elle a un effet tardif, avec une augmentation de taux de mortalité en fonction de la dose.

L'huile essentielle formulée du pin d'Alep à la dose D3 se révèle efficace au bout de 24h, cet effet reste constant jusqu'au 7^{ème} jour. Pour les deux autres doses (D1 et D2) l'effet de l'huile essentielle se révèle faiblement efficace après 24h, s'accroît à 48h et atteint son efficacité maximum qu'au 7^{ème} jour de traitement. En effet le taux de mortalité augmente aussi en fonction de la dose.

De ce fait, l'effet toxique des différentes huiles essentielles formulées appliquées sur les larves L₂ de la chenille processionnaire du pin révèlent une différence très marquée.

L'armoise et le pin d'Alep ont un effet toxique tardif, contrairement à l'huile essentielle formulée de thym qui a un effet de choc sur les individus de cette chenille.

2.1.2. Sur les larves au stade L₃

Les variations temporelles des taux de mortalité des larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au stade L₃ exposées aux différentes doses des huiles essentielles formulées de *Thymus pallescens* Noé., *Pinus halepensis* Mill. et *Artemisia herba alba* Asso., montrent un effet toxique progressif des substances bioactives étudiées sont reportés sur la figure II.2.1.

Cet effet s'étale sur une période de 24h à 7 jours. Cependant, l'effet des différentes doses appliquées lors des traitements montre que l'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* Noé. est la plus efficace des autres substances. L'huile essentielle formulée du thym à la dose D2 et D3 se révèle efficace au bout de 24h, s'accroît à 48h et n'atteint son efficacité maximum (100%) qu'au bout du 72h d'application, donc cette substance révèle une forte toxicité vis-à-vis la chenille processionnaire au stade L₃.

Concernant les huiles essentielles formulées *Pinus halepensis* Mill., *Artemisia herba alba* Asso., ces dernières enregistrent un taux de mortalité variable en fonction des doses et dans le temps. L'HE d'armoise blanche est plus toxique par rapport l'HE de pin d'Alep. L'huile essentielle formulée d'armoise blanche enregistre un effet très toxique presque égal à celui du thym. Les trois doses (D1, D2 et D3) se révèle efficace au bout de 24h, et cet effet reste presque constant jusqu'au 7^{ème} jour d'application.

Le mode d'action d'huile essentielle formulée du pin d'Alep est similaire à celui d'armoise blanche qui reste presque constant pour les trois doses dès les 24h jusqu'à 7J d'application et enregistre un taux de mortalité variant 70 à 80% pour les différentes doses.

De ce fait, l'effet toxique des différentes huiles essentielles formulées appliquées sur les larves L₃ de la chenille processionnaire du pin révèle très efficaces d'une part, d'autre part les trois huiles essentielles ont un effet de choc sur les individus de cette chenille

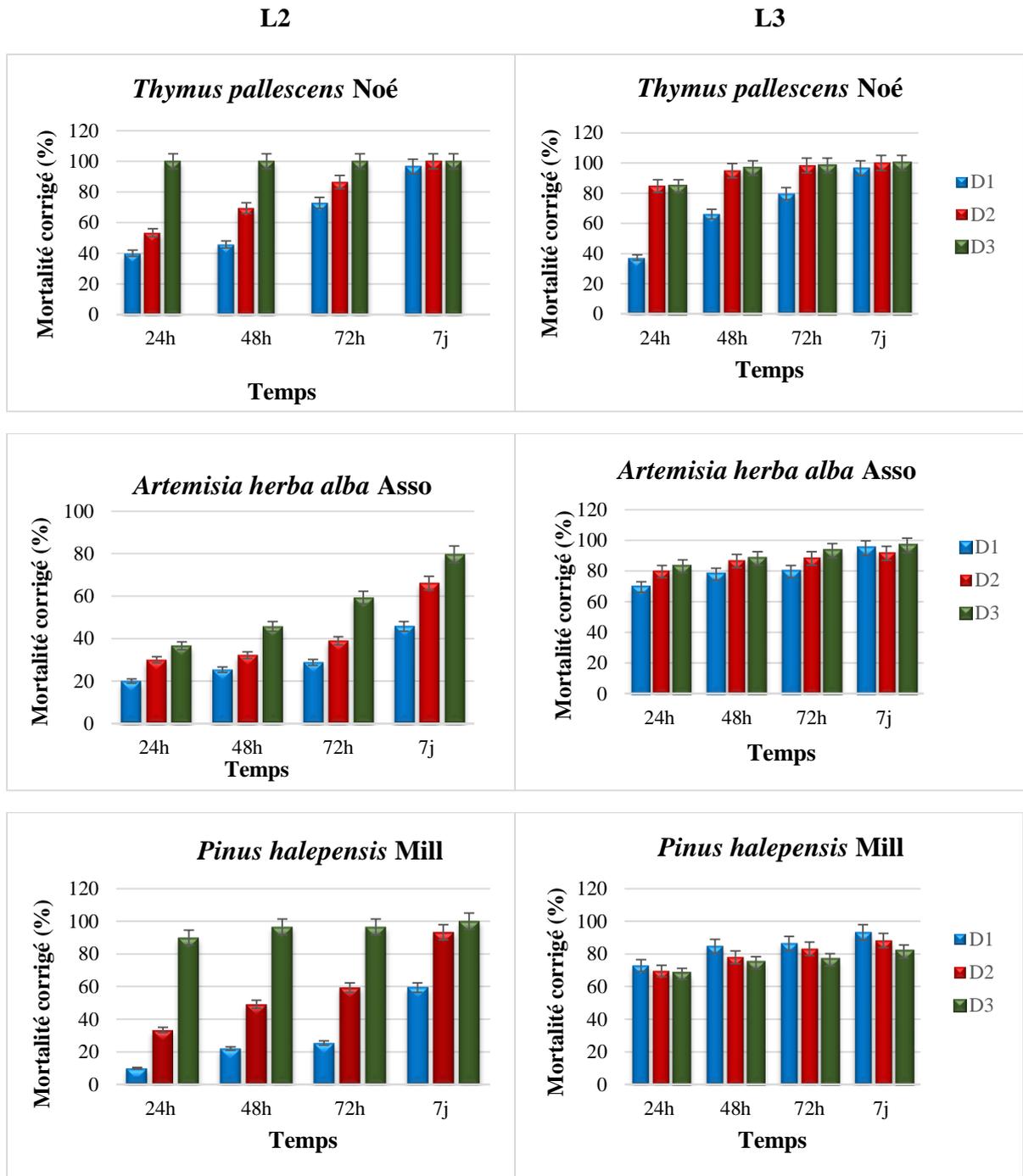


Figure II.2.1 : Variation temporelle des taux de mortalité des larves au deux stades larvaires de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. exposées à différentes doses des huiles essentielles formulées (Moyenne \pm écart type).

2.2. Evaluation de l'effet biocide 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 L₂

L'efficacité des extraits des huiles essentielles de *Thymus pallescens* Noé, *Artemisia herba alba* Asso et de *Pinus halepensis* Mill., ont été scorées grâce à l'évaluation de mortalité corrigée de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

2.2.1. Effet des huiles essentielles étudiées sur la mortalité corrigée de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. en fonction du temps et des doses

Nous avons utilisé le modèle générale linéaire (G.L.M) pour étudier la variation des taux de mortalité corrigée de chaque huile essentielle étudiée en fonction de deux facteurs, les doses des traitements et les variations temporelles. L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau I.

Tableau I : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base des huiles essentielles de thym, de Pin d'Alep et d'Armoise blanche sur la mortalité corrigée de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

H.E	Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des Ecarts	F-ratio	P
<i>Thymus pallescens</i>	Temps	2114,917	3	704,972	3,653	0,083*
	Doses	2758,167	2	1379,083	7,147	0,026*
<i>Artemisia herba alba</i>	Doses	1276,167	2	638,083	25,552	0,001**
	Temps	2090,917	3	696,972	27,910	0,001**
<i>Pinus halepensis</i>	Doses	8882,000	2	4441,000	33,335	0,001**
	Temps	2508,667	3	836,222	6,277	0,028*

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

Le tableau ci-dessus (Tableau I) indique que les facteurs doses et temps après l'application de l'huile essentielle du Thym révèlent l'existence d'une différence significative sur la variabilité des taux de mortalité corrigée, avec les valeurs respectives (F ratio=7,147; p=0,026 ; p<5%), (F-ratio =3,653 ; p=0,083 ; p<5%).

L'efficacité temporelle de différentes doses appliquées désigne une différence significative (p=0,083 ; p<5%) sur la variabilité des taux de mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff durant la période d'investigation. La lecture de l'évolution temporelle des

densités des mortalités corrigées après application de la formulation de l'extrait de l'huile essentielle montre que le thym est très efficace durant toute la période de suivi, et le taux de mortalité le plus élevé est enregistré 7J après application (MC>98%) (Figure II.2.2.1).

En se référant au test de Dunnett et selon le taux des mortalités corrigées révélé par l'ANOVA, qu'il existe une relation étroite entre la dose de traitement et le temps après application de l'HEF de *Thymus palleescens* Noé sur la variabilité des taux de mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. La lecture montre que la première dose (D1) est faiblement efficace dès les 24h et 48h, mais elle devient très efficace au bout de 72h et se maintiennent durant les 7J après application (MC>80%). Ainsi que la deuxième dose (D2) révèle une forte efficacité dès les 72h après application, alors que la troisième dose (D3) enregistre une efficacité très remarquable (MC>80%), cette dernière reste constante de 24h jusqu'à 7J après application (Figure II.2.2.1).

Le tableau I indique aussi que les facteurs doses et temps après l'application de l'huile essentielle de l'Armoise blanche révèlent l'existence d'une différence hautement significative sur la variabilité des taux de mortalité corrigée, avec les valeurs respectives (F ratio=25,552 ; p=0,001; p< 0,01), (F-ratio =27,910 ; p=0,001; p< 0,01).

L'efficacité temporelle de différentes doses appliquées désigne une différence hautement significative (p=0.001 ; p<0,01) sur les mortalités corrigées de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff durant la période d'investigation. La lecture de l'évolution temporelle des taux de mortalités corrigées après application de l'huile essentielle formulée de l'armoise blanche montre que cette dernière est moyennement efficace dès les 24h, 48h, 72h mais elle devient très efficace et se maintiennent durant les 7J après application (Figure II.2.2.1).

En se référant au test de Dunnett et selon le taux des mortalités corrigées révélé par l'ANOVA, qu'il existe une étroite relation entre la dose de traitement et le temps après application de l'HEF d'*Artemisia herba alba* Asso sur la variabilité des taux de mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. La lecture montre que la première dose (D1) est faiblement efficace dès les 24h, 48h et 72h, mais elle devient moyennement efficace durant les 7J après application (MC>44%). Ainsi que la deuxième dose (D2) révèle aussi une faible efficacité de 24h à 72h, mais elle devient efficace 7J après application, alors que la troisième dose (D3) enregistre une efficacité remarquable 7J après application (Figure II.2.2.1).

Le tableau I indique également que les doses de traitement (HEF) génèrent un effet hautement significatif sur la variabilité des taux de mortalité corrigée, alors que le temps après l'application de l'huile essentielle du pin d'Alep révèle l'existence d'une différence significative avec les valeurs respectives (F ratio= 33,335 ; $p=0,001$; $p< 0,01$), (F-ratio=6,277 ; $p=0,028$; $p< 0,05$).

L'efficacité temporelle de différentes doses appliquées désigne une différence significative ($p=0.028$; $p<0,05$) sur les mortalités corrigées de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. durant la période d'investigation. La lecture de l'évolution temporelle des densités des mortalités corrigées après application de l'huile essentielle de pin d'Alep montre que cette dernière est moyennement efficace dès les 24h, 48h et 72h mais elle devient très efficace et se maintiennent durant les 7J après application (MC>81%) (Figure II.2.2.1).

En se référant au test de Dunnett et selon le taux des mortalités corrigées révélé par l'ANOVA, qu'il existe une relation étroite entre la dose de traitement et le temps après application de l'HEF de *Pinus halepensis* Mill sur la variabilité des taux des mortalités corrigées *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. La lecture montre que la première dose (D1) est faiblement efficace dès les 24h, 48h et 72h, mais elle devient moyennement efficace et se maintiennent durant les 7J après application. Ainsi que la deuxième dose (D2) révèle une forte efficacité dès les 72h après application, alors que la troisième dose (D3) enregistre une efficacité très remarquable de 24h jusqu'à 7J après application (Figure II.2.2.1).

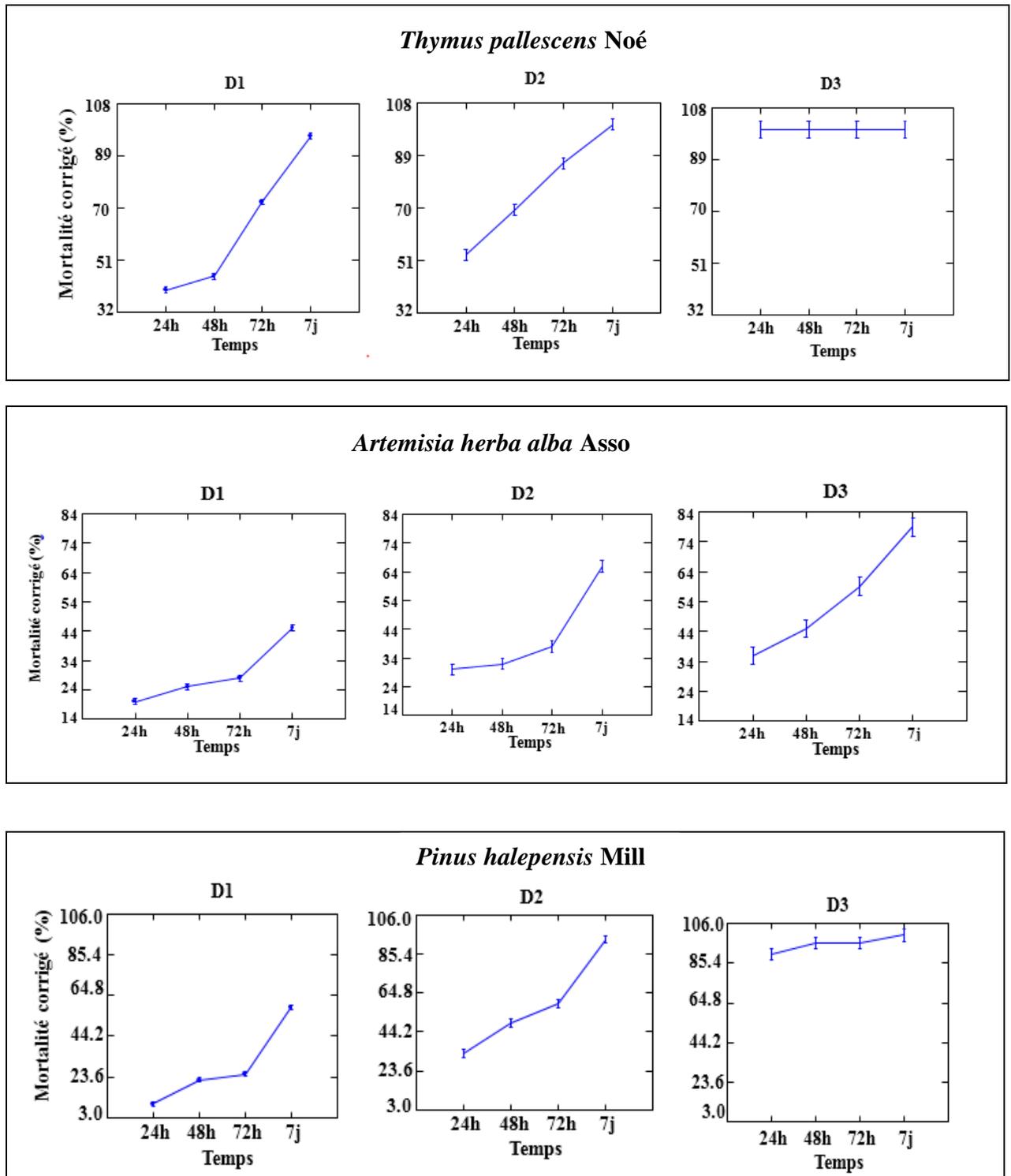


Figure II.2.2.1 : Effet des différentes doses et des évolutions temporelles de traitement à base de l'huile essentielle formulée de trois plante sur la mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

2.3. Evaluation de l'effet biocide 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 L₃

L'efficacité des extraits des huiles essentielles de *Thymus pallescens* Noé, *Pinus halepensis* Mill. et d'*Artemisia herba alba* Asso., ont été scorées grâce à l'évaluation des mortalités corrigées de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

2.3.1. Effet des huiles essentielles étudiées sur la mortalité corrigée de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. en fonction du temps et des doses

Nous avons utilisé le modèle générale linéaire (G.L.M) pour étudier la variation des taux de mortalité corrigée de chaque huile essentielle étudiée en fonction de deux facteurs, les doses des traitements et les variations temporelles. L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau II.

Tableau II.: G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base des huiles essentielles de thym de pin d'Alep et d'Armoise blanche sur les mortalités corrigées *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

H.E	Source	Somme des carrés	DDL	Moyens des Ecart	F-ratio	P
<i>Thymus pallescens</i>	Temps	1515.333	3	505.111	4.644	0,052*
	Doses	1634.000	2	817.000	7.511	0,023*
<i>Artemisia herba alba</i>	Temps	430.250	3	143.417	11.869	0,006**
	Doses	213.500	2	106.750	8.834	0,016*
<i>Pinus halepensis</i>	Temps	511.000	3	170.333	52.410	0,000***
	Doses	171.167	2	85.583	26.333	0,001**

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

Le tableau ci-dessus (Tableau II) indique que les facteurs doses et temps après l'application de l'huile essentielle du Thym révèlent l'existence d'une différence significative sur la variabilité des taux de mortalité corrigée, avec les valeurs respectives (F-ratio=7.511; p=0,023; p<5%), (F-ratio =4.644 ; p=0.052; p<5%).

L'efficacité temporelle de différentes doses appliquées désigne une différence significative (p=0,023; p<0,05) sur la variabilité des taux de mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff durant la période d'investigation. La lecture de l'évolution temporelle des

taux de mortalité corrigée après application de la formulation de l'extrait de l'huile essentielle du thym montre que ce dernier est très efficace durant toute la période de suivi, et le taux de mortalité le plus élevé est enregistré 7J après application (MC>98%) (Figure II.2.2.2).

En se référant au test de Dunnett et selon le taux des mortalités corrigées révélé par l'ANOVA, qu'il existe une relation étroite entre la dose de traitement et le temps après application de l'HEF de *Thymus pallescens* de Noé sur la variabilité des taux de mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. La lecture montre que la première dose (D1) est faiblement efficace dès les 24h, mais elle devient très efficace et se maintiennent durant les 7J après application (MC>81%). Ainsi que la deuxième et la troisième dose (D2 et D3) révèlent une très forte efficacité durant toute la période de suivi (Figure II.2.2.2).

Le tableau II, indique aussi que les facteurs doses et temps après application de l'huile essentielle d'Armoise blanche génèrent un effet significatif sur la variabilité des taux de mortalité corrigée, alors que le temps après l'application des traitements révèle l'existence d'une différence hautement significative avec les valeurs respectives (F-ratio= 8.834; $p=0.016$; $p< 0,01$), (F-ratio=11.869 ; $p=0.006$; $p< 0,001$).

L'efficacité temporelle des différentes doses appliquées désigne une différence hautement significative ($p=0.006$; $p<0,01$) sur les mortalités corrigées de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff durant la période d'investigation. La lecture de l'évolution temporelle des densités des mortalités corrigées après application de l'huile essentielle formulée de l'armoise blanche montre que cette dernière est très efficace durant toute la période de suivi, et le taux de mortalité le plus élevé est enregistré 7J après application (MC=94%) (Figure II.2.2.2).

En se référant au test de Dunnett et selon le taux des mortalités corrigées révélé par l'ANOVA, qu'il apparait une étroite relation entre la dose de traitement et le temps après application de l'HEF d'*Artemisia herba alba* Asso sur la variabilité des taux de mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. La lecture montre que les trois doses (D1, D2 et D3) ont toutes une très forte efficacité durant toute la période de suivi (Figure II.2.2.2).

Le tableau II indique également que les facteurs doses et temps après l'application de l'huile essentielle de Pin d'Alep génèrent un effet hautement significatif sur la variabilité des taux des mortalités corrigées, alors que le temps après l'application des traitements révèle

l'existence d'une différence très hautement significative avec les valeurs respectives (F ratio= 26.333; $p=0,001$; $p< 0,01$), (F-ratio=52.410 ; $p=0,000$; $p< 0,001$).

L'efficacité temporelle de différentes doses appliquées désigne une différence très hautement significative ($p=0.000$; $p<0,001$) sur les mortalités corrigées de *Thaumatococcus panyolensis* Schiff durant la période d'investigation. La lecture de l'évolution temporelle des densités des mortalités corrigées après application de l'huile essentielle formulée de pin d'Alep montre que cette dernière génère une efficacité très remarquable durant toute la période de suivi (Figure II.2.2.2).

En se référant au test de Dunnett et selon le taux des mortalités corrigées révélé par l'ANOVA, qu'il existe une relation étroite entre la dose de traitement et le temps après application de l'HEF d'*Artemisia herba alba* Asso sur la variabilité des taux des mortalités corrigées *Thaumatococcus panyolensis* Schiff. La lecture montre que les trois doses (D1, D2 et D3) ont toutes une très forte efficacité durant toute la période de suivi (Figure II.2.2.2).

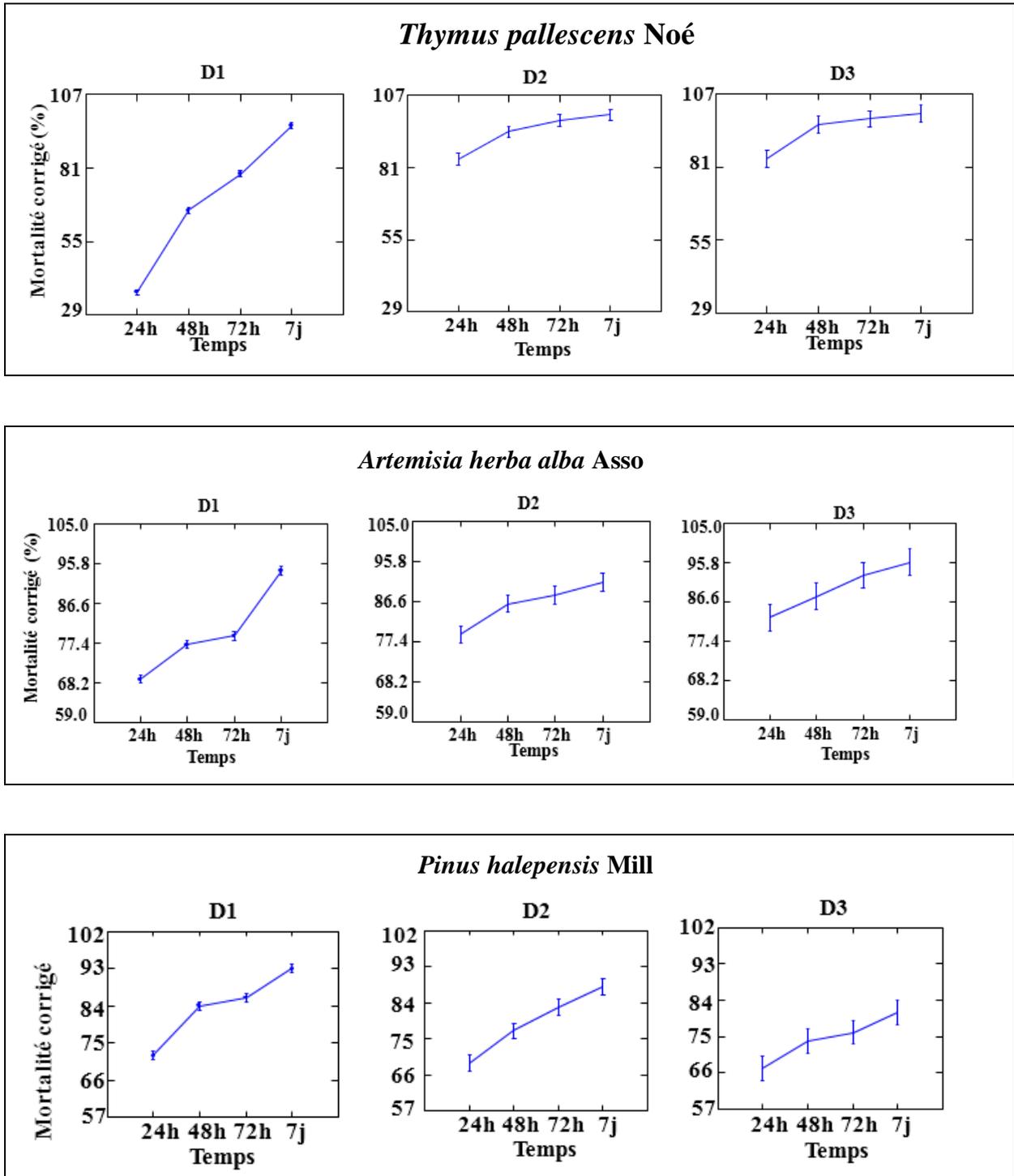


Figure II.2.2.2 : Effet des différentes doses et des évolutions temporelles de traitement à base de l'huile essentielle formulée de trois plantes sur la mortalité corrigée *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

2.4. Etude comparée de l'efficacité des huiles essentielles étudiées sur les L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Nous avons utilisé le modèle générale linéaire (G.L.M) pour étudier la variation des taux de mortalité corrigée de chaque huile essentielle étudiée sur les deux stades larvaires L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau III.

Tableau III : G.L.M. appliqué aux essais des traitements à base des huiles essentielles de thym, de Pin d'Alep et d'Armoise blanche sur les mortalités corrigées les deux stades larvaires de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

H. Es	Source	Somme des Carrés	DDL	Moyen des écarts	F-ratio	P
<i>Thymus pallescens</i>	L ₂	2758,167	2	1379,083	7,147	0,026*
	L ₃	1634,000	2	817,000	7,511	0,023*
<i>Artemisia herba alba</i>	L ₂	2090,917	3	696,972	27,910	0,001**
	L ₃	213,500	2	106,750	8,834	0,016*
<i>Pinus halepensis</i>	L ₂	8882,000	2	4441,000	33,335	0,001**
	L ₃	171,167	2	85,583	26,333	0,001**

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

Le tableau ci-dessus (tableau III) indique que le facteur des traitements à base des huiles formulées révèlent l'existence d'une différence significative de *Thymus pallescens* sur la variabilité des taux de mortalité corrigé pour les deux stades larvaire de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, avec les valeurs respective (F-ratio = 7,147, P= 0,026 ; F-ratio = 7,511, P=0,023),

Egalement, les résultats indiquent l'existence d'une différence très hautement significative de *Pinus halepensis* sur la variabilité des taux de mortalité corrigé pour les deux stades larvaire de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, avec les valeurs respective (F-ratio = 27,910, P= 0,001 ; F-ratio = 26,333, P=0,001), en revanche l'*Artemisia herba alba* Asso présente une efficacité différente pour les deux stades larvaires, une différence très hautement significative pour le L₂ (F-ratio = 27,910, P= 0,001) et une différence significative pour le L₃.

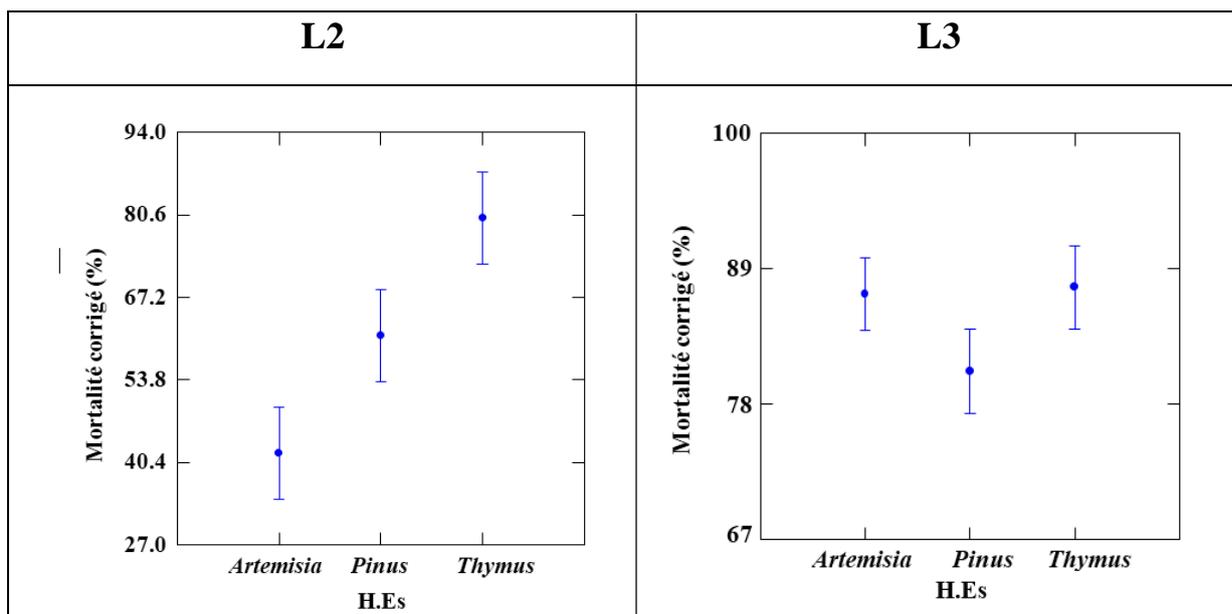


Figure II. 2. 3: Effet des trois huiles essentielles formulées sur la mortalité corrigée de deux stades larvaires de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

En se référant au test de Dunnett, les taux des mortalités corrigées révélés par l'ANOVA, il ressort que le traitement à base d'huile essentielle formulée de *Thymus pallescens* Noé est la plus efficace pour les deux stades larvaires (L₂ et L₃) par rapport aux deux autres huiles extraites d'*Artemisia herba alba* Asso., et *Pinus halepensis* Mill.

L'huile extraite de *Pinus halepensis* Mill, est plus efficace par rapport à l'*Artemisia herba alba* Asso pour les larves de L₂, par contre l'armoise blanche enregistre le taux de mortalité le plus efficace par rapport au pin d'Alep pour les L₃ (figure II.2.3).

2.5. Evaluation temporelle de l'effet biocide des différentes huiles essentielles étudiées sur l'allocation des réserves énergétiques de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Dans cette partie, nous avons étudié l'évaluation temporelle des teneurs des réserves énergétiques (lipidiques, glucidiques et protéiques) des larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. exposés aux différentes doses des huiles essentielles de *Thymus pallescens* Noé, *Pinus halepensis* Mill. et *Artemisia herba alba* Asso.

2.5.1. Sur les larve au stade L₂

La figure II.2.4 montre que les larves exposées aux différents traitements présentent des taux de glucides relativement faibles qui ne dépassent pas les 40µg. Les individus exposés au traitement à base de thym et d'armoise blanche affiche des taux de glucides presque identiques de 24h jusqu'à 7J d'exposition. Le traitement à base de pin d'Alep enregistre les taux les plus faibles. Le témoin annonce des taux faible de glucides et qui demeure de moindre importance par rapport aux différents traitements.

Les réserves énergétiques lipidiques des larves au stade L₂ présentent une variation remarquable qui diffère significativement d'un traitement à l'autre, Il ressort que le traitement à base de pin d'Alep enregistre des taux de lipides significativement plus élevés que à base de thym et d'armoise blanche, le taux des lipides de cette dernière est réduit presque à 50% par rapport à celui de pin d'Alep pendant la période de suivi. En revanche, l'HEF de thym a diminué les taux de lipides dès les 24h jusqu'à 7J après exposition de traitement, sauf une augmentation de teneur au bout de 48h après application. Le témoin enregistre les taux de lipides les plus faibles.

Les larves exposées aux différents traitements et même pour le témoin présentent des taux de protéines relativement faibles, ces derniers sont presque identiques et présentent une certaine similarité de 24h jusqu'à 7J d'exposition sauf une légère diminution après 72h d'exposition.

2.5.2. Sur les larve au stade L₃

La figure II.2.4 révèle que les taux des réserves glucidiques des larves au stade L₃ présentent une variation remarquable dans le temps. Les taux de glucides augmentent chez les larves au stade L₃ par rapport aux larves L₂ et gardent une certaine stabilité dès les 24h jusqu'à 7J après exposition. Les traitements à base d'armoise blanche et de pin d'Alep enregistrent les taux les plus élevés par rapport le thym et le témoin.

L'évolution des réserves lipidiques des larves au stade L₃ présente une variation temporelle qui diffère significativement d'un traitement à l'autre, Il ressort que les taux de lipides diminuent chez les larves au stade L₃ par rapport aux larves L₂ et que le traitement à base de thym enregistre des taux de lipides très faibles qui gardent une certaine stabilité dès les 24h jusqu'à 7J après exposition. En revanche, le traitement à base d'armoise blanche présente aussi des faibles taux de lipides, qui ont tendance à diminuer dans le temps. Les larves témoins marquent les taux les plus élevés.

L'évolution des réserves protéiques des larves au stade L₃ présentent une variation remarquable dans le temps. Les taux des protéines augmentent chez les larves au stade L₃ par rapport les larves au stade L₂ et gardent une certaine stabilité dès les 24h jusqu'à 7J après exposition au traitement.

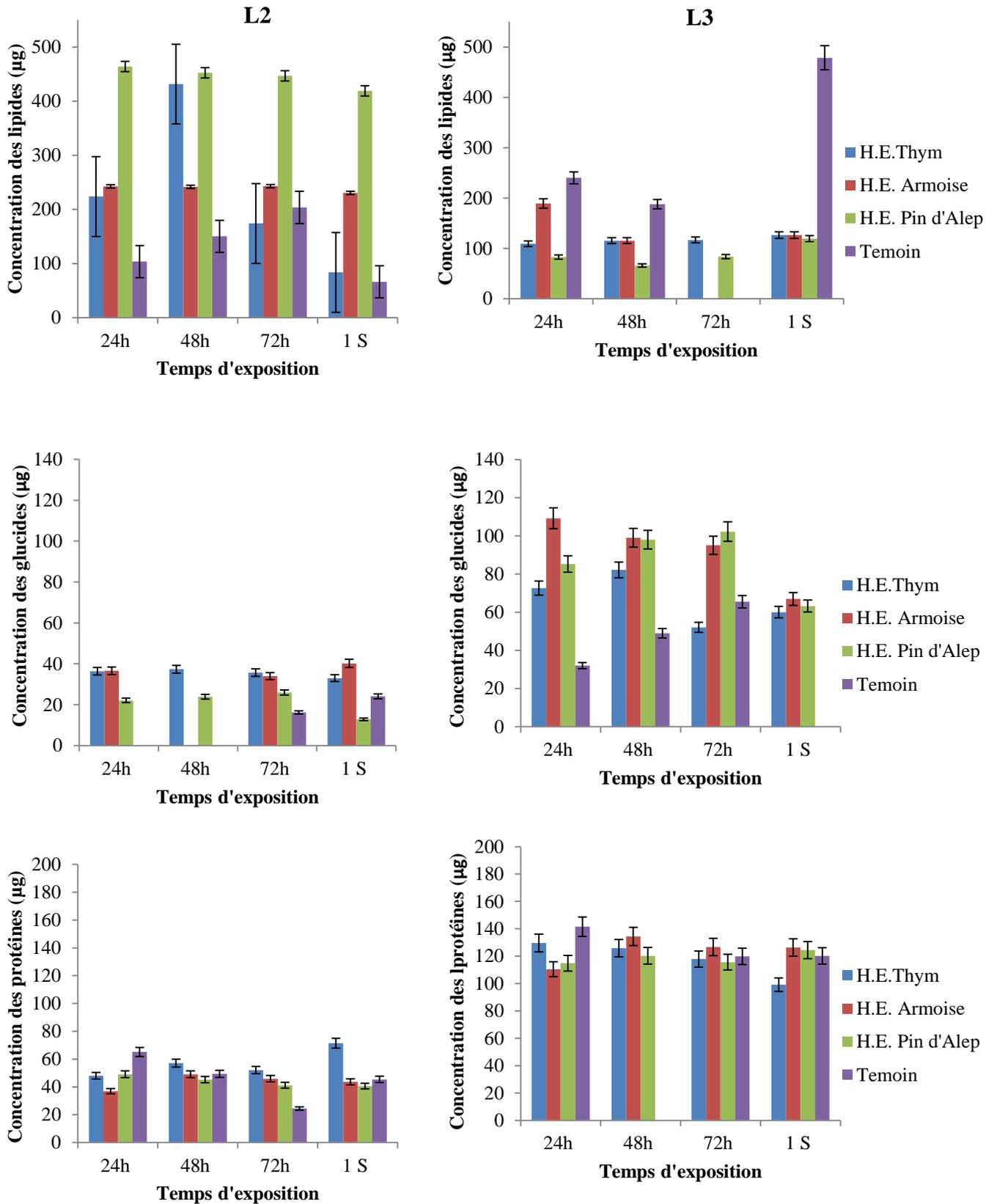


Figure II.2.4 : Variations temporelles des réserves énergétiques chez les larves L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. en fonction des différents traitements.

2.6. Evaluation de l'effet des huiles essentielles étudiées sur des réserves énergétiques de deux stades larvaires de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

2.6.1. Les réserves glucidiques

L'évolution des réserves glucidiques des larves L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. exposées aux différentes huiles essentielles étudiées, présente une variation hautement significative (F-ratio =14,491 ; p=0,001 ; p< 0,01) pour larves L₂, alors qu'elle révèle un effet non significatif pour les larves au stade L₃.

En effet, la quantité de glucides est faible, qui ne dépasse pas les 42 µg chez les larves au stade L₂ traitées par l'HE de thym et d'armoise blanche, alors que ces réserves glucidiques sont représentées par des quantités très infimes pour le traitement à base de pin d'Alep et chez le témoin, ceci peut être dû à leurs métabolisation en raison d'une demande énergétique très forte, En revanche la variation des larves au stade L₃ présente un effet non significatif, ce qui expliquerait probablement que les traitements appliqués sont efficaces pour les larves au stade L₂ et ne sont pas efficaces pour les larves au stade L₃ (figure II.2.5.a).

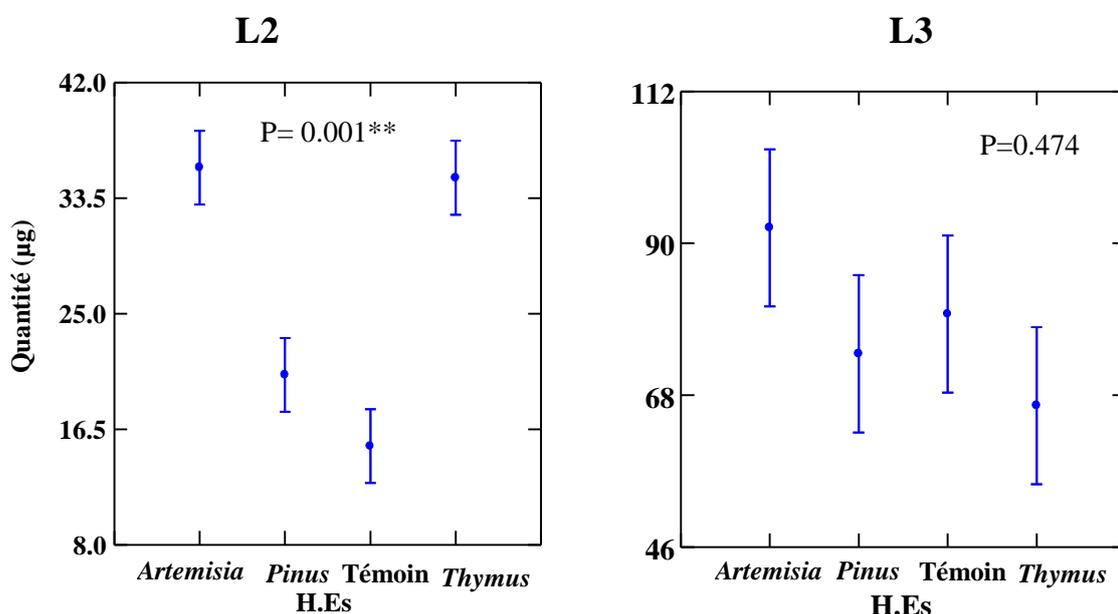


Figure II.2.5.a : Variations comparées des glucides chez les larves L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. en fonction des différents traitements.

2.6.2. Les réserves lipidiques

L'évolution des réserves énergétiques lipidiques des larves traitées de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., désigne une variation hautement significative pour les deux stades larvaires L₂ et L₃ avec les valeurs respectives (F-ratio =13.029 ; p=0,001 ; p< 0,01), (F-ratio =9.215 ; p=0,004 ; p< 0,01).

Nous remarquons par contre les glucides qui représentent de très faibles teneurs, les taux de lipides sont nettement plus importants surtout chez les larves L₂ par rapport aux larves L₃ ce qui expliquerait d'une part un gain d'énergie soit pour la croissance des larves, soit une accumulation des réserves chez les femelles pour la reproduction, d'autre part l'efficacité des traitements appliqués pour les larves de L₂ que pour les larves L₃. D'autre côté la comparaison des teneurs lipidiques chez les larves L₂ en fonction des traitements montre que le traitement à base de pin d'Alep qui a enregistré le taux de lipides le plus élevé se qui explique son efficacité sur ces chenilles, puis le thym et l'armoise blanche qui présentent une certaine similarité en teneurs lipidiques (figure II.2.5.b).

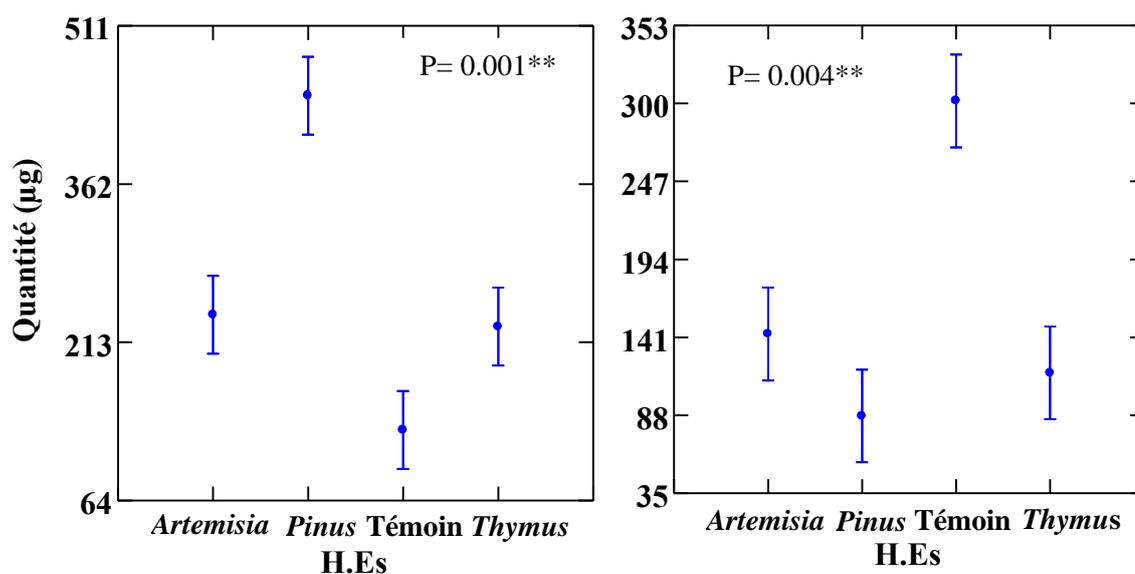


Figure II.2.5.b : Variations comparées des lipides chez les larves L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. en fonction des différents traitements.

2.6.3. Les réserves protéiques

L'évolution des réserves énergétiques protéiques des larves traitées de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., génère un effet non significatif pour les deux stades larvaires L₂ et L₃ avec les valeurs respectives (F-ratio = 1.364, P= 0.315 ; F-ratio= 0.724, P= 0.563) (figure II.2.5.c).

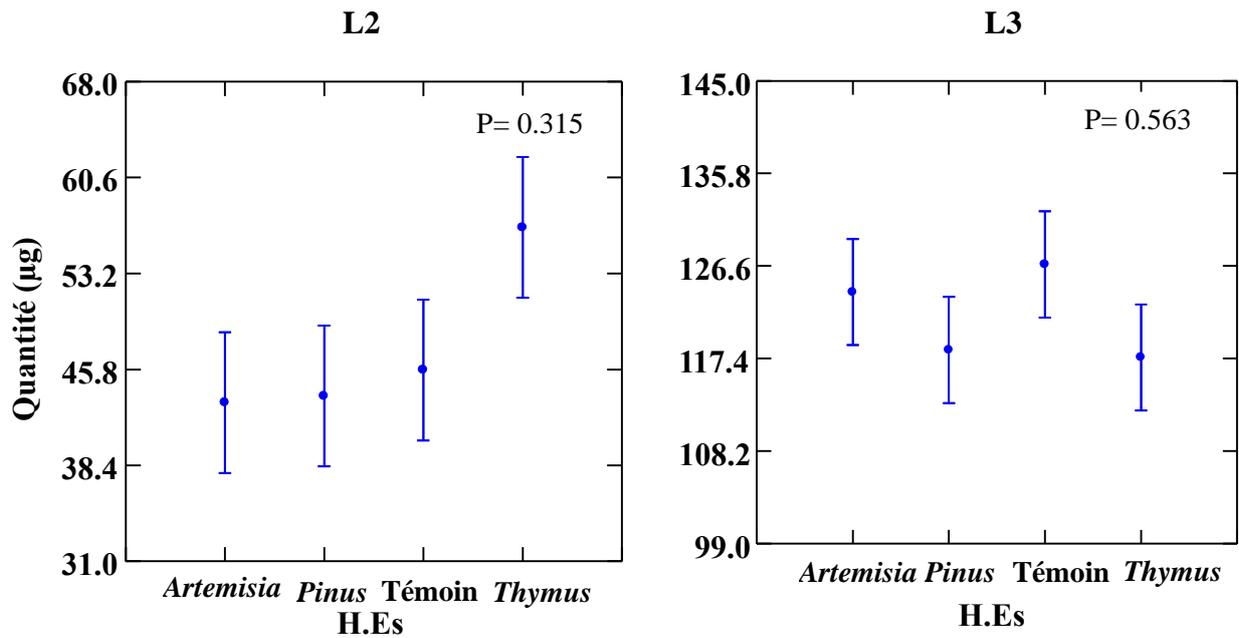


Figure II.2.5.c : Variations comparée des protéines chez les larves L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., en fonction des différents traitements.

2.7. Etude comparée de la variation des réserves énergétiques en fonction des différents traitements appliqués chez les larves L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Le modèle G.L.M a été appliqué sur la variation des quantités des réserves énergétiques en fonction du temps et du type de traitements (figure II.2.6.a). L'évaluation des réserves énergétiques de *Thaumetopoea pityocampa* présente une différence significative pour les deux stades larvaires. Les larves L₂ révèlent une différence significative (F-ratio = 4,209 ; p= 0,011 P<0.01), alors que les larves au stade L₃ génèrent une différence hautement significative (F-ratio=4,488 ; P=0,008), en revanche la variation temporelle enregistre une différence non significative pour les deux stades larvaires, avec les valeurs respectives (L₂ avec F-ratio= 0,576 ; P=0,634 et L₃ avec F-ratio =0,530 ; P=0,664) (figure II.2.6.b).

L'étude comparée de la variation des quantités des réserves énergétiques de deux stades larvaires indique que les quantités des réserves lipidiques sont les plus élevées par rapport aux réserves protéiques et glucidiques qui enregistrent les taux les plus faibles.

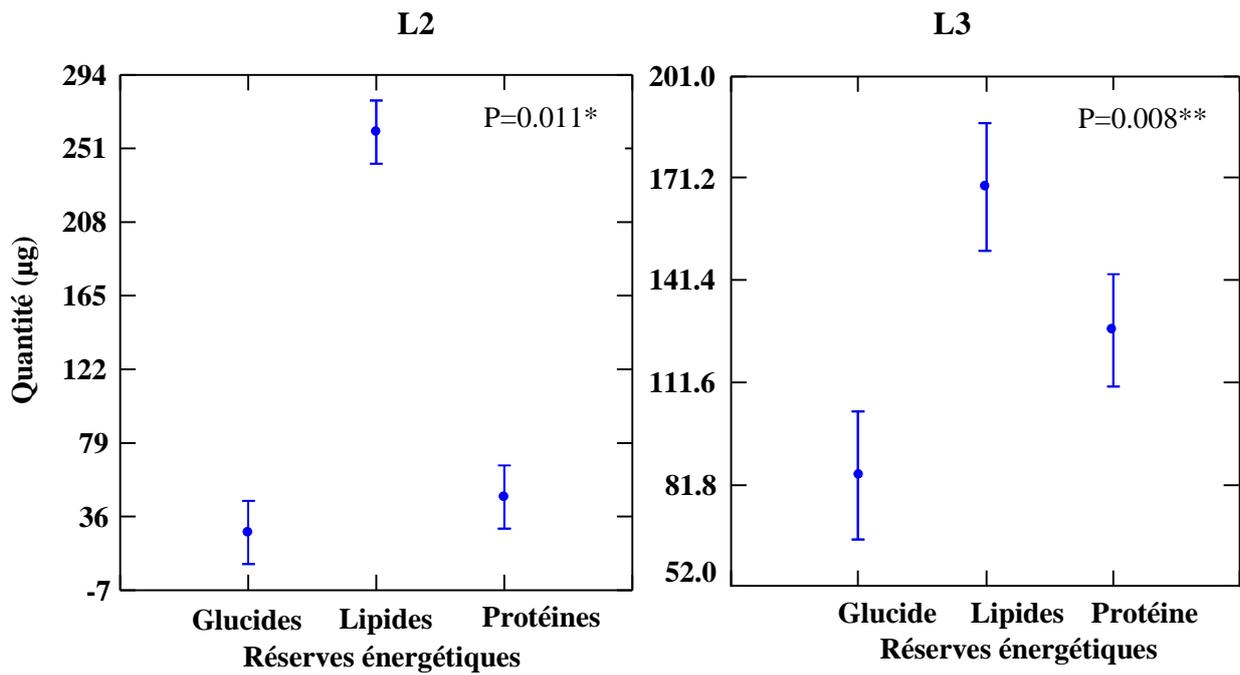


Figure II.2.6.a : Variations des réserves énergétiques (lipides, glucides, protéines) en fonction des différents traitements.

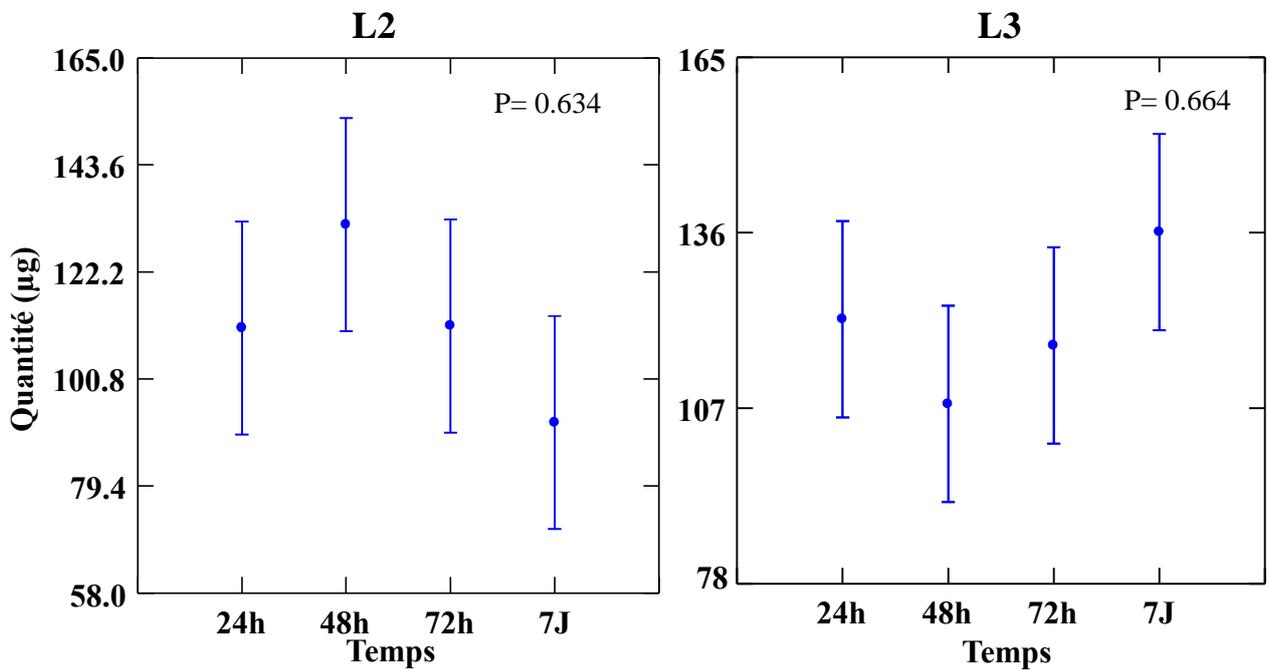


Figure II.2.6.b: Variations temporelle des réserves énergétiques (lipides, glucides, protéines) en fonction des différents traitements.

2.8. Discussions

2.8.1. Evaluation de l'effet insecticide des huiles essentielles étudiées les larves *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

L'utilisation des produits chimiques constitue à l'heure actuelle la technique la plus utilisée pour lutter contre les pathogènes et les organismes nuisibles, en raison de son efficacité et de son application facile et pratique, (Magan 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 microorganismes résistants. Ces dangers ont conduit l'OMS à interdire l'usage de certains fongicides chimiques, d'autres vont être prohibés dans un futur proche (Khelil, 1977).

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 et al., 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. Les biopesticides représentent une bonne alternative aux produits chimiques (Lamontagne, 2004 ; Deguine et Ferron, 2006 ; Rochefort et al., 2006).

Donc dans le souci constant de se préserver les productions agricoles des maladies et des organismes nuisibles, les humains ont cherché à extraire de leur biotope des substances que ce soit pour les transformer ou les utiliser en l'état (Croix, 2004).

Dans cette optique, la valorisation des plantes aromatiques à effet insecticide prend de plus en plus de l'ampleur au niveau des programmes de recherches dans le monde entier et particulièrement en Afrique. Ces plantes sont exploitées sous plusieurs formes afin de réduire la compétition des autres espèces de plante (allelopathie) par inhibition chimique de la germination des graines et protection contre la flore microbienne infectieuse par les propriétés fongicides et bactéricides, et contre les herbivores par goût et effets défavorables sur le système nerveux (Porter, 2001).

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'efficacité des huiles essentielles formulées de trois plantes aromatiques de *Thymus palleescens* Noé.,

Pinus halepensis Mill. et *Artemisia herba alba* Asso., sur les populations de la chenille processionnaire du pin (Lépidoptera, Notodontidae).

Les résultats obtenus montrent que les traitements à base d'huiles essentielles formulées de *Thymus pallescens* Noé., *Pinus halepensis* Mill., et *Artemisia herba alba* Asso. ont effet toxique précoce sur les larves traitées. Cet effet de choc estimé sur les populations de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. présente une gradation d'efficacité allant l'huile essentielle formulée d'*Artemisia herba alba* Asso., puis l'huile essentielle extraite de *Pinus halepensis* Mill. et enfin l'huile essentielle formulée *Thymus pallescens* Noé pour les larves au stade L₂, en ce qui concerne les larves au stade L₃ la gradation d'efficacité allant l'huile essentielle formulée de *Pinus halepensis* Mill., puis l'huile essentielle extraite d'*Artemisia herba alba* Asso. et enfin l'huile essentielle formulée *Thymus pallescens* Noé.

Toutes les huiles essentielles formulées testées ont révélé un effet très hautement significatif sur le taux de mortalité des larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. D'après les résultats, nous constatons que l'application des huiles essentielles formulées des trois plantes étudiées enregistre des taux de mortalité élevé ($\geq 90\%$) sur la chenille processionnaire. En outre, le taux de mortalité augmente proportionnellement avec l'augmentation de la dose et le temps d'exposition.

L'activité insecticide des huiles essentielles extraites des plantes à savoir le thym, l'armoise blanche et le pin d'Alep sur la chenille processionnaire du pin peut être expliquée par l'efficacité des molécules bioactives des huiles étudiées, qui sont probablement neurotoxiques et qui provoquent un effet de choc sur les larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.

Nos résultats sont en accord 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 des quatre stades larvaires 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 margyrophyllum*. Cependant, l'intervalle d'efficacité est varié entre 20% et 100% de mortalité suivant l'espèce végétale, la dose appliquée, le temps d'exposition ainsi que le stade larvaire de la chenille. De plus, nos résultats montrent que le stade L₃ représente le stade le plus sensible.

L'effet insecticide des huiles essentielles par contact, ingestion et par fumigation a été bien démontré contre les déprédateurs des denrées entreposées, 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, 1994**).

Les travaux menés par **Seri-Kouassi et al., (2004)** ont montré que la toxicité des huiles essentielles sur les insectes est induite par l'action de leurs composés majoritaires 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 direct sur la cuticule des insectes et les acariens surtout ceux à corps mou.

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 **Kim et al., (2002)** les propriétés répulsives des huiles essentielles sont souvent associées à la présence de monoterpénoides et de sesquiterpènes bien que les effets toxiques dépendent de nombreux facteurs tel que l'espèce végétale et le temps d'exposition.

Nos résultats sont analogues à ceux de **Kechout, (2001)** qui a testé l'efficacité de l'huile essentielle du Thym sur *Sitophilus oryzae* traduite par un taux de mortalité évalué à 85%.

Benazzeddine, (2010) aussi confirme nos résultats et souligne que par contact les cinq huiles essentielles (Citronnelle, Romarin, Eucalyptus, Thym et Menthe) manifestent un taux de mortalité assez important sur les deux espèces, toutes les huiles ont une efficacité très forte qui dépasse 88 % de mortalité sur *S. oryzae* à l'exception de la Citronnelle qui n'a atteint pas les 70 % de mortalité.

Imelouane et al., (2009) a affirmé que l'activité larvicide très importante observée chez l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* pourrait être expliquée par l'action ou l'effet des composés majoritaires. En effet, l'huile de *Thymus vulgaris*, est caractérisée par une teneur élevée en Thymol de 41,4 %, connu pour ses propriétés antiseptiques. En effet, l'activité antifongique prononcée de *T. vulgaris* est probablement en relation avec sa richesse en Thymol, p-cymène, limonène, α-pinène, carvacrol, γ-terpinène.

Selon **le 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).

Les travaux menés par **Cetin 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 a 20% après 24 h a une dose de (0.1%). Cependant, elle est de 97.5 et 72.5% à une dose (1%), respectivement.

2.8.2. Évaluation de l'allocation des réserves énergétiques des larves L₂ et L₃ de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. sous l'effet des différentes huiles essentielles appliquées

Lorsqu'un organisme est soumis à un stress et qu'il ne peut pas l'éviter, il peut mettre en place des mécanismes pour ne pas rester en contact avec l'origine du stress, et réduire les dommages causés par ce stress (**Forbes et Forbes, 1997 ; Horns et Hood, 2012**). L'organisme est alors résistant envers ce stress, dans l'optique de déterminer l'effet de stress sur les organismes, il apparait comme indispensable d'évaluer l'état de santé général des individus exposés. Pour cela, les mesures biométriques peuvent être utilisées pour déterminer les indices de condition.

Les protéines, les lipides (triglycérides) et les glucides (glycogène) constituent les ressources énergétiques des insectes (**Wigglesworth, 1942 ; Locke et Collins, 1968**). La majeure partie de ces réserves énergétiques se trouve sous forme de lipides (**Arrese et Soulages, 2010**). 90 % de ces lipides consistent en des triglycérides qui possèdent un pouvoir calorique par unité de poids supérieur à celui du glycogène (**Gnaiger, 1983**). En revanche, les réserves en glycogènes sont mobilisées au cours des cycles de mues et de la métamorphose (**Hamburger et al., 1996**).

De nombreux travaux suggèrent qu'un stress toxique, en favorisant l'activation de certaines voies métaboliques, se traduit par une réduction des réserves énergétiques d'un organisme (**Koehn et Bayne, 1989 ; Calow et Sibly, 1990**).

Ces réserves énergétiques fournissent des explications évolutives sur les traits d'histoire de vie, interprètent la diversité et la complexité du cycle de vie d'une espèce, et élucident le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance au maintien des fonctions somatiques et aux performances reproductrices "effort de reproduction" (**Levins, 1968; Barbault, 1984 ; Roff, 1992**).

Dans ce contexte, nous avons étudié l'effet ou plutôt la toxicité d'un plusieurs huiles essentielles (*Thymus pallescens* Noé, *Artemisia herba alba* Asso et *pinus halepensis* Mill) sur la réponse des réserves énergétiques de la chenille processionnaire et déterminer les mécanismes de ces chenille face à un stress toxique. Des différences de concentrations des réserves énergétiques sont observées en fonction des huiles essentielles utilisées.

En considérant les quantités d'énergie contenues dans les lipides, les glucides et les protéines établies par **Gnaiger, (1983)**, la quantité moyenne d'énergie par individu contenue dans ses réserves énergétiques diminuent légèrement mais de façon non statistiquement significative entre le groupe témoin et les groupes exposés.

Dans notre expérience, les résultats montrent que les réserves glucidiques sont représentées par des quantités très infimes, de l'ordre de 30 µg pour les larves L₂ et 80µg pour les larves L₃ de *Thaumetopoea pityocampa*.

Gluth et Hanke, (1985) ont aussi observé une réponse de la concentration en glucides en deux phases dans le muscle de carpes (*Cyprinus carpio*) exposées à différents contaminants chimiques, avec tout d'abord une augmentation de la concentration en glycogène observée après 24 heures d'exposition, suivi d'une diminution de cette concentration après 72 heures d'exposition ce qui diffère avec notre résultats.

Chez *Lymnea acuminata*, **Tripathi et Singh, (2002)** observent une diminution du glycogène dans les tissus après une exposition à des insecticides (diméthoate ou carbaryl) ce qui suggère une utilisation directe d'énergie pour faire face au stress toxique. **Choi et al., (2001)** observent également chez *Chironomus riparius* une diminution du contenu en glycogène après 24 heures d'exposition à un insecticide, ils notent également que ce contenu retrouve son niveau initial après 48 heures d'exposition.

Nos résultats corroborent avec les résultats de la littérature qui mettent en évidence une diminution du glycogène en présence d'un stress toxique chez *Gammarus roeseli* (**Gismondi et al., 2012b**) ou bien chez *Lymnea acuminata* (**Tripathi et Singh, 2002**).

Toutefois, si **Choi et al., (2001)** observent chez *Chironomus riparius* une diminution du contenu en glycogène après 24 heures d'exposition à un insecticide, ils notent également que ce contenu retrouve son niveau initial après 48 heures d'exposition.

En outre, la chenille processionnaire pourrait privilégier l'utilisation des glucides et non pas des lipides pour lutter contre un stress toxique. Le glycogène constitue, en effet, une réserve importante d'énergie pour les phases de mue et de métamorphose ainsi que pour le stade adulte, au cours duquel le chironome ne s'alimente pas (**Hamburger et al., 1996**). Afin que l'espèce puisse assurer sa reproduction, il est par conséquent indispensable que la larve présente, au 4ème et dernier stade, un niveau suffisant de glycogène.

La diminution statistiquement significative des réserves en glucides pourrait être expliquée par une augmentation de l'activité larvaire,

Concernant les réserves lipidiques dont les teneurs dépassent les 180µg, chez les deux stades larvaires. Nos résultats sont similaires que les travaux de **Perez-Camacho et al., (2003)**, qui affirmé l'augmentation des teneurs lipidiques pourrait s'expliquer par leur rôle dans la formation des spermatozoïdes et des ovocytes durant la gamétogenèse. L'utilisation des lipides comme source d'énergie induit un phénomène de lipolyse permettant aux organismes de les dégrader afin de produire l'énergie nécessaire à leur métabolisme de base (réaction enzymatique, synthèse moléculaire,...) (**Gismondi, 2012a**). Chez *Daphnia magna*, les premières réserves énergétiques mobilisées au cours d'un stress toxique sont les réserves lipidiques (**De Coen et Janssen, 1997**).

Selon **Dajoz (1985)**, l'augmentation des teneurs lipidiques surtout, pourrait s'expliquer par un gain d'énergie soit pour la croissance des larves, soit pour une accumulation de ces réserves chez les femelles aptères hivernantes au niveau de la plante hôte. La fécondité et le poids peuvent en effet être modifiés chez beaucoup de pucerons.

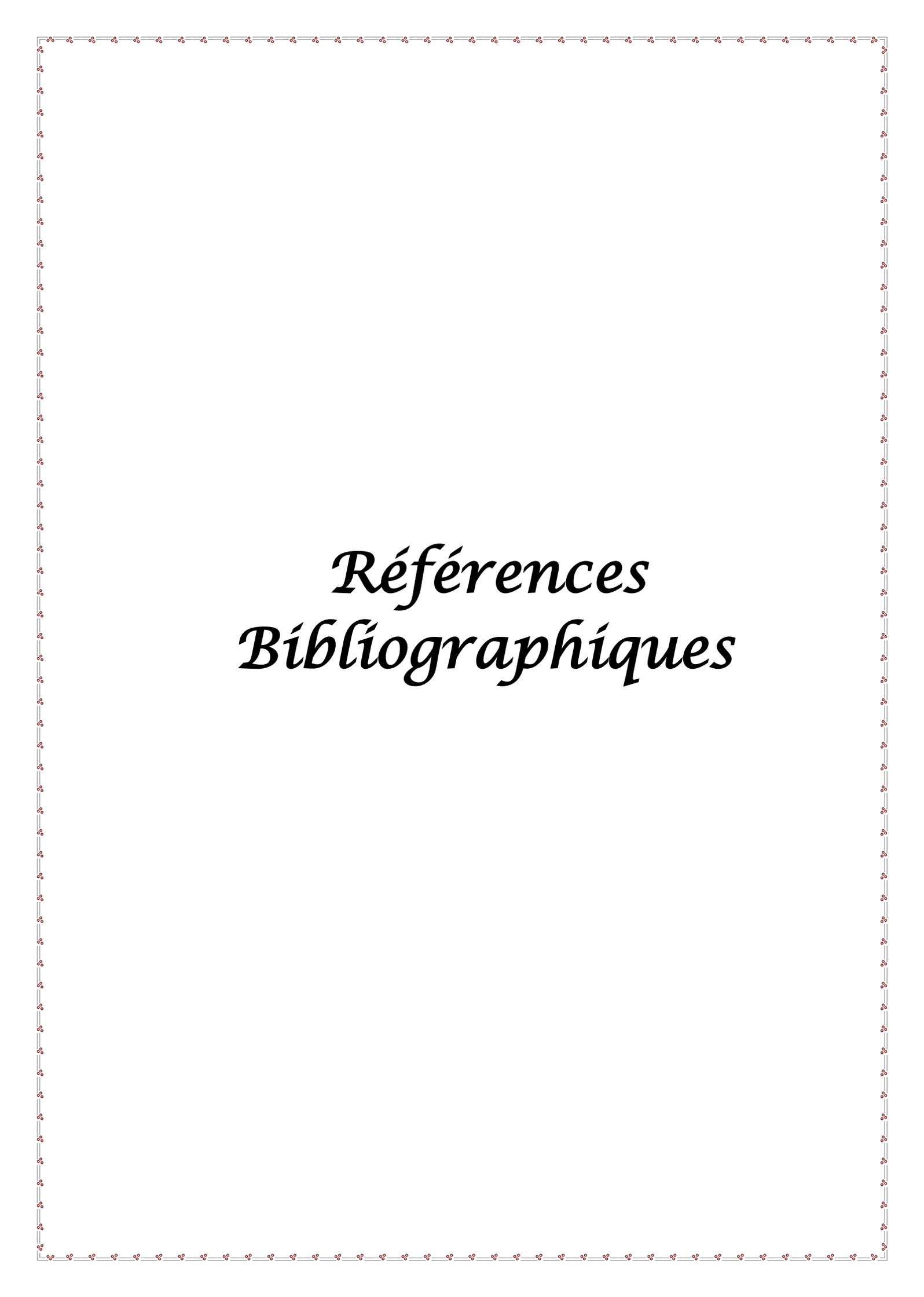
Les protéines ont également été quantifiées dans cette étude, les résultats montrent que leurs teneurs sont moyennement faibles pour les deux stades larvaires de *Thaumetopoea pityocampa* à différentes tenures par rapport à l'effet de chaque huile utilisée, ce qui prouve que ces réserves sont généralement les dernières utilisées en cas de stress. En effet, le catabolisme des protéines peut fournir de l'énergie lors d'une forte demande énergétique (**Ribeiro et al., 2001**).

Plusieurs études ont montré qu'une diminution de la concentration en protéines pouvait être considérée comme une adaptation physiologique pour venir compenser le stress induit par les pesticides (Sancho *et al.*, 1998 ; Begum, 2004). Selon De Coen et Janssen (1997), les réserves sous forme de protéines et de glycogène ne seraient affectées que pour des concentrations d'exposition élevées.

Le teneur en protéines n'est pas significativement affecté par la présence de plomb. Ce résultat est en accord avec les observations de Choi *et al.*, (2001) chez *Chironomus riparius* exposé pendant quatre jours à un insecticide, le fenitrothion, ou bien avec celles de Ha et Choi (2008) chez *Chironomus riparius* exposé à du plomb pendant 24 heures. De même, Jin-Clark *et al.*, (2008) ne relèvent aucune variation du contenu protéique chez *Chironomus tentans* exposé pendant trois jours à un herbicide, l'alachlore. En revanche, Rathore *et al.*, (1979) notent chez *Chironomus tentans* une diminution du contenu protéique en présence de cadmium et Jin-Clark *et al.*, (2008) en présence de metolachlore, un herbicide qui agirait en bloquant la synthèse protéique. De même, Ortel, (1991) observent cet effet chez un hyménoptère alimenté avec une nourriture dopée à 50 mg/kg de plomb. De plus, Graney et Giesy, (1968) montrent, chez *Gammarus pseudolimnaeus*, qu'une exposition à long terme au pentachlorophénol (insecticide) entraîne la mobilisation des réserves protéiques.

Nous pouvons supposer, comme l'ont suggéré Blazka, (1966) et De Coen et Janssen, (1997) chez *Daphnia magna*, que bien que les concentrations d'exposition soient élevées, elles ne sont pas suffisantes pour entraîner la mobilisation de ces réserves. Ainsi, dans le cas d'un stress toxique, *Chironomus riparius* privilégierait, en premier lieu, l'utilisation des réserves non protéiques.

Dans des travaux ultérieurs, il s'avérerait, en outre, intéressant de mesurer les paramètres comportementaux de la larve, tels que l'alimentation, la locomotion et l'activité de bioturbation, afin de confirmer ou d'infirmer les hypothèses émises précédemment.



Références Bibliographiques

Conclusion et perspectives

Le présent travail vise la contribution à la recherche de nouvelles molécules bioactives à activité biocide. L'évaluation de l'efficacité globale des huiles essentielles formulées de *Thymus pallescens* 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'évaluation du potentiel larvicide des huiles essentielles étudiées sur la chenille processionnaire du pin d'Alep (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), ensuite nous avons réalisé une série de dosage des biomarqueurs afin de déterminer et comparer les teneurs des réserves énergétiques glucidiques, lipidiques et protéiques dans le but de détecter l'altération des organismes et les perturbations sur la population des chenilles.

En matière d'activité biocide, les trois huiles essentielles formulées testées le *Thymus pallescens* Noé., *Pinus halepensis* Mill., et *Artemisia herba alba* Asso., sont montrées très efficaces, la mortalité est de 100% après 24 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.

Nos résultats sur le dosage des biomarqueurs montrent une variabilité dans les réserves énergétiques entre les individus de chenilles étudiées. Les quantités de réserves énergétiques lipidiques sont plus prononcées que celles des réserves glucidiques et protéiques qui sont peu perceptibles, ce qui expliquerait un gain d'énergie pour une accumulation des réserves chez les chenilles destiné pour la reproduction. Les variations temporelles des résultats ont montré que les réserves énergétiques sont différentes significativement selon le stade larvaire et le traitement utilisé.

Parmi les perspectives immédiates de cette étude est de déterminer les concentrations minimales de ces huiles régulatrices des populations des nuisibles, ainsi la fabrication d'un biopesticide à partir d'un mélange des trois plantes étudiées le thym, l'armoise blanche et le pin d'Alep, et d'évaluer sa toxicité sur d'autres stades larvaires de la processionnaire du pin.

D'autre part, il serait intéressant d'étendre l'éventail des tests insecticide ainsi que l'isolement et la caractérisation des composés actifs dans les différents extraits des plantes aromatiques étudiées, en vue d'identifier les différentes molécules responsables des

différentes activités biocide de ces plantes. L'ensemble de ces résultats obtenus *in vitro* ne constitue qu'une première étape dans la recherche de substances d'origine naturelle biologiquement active, une étude *in vivo* est souhaitable, pour obtenir une vue plus approfondie sur les activités biocides des extraits de ces plantes.

Références bibliographiques

- Abbott WS., 1925** : A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, **18**: 265-267.
- Aburjai, T., Natsheh, F. M., 2003** : Phytotherapy Research, 17, 987-1000.
- Agenjo. R., 1941** : Monographia de la familia des Thaumetopoeidae (Lep.). Eos, Revista Espanola de Entomologia, 17, 69-130.
- Agnihotri A, Khatoon S., Shanta M., 2003** : Pharmacognostical evaluation of an antioxidant plant-Acorus calamus linn. *Nat. Prod. Sci.* 9(4)264-269.
- Akrout. A., 2004** : Etude des huiles essentielles de quelques plantes pastorales de la région de Matmata (Tunisie). In : Ferchichi A (comp.), Ferchichi A (collab). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM : Cahiers Option Méditerranéennes ; 62 : 289-292 Pp.
- Amiard-Triquet, C., Amiard, J. C., 2008** : Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Lavoisier Tec et Doc, Paris, pp. 1-16.
- Arnaldo. P.S., Chacim. S., & Lopes. D., 2010** : Facts of defoliation by the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* on biomass growth of young stands of *Pinus pinaster* in northern Portugal. *Iforest-Biogeosciences and Forestry*, 3, 159-162.
- Arrese. E. L et Soulages. J. L., 2010** : Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology* 55, 207–225.
- Barbault. R., 1984** : Le concept de stratégie démographique, point de rencontre privilégié entre écologistes et généticiens de populations? *Acta Oecologica. Oecologia generalis* 5: 243-259.
- Baser KHC and Buchbauer G., 2010** : Handbook of Essential oils: Science, Technology and Applications. CRC Press. UK.
- Battisti. A., Stastny. M., Netherer. S., Robinet. C., Schopf. A., Roques. A., & Larsson. S., 2005** : Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15, 2084-2096.
- Baudrimont. M., Metivaud. J., Maury-Brach., Ribeyre. F., Boudou. A., 1997** : Bioaccumulation and metallothionein response in the asiatic clam (*Corbicula fluminea*) after experimental exposure to cadmium and inorganic mercury. *Environ. Toxicol. Chem.*, 16: 2096-2105.
- Bedel. J., 1986** : Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. Paris : CIHEAM. Options Méditerranéennes : Série Etudes; n. 1986-pages 109- 125.
- Begum. G., 2004** : Carbofuran insecticide induced biochemical alterations in liver and muscle tissues of the fish *Clarias batrachus* (linn) and recovery response. *Aquat. Toxicol.*, 66: 83–92.
- Belkheir. M.B., Bertouche. S., Sahraoui. N., Hellal. A., Boutekedjiret. C., 2012** : 2nd edition of the international congress: Microbial Biotechnology for Development MICROBIOD 2, Marrakech.
- Benazzeddine. S., 2010** : Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de *Sitophilusoryzae* (Coleopera; Curculionidae) et *Triboliumconfusum* (Coleoptera; Tenebrionidae). Mémoire Online.
- Bernard, T., Perineau, F., Bravo, P., Delmas, M. et Gaset., 1988** : « *Informations chimie* », Oct, n° 298, 179. c
- Bhavan. P. S., Geraldine. P., 1997** : Alterations in Concentrations of Protein, Carbohydrate, Glycogen, Free Sugar, and Lipid in the Prawn *Macrobrachium malcolmsonii* on Exposure to Sublethal Concentrations of Endosulfan. *Pestic. Biochem. Phys.*, 58: 89–101.
- Blazka. P., 1966** : Metabolism of natural and cultured populations of *Daphnia* related to secondary production. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 16, 380–385.

- Blem. C. R., 1992** : Lipid reserves and body composition in postreproductive anurans. *Comp. Biochem. Physiol.* Part A, 103: 653–656.
- Bouchikhi. T. Z., 2011** : Lutte contre la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera, Bruchidae) et la mite *Tineola bisselliella* (Lepidoptera, Tineidae) par des plantes aromatiques et leurs huiles essentielles. : En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en biologie, option : écologie animale.
- Bouguenna. S., 2011** : Diagnostic écologique, mise en valeur et conservation des pineraies de *Pinus halepensis* de la région de Djerma (Nord-est du parc national de Belezma, Batna). Mém. Magister, Univ. Batna, 161p.
- Bouhdid. S., idaomar. M., Zhiri. A., Baudou. D., Skali. N., J. Abrines. J., 2006** : Congrès international de biochimie. Agadir, Maroc.
- Boullard. B., 2001** : Dictionnaire des plantes médicinales du monde (réalité et croyance). ESTEM. Paris. 59-131.
- Bourrel. C., 1993** : Analyse chimique, activités biostatiques et antioxydantes d'extraits de plantes aromatiques sélectionnées. Thèse de l'Institut National Polytechnique de toulouse. Toulouse, France.
- Bradford. M. M., 1976** : A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, **72**: 248-254.
- Bruneton J., 1999** : Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales. *3ème Ed Tec&Doc. Paris.*
- Buchbauer. G., & Jirovetz. L., 1994** : Aromatherapy-Use of fragrances and essential oils as medicaments. *Flavour and Fragrance J.*, 9, pp: 217-222.
- Budavari. S., O 'Neil. M. J., Smith. A., Heckelman. P.E., Kinneary. J.F., 1996** : The Merk Index-Twelfth edition, Whitehouse Station: Merk and Co, INC, 2350.
- 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 pp: 65-72.
- Burjeron. A., 1972** : Étude des facteurs responsables du rythme nyctéméral de la prise alimentaire des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. et des conséquences sur la virose cytoplasmique. *Ann. Zool. - Écol. Anim.* 4(3): 353-366.
- C.S.F., 2017a** : Conservation des forêts de bordj Bou Arreridj.
- C.S.F., 2017b** : Google Maps, Digital Globe, Données cartographiques, Google 2017.
- Caccioni. D.R.L. & Guizardi. M., 1994** : Inhibition of germination of fruit and postharvest pathogenic fungi by essential oil components. *J. Essent. Oil Res.*, 6, 173-179.
- Calow. P. et Sibly. R., 1990** : A physiological basis of population processes: ecotoxicological implications? *Functional Ecology* 4, 283–288.
- Calow. P., 1991** : Physiological costs of combating chemical toxicants: ecological implications. *Comp Biochem. Physiol. C* 100: 3-6.
- Capo. M., Couilleau. V., et Valette. C., 1990** : Chimie des couleurs et des odeurs. *Culture et techniques*, 204 p.
- Cetin. H., Yanikoglu. A., 2006** : A study of the larvicidal activity of *Origanum* (Labiatae) species from southwest Turkey. *J. Vect. Ecol.* 31: 118-122.
- Chakali. G., 2014** : Processionary Moths and Climate Change. Alain Roques Editor An Update p 42.
- Chiasson. H. et Beloin. N., 2007** : Les huiles essentielles, des biopesticides « nouveau genre ». *Antennae*, 14 (1), pp: 3-6.
- Choi. J., Roche. H et Caquet. T., 2001** : Hypoxia, hyperoxia and exposure to potassium dichromate or fenitrothion alter the energy metabolism in *Chironomus riparius* Mg. (Diptera: Chironomidae) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 130, 11–17.

- Chouat. Z., 2004** : Effet acaricides de quelques huiles essentielles vis-à-vis de *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval 1867 (Acari ; Tetranychidea). Mém. Ing. agro. INA et el Harrach, 61p.
- 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.
- Clevenger. J. F., 1982** : Apparatus for volatile oil determination, Description of New Type ». *American Perfumer et Essential Oil*. 17 (4) 346-351.
- Coombes. A.J., 1993** : Les Arbres. Ed. BORDAS. Paris. 320-335.
- Cowan. M.M., 1999** : Plant products as antimicrobial agents. *Clin. Microbiol. Rev.*, 12, 564-582.
- Croix. Serge Ville., 2004** : « Guide pratique des moxas: Organes et zones douloureuses tome I». AMBRE EDITIONS.
- Dajoz. R., 1985** : Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris, 505 p.
- Dajoz. R., 1998** : Les insectes et la forêt. ed. Lavoisier Tec& Doc. 594 p. Paris.
- De Coen. W. M. et Janssen. C. R., 1997** : The use of biomarkers in *Daphnia magna* toxicity testing. IV. Cellular energy allocation: a new methodology to assess the energy budget of toxicant-stressed *Daphnia* populations. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 6, 43-55.
- 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.
- Démolin. G., 1969** : Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Ann. Sci. Forest.* 26(1) : 81 102.
- Démolin. G., 1969a** : Bioecologia de la procesionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Incidencia de los factores climaticos, *Bol. Serv. Plcrgns Forest.*, 23, 9-24.
- Démolin. G., 1969b** : Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.: dispersion spatiale, importance écologique. *Annales des Sciences Forestières*, 26, 81-102.
- Démolin. G., 1971** : Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*) pendant la période des processions de nymphose - Répercussions sur l'efficacité des parasites.
- Démolin. G., Abgral. J.F., Bouhot-Delduc L., 1996** : Evolution de l'air de la processionnaire du pin en France. Les cahiers de DSF, 1-1996 (La santé des forêts [France] en 1995). Pp 26-28.
- Denis et Schiffermüller., 1775** : Systematisches verzeichnis des schmetterlinge de wiener gegend. Wien : bernardi, 343 p.
- Depledge. M. H et Fossi. M. C., 1994** : The role of biomarkers in environmental (2). *Invertebrates. Ecotoxicology* 3: 161- 172.
- Doly. C., 2007** : Biomarqueur en écotoxicologie: application à la surveillance de l'environnement marin. Master SGT, Promotion, 73p.
- Don Pedro. K.N., 1996** : Investigation of single and joint fumigant insecticidal action of Citruspeel oil Components, *Pesticide Science*, Vol.46 : 79-84.
- Durieu de Maisonneuve. M.C., Bory de Saint-Vincent. E., 1849** : Exploration scientifique de l'Algérie pendant les années 1840-42, Botanique, Atlas [Atlas de la flore de l'Algérie], t. 66, fig. 3.
- Durou. C., 2006** : Recherche d'indicateurs de l'état physiologique de l'annélide polychète endogée *Nereis diversicolor* en relation avec la qualité du milieu. Thèse de Doctorat en Ecotoxicologie, Université de Nantes. 201p.
- El-Massry. K.F., El-Ghorab. A.H. & Farouk. A., 2002** : Antioxidant activity and volatile components of Egyptian *Artemisia judaica* L. *Food Chem.*, 79, 331-336.

- Enan. E., 2002** : Insecticidal activity of essential oils: Octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology, Toxicology and Pharmacology*. Part C130. Vol (3) : 325-337.
- Escalón. S., Martín. C., Rousselet. J., Roques. A. et Jactel. H., 2013** : Processionnaire du pin : une chenille sous haute surveillance. Institut National de la Recherche Agronomique. Disponible sur : <http://www.inra.fr/Grand-public/Sante-des-plantes/Tous-les-dossiers/Processionnaire-du-pin-unechenille-sous-haute-surveillance>.
- Eurasante., 2005** : Les biomarqueurs dans le développement du médicament, les études Eurasanté, 44p. FAO (Comité de Lutte le Criquet Pèlerin). 2006. Examen des Questions concernant la Santé Humaine et l'Environnement, Rome 38^{ème} session, 54p.
- Forbes. V.A., Forbes. T.L., Rivière. J.-L., 1997** : Écotoxicologie: théorie et applications. Editions Quae, Paris. 424 p.
- 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.
- Geret. F., Serafim. A., Bebianno, M. J., 2003** : Antioxidant enzyme activities, metallothioneins and lipid peroxidation as biomarkers in *Ruditapes decussatus* ? *Ecotoxicology*, 12: 417–426.
- Ghrabi. Z. S and R.L., 2008** : *Artemisia herba alba* Asso. A Guide to Medicinal Plants in North Africa : 49 - 49.
- Gismondi. E., 2012a** : Étude des systèmes de défenses antitoxiques chez l'amphipode *Gammarus roeseli*: effets du parasitisme et d'une exposition au cadmium. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 310 p.
- Gismondi. E., Rigaud. T., Beisel. J. N et Cossu-Leguille. C., 2012b** : Effect of multiple parasitic infections on the tolerance to pollutant contamination. *Plos One* 7, e41950.
- Gluth. G., Hanke. W., 1985** : A Comparison of Physiological Changes in Carp, *Cyprinus carpio*, Induced by Several Pollutants at Sublethal Concentrations. *Ecotox. Environ. Safe.*, 9: 179–188.
- Gnaiger. E., 1983** : Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. *Polarographic Oxygen Sensors. Aquatic and Physiological Applications*. H.Forstners and E. Gnaiger Ed. Springer, Berlin. 337–345.
- Gómez de Aizpúrua. C., 1986** : Biología y morfología de las orugas, Lepidoptera; Cossidae, Sphingidae, Thaumetopoeidae, Lymantriidae, Arctiidae (Vol. 2, serie 6). Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 239 p.
- 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.
- Goubi. M., 2011** : Croissance et productivité de pin d'Alep dans quelques stations du massif des Aurès. Mémoire du Magister. Univ. de Batna, 103 p.
- Graney. R. L. et Giesy. J. P., 1968** : Effects of long-term exposure to pentachlorophenol on the free amino acid pool and energy reserves of the freshwater amphipod *Gammarus pseudolimnaeus* Bousfield (Crustacea, Amphipoda). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 12, 233–251.
- Guardia. T., Juarez. A.O., Guerreiro. E., Guzmán. J.A. & Pelzer. L., 2003** : Anti-inflammatory activity and effect on gastric acid secretion of dehydroleucodin isolated from *Artemisia douglasiana*. *J. Ethnopharmacol.*, 88, 195-198.
- Guisande. C., Toja. J., Mazuelos. N., 1991** : The effect of food on protein content in rotifer and cladoceran species: a field correlational study. *Freshwater Biol.*, 26: 433–438.
- Ha. M. H et Choi. J., 2008** : Effects of environmental contaminants on hemoglobin of larvae of aquatic midge, *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae): A potential biomarker for ecotoxicity monitoring. *Chemosphere* 71, 1928–1936.

- Hamburger. K., Lindegaard. C et Dall. P. C., 1996** : The role of glycogen during the ontogenesis of *Chironomus anthracinus* (Chironomidae, Diptera). *Hydrobiologia* 318, 51–59.
- Hammer. O., Harper. D.A.T et Rayan. P. D., 2001** : PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Pelaeontologia Electronica* (1): 9p.
<https://pelaeontologiaelectronica.org/2001%201/past/issu1%2001/htm>.
- Hashemi. S., Blust. R., De Boeck. G. 2008** : Combined effects of different food rations and sublethal copper exposure on growth and energy metabolism in common carp. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 54: 318–324.
- Hazzit. M., Baaliouamer. A., Verissimo. A.R., Faleiro. M.L., M.G. Miguel. M.G., 2009** : *Food Chemistry*, 116, 3, 714–721.
- 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.
- Holloway. G.J., Sibly. R.M., Povey. S.R., 1990** : Evolution in toxin-stressed environments. *Func. Ecol.* 4, 289-294.
- Homburger. F., Boger. E., 1968** : The carcinogenicity of essential oils, flavors and spices: A review. *Cancer Res.* 28, 2372-2374.
- Horns. F., Hood. ME., 2012** : The evolution of disease resistance and tolerance in spatially structured populations. *Ecology and evolution* 2, 1705-1711.
- Huchon. H., Démolin. G., 1970** : La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle, dispersion actuelle. *Rev. For. Fr.* [en-ligne] XXII, n°spécial « La lutte biologique en forêt », 220-234. [<http://documents.irevues.inist.fr>].
- Hulin. V., Mathot. A.G., Mafart. P et Dufossé. L., 1998** : Les propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles et composés d'arômes. *Sciences des aliments*, 18: 563-582.
- Imbert. C.E., 2012** : Expansion d'un ravageur forestier sous l'effet du réchauffement climatique : la pro.
- Imelouane. B., Elbachiri. A., Ankit. M., Benzeid. H et Khedid. K., 2009** : Physicochemical compositions and antimicrobial activity of essential oil of eastern Moroccan *Lavanduladentata*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11 (2): 113–118.
- Isman. M. B., 2000** : Plant essential oils for pest and disease management. *Crop protection*. 19: pp. 603-608.
- Isman. M. B., 2002** : Problèmes et perspectives de commercialisation des insecticides d'origine botanique In : *Biopesticides d'origine végétales*. pp 300-311.
- Isman. M.B., 1994** : Botanical insecticides and antifeedants: new sources and perspectives. *Pesticide Research Journal*, 6: 11–19.
- Isman. M.B., 2005** : Problems and opportunities for the commercialization of botanical insecticides. In *Biopesticides of Plant Origin*, ed. C Regnault-Roger, BJR Philogène, C Vincent, pp. 283–91. Paris: Lavoisier.
- Jean-Claude. Martin., 2007** : « la chenille processionnaire du pin », futura - sciences.[enligne].<http://www.futurasciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologie-chenille-processionnaire-pin>.
- Jin-Clark. Y., Anderson. T. D et Zhu. K. Y., 2008** : Effect of alachlor and metolachlor on toxicity of chlopyrifos and major detoxification enzymes in the aquatic midge, *Chironomus tentans* (Diptera: Chironomidae). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54, 645–652.
- Kechout. F., 2001** : Efficacité de trois extraits végétaux et de deux insecticides vis-à-vis de *Sitophilusoryzae L.* (*Coleoptera, Curculionidae*). Thèse ing.,sci.agr., I.N.A., El Harrach, pp. 30-35.

- Kellouche. A & Soltani. N., 2004** : Activité biologique des poudres de cinq plantes de l'huile essentielle d'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F.). *International Journal of Tropical Insect Science*, 24 (1), pp: 184–191.
- Kesdek. M., Bayrak. N., Kordali. S., Usanmaz. A., Contuk. G., Ercisli. S., 2013** : Larvicidal Effects of some Essential Oils against Larvae of the Pine Processionary Moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & schiffermuller) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Egyptian journal of pest control*.23 (2):201-207.
- Khelil. M. A., 1977** : Influence de la chaleur utilisée comme moyenne de lutte contre la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera Bruchidae) sur les différents états et stades de développement. Thèse Ing. Agr. INA, 77p.
- Khous. M. G., 1992** : Contribution à l'inventaire des Lépidoptères des forêts (Chênaies et Cédraies d'Algérie).*Ann. Rech. For.* INRF : 44 - 45.
- Kim. K.S., Lee. S., Lee Y.S., Jung. S.H., Park. Y., Shin. K.H & Kim .B.K., 2003** : Anti-oxidant activities of the extracts from the herbs of *Artemisia apiacea*. *J. Ethnopharmacol*, 85, 69-72.
- Kiriakoff., 1970** : Lepidoptera familia thaumetopoeidae. In p. wytzman (Ed.), genera insectorum (pp. 1-54). Anvers: SPRL mercurius Schintlmeeister 2013). Notodontidae & oenosandridae (Lepidoptera). World catalogue of insects 11 (608 pp.).
- Koehn. R. K et Bayne. B. L., 1989** : Towards a physiological and genetical understanding of the energetics of the stress response. *Biological Journal of the Linnean Society* 37, 157–171.
- Kooijman. S.A.L.M., 2000** : Dynamic energy and mass budgets in biological systems. Cambridge University Press.
- Kordali. S., Kotan. R., Mavi. A., Cakir. A., Ala. A & Yildirim. A., 2005** : Determination of the chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of Turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *Artemisia santonicum*, and *Artemisia spicigera* essential oils. *J. Agric. Food. Chem*, 53, 9452-9458.
- Kurita. N., myaji. M., kurane. R., Takahara. Y., Ichimara. K., 1979** : Antifungal activity and molecular orbital energies of aldehyde compounds rom oils of higher plants. *Agric. Boil. Chem.* 43: 2365-2371.
- Lafontaine. Y., Gagné. F., Blaise. C., Costan. G., Gagnon. P. et Chan. H., 2000** : Biomarkers in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) for the assessment and monitoring of water quality of the St Lawrence River (Canada). *Aquatic Toxicology* 50 (1): 51-71.
- Lagadic. L., Caquet. T., Amiard. J.C., 1997a** : biomarqueurs en écotoxicologie : principes and définitions. *In* : Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F. (Eds.), *Biomarqueurs en écotoxicologie: aspects fondamentaux*. Masson, Londres, Paris, New York, pp. 1-9.
- Lagadic. L., Caquet. T., Amiard. J.-C., Ramade. F., 1997** : Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux. Paris, Masson, 418 p.
- Lamiri. A., Lhaloui. S., Benjilali. B. & Berrada. M., 2001** : Insecticidal effects of essential oils against Hessian fly, *Mayetiola Destructor* (Say). *Field Crops Res.*, 71, 9-15.
- Lamontagne. E., 2004** : Caractérisation de nouvelles souches de *Bacillus thuringiensis* d'intérêt pour la production des biopesticides et d'enzyme parfermentation de boues d'épuration municipale. Université du Québec INRSETE.
- Larew. H.G., Locke. J.C., 1990** : Repellency and toxicity of horticultural oil against whitefly on *Chrysanthemum*.*HortScience* 25 (11), p. 1406–1407.
- Le Floc'he., 1983** : Contribution à une étude ethnobotanique de la flore tunisienne. *Edition ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique* .Tunisie.193.

- Le Gal. Y., Lagadic. L., Le Bras. S. et Caquet. T., 1997** : Charge énergétique en adénylates (CEA) et autres biomarqueurs associés au métabolisme énergétique. Biomarqueurs en Ecotoxicologie: Aspects Fondamentaux. L. Lagadic, Caquet, T., Amiadr, J.-C. and Ramade, F. Paris, Masson Editeur. Collection d'Ecologie: 241-285.
- Leblond. A., Martin. J. C., Robinet. C., Napoleone C., Geniaux. G., Provendier. D., Gutleben. C., 2010** : Chenille processionnaire du pin: il faut agir. *Lien Horticole*, 693, 12-13.
- Leutrech. N.B., 1982** : Cours de sylviculture approfondie 4 année forêt. Institut National Agronomique Alger.Pp: 22.
- Levins. R., 1968** : Evolution in changing environments. *Princeton University Press*, Princeton.
- Lilian. M., 2016** : La chenille processionnaire du Pin, une présence cyclique. *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 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.
- Locke. M et Collins. J. V., 1968** : Protein uptake into multivesicular bodies and storage granules in the fat body of an insect. *The Journal of Cell Biology* 36, 453–483.
- Lucchesi. M. E., 2005** : Extraction sans solvant assisté par micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles, thèse doctorat en science, université de la réunion, p 121.
- Maatoug. M., 1998** : évolution de quelques propriétés de base du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en fonction de l'âge du peuplement.
- Maga. N et Olsen. M., 2004** : Mycotoxines in food : Detection and control, Woodhead publishing in Food Science and Technology.P :190-203.
- Margand. A., 2001** : Evaluation de l'utilisation des réserves énergétiques (lipides, sucres) en tant que biomarqueurs pour l'effet du dinosèbe sur l'invertébré du sol *Folsomia candida* Arthropleona,
- Marion. durand-gillmann., 2014** : Interactions plantes-insectes dans deux écosystèmes forestiers méditerranéens contrastés : le cas des scolytes (Coleoptera : Curculionidae : Scolytinae) en région méditerranéenne. ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT UNITÉ ÉCOLOGIE DES FORÊTS MÉDITERRANÉENNES, UR 629, INRA PACA-Avignon.
- Markalas. S., 1989** : Influence of soil moisture on the mortality, fecundity and diapause of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *J. Appl. Ent.* 107 : 211- 215.
- 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. McManus, M.L. and Liebhold, A.M.).
- Marquis. R.J., 1992** : The selective impact of herbivores. In *Plant resistance to herbivores and pathogens: ecology, evolution, and genetics*. University of Chicago Press, Chicago, p. 301-325.
- 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., Bonnet. C., Mazet. R., 2007** : La processionnaire du pin : vers un contrôle écologique et raisonné. In : conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres Zones Non Agricoles. Angers (France).
- Mayer. F. L., 2002** : Physiological and nonspecific biomarkers. In biomarkers : Biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress, ed. R.J. Huggett, R. A. Kimerle, P. M J. Mehrle, and H. L. Bergman, 5-85. SETAC Special Publication Series. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

- McLoughlin, N., Yin, D., Maltby, L., Wood, R.M., Yu, H., 2000** : Evaluation of sensitivity and specificity of two crustacean biochemical biomarkers. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19: 2085-2092.
- Mirault, J et Regad, J., 1992** : Le point sur la situation phytosanitaire du pin d'Alep. Forêts méditerranéenne t. XIII, n° 3.
- Morales, M., 2002** : The history, botany and taxonomy of the genus thymus. In thymus: the genus thymus. Medicinal and Aromatic Plants – Industriel Profiles; Stahl –Biskup, E.; Saez, F., Eds.; Taylors & Francis (Vol. 17). London.
- 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. [<http://www.scientific.micropolis.biz/wpcontent/uploads/elodie-morel-stage-m1iegb-2008.pdf>]
- Nabli, M. A., 1989** : Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisiennes, tome I. Ed. MAB, faculté des sciences de Tunisie ; Pp : 186-188.
- Naganuma, M., Hirose, S., Nakayama, Y., Nakajima, K., Someya, T., 1985** : A study of the phototoxicity of lemon oil. *Arch. Dermatol. Res.* 278, 31-36.
- Nahal I., 1985** : Taxonomie et aire géographique des pins du groupe *halepensis*. *CIHEAM*, Paris, Vol. 86(1), 11-23.
- 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.
- Nahal, I., 1986** : Taxonomie et aire géographique des pins du groupe *halepensis*. *CIHEAM-options Méditerranéennes*. 1 :1-9.
- Negahban, M., Moharrampour, S & Sefidkon, F., 2007** : Fumigant toxicity of essential oil from *Artemisia sieberi* Besser against three stored-product insects. *J. Stored Products Res.*, 43, 2, 123-128.
- Ngamo, L.S.T et Hance, T., 2007** : Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura* Vol. 25 (4) : 215-220.
- Nielsen, P.V & 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.
- OIE : Organisation Mondiale de la Santé Animale., 2013** : Maladies, infections et infestations de la Liste de l'OIE en vigueur en 2013 [en ligne]. Adresse URL : <http://www.oie.int/fr/santeanimale-dans-le-monde/maladies-de-la-liste-de-loie-2013/>.
- Ortel, J., 1991** : Effects of lead and cadmium on chemical composition and total water contents of the pupal parasitoïde, *Pimpla turionellae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 59,93–100.
- Ozenda, P., 2006** : Les végétaux: organisation et diversité biologique. Ed. Dunod (2^{ème} édition), Paris 516p.
- Paster, N., 1990** : Inhibitory effect of oregano and thyme essential oils on molds and foodborne bacteria. *Lett. Appl. Microbiol.*, 11, 33-37.
- Perez-Camacho, A., Delgado, M., Fernandez-Reiriz, U., Labarta, M.J., 2003** : Energy balance, gonad development and biochemical composition in the clam *Ruditapes decussatus*. *Marine Ecology Progress Series* 25, 133-145.
- Plaistow, S. J., Bollache, L., Cézilly, F., 2003** : Energetically costly precopulatory mate guarding in the amphipod *Gammarus pulex*: causes and consequences. *Anim. Behav.*, 65: 683-691.
- Porter, N., 2001** : Essential oils and their production. *Crop & Food Research*. Number 39.

- Printes. L. B., Callaghan. A., 2003** : Interclonal variability in *Daphnia* acetylcholinesterase activity: the implications for its applicability as a biomarker. *Environ. Toxicol. Chem.*, 22: 2042–2047.
- Quezel. P et Santa. S., 1963** : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. 31-40.
- Rambabu. J. P., Rao. M. B., 1994** : Effect of an organochlorine and three organophosphate pesticides on glucose, glycogen, lipid, and protein contents in tissues of the freshwater snail *Bellamya dissimilis* (Müller). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 53: 142–148.
- Rasooli. I., Bagher Rezaei. M., Allameh. A., 2006** : *Food Control*, 17, 359-364.
- Rathore. H. S., Sanghvi. P. K et Swarup. H., 1979** : Toxicity of cadmium and lead nitrate to *Chironomus tentans* larvae. *Environmental Pollution* 18, 173–177.
- 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 Chem Ecol*, 19: 1231-1242.
- Regnault-Roger. C., 2002** : De nouveaux phytoinsecticides pour le troisième millénaire ? In : *Biopesticides d'origine végétales*, ed Tec & doc. Londres-Paris-New York. pp. 19-39.
- Ribeiro. S., Sousa. J. P., Nogueira. A. J. A., Soares. A. M. V. M., 2001** : Effect of endosulfan and parathion on energy reserves and physiological parameters of the terrestrial isopod *Porcellio dilatatus*. *Ecotox. Environ. Safe.*, 49: 131–138.
- Richter. G., 1993** : « *métabolisme des végétaux* », *Physiologie et biochimie*. Presses polytechnique et universitaires, Romandes, 292.
- 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.
- Roff. D.A., 1992** : *The evolution of life histories: theory and analysis*. Chapman & Hall, London.
- Roman. P., 2009** : Larvicidal property of essential oils against *Culexquinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae)., *Ind. Crops . Prod.* 30(2) 311–315.
- 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. [http://www.inra.fr/urticlim/projet_urticlim/reunions/micropolis].
- Sahraoui. N., Bouzaza. A., Dahdouh. A., Boutekdjiret. C., 2014** : 4th International congress in green process engineering to held in 7-10 April, Sevilla (Spain)
- Sahraoui. N., Hellal. A., Boutekdjiret. C., Bentahar. F., Bessière. J. M., 2007** : *International Journal of Essential Oil Therapeutics*. 1, (2), 83-90.
- Salido. S., Valenzuela. Luis. R., Atarejos. J., Noguerras. M., Sanchez A & Eusebio. Cano., 2004** : Composition and infraspecific variability of *Artemisia herba Alba* from southern Spain, *Biochemical Systematic and Ecology*, 32: 265_277 Pp.
- Sallé. J.L., 1991** : « *Les huiles essentielles ; synthèse d'aromathérapie et introduction à la sympathicothérapie* », Edition Frison-Roche, Paris, 21.
- Sancho. E., Ferrando. M. D., Fernández. C., Andreu. E., 1998** : Liver energy metabolism of *Anguilla anguilla* after exposure to fenitrothion. *Ecotox. Environ. Safe.*, 41: 168–175.

- Sancho. E., Villarroel. M. J., Andreu. E., Ferrando. M. D., 2009** : Disturbances in energy metabolism of *Daphnia magna* after exposure to tebuconazole. *Chemosphere*, 74: 1171–1178.
- Sargent, J., Henderson, R. J., Tocher, D. R., 1989** : The lipids. In: Halver JE (Ed) *Fish Nutrition*. Academic Press, London, pp 154–209.
- Scheiner. P., 2003** : Les chenilles processionnaires chez le chien. Thèse Méd. Vét., Lyon, N°136, 122p.
- Schlenk. D., 1999** : Necessity of defining biomarkers for use in ecological risk assessments. *Marine Pollution Bulletin* 39, 48-53.
- Seri-Kouassi. B.P., Kanko. C., NondenotAboua. L.R., Bekon. K.H., Glitho. A.I., Koukoua. G. et N'Guessan Y.T., 2004** : Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé. *Comptes Rendus de Chimie*. Vol. 10 (11) : 1043-1046.
- Setzer. W.N., Vogler. B., Schmidt. J.M., Leahy. J.G. & Rives. R., 2004** : Antimicrobial activity of *Artemisia douglasiana* leaf essential oil. *Fitoterapia*, 75, 192-200.
- 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 Sumsun., Y., 2001** : *Ann. Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 52, 407-436.
- Sipailiene. A., Venskutonis. P.R., Baranauskiene. R et Sarkinas A., 2006** : "Antimicrobial activity of commercial samples of thyme and marjoram oils." *Journal of Essential Oil Research*, 18: 698-703.
- Smith. C.K., Moore. C.A., Alahi. E.N., Smart. Â.T., Hotchkiss. S.A., 2000** : Human skin absorption and metabolism of the contact allergens, cinnamic aldehyde and cinnamic alcohol. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 168,189-99.
- Stegeman. J.J., Brouwer. M., Richard. T.D.G., Förlin. L., Fowler. B.A., Sanders. B.M., van veld. P.A., 1992:** Molecular responses to environmental contamination: enzyme and protein systems as indicators of chemical exposure and effect. In: Huggett, R.J., Kimerle, R.A., Mehrle, P.M., Bergman, H.L. (Eds), *Biomarkers: biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress*. Lewis Publisher, Chelsea, pp. 235-335.
- Sujatha. C. H., Nair. S. M., Chacko. J., 1996** : Tributyltin oxide induced physiological and biochemical changes in a tropical estuarine clam. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 56: 303–310.
- Tapondjou. L. A., Adler. C., Bouda. H et Fontem. D. A., 2003** : Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab (Coleoptera, Bruchidae). *Cahiers d'études et de recherches francophones, Agricultures*, 12(6), pp : 401-407.
- Timbrell. J.A., Draper. R., Waterfield. C.J., 1994** : Biomarkers in toxicology: new uses for some old molecules? *Toxicology and Ecotoxicology News* 1, 4-14.
- Tripathi. P. K et Singh. A., 2002** : Toxic effects of dimethoate and carbaryl pesticides on carbohydrate metabolism of freshwater snail *Lymnaea acuminata*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 68, 606–611.
- 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.
- Umminger. B. L., 1977** : Relation of whole blood sugar concentration in vertebrates to standard metabolic rate. *Comp. Biochem. Physiol.*, 55: 457–460.
- Van der Oost. R., Beyer. J., Vermeulen. N. P. E., 2003** : Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Phar.*, 13: 57–149.

Van Handel. E., 1985a : Rapid determination of glycogen and sugars in mosquitoes. J. Am. Mosquito Contr., 1: 299-301.

Van Handel. E., 1985b : Rapid determination of total lipids in mosquitoes. J. Am. Mosquito Contr., 1: 302-304.

Wigglesworth. V. B., 1942 : The storage of protein, fat, glycogen and uric acid in the fat body and other tissues of mosquito larvae. Journal of Experimental Biology 19, 56-77.

Zamoum. M., Démolin. G., 2002 : The pine processionary caterpillars life cycle, *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermüller (Lep., Thaumetopoeidae) in the bioclimatic conditions of a subsaharian region (Djelfa, Algeria). Comm. Symp. Internat. de Rabat (Maroc), du 6 au 11 mai 2002.

ملخص

تقييم تأثير المبيد الحشري و توزع المعلمات البيولوجية الطاقوية ليرقات دودة الصنوبر *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. المعالجة بثلاث زيوت مصنوعة (*Pinus halepensis*، *Artemisia herba alba*، *Thymus pallescens*) الشيح (Asso).

دودة الصنوبر (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) هي من ابرز الحشرات المخربة لغابات الصنوبر الحلبي في مناطق البحر الأبيض المتوسط، تعتبر المبيدات الكيميائية من الحلول الفعالة لكن التأقلم السريع للحشرات و قدراتها علي التكيف من اخطر الاسباب الناجمة عن استخدام المفرط لهذه المبيدات، مما ادى إلى ضرورة البحث عن بدائل طبيعية ذات أصل نباتي لمواجهة مخاطر هذه الحشرات وابقائها تحت عتبة الضرر. تهدف هذه الدراسة من جهة الى تقييم التأثير السام لثلاثة زيوت طيارة : الزعتر (*Thymus pallescens* Noé)، الشيح (*Artemisia herba alba*)، الصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis* Mill) على يرقات الدودة الجرارة في الطورين L₂، L₃. من جهة أخرى إلى معايرة المدخرات الطاقوية و المتمثلة في السكريات، الدهون و البروتينات لمعرفة التغيرات الطارئة على الدودة إثر مواجهتها لهذه الزيوت التي تدخلها في حالة اضطراب. أظهرت النتائج فعالية متبانية لهذه الزيوت في القضاء علي أفراد الدودة، حيث يعتبر الزعتر *Thym* الاكثر سمية إذ أنه تسبب في القضاء على جميع أفرادها (L₂، L₃). الدراسة التي أجريت على المدخرات الطاقوية أظهرت نتائجها غالبية الدهون مقارنة ببقية المدخرات بإعتبارها من المعلمات البيولوجية الأكثر إستجابة للتأثير و ذلك لتخزينها من طرف حشرات *Thaumetopoea pityocampa* Schiff لغرض إستعمالها في التكاثر وقد تساعد هذه النتائج ايضا على فهم أليات مواجهة هذه الحشرة لحالة من الضعف و الاضطراب.

الكلمات المفتاحية : إمكانات المبيدات الحشرية، زيوت طيارة، الزعتر، الشيح، الصنوبر الحلبي ، المعلمات البيولوجية، المدخرات الطاقوية.

Abstract

Evaluation of Insecticidal effect and energy allocation of energy biomarkers of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) Schiff. under the effect of three essential oils formulated (*Thymus pallescens* Noé., *Artemisia herba alba* Asso and *Pinus halepensis* Mill.)

The pine processionary moth, (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) the most important defoliator of pines in the Mediterranean region. Chemical pesticides are considered as effective solutions but the problems of the resistance of insects and their adaptive capabilities cause by the massive use of this chemical pesticides, which necessity to find new alternative product natural of plant origin against this insect's attacks. Essential oils are the most products currently tested. This study showed on one hand the toxicity of three essential oils extracted of *Thymus pallescens* Noé., *Artemisia herba alba* Asso and *Pinus halepensis* Mill. on the L₂ and L₃ larvae of the processionary caterpillar Aleppo pine (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) In order to search for new bioactive natural products, on the other hand we realize a dosage series of energy reserves in order to know the response of the processionary Caterpillar against this stress condition cause by those essential oils. The results obtained showed Differentiated efficacy of the three essential oils on both L₂ and L₃, cette efficiency is estimated by the mortality of their invidious in addition, this mortality Increase proportionally with the rise of the Dose and exposure time. The results revealed that essential oils of thyme is the most efficacies effective against oil all of the population of both L₂ and L₃. The study on energy reserves has showed the prevalence of the fats as a biomarker, because is considering as the most responsive biological parameters, to use it for the reproduction process.

Key words: Potential insecticide, essential oils, thyme. Artemisia. Pin of Aleppo, biomarkers, energy reserves.