

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

N° Réf :.....



Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie Département des Sciences de la

Nature et de la Vie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Thème :

**Effet des huiles essentielles dans la lutte contre la
chenille processionnaire du pin (*Taumatopoea
pityocampa Schiff*)**

Présenté par :

- ❖ Bouchareb Massaouda
- ❖ Boulhart Yousra

Devant le jury :

- | | | |
|---------------------|-------|------------|
| ❖ BOUDJAHM Ibtissem | M.C.B | Promoteur |
| ❖ TAYAA Hakima | M.C.A | Présidente |
| ❖ BOUAROUJ Sara | M.A.A | Examineur |

Année universitaire : 2021/2022

Remerciement

*Avant tout, nous remercions Dieu,
le miséricordieux de
Nous avoir donné le courage, la force et la patience
pour réaliser ce mémoire.
Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre
profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de
près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.
Nos remerciements s'adressent tout d'abord au notre
encadrante*

Melle Boudjahem Ibtissem

*Pour nous avoir fait travailler sur un projet intéressant
et riche en qualité scientifique
Nous adressons notre plus vif remerciement à :*

*Madame : **Tayaa Hakima***

D'avoir accepté de présider le jury.

à

*Mademoiselle **Bouaroudj S***

D'avoir accepté d'examiner ce travail.

*Enfin, on souhaite exprimer toute notre gratitude à
l'ensemble des personnes qui ont contribué largement
à son aboutissement*

Dédicace « Messaouda »

Je dédie ce travail à mes plus chers êtres au monde :

*A mes chers parents **Wazina** et **Nouar** pour leur amour, leur tendresse, et
pour leur soutien durant toutes les étapes de ma vie.*

*A mon cher grand-père décédé : **Tayeb**. Reposes en paix*

à

*A mes frères: **Samir, Abd elrahim, Athman, Farid, et Ali** merci pour vos
encouragements, votre aide et surtout votre présence dans les moments les plus
difficiles.*

*A mes belles sœurs :**Fareh et Maryam** pour leurs
encouragements et pour leur soutien moral et physique.*

à

*A mon neveu : **Mohammed***

et

*A toute la famille **Bouchareb et boussatouh** pour leur soutien et leur présence
permanent dans les moments durs.*

A

*ma chère amie et ma copine **yousra** pour ses encouragements et ses
aides tout au long de ce travail.*

A

tous ceux que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi.

Merci à tous de m'aider à devenir meilleur.

Massaouda

Dédicace « Yousra »

*Je dédie ce travail à mes plus chers êtres au monde
A tous celui qui a sacrifié pour m'offrir les conditions propices
A mes chers parents **Abd Elbaki et Zohra**
pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et
leurs prières tout au long de mes études. Puisse dieu, tout puissant vous combler
de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.*

A

*mes chez frères : **Oussama, Fouzi, Yahia, et Mouhamad**
pour l'appui et l'encouragement. Puissent nos liens fraternels se consolider et se
pérenniser*

*encore plus. A mes belles sœurs : **Halima, Noura, Wissam, et Bassma**
pour l'encouragement permanent, et le soutien moral,
Vous avez été à mes cotés pendant toutes les étapes de ce travail,
je vous en suis très reconnaissant. Je vous souhaite
beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.*

*A La mémoire de mon amie **Taldja Boutaria** Dieu repose son âme*

Meme si tu es partie, Tu restera toujours dans mon cœur

*A Mon fiancé **Karim**, qui m'a soutenu et remonté le moral toute cette année.*

*A ma chère amie et ma copine **Massaouda** pour ses encouragements et ses
aides tout au long de ce travail. A toute ma famille Boulhart et Belgate*

*A mes amies : **Rahma, Samia, Nihad, Rima, Ilham, djahida, roukia, khalida,**
warda , afaf : Je vous dis merci et je vous souhaite bonheur, réussite*

*prospérité. A tous mes enseignants : A tous les autres que je n'ai pas cités mais
à qui je pense aussi.*

Merci à tous de m'aider à devenir meilleure.

Yousra

Liste des abréviations

DL : Dose létale

Mm : Millimètre

°C : Degré Celsius

Km : kilomètre

Cm : Centimètre

BTK : *Bacillus thuringiensis* kurstaki

P : Pin

% : Poursontage

T : Thaumetopoea

C : Carbone

H: Hydrogène

Ha : Hectare

CL : Concentration létale

R1, R2: Répétition pour les taux de mortalité

R² : Coefficient de détermination

F : Variance observée

SS : Somme des carrés-

ADJ DF : Degré de liberté

ADJ MS : Régression

F : Variance observé

P: Niveau de signification

DGF: Direction générale des forêts

Sommaire :

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre 1: Etude Bibliographique

I. Etude bibliographique.....	7
1. Présentation et position systématique de l'espèce : <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	7
1. 2.Systématique.....	8
1 3.Les principales espèces de chenilles processionnaires.....	9
1.4. Description des stades de développements de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	9
1.4.1. La ponte des œufs.....	9
1.4.2. La chrysalide.....	10
1.4.3. Les stades larvaires.....	11
1.4.4. Les processions de nymphose.....	11
1.4.5. La vie de l'adulte.....	12
1.5.Le cycle de vie de la chenille processionnaire.....	14
1.6. Distribution géographique.....	16
1.6.1. Dans le monde.....	17
1.6.2. En Algérie.....	17
1.7. Conséquences environnementales et Dégât causés par la chenille processionnaire.....	18
1.7.1. Conséquences écologiques.....	19
1.7.2. Conséquences économiques.....	20
1.8. Moyens de lutte contre la chenille processionnaire du pin.....	20
1.8.1. La lutte biologique.....	20
1.8.1.1. La prédation par les mésanges.....	21
1.8.1.2. Lutte avec des pièges à phéromone sexuels.....	21

1.8.2. Lutte mécanique.....	23
1.8.3. La lutte sylvicole.....	23
1.8.4. La lutte chimique.....	23
1.8.5. Lutte microbiologique.....	24
2. Caractéristiques de l'espèce hôte : Le pin d'Alep.....	24
2.1. Description botanique.....	25
2.1.1. L'écorce.....	25
2.1.2. Les Rameaux.....	26
2.1.3. Les feuilles.....	26
2.1.4. Les cônes.....	27
3. Présentation et caractéristiques du pin laricio (<i>Pinus laricio</i>).....	28
3.1. Systématique du pin laricio.....	29
3.2. Ecologie du pin laricio.....	29
3.3. Caractéristiques du pin laricio.....	30
3.4. Utilisation de pin laricio.....	30
4. Présentation et caractéristiques du cyprès.....	30
4.1. Classification systématique de <i>Cupressus sempervirens</i>	32
4.2. Ecologie du cyprès.....	32
4.3. Caractéristiques du cyprès.....	32
4.4. Utilisation du cyprès.....	33
5. Présentation et caractéristique du bois de Gaïac.....	33
5.1. Classification de bois de gaïac.....	33
5.2. Ecologie du bois de Gaïac.....	34
5.3. Caractéristiques du bois de Gaïac.....	35
5.4. Utilisation de bois de Gaïac.....	35

6. Les huiles essentielles et leur utilisation contre les insectes ravageurs.....	36
6.1. Définition d'une huile essentielle.....	36
6.2. Propriétés des huiles essentielles.....	36
6.3. Toxicité des huiles essentielles.....	37
6.4. Caractéristiques des huiles essentielles.....	37
6.4.1. Les caractéristiques organoleptiques.....	37
6.4.1.1. L'odeur.....	37
6.4.1.2. La couleur.....	38
6.4.1.3. L'aspect.....	38
6.5. Composition des huiles essentielles.....	38
6.5.1. Composition chimique.....	38
6.5.1.1. Les composés terpéniques.....	38
6.5.1.1.1. Les monoterpène.....	39
6.5.1.1.2. Les sesquiterpènes	40
6.5.2. Les composés aromatiques dérivés du phenylpropne.....	40
6.5.3. Les composés d'origines diverses.....	40
6.6 Activités des huiles essentielles.....	41
6.6.1. L'activité biologique.....	41
6.6.2. L'activité pharmacologique.....	41
6.6.3. Activité commerciale.....	41
6.7. Activité insecticide des huiles essentielles.....	42
6.8. Extraction des huiles essentielles.....	42
6.8.1. Extraction des huiles essentielles au laboratoire.....	42
6.8.1.1. L'extraction par distillation.....	42

6.8.1.2. L'hydro distillation.....	43
6.8.1.3. La distillation par vapeur d'eau.....	43
6.8.1.4. L'extraction à froid.....	44
6.8.1.5. L'extraction assistée par micro-onde.....	45
6.8.1.6. L'extraction par solvants volatils.....	46
6.9. Classification des huiles essentielles.....	46
6.10. Utilisations des huiles essentielles	46
6.11. Rôle des huiles essentielles.....	47
6.11.1. Rôle écologique.....	47
6.11.2. Rôle dans la plante.....	47

Chapitre II : Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes.....	49
1. Présentation de la région de Mila.....	50
1.1. Commune d'échantillonnage.....	51
1.1.1. La Commune de sidi Mérouane.....	51
1.2. Présentation de la région d'échantillonnage.....	52
1.2.1. La forêt de Fardoua.....	52
1.3. Données climatiques du la zone d'échantillonnage.....	53
1.3.1. Le Climat.....	53
1.3.2. Précipitation.....	53
1.3.3. Température.....	54
1.3.4. Humidité.....	54
1.3.5. Vent.....	55
1.3.6 Glace.....	55

2. L'étude toxicologique par les huiles essentielles contre les chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	57
2.1. Le choix des molécules.....	57
2.2. Les principaux paramètres des huiles essentielles testées.....	57
2.3. Utilisation des huiles.....	58
2.4. Les principaux constituants biochimiques des huiles utilisées.....	58
2.4.1. Composition biochimique de l'huile de pin Laricio.....	58
2.4.2. Composition biochimique du cyprès.....	59
2.4.3. Composition biochimique de l'huile de l'huile de bois de Gaïac.....	60
3. Préparation du traitement et dilution des concentrations.....	61
3.1. La préparation des tests.....	62
3.2. Le Traitement statistique des donnés.....	63

Chapitre III : Résultats et discussions

III. Résultats.....	65
1. Traitement des chenilles à L'huile de Pin laricio (<i>pinuslariccio</i>).....	66
1.1. Après 4 jours du traitemen.....	66
1.2. Après 8 jours du traitement.....	67
1.3. Étude de la variance des taux de mortalité des chenilles traitées à l'huile de pin lariccio.....	70
1.4. Paramètres toxicologique du traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de pin laricio.....	70
2. Traitement des chenilles à L'huile de Bois de Gaïac (<i>Bulnesiasarmiènti</i>).....	70
2.1. Après 4 jours du traitement.....	71
2.2. Après 8 jours du traitement.....	73
2.3. Étude de la variance des taux de mortalité des chenilles traitées à l'huile de Bois de gaïac.....	75

2.4. Paramètres toxicologique du traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de bois de Gaïac.....	76
3. Traitement des chenilles à L'huile de cyprès (<i>Cupressus semperviens</i>).....	76
3.1. Après 4 jours du traitement.....	76
3.2 .Après 8 jours du traitement	78
3.3. Étude de la variance des taux de mortalité des chenilles traitées à l'huile de cyprès.....	80
3.4. Paramètres toxicologique du traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de pin lariccio.....	81
IV. Discussion.....	83
V. Conclusion.....	89
Références bibliographique	

Liste des figures

Figure n°	Titre	Page
01	Processionnaire du pin	8
02	Manchons de ponte de la processionnaire du pin	10
03	Chrysalide de la chenille processionnaire	10
04	Les stades larvaires de la processionnaire du pin	11
05	(a) Procession de chenilles processionnaires du pin, (b) Enfouissement des chenilles	12
06	Papillon mâle (a) et femelle (b) de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	13
07	Cycle de vie de la processionnaire du pin (<i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff)	15
08	Ponte des œufs en forme de manchons	16
09	Répartition mondiale de la chenille processionnaire du pin d'Alep	17
10	Distribution de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en Algérie	18
11	Dégâts occasionnés par la processionnaire sur le pin d'Alep	18
12	Prédation par les mésanges	21
13	Variété de pièges à phéromones	22
14	Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite	22
15	Piégeage des chenilles lors de la nymphose	23
16	L'écorce du pin d'Alep	26
17	Les rameaux du pin d'Alep	26
18	Les feuilles du pin d'Alep	27
19	Cône du pin d'Alep	27
20	Pin laricio	28
21	<i>Le Cupressus sempervirens</i>	31
22	Le Bois de gaïac	34
23	Représentation schématisé de l'appareillage d'hydro d'hydro-distillatio	43
24	Dispositif d'entraînement à la vapeur d'eau	44
25	Dispositif de l'expression à froid	45

26	Principe schématisé de l'appareillage d'hydrodistillation sous micro-ondes	46
27	Situation géographique de la wilaya de Mila	51
28	Position géographique de la commune de Sidi Merouane	51
29	Forêt de « Fardwa » dans la commune de Sidi Merouane	52
30	Situation géographique de la forêt de « Fardwa » dans la commune de Sidi Merouane	52
31	Le huile essentielle de pin laricio	59
32	Le huile essentielle de cypres	60
33	Le huile essentielle de bois de gaiac	61
34	Préparation du traitement	62
35	Courbe de régression après 4 jours du traitement des chenilles à l'huile de pin laricio	67
36	Courbe de régression après 8 jours du traitement des chenilles à l'huile de pin laricio	69
37	Courbe de régression après 4 jours du traitement des chenilles à l'huile de bois de gaiac	72
38	Courbe de régression après 8 jours du traitement des chenilles à l'huile de bois de Gaiac	75
39	Courbe de régression après 4 jours du traitement des chenilles à l'huile de cypres	78
40	Courbe de régression après 8 jours du traitement des chenilles à l'huile de cypres	80

Liste des tableaux

Tableau n°	Titre	Page
01	Moyennes des précipitations mensuelles dans la région (2005 à 2016)	53
02	le maximum et minimum et la température moyenne de l'année	54
03	Humidité annuelle de la région	55
04	Le vent annuel de la région	55
05	Glace annuelle de la région	56
06	Les différents paramètres des huiles essentielles utilisées	57
07	Concentrations utilisées durant le traitement des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> pour chaque huile essentielle	61
08	Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de pin lariccio, au 4 ^{ème} jour du traitement	66
09	Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et logarithme des doses du traitement à l'huile de pin laricio au 4 ^{ème} jour du traitement	67
10	Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de pin lariccio, au 8 ^{ème} jour du traitement	68
11	Taux de Mortalité corrigée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de pin lariccio, au 8 ^{ème} jour du traitement	68
12	Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et logarithme des doses du traitement à l'huile de pin laricio au 8 ^{ème} jour du traitement	69
13	Variance des taux de mortalité des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> traitées à l'huile de pin lariccio au 8 ^{ème} jour après traitement	70
14	Paramètres toxicologiques, droite de régression et doses létales du traitement toxicologique au pin de laricio	71
15	Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de bois de Gaïac, au 4 ^{ème} jour du traitement	71
16	Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et	72

	logarithme des doses du traitement à l'huile de bois de gaiac au 4 ^{ème} jour du traitement	
17	Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de bois de Gaiac, au 8 ^{ème} jour du traitement	73
18	Taux de Mortalité corrigée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de bois de gaiac, au 8 ^{ème} jour du traitement	74
19	Transformation angulaire des taux de mortalité et logarithme des doses du traitement à l'huile de bois de gaiac au 8 ^{ème} jour du traitement	74
20	Variance des taux de mortalité des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> traitées à l'huile de Bois de gaiac au 8 ^{ème} jour après traitement	75
21	Paramètres toxicologiques, droite de régression et doses létales du traitement toxicologique à l'huile de bois de Gaiac	76
22	Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de cyprès, au 4 ^{ème} jour du traitement	77
23	Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et logarithme des doses du traitement à l'huile de cyprès au 4 ^{ème} jour du traitement	77
24	Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de cyprès, au 8 ^{ème} jour du traitement	78
25	Taux de Mortalité corrigée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de cyprès, au 8 ^{ème} jour du traitement	79
26	Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles processionnaires du pin et log des doses du traitement à l'huile de cyprès au 8 ^{ème} jour du traitement	79
27	Variance des taux de mortalité des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> traitées à l'huile de cyprès au 8 ^{ème} jour après traitement	80
28	Paramètres toxicologiques, droite de régression et doses létales du traitement toxicologique à l'huile de cyprès	81

Introduction

Introduction :

L'écosystème forestier est un milieu naturel vivant, sa structure écologique et sa répartition géographique, jouent un rôle important dans la conservation de la nature contre les problèmes d'érosion et de désertification dans les zones semi arides (**Bouchou, 2015**).

La forêt algérienne abrite une diversité biologique significative. Elle est composée de plusieurs organismes (insectes, plantes, champignons ...) qui interagissent avec les arbres et les différents éléments naturels qui la constitue. La majorité de ces interactions ne perturbent par le développement des arbres, mais parfois les explosions démographiques de certains d'entre eux peuvent impliquer la réduction de la croissance, l'affaiblissement et même la mort de ces arbres (**Chararas, 1977**).

Le pin d'Alep *Pinus halepensis* est l'une des espèces dominantes par ses peuplements répartis sous forme de grands massifs sur l'ensemble du Nord Algérien. Cette espèce est localisée dans la majorité des variantes bioclimatiques méditerranéennes de l'Algérie, peuplant même les zones les plus hostiles en marge du Sahara et de steppe (**Quezel, 1986**).

Les pinèdes algériennes sont d'un grand intérêt économique, écologique et naturel. Cette espèce qui est présente dans tous les étages bioclimatiques, depuis le littoral jusqu'à l'Atlas saharien, trouve son optimum de croissance essentiellement en zone semi-aride (**Mezali, 2003**).

L'équilibre écologique des forêts du pin, est généralement lié à la présence de la Chenille processionnaire du pin, (**Chenchouni et al., 2010**), le principale ravageur qui se nourrit des aiguilles des arbres du pin et du cèdre durant le stade larvaire, et qui provoque une défoliation considérable dans les zones semi-arides du pays (**Cardil et al., 2017**).

En effet, *Thaumetopoea pityocampa* (**Denis et Schiffermüller, 1775**) est un des plus grands défoliateur des forêts résineux. La présence du pin dans le nord du pays a provoqué l'explosion démographique des populations de cette chenille par rapport à d'autres insectes ravageurs (**Kadik, 1987**).

Cela diminue considérablement la croissance des arbres à court terme, même à faibles niveau de défoliation (**Jacquet et al., 2012**). Cependant, les arbres semblent pouvoir se restituer à long-terme si la défoliation n'est pas fréquente (**Jacquet et al., 2013**).

La présence de ce ravageur se répand actuellement dans les latitudes supérieures probablement en réponse au changement climatique avec des températures hivernales croissantes (**Huchon et Demolin 1971., Battisti et al., 2005**).

Contrairement à certains ravageurs qui engendrent la mort systématique de l'arbre hôte, les dégâts de cet insecte défoliateur sont plus difficiles à être maîtrisés dans l'environnement (**Vepakomma et al., 2017**). Le mécanisme de la défoliation et son effet sur la croissance et la productivité des arbres reste moins compris.

La chenille processionnaire du pin provoque donc d'énormes ravages dans les forêts du pin et du cèdre, ce qui lui assure dans la plupart des cas, de la nourriture, le lieu de reproduction et le refuge pendant la phase aérienne de sa vie avant de s'enfouir pour ressortir papillon et recommencer un nouveau cycle de vie (**Messaoudi, 2017**).

S'ajoutent à ces dégâts considérables, les urtications provoquées par les poils des chenilles qui peuvent fortement gêner les travaux forestiers (**Abgrall et al., 1990**). Ce qui peut causer de sérieux problèmes respiratoires, ophtalmologiques, cardiaques et neurologique chez l'être humain et les animaux.

Les défoliations de la chenille processionnaire du pin sont de plus en plus remarquables dans les grandes forêts et les jeunes reboisements (**Battisti 1988., Carus 2004., Raymond 2009**). Face à ces effets de dégradation de la nature, l'homme fait appel à l'utilisation intensive d'insecticides afin de contrôler la nuisance que représente les insectes sur la productivité alimentaire (**Oerke, 2006**), ou encore l'invasion de mauvaises herbes (**Matsonetal., 1997**).

Cependant, les signes évidents de toxicité et les conséquences néfastes de l'usage massif de pesticides commerciaux de nature chimique, pour leurs dommages naturels et la perte d'efficacité liée au développement de résistance des insectes et des pertes économiques (**Eriksson *et al.*, 1992., Snedeker, 2001., Den Hond et Schoeters, 2006**) ont diminué leur utilisation dans le contrôle de l'insecte ravageur dans les forêts.

L'effet des pesticides chimiques est traduit chez les humains par une perturbation du développement du système nerveux (les embryons, fœtus et enfants) même en concentration très faible (**Costa *et al.*, 2004., Colborn, 2006., Grandjean et Landrigan, 2006**). des troubles de l'apprentissage, d'altérations neuro-développementales et comportementales liées à une exposition à différents produits chimiques (**Costa *et al.*, 2004**)

Suite aux conséquences néfastes de la lutte chimique sur l'environnement et sur l'homme qui se traduisent par des problèmes de santé (**El Sayed *et al.*, 1997., Ishaaya et Horowitz, 1998**) et à l'accroissement de la résistance chez insectes, les chercheurs ont commencé à penser à utiliser d'autres substances et d'autres techniques de lutte. Les insecticides d'origine naturelle sont souvent efficaces et protectrices de l'environnement.

Les produits naturels sont de plus en plus recherchés pour une lutte efficace. La lutte contre les insectes nuisibles, comprend plusieurs méthodes comme celles faisant appel à des analogues synthétiques d'hormones d'insectes (hormone juvénile, ecdysone) qui perturbent l'éclosion des œufs, la reproduction et les différents comportements naturels, les méthodes génétiques et les méthodes écologiques, qui consistent à rendre le milieu défavorable au développement de l'insecte. Cependant, la lutte biologique reste la plus sûre et la plus sélective (**Hebachi, 2013**)

L'attention des chercheurs à la lutte biologique est focalisée surtout à l'utilisation de substances naturelles d'origines végétales qui sont les métabolites secondaires à savoir : les extraits aqueux, les poudres et les huiles essentielles des plantes (**Aouati, 2016**).

En effet, il est bien connu que les huiles essentielles présentent une activité antiseptique non négligeable (**Kaloustian, 2008**). Elles exhibent une activité antibactérienne (**Bendjilali et al., 1984**), antivirale, antimycotique, antioxydante, antiparasitaire, et aussi un effet insecticide. Par conséquent, elles peuvent constituer un puissant outil de réduction de développement et de dissémination de la résistance bactérienne (**Stefanakis et al., 2013**).

Les huiles essentielles détiennent actuellement une place importante dans les systèmes de lutte, leur rôle dans la recherche phytopharmaceutique dans certains pays du monde n'est plus à démontrer. Les substances d'origine naturelle et plus particulièrement, les huiles essentielles représentent actuellement une solution alternative de lutte pour la protection contre les insectes ravageurs (**Lahlou, 2004**).

Dans notre travail, nous avons évalué l'effet de quelques huiles essentielles sur les larves de la chenille processionnaire de pin *Thaumetopoea pityocampa* du 4^{ème} stade larvaire, et cela à différentes doses. Les molécules utilisées sont: L'huile essentielle du pin laricio (*Pinus Lariccio*), utilisée aux doses de 1g/l, de 2g/l, et de 4g/l. L'huile essentielle du bois de gaïac (*Bulnesia sarmienti*), traitée aux doses de 2g/l, de 2,5g/l, et de 3g/l. Et l'huile essentielle du cyprès (*Cupressus semperviens*) qui a été testée sur les chenilles aux doses de 0,75g/l, de 1,5g/l, et de 3g/l. Des équations de régression et des doses létales (DL 50 et DL 90), sont estimées pour chaque molécule après 4 et 8 jours du traitement.

Etude bibliographique

I-Etude bibliographique

1-Présentation et position systématique de l'espèce : *Thaumetopoea pityocampa*

La chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea Pityocampa*) est un lépidoptère de la famille des Notontidea. L'insecte est un papillon nocturne à vie très brève, dont les larves sont appelées, chenilles processionnaires du pin (**Fi 01**) (**Aribi et Soltani, 1988**).

Le cycle de vie de l'espèce est annuel, il commence par la ponte et se termine par les adultes, en formant cinq stades larvaires et la nymphose. La processionnaire du pin, est le principal insecte ravageur des pins en Europe et sur le pourtour méditerranéen (**Robinet et al., 2011**).

Sa présence engendre des défoliations pouvant aller jusqu'à plus de 90% des aiguilles sur un seul arbre (**Démolin, 1969**). La consommation des aiguilles par les chenilles induit une diminution de la croissance de l'arbre, qui peut le rendre sensible aux attaques d'autres ravageurs (**Lemoine, 1977., Graf et Mzibri, 1995., Markalas, 1998**).

En diminuant le pouvoir photosynthétique et en affaiblissant la physiologie de l'arbre (**Bonnet et Martin, 2008**). Ceci mène à la diminution de la production des plantations artificielles et menace l'existence des populations naturelles de différentes espèces de pin (**Hodaretal., 2003., Hodar et Zamora, 2004**).

De plus, les chenilles processionnaires, sont dotées de poils urticants potentiellement dangereux pour l'homme et les animaux (**Battistietal., 2011**). L'insecte pose donc de nombreux problèmes à la fois économiques, écologiques mais aussi sanitaires. Dans le monde, l'espèce est découverte pour la première fois par Schiffer Muller en 1776, connue par le genre Bombyx.

En Algérie, l'insecte a été signalé pour la première fois en 1982 dans la région de Bélezma, dans la wilaya de Batna.

Depuis, sa présence est confirmée à la suite d'investigation de plusieurs pinèdes du pays (Demolin, 1988).



Figure 01. Processionnaire du pin (Martin, 2005).

1-2- Systématique :

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

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

- Règne: Animalia.
- Embranchement: Arthropoda.
- Classe: Insecta.
- Super-ordre: Endopterygota.
- Ordre: Lepidoptera.
- Famille: Notodontidae.
- Sous-famille: Thaumetopoeinae.
- Genre: Thaumetopoea.

- Nom binominal : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et schiffermüller, 1775).

I-1-3-Les principales espèces de chenilles processionnaires :

- *Thaumetopoea processionnea*, la processionnaire du chêne qui se localise en Europe et au Moyen Orient, sauf à l'extrême nord.
- *Thaumetopoea pityocampa*, la processionnaire du pin, qui se localise en Europe, au Moyen Orient et en Afrique du nord.
- *Thaumetopoea wilkinsoni* au Moyen Orient, vit sur *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* et *Pinus canariensis*.
- *Thaumetopoea pinivora* attaque *Pinus sylvestris* surtout dans le nord de l'Europe
- *Thaumetopoea bonjeani*, la processionnaire du cèdre, qui est endémique au Nord de l'Algérie et au Maroc (Zahiri et al., 2013).

1-4 Description des stades de développements de *Thaumetopoea pityocampa* :

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

1-4-1- La ponte des œufs :

Les œufs sont blancs, sphériques suivant une disposition hélicoïdale qui résulte du mouvement tournant de la femelle au cours du dépôt (Makhloufi, 2002). La ponte s'effectue sur l'extrémité des rameaux dès le jour qui suit la sortie des femelles du sol où elles se sont nymphosées.

Les œufs sont groupés en manchons de 4 à 5 cm de long (Fig 02), et recouverts par des écailles beiges claires qui les camouflent. La ponte peut compter de 70 à 300 œufs par femelle (Dajoz, 1998).



Figure 02. Manchons de ponte de la processionnaire du pin (**Lequet, 2010**)

1-4-2- La chrysalide :

À la fin de leur cycle, les chenilles quittent l'arbre en procession et cherchent un endroit chaud et meuble pour s'enfouir à quelques centimètres de profondeur de la surface du sol. Elles tissent un cocon qui se transforme en chrysalide et rentre en nymphose. Selon les régions et les conditions climatiques (**Denis et Schiffer müller, 1775**). Cette phase souterraine peut durer de quelques jours à plusieurs mois, et se déroule généralement entre avril et Août. Quand les conditions climatiques ou édaphiques sont défavorables, la nymphose peut être prolongée jusqu'à cinq ans (**Martin et Bonnet 2008**) (**Fig 03**).



Figure 03. Chrysalide de la chenille processionnaire (**photo personnelle**)

1-4-3- Les stades larvaires :

Les larves de types chenilles qui mesurent à l'éclosion 1,5 mm atteignant de 40 à 50Mm avant la procession de nymphose .La vie larvaire : Les chenilles éclosent de 30 à 45 jours après l'apparition des adultes .Il existe 5 stades larvaires au cours desquels les chenilles se déplacent au fur et à mesure que les aiguilles du pin sont dévorées. Les jeunes chenilles tissent de légers fils de soies qui forment des pré-nids abandonnés à chaque déplacement. En pleine, la durée moyenne des divers stades L1 à L5 (**Fig 04**), est la suivante : L1 : 12 jours ; L2 : 14 jours ; L3 : 30 jours; L4 et L5 : 30 à 60 jours pour chacun (**Dajoz, 1998**).



Figure 04. Les stades larvaires de la processionnaire du pin (**Demolinin Martin, 2005**)

1-4-4- Les processions de nymphose :

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

Les chenilles processionnaires ainsi que quelques autres espèces de Lépidoptères appartenant aux familles des Lymantrides (genres : Euproctis et Porthesia) ou des Lasiocampides (genres : Malacosoma et Eriogaster) vivent en groupe contrairement à la plupart des Lépidoptères. Ces groupes ont été qualifiés de groupements organisés ou des sociétés inférieures. Ils sont caractérisés par la coordination des activités individuelles en une

activité collective qui se manifeste par la construction d'un nid. En outre, les chenilles tissent des pistes de soie servant au guidage des individus, se déplacent collectivement et se nourrissent en commun ce qui provoque des modifications importantes des métabolismes.

Cette vie collective n'existe que chez la larve et elle disparaît chez l'adulte contrairement à ce qui se passe chez d'autres insectes comme les criquets dont les populations constituent aussi des groupements organisés (**Dajoz, 1998**).

La conséquence du grégarisme est l'apparition d'un effet de groupe avec une augmentation du métabolisme et de la vitesse de croissance. Des expériences effectuées sur des chenilles de la processionnaire du pin isolées ou groupées par 20, ont montré que l'augmentation de poids soit de 2.5 à 3.8 fois plus rapide que les chenilles groupées et que la consommation d'aliment est plus importante.

L'intensité respiratoire est également stimulée par le groupement. Cependant, une activité collective telle que le tissage du nid n'est pas indispensable pour la survie des chenilles. Celles-ci peuvent aussi se construire un nid individuel (**Dajoz, 1998**).

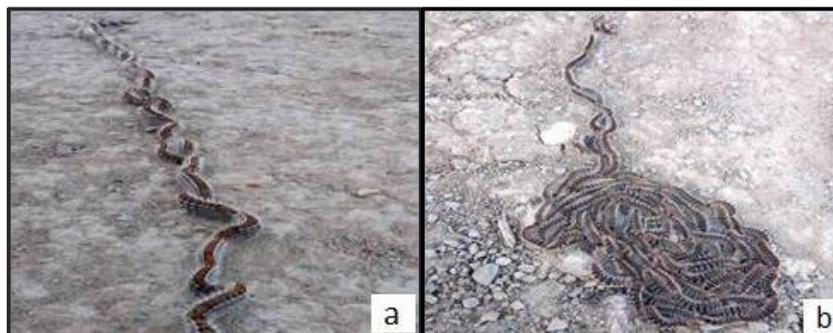


Figure 05. (a) Procession de chenilles processionnaires du pin, (b) Enfouissement des chenilles (**Belaissoui et al., 2017**)

1-4-5- La vie de l'adulte :

Les adultes appelés également papillons qui sont typiquement nocturnes ; ils ne peuvent survivre plus de 48 heures. Les papillons mâles (**Fig 06 a**) de 30 à 40 mm d'envergure sont de

coloration grisâtre. Les antérieurs sont grises et présentent trois lignes transversales noires par contre les ailes postérieurs sont blanchâtres.

La tête et le thorax sont de couleur grise foncée, l'abdomen est gris brunâtre, les antennes sont bi pectinées et longues de 5 mm environ. Les femelles (**Fig 06 b**) sont de coloration plus claire et de taille plus grande, leurs antennes sont filiformes, l'abdomen est pseudo-cylindrique avec une touffe d'écaïlles anales de couleur blonde de plus ou moins foncée. Les yeux composés sont lumineux et comportent un grand nombre d'ommatidies (**Demolin, 1962**).



Figure 06. Papillon mâle (a) et femelle (b) de *Thaumetopoea pityocampa*
(Demolin In Martin, 2005)

Les femelles sortent de terre peu de temps avant le coucher de soleil. Elles s'installent en un endroit surélevé où elles restent immobiles, déploient leurs ailles puis, au bout de 2 à 4 heures d'inactivité, dévirginent leur armure génitale et deviennent attractives pour les mâles. L'accouplement dure près d'une heure. La femelle dépose ensuite ses œufs en commençant par la base des aiguilles du pin, chaque œuf étant recouvert d'un petit paquet d'écaïlles que la pondreuse possède en abondance à l'extrémité de l'abdomen.

La femelle fécondée ne s'arrête pour pondre que si elle rencontre un pin, seul végétal qui satisfait à ses besoins tactiles qui sont : un diamètre des aiguilles compris entre 1.5 et 2 mm, et une structure rugueuse permettant la fixation des griffes qui terminent les pattes. En absence de pins, les femelles peuvent effectuer des déplacements de plus de 2 km pour rechercher un

lieu de ponte, ce qui explique que des pinèdes intactes puissent être rapidement envahies. Les papillons adultes ne vivent guère plus de 24 h (**Dajoz, 1998**).

1-5- Le cycle de vie de la chenille processionnaire :

Le cycle biologique de la processionnaire du pin comprend les quatre principales étapes du développement caractéristique pour les Lépidoptères, insectes à métamorphose complète : le stade d'œuf, stade larvaire, stade de pupa (chrysalide) et stade adulte (**Fig 07**). Une profonde métamorphose est due au stade chrysalide (**Beaumont et Cassier, 1983**).

Les œufs groupés sont déposés vers le milieu de l'été sous forme de manchons qui entourent deux ou plusieurs aiguilles du pin, leur éclosion se produit 3 à 40 jours plus tard (**Makhloufi et al., 2002**).

Les chenilles groupées en colonies s'alimentent et poursuivent leur développement pendant l'automne et l'hiver; au cours de l'automne, elles tissent en commun un nid soyeux et blanc à la fin de l'hiver ou au début du printemps. Au terme de leur développement, elles quittent les nids en procession et peuvent s'en fuir dans le sol à une profondeur de 5 à 20 cm selon le type du sol et la température. Chaque chenille tisse alors un cocon dans lequel elle se transforme en chrysalide (**Makhloufi et al., 2002**).

Les papillons émergent au crépuscule pendant les mois de Juillet et Août. Leur activité est nocturne et leur vie est très brève (**Makhloufi et al., 2002**). Les études du cycle biologique de *Taumatopoea pityocampa* dans les populations Algériennes ont été l'objet de recherche de Brahmi (**1976**), Aberkane (**1977**) et Bertella (**1980**).

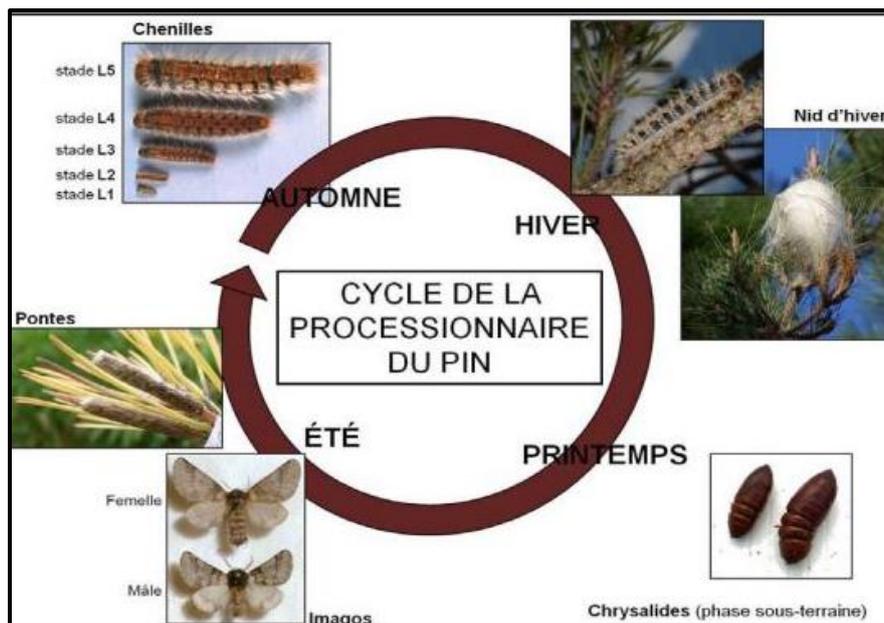


Figure 07. Cycle de vie de la processionnaire du pin (*Taumetopoea pityocampa* Schiff).
(Dulaurent, 2010)

Les adultes de la processionnaire du pin émergent du sol au cours de la période estivale avec un maximum d'émergence noté vers la seconde décade de juillet. Ils se libèrent de leur cocon grâce à des crêtes sclérifiées situées sur leur tête, qui leur permettent de découper l'enveloppe qui les entoure (**Demolin, 1969**). Les adultes ont une durée de vie limitée de 24 à 48 heures.

A leur sortie les adultes sont actives et peuvent parcourir plusieurs kilomètres. Malgré le dimorphisme sexuel prononcé, les deux sexes se ressemblent notamment par leurs ailes de couleur gris-blanchâtre. L'envergure des adultes est de 30 à 35 mm (**Fig 08**). Les mâles ont tendance à sortir les premiers le soir au crépuscule et sont suivis peu de temps après par les femelles. Quelques heures après leur émergence l'activité et la fécondité des papillons débutent (**Guerrero et al., 1981**).

Après accouplement le mâle meurt quelques heures plus tard et les femelles se dirigent au vol à la recherche de site de ponte en relation avec composés volatiles (Paiva et al., 2011). La femelle effectue un choix sélectif à l'intérieur du peuplement, en comparant le diamètre et la structure des aiguilles ou des rameaux rencontrés (Huchon et Demolin, 1970)



Figure 08. Ponte des œufs en forme de manchons (Nancy, 2020)

1-6- Distribution géographique

La répartition géographique de la chenille processionnaire du pin dépend de plusieurs facteurs écologiques, dont certains étudiés précédemment : l'ensoleillement, la photopériode, la température, l'altitude et la latitude. C'est pourquoi certaines zones géographiques sont plus favorables que d'autre au développement des chenilles processionnaires du pin. Les facteurs climatiques (gel, chaleur...), la présence de prédateurs et parasites, ainsi que la quantité et la qualité des ressources alimentaires (qui conditionnent notamment la fécondité des femelles) participent ainsi aux importantes variations de niveaux de populations, appelées «gradations».

En revanche, la réponse des autres espèces de *Thaumetopoea* au changement climatique reste peu connue ou un sujet de débat, et dans certains cas même leur répartition géographique actuelle est encore imprécise, mais le changement climatique peut permettre à l'heure actuelle la création d'insectes dans les zones situées au-delà de l'aire de répartition naturelle de l'insecte (Robinet et al., 2011).

1-6-1- Dans le monde :

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**) (**Fig 09**).

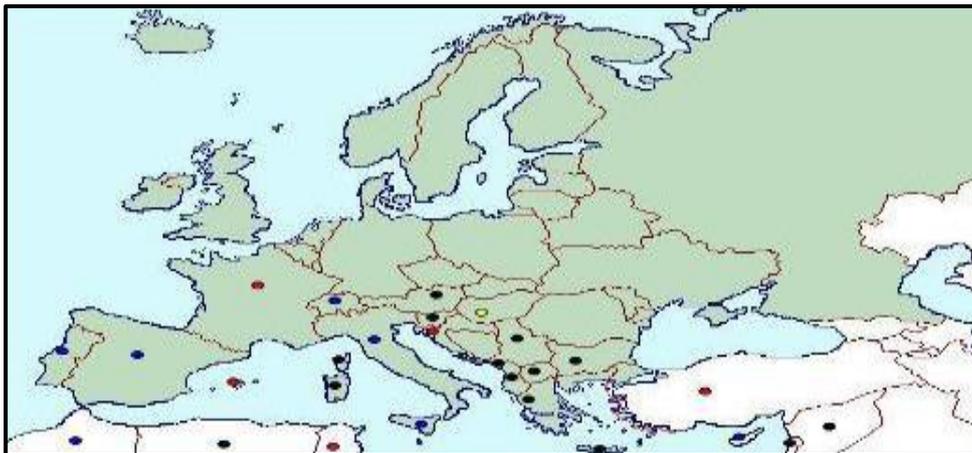


Figure 09. Répartition mondiale de la chenille processionnaire du pin d'Alep (**Turpin, 2006**).

1-6-2- En Algérie :

Sa première découverte en Algérie est enregistrée dans la forêt de Bélezma dans la région de Batna. Après, son aire de répartition s'est remarquablement étendu sur des jeunes plantations dans tout le territoire national (**Demolin, 1988**). Des examens d'enquêtes et des suivis de l'insecte dans le pays montrent clairement que l'ampleur de l'infestation par la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) présente un vrai danger pour l'environnement (**Zamoum et al., 2007**) (**Fig10**).

En Algérie, le barrage vert est sa limite sud. Ses pullulations sont temporaires avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements (**Zamoum, 1998**).

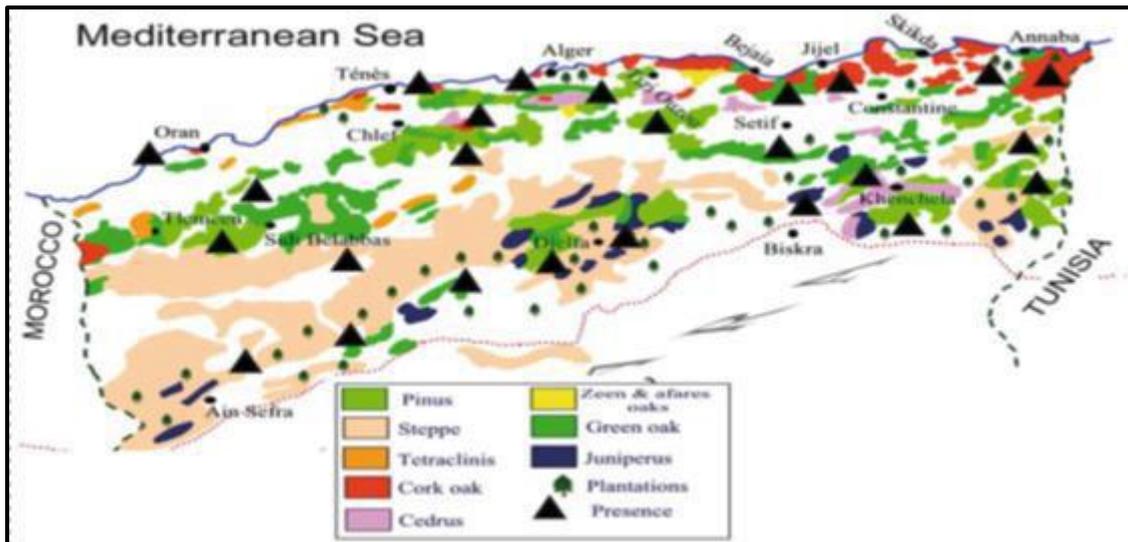


Figure10. Distribution de *Thaumetopoea pityocampa* en Algérie (Chakali, 2014).

1-7- Conséquences environnementales et Dégât causés par la chenille processionnaire :

Lorsque les chenilles sont abondantes, les aiguilles peuvent être broutées presque totalement. Si ces attaques durent 2 à 3 années (ce qui est le cas dans de jeunes peuplements de moins d'une dizaine d'années), il pourra y avoir une mortalité élevée des arbres. Les arbres âgés résistent mieux mais leur croissance est ralentie et la perte de production est importante (Dajoz, 1980). Dans le cas des jeunes plantations, nous assistons entre la 6^{ème} année et la 10^{ème} année qui suivent la mise en place des plants à des attaques brutales et bien souvent catastrophiques (Huchon et Demolin, 1970). Ces infestations qui aboutissent à une défoliation totale quelle que soit l'espèce du pin concerné, durant parfois deux à trois ans (Fig11).



Figure 11. Dégâts occasionnés par la processionnaire sur le pin d'Alep (photo personnelle)

Les chenilles processionnaires du pin peuvent causer des problèmes de santé, chez l'homme qui est au contact avec les colonies soit directement pour les ingénieurs et les ouvriers forestiers, soit indirectement pour les personnes victimes de leurs curiosités et les touristes. Ces accidents résultent de la présence des poils urticants présents sur la surface du corps de la chenille

Les symptômes chez l'homme se manifestent par :

- Des attaques dermiques.
- Des atteintes oculaires.
- Des atteintes respiratoires.

1-7-1- 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 (**Arnaldoet al., 2010**). Une défoliation même totale ne provoque pas la mortalité des arbres atteints.

Les chenilles ont donc une action néfaste sur la production et l'accroissement des arbres, mais pas directement sur la mortalité des pins (**Lilian, 2016**). Les mortalités d'arbres consécutives aux défoliations des chenilles processionnaires sont donc très rares et n'interviennent que si d'autres facteurs affaiblissent les pins (**Rousselet, 2008**) sont présent. Si les populations sont importantes, occasionnant une défoliation massive les arbres deviennent toutefois plus vulnérables aux ravageurs secondaires (**Markalas, 1998**) et aux stress thermiques et hydriques (**Martin, 2005**).

1-7-2- 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.

1-8- Moyens de lutte contre la chenille processionnaire du pin :

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

1-8-1- La lutte biologique :

La lutte biologique consiste à utiliser des organismes naturels pour lutter contre l'espèce indésirable, il peut s'agir de prédateurs naturels de traitements à base de bactéries, de champignons, de virus (Martin et Brinquin, 2016 et 2017).

C'est un moyen de lutte intégrée, très respectueux de l'environnement et de la biodiversité. Les ennemies de la chenille (insectes, champignons, virus, bactéries, oiseaux, chauvesouris...) sont nombreuses et peuvent agir à tous les stades de son cycle de développement (œufs, chenilles, chrysalides ou papillons).

1-8-1-1- La prédation par les mésanges :

La présence de nichoirs artificiels adaptés à la mésange (diamètre du trou : 32 mm) favorise largement la nidification et donc potentiellement la prédation des chenilles présentes sur le site. En effet la mésange (**Fig 12**), n'étant pas sensible aux poils urticants est un excellent prédateur des chenilles processionnaires. Le nid d'hiver perforé par celle-ci est très vite vidé de son contenu (**Martin et Bonnet, 2008**).



Figure12. Prédation par les mésanges (**Martin et Glemin, 2010**)

1-8-1-2- Lutte avec des pièges à phéromone sexuels :

Au cours de la période de reproduction, les femelles attirent les mâles en émettant une phéromone sexuelle appelée la pityolure. Cependant, la pityolure qui est recrée artificiellement est utilisée dans le but d'éviter la rencontre avec les femelles (**Martin et Brinquin, 2016 et 2017**).

Les pièges (**Fig13**) peuvent être suspendus sur n'importe quel support (feuillus, résineux, clôture...). Cette méthode doit conduire progressivement, d'années en années, à la réduction du niveau de population de la processionnaire du pin (**Martin et Brinquin, 2016 et 2017**).



Figure13. Variété de pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008).

Le principe du piégeage consiste à disposer autour du tronc de l'arbre infesté une « gouttière » qui intercepte les chenilles partant en procession de nymphose, et qui les dirige vers un sachet rempli de terre où elles se nymphoseront (Martin et Brinquin, 2016 et 2017). Une fois que toutes les chenilles ont été piégées dans le sachet, celui-ci peut être retiré. Afin de tuer les chenilles capturées (Fig14).



Figure14. Piégeage des chenilles lors de la nymphose (Martin, 2006)

1-8-2- Lutte mécanique :

Consiste au prélèvement et à la destruction manuelle (**Fig15**) des pontes et nids dans les arbres. A réaliser d'octobre à mars, avant la procession. Nécessité de bien se protéger des poils urticants (masque, lunettes, etc.) (**Viscardi, 2012**).



Figure15. Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite (**K3D Lyon Chenilles**).

1-8-3- La lutte sylvicole :

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

1-8-4- La lutte chimique :

En raison de son efficacité et de son application facile et pratique, l'utilisation des produits chimiques constitue à l'heure actuelle la technique la plus utilisée pour lutter contre les organismes nuisibles contenus (**Maga et Olsen, 2004**). Cependant, l'emploi intensif et inconsidéré de ces produits a provoqué une contamination de la biosphère et de la chaîne.

1-8-5- Lutte microbiologique :

Les traitements insecticides microbiologiques à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki* (BTK) sont les plus employés contre la chenille qui ingère le produit présent à la surface des feuilles, ce qui provoque sa mort (**Martin et Brinquin, 2016 et 2017**).

L'application ce bio pesticide se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires. Ce traitement est respectueux de l'environnement puisqu'il ne persiste que très peu après application et il a une spécificité d'action étroite (Lépidoptères). Il a l'avantage de l'innocuité vis-à-vis de la majorité des espèces non ciblées et une efficacité comparable à la lutte chimique (**Martin et Brinquin, 2016 et 2017**).

Ces conséquences négatives ayant pour résultat l'attention croissante étant données 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 (**Shaayaet al., 1997**). L'insecticide utilisé est le Diflubenzuron (régulateur de croissance, il perturbe le développement larvaire) (**Martin et Bonnet, 2008**).

2- Caractéristiques de l'espèce hôte Le pin d'Alep :

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) appartient à un groupe de pins dans lequel plusieurs espèces ont été décrites par la majorité des systématiciens. Il s'agit de *Pinus halepensis* Mill et de *Pinus brutia* Ten (**Quéze et Barbero, 1992**)

La classification récente du genre *Pinus*, sous-genre *Dyploxylon*, ou pins «durs» à tendance à regrouper les deux espèces *P. halepensis* et *P. brutia* avec *P. heldreichii*, *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. canariensis* et *P. roxburghii* dans la sous section *pinaster*, également appelée le groupe des pins méditerranéens (**Gernandt et al., 2005 et 2008**)

Selon (**Nahal, 1962 ; in Athmani et Masmoudi, 2008**), Le Pin d'Alep "*Pinus halepensis* Mill, nom scientifique donné par Philip Miller en 1768, est l'essence caractéristique de l'étage bioclimatique méditerranéen semi- aride, il appartient à :

- Embranchement : Phanérogames.
- Sous embranchement : Gymnospermes.
- Classe : Conifères.
- Ordre : Coniférolespinoïdines.
- Sous ordre : Abiétales.
- Famille : Pinacées.
- Genre : Pinus.
- Sous genre : Eupinus.
- Espèce : *Pinus halepensis*.
- Nom scientifique : *Pinus halepensis*.
- Nom commun: Pin d'Alep
- Nom arabe: Sanaoubar al-halabiالصنوبر الحلبي (Nahal, 1962 ; in Athmani et Masmoudi, 2008) .

2-1- Description botanique

Le Pin d'Alep est un arbre forestier toujours vert, vivace, de 5 à 20 mètres de haut. Il est souvent penché et peu droit avec une cime écrasée, irrégulière et claire mais ses branches sont assez étalées. Les arbres jeunes sont de forme assez régulière, les plus âgés sont dégarnis à la base, ont un houppier plus dispersé, une cime irrégulière peu dense (Seigue, 1985 in Taibi et Ziani, 2017)

2-1-1-L'écorce:

Le pin d'Alep possède une écorce lisse, grise argentée au début puis épaisse et crevassée tournant au rouge-brun avec l'âge (Fig16)



Figure 16. L'écorce du pin d'Alep (Portas, 2017)

2-1-2- Les Rameaux :

Ils sont verts clair, puis gris clair, assez fins. Le pin d'Alep est polycyclique car cet arbre fait souvent une seconde pousse la même année (Fig17)



Figure17. Les rameaux du pin d'Alep (Roubaudi, 2017)

Les bourgeons sont non résineux, ovoïdes, aigus, bruns avec des écailles libres frangées de blanc (Kadik, 1987 ; In Boutchiche et Boutrigue, 2016).

2-1-3- Les feuilles :

Les feuilles ou les aiguilles sont aciculaires, (Fig18), pointues, fines et souples de 6 à 10 cm de long avec une largeur de 1 mm, aéré de couleur vert clair vif et groupées par deux en pinceaux à l'extrémité des rameaux (Saichi, 2009., Taibi et Ziani, 2017).



Figure18. Les feuilles du pin d'Alep (Menand, 2017)

2-1-4- Les cônes :

Les cônes mûrs sont ovoïdes et allongés, fins, brun rouge luisant, de 6 à 12 cm de long et portés par un pédoncule courbé vers le sol, souvent isolés et réfléchis (**Fig 19**)



Figure19. Cône du pin d'Alep (Botti, 2017)

Les cônes sont pourpres puis brun lustré avec des écussons aplatis, persistant pendant trois ans sur l'arbre mais peuvent libérer les graines dès la deuxième année, après passage d'un incendie qui favorise leur dispersion et leur germination (**Saichi, 2009**).

3- Présentation et caractéristiques du pin laricio : *Pinus laricio*

La présence du pin remonte à la deuxième période de l'aire secondaire. Selon Mirov (1967), deux événements qui ont suscité l'extinction massive de la flore, de l'aire tertiaire ont participé à modifier sa répartition comme suit :

Pour la fin du tertiaire, une intense activité tectonique a eu lieu, ce qui a engendré une répartition discontinue du pin sur le globe terrestre et pour la période du refroidissement global, le changement des conditions climatique s'est manifesté sur toute la planète. Par conséquent la période du quaternaire a connu une forte extinction des pins ou leur migration vers le pourtour méditerranéen.

Aujourd'hui, la région méditerranéenne rassemble plusieurs espèces dont l'espèce collective est le pin noir (*Pinus nigra*), représentée par plusieurs sous-espèces et variétés localisées dans les montagnes (Quezel, 1980).

Le pin laricio est une sous espèce du pin noir, qui possède deux variétés à savoir le pin laricio de Corse et le pin laricio de Sicile. L'espèce du pin laricio peut atteindre jusqu'à 10 mètre d'ateur en maturité. Ces arbres à croissance rapide, peuvent atteindre autour de 200 ans en culture (Anonyme 01). En Algérie le pin laricio a été découvert en 1922, (Fontaine, 1979).



Figure20 : Pin laricio (Anonyme 01)

3-2- Systématique du pin laricio :

- Règne : Plantae
- Sous -règne : Tracheobionta
- Embranchement : Spermaphyte
- Sous Embranchement : Gymnosperme
- Division : Coniferophyta
- Classe : Pinopsida
- Ordre : Pinales
- Famille : Pinales
- Genre : Pinus
- Espèce : *Pinus laricio* (Scenk, 1939)

3-3- Ecologie du pin laricio :

Selon Quezel (1976) l'amplitude altitudinale des arbres du pin laricio, varie en fonction des variétés de l'espèce, mais aussi de sa localisation géographique, de ce fait l'espèce caractérise préférentiellement l'étage montagnard. En méditerranée septentrionale, le pin laricio se localise entre [560m-1500m] et pour la partie méridionale il est entre [1100m-2000m]. En corse [700m-1800m] (Dupias et al., 1964., Asmani, 1993). La connaissance de tout écosystème forestier passe par une bonne connaissance de son climat. Le climat méditerranéen est un facteur d'instabilité pour les formations végétales du pin laricio (Quezel et Medail, 2003).

Les arbres supporteraient des températures minimales (-8°C) en méditerranée orientale et en méditerranée occidentale et disparaissent pour les températures qui touchent à (-5°C).

Le pin laricio peut s'associer à de nombreuses essences mais le plus souvent on le trouve avec d'autres conifères montagnards (cèdre, sapin, pin d'Alep.....) (Quezel et Medail, 2003)

3-4- Caractéristiques du pin laricio :

L'espèce est caractérisée d'arbre à tronc droit dont l'hauteur peut atteindre 25 m à port dressé (**Adjoud, 2005**). D'un rhytidome gris écailleux, brun grisâtre, puis crevassé en plaque (**Asman, 1993**). Son cône est brun clair d'environ 60 mm de long (**Abdelliet Moali, 1996**), avec des écussons peu saillants et peu proéminents. Ses aiguilles d'un vert clair, souples, piquantes et fasciculées par deux, de 8 à 18 cm (**Adjoud et Aidrous, 1992**). Bourgeons ovoïdes, pointus à écailles plus ou moins opprimes et des graines d'environ 8 mm de longueur, et de 3 à 4 mm de largeur (**Abdelli, 2002**).

3-5- Utilisation de pin laricio :

La principale utilisation commerciale du pin laricio est la transformation en bois de construction (**Burns et al., 1990**). Le pin laricio a été planté intensivement aux États- unis et au Canada, non seulement pour son utilisation comme bois d'œuvre, mais aussi pour la protection de dune, pour contrer le vent et pour l'industrie des arbres de Noël. Il est souvent planté pour son aspect esthétique dans les sites de plein air et de villégiature. On le récolte aussi pour des utilisations plus fines comme l'extraction de la térébenthine. La térébenthine de tous les pins est utilisée comme solvant pour les cires, dans la composition de vernis et comme diluant à peinture.

L'écorce interne, sous forme de cataplasme humide, était appliquée au thorax dans le traitement du rhume. Les aiguilles sèches en poudre étaient utilisées comme stimulant et les vapeurs de décoctions des aiguilles et de l'écorce auraient des vertus analgésiques dans le cas de maux de dos ou de tête (**Burns et al., 1990**).

4- Présentation et caractéristiques du cyprès

Selon Shahali et *al.*, (2010), c'est l'espèce la plus répandue de toutes les familles de gymnospermes. C'est la plus cosmopolite avec dix genres dans chaque hémisphère, mais la plupart des espèces se trouvent dans l'hémisphère nord. Par ailleurs, la distribution de cette famille est sous l'influence de facteurs divers : climat, sol, perturbations (catastrophes naturelles, exploitation humaine), etc (**Bouyahyaoui, 2017**).

Les plantes de cette famille possèdent les feuilles opposées, verticillées et étroitement imbriquées, aciculaires ou squamiformes, et a appareil reproducteur mâle en forme de petit cône et appareil reproducteur femelle de plusieurs types, bractées et écailles totalement ou presque concrescentes en une pièce unique de 1-20 ovules, cône mûr ligneux, à écailles anguleuses formant écusson à l'extérieur, contiguës par leur marge (**Bouyahyaoui, 2017**).

Il existe morphologiquement deux formes de cyprès : *Cupressus sempervirens* «horizontalis» avec des branches horizontales et houppier conique, et une forme colonnaire qui crée un fuseau plus ou moins étroit : *Cupressus sempervirens*«pyramidalis» ou «stricta»(**Nichane, 2015**).

L'espèce *Cupressus sempervirens*, connu sous le nom de cyprès méditerranéen, italien ou commun (**Brofas et al., 2006., Shahali et al., 2010**)est présente dans toute la méditerranée (**Brofas et al., 2006**). Elle est aussi connue sous les noms de cyprès pyramidal, cyprès toujours vert, cyprès femelle (**Cheraief et al., 2006., Hireche et Ferhat, 2019**), ou cyprès funéraire (**Shahali et al., 2010**).



Figure 21. *Le Cupressus sempervirens. L (Hireche et Ferhat,2019).*

4-1- Classification systématique de *Cupressus sempervirens*

- Embranchement : Spermaphytes ou phanérogames
- Sous- embranchement : Gymnospermes (graine nue)
- Classe : Pinopsida
- Ordre : Pinales
- Famille : cupressacées
- Genre : *cupressus*
- Espèce : *Cupressus sempervirens*. L.(**Al-Snafi, 2016., Hireche et Ferhat, 2019**).

4-2- Ecologie du cyprès

Du point de vue thermique, le cyprès peut résister des températures négatives allant Jusqu'à -20°C. Mais, le froid humide en hiver peut être dommageable a sa longévité (**Lamarck et Mirbel, 1803**). Il est également susceptible de s'adapter a des conditions physiques très sévères (**Hidar, 2018**). Ce conifère se trouve spontanément dans toutes les basses terres du bord de la Méditerranée moins de 500 m d'altitude (**Arfaoui, 2002**). Il supporte mal les terres argileuses ou trop gorgées d'eau et tolère les sols superficiels et caillouteux (**Nichane, 2015**).

4-3- Caractéristiques du cyprès

Le cyprès est un arbre conifère a grande longévité, monoïque et thermophile exposant une taille moyenne de 20 a 30 m de hauteur, au tronc rectiligne, a écorce grise brunâtre fibreuse et striée verticalement, les rameaux écailleux sont bruns. (**Becker et al., 1982**). Ce conifère est caractérisé par des feuilles écailleuses (**Gubb, 1913**), persistantes, opposées, triangulaires et étroitement imbriquées sur quatre rangs, un sur chaque face du rameau. Les fleurs ou chatons sont ocres, bruns pour les males et gris-vert pour les femelles. Ce sont des cônes présents a l'extrémité des branches (**Camus, 1914**).

Les fruits sont des galbules ovoïdes d'environ 3cm de diamètre, vert brillant quand elles sont jeunes qui deviennent gris plombe ou brunes à maturité dont leurs écailles écartées libèrent de petites graines (**Rebeix, 1999**). La multiplication se fait par semis au printemps après avoir pris soin de conserver les graines au froid durant 3 mois afin de respecter la dormance et le bouturage se fait en fin d'été (**Krim, 2016**).

4-4- Utilisation du cyprès

Dans le cas du cyprès, seules les parties supérieures de la plante sont utilisées. Les feuilles sont utilisées pour extraire l'huile essentielle qui présente des propriétés importantes pour le traitement des atteintes respiratoires : effet protecteur des tissus conjonctifs antiviral. Cela peut être utile dans les maladies respiratoires chez les bovins pour limiter l'utilisation d'antibiotiques (**Prelot-claudo, 2018**).

Selon Riom (**2010**), Les principaux produits de cette plante sont des huiles essentielles extraites de branches et de cônes fructifères. Ces huiles ont une variété de propriétés biologiques et peuvent être utilisées pour traiter différentes pathologies.

5- Présentation et caractéristique du bois de Gaiac (*Bulnesia sarmienti*)

Le gaïac (*Guaiacum officinale*) appelé également Bois saint ou Bois de vie, est un arbre de la famille des Zygophyllacées, cultivé dans les pays tropicaux, notamment au Venezuela, mais il ne faut pas le confondre avec notre espèce Bois de gaiac (*Bulnesiasarmientoi*), appelé Bois sacré et cultivé en Amérique du Sud pour être utilisé comme encens (**Waller T et al., 2012**).

5-1- Classification de bois de gaïac :

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Tracheobionta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Sapindales

- Famille : Zygomorphaeaceae
- Genre : Bulnesia
- Espèce : Sarmienti (**Arctande, 1960**).



Figure 22. Le Bois de gaiac (**Arctander, 1960**).

5-2- Ecologie du bois de Gaiac

Bulnesia sarmienti Lorentz ex. Griseb est un arbre endémique d'Amérique latine et plus spécifiquement implanté dans la région du Gran Chaco, partagée entre l'Argentine, la Bolivie, le Brésil et le Paraguay. Cet arbre est localement connu comme « Palo Santo » (c'est-à-dire, bâton/mât sacré). Ce nom trivial est parfois source de confusion car il se réfère également à un arbre d'Amérique centrale, *Bursera graveolens* (**Waller et al., 2012**) Le bois de Gaïac (Guaiac wood en anglais) fournit un bois dense, dur et quasiment imputrescible. Il est ainsi principalement utilisé dans la fabrication de parquets, de clôtures pour le bétail, et également dans divers pièces d'artisanat.

De plus, ce bois, particulièrement riche en résine, est utilisé par la population locale en médecine traditionnelle afin de guérir et prévenir diverses maladies, telles que les maux d'estomac et les rhumatismes. Comme l'encens, il peut être simplement brûlé pour purifier l'atmosphère ambiante et repousser les nuisibles (**Martinez et al., 2010**)

5-3- Caractéristiques du bois de Gaïac :

L'Aubier du bois de Gaïac est de couleur crème, le bois de cœur est vert-brun à bleu-vert. L'espèce est d'une forte brillance, de texture fine et régulière et de senteur très agréable. C'est l'un des bois les plus durs et les plus lourds (1100-1280 kg/m³); il est très solide et résiste au pourrissement, même sous terre, grâce à sa teneur en résine. Sa régénération est bonne mais sa croissance très lente (**Surburg H et., Panten J.,2006**)

Les fleurs sont de couleur bleue, groupées en grappes terminales, poussent à profusion, recouvrant presque l'arbre et y restent longtemps. Au fur et à mesure que les fleurs plus anciennes passent du bleu profond à des nuances plus pâles, devenant parfois presque blanches, on observe une panachure de couleur frappante. Chaque fleur présente 5 pétales en coupe dans un petit calice finement velu, soutenu par un pédoncule élancé. Les fruits sont de petites capsules, rondes, comprimées, jaunes, contenant 5 loges, parfois moins. Chaque loge renferme une seule graine (**Southwell et Tucker, 1996**).

5-4- Utilisation de bois de Gaïac :

L'essence de *Bulnesia sarmienti*, est exportée du Paraguay par des colons mennonites (Coopérative Chortitzer) vers plusieurs pays, dont l'Allemagne, les Etats-Unis d'Amérique et la France. L'essence est surtout utilisée comme base de parfums forts – raison pour laquelle l'Allemagne et la France sont des marchés importants. Reste à déterminer si l'Argentine en exporte également (**Walleret al., 2012**).

Le bois est également utilisé pour fabriquer des manchonnages utilisés tels quels en Europe dans la construction de navires de tous tirages. Au Paraguay, l'on a vu de grands lots de grumes rabotées, empilées selon leur diamètre (**Minnaard, 1997**).

En raison d'une demande croissante en bois, venant principalement du marché asiatique (Chine), et en raison d'une déforestation importante liée à l'agriculture intensive en Amérique Latine (**Waller et al., 2012**). *B. sarmienti* est aujourd'hui considéré comme une espèce menacée.

6- Les huiles essentielles et leur utilisation contre les insectes ravageurs :

6-1- Définition d'une huile essentielle :

Le terme huiles essentielles, également appelées huiles volatiles ou huiles éthérées, est utilisé pour désigner les extraits de plantes aromatiques. Il s'agit d'un mélange de nombreux composants tels que les terpènes, les amines, le soufre, les composés halogénés (chez les algues marines), les hydrocarbures non terpéniques, et d'autres (les acides, les alcools, les aldéhydes, les phénols, etc.) **(Ramawat et Mérillon, 2013 in Bouyahyaoui , 2017)**.

D'après Bruneton **(1999)**, les huiles essentielles occupent une place importante dans la vie quotidienne humaine. Les hommes utilisent beaucoup de choses pour assaisonner les aliments, se soigner et même se parfumer.

La norme Afnor **(2000)** définit les huiles essentielles comme étant «des produits obtenus à partir de matières végétales naturelles par étuvage ou par procédés mécaniques à partir de l'épicarpe d'agrumes ou par distillation sèche. L'huile essentielle ainsi obtenue est séparée de la phase aqueuse par des moyens physiques».

6-2- Propriétés des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont connues pour leur propriété thérapeutique, résultante de leur composition chimique. La composition majeure de l'huile détermine souvent l'action principale de la plante origine. Or certaines huiles ont plusieurs composantes en quantité importante ce qui offre à la molécule plus de propriétés **(Raymond, 2005)**.

Ces essences sont employées en aromathérapie pour préserver ou améliorer la santé et la beauté des êtres humains **(Turgeon, 2001)**. Elles peuvent aussi avoir des effets antibactériens, antifongiques, antiviraux, antiseptiques ou antiparasitaires **(Raymond2005)**. Parmi les propriétés les plus connues, on citera la propriété antiseptique de certaines huiles essentielles qui ont la capacité de détruire le germe infectieux et arrêter sa prolifération **(Pierron 1989)**.

Les huiles essentielles ont également envahit de nombreux produits de la vie courante. On les retrouve de plus en plus en tant qu'arômes alimentaires comme exhausteur de goûts (cafés, thés, tabacs, vins, yaourts et plats cuisinés) (**Benouali2016**).

6-3- Toxicité des huiles essentielles :

Les études scientifiques montrent que les huiles essentielles peuvent présenter une certaine toxicité. Il faut cependant remarquer que celle-ci varie selon la voie d'exposition et la dose prise (**Degryse et al., 2008**).

Les huiles essentielles semblent n'être toxiques par ingestion que si celle-ci est faite en de grandes quantités et en dehors du cadre classique d'utilisation. Les huiles ne seront toxiques par contact que si des concentrations importantes sont appliquées (**Degryse et al., 2008**).

Selon Englebin (**2011**), les huiles essentielles sont des substances très puissantes et très actives, c'est la puissance concentrée du plant aromatique, il ne faut donc jamais exagérer les doses, quelque soit la voie d'absorption, car toute substance est potentiellement toxique à dose élevée ou répétée. Paracelse a dit: "rien n'est poison, tout est poison, tout dépend de la dose "Il faut également savoir qu'une période trop prolongée provoque l'inversion des effets et fou l'apparition d'effets secondaires indésirables.

6-4- Caractéristiques des huiles essentielles :

6-4-1- Les caractéristiques organoleptiques :

Chaque essence est caractérisée par des propriétés organoleptiques telles que l'odeur, l'aspect et la couleur.

6-4-1-1- L'odeur :

L'odorat est un sens chimique très sensible et l'habileté des parfumeurs à classer et caractériser les essences par la présence des substances chimiques parviennent du dosage des

produits naturels. Leur perception est très importante, chaque huile peut avoir l'odeur de la plante source de son extraction (**Bazizi, 2016**).

6-4-1-2- La couleur :

La coloration d'une huile essentielle dépend des produits qui la constituent. Certains solvants ont le pouvoir d'extraire beaucoup de pigments, ce qui intensifie la couleur d'une huile donnée (**Bazizi, 2016**).

6-4-1-3- L'aspect

L'aspect d'un extrait dépend des produits qui la composent, qui peuvent nous apparaître sous forme solide, liquide ou bien un mélange solide- liquide (**Bazizi, 2016**).

6-5- Composition des huiles essentielles :

6-5-1- Composition chimique :

Comme toute substance, les huiles essentielles se caractérisent par une composition chimique analysable et très variable. Le nombre de composants isolés est de plusieurs milliers et il en reste beaucoup à découvrir (**Bruneton, 1999**) Ces constituants appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes, caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes (les composés terpéniques) et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane, moins fréquents. Elles peuvent également renfermer d'autres composants non volatils issus des processus de dégradation (**Bruneton, 1999**)

6-5-1-1- Les composés terpéniques :

Les terpènes constituent une famille de composés largement répandus dans le règne végétal. Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'une unité isoprénique à cinq atomes de carbone (C₅H₈) reconnue par Wallach dès **1887** (**Lamartiet al., 1994**). Cet isoprène est à la base du concept de la «règle isoprénique» énoncée en **1953** par **Ruzicka** (**Lamartiet al., 1994**). Cette règle considère le diphosphate d'isopentényle (IPP), désigné sous le nom d'isoprène actif comme le véritable précurseur de la molécule terpénique. Les systèmes enzymatiques responsables de cette conversion (IPP en

composés terpéniques dans les trois compartiments: cytoplasmes, mitochondries et plastes) sont hydrosolubles ou membranaires. Ces derniers permettent l'élongation de la chaîne isoprénique conduisant à tout l'éventail des composés terpéniques à 10, 15, 20 et 30 atomes de carbones (**Lamartiet al., 1994**). Seuls les terpènes dont la masse moléculaire est relativement faible (mono – et sesquiterpènes) sont rencontrés dans les huiles essentielles (**Bruneton b, 1999**), représentant la base de leurs propriétés olfactives, en leur conférant un caractère volatil (**Pibiri, 2006**).

Il convient de souligner que la synthèse des terpènes n'est pas propre aux végétaux. Le squalène, est un terpène abondant chez les requins. Des sesquiterpènes et des diterpènes se rencontrent également chez les spongiaires et les coelentérés (**Guignard, 2000**)

Les terpènes sont constitués d'un mélange d'hydrocarbures et de composés oxygénés dérivés de ces hydrocarbures. Dans certaines huiles essentielles, les hydrocarbures prédominent (comme l'essence de Térébenthine), dans d'autres, la majeure partie de l'essence est constituée de composés oxygénés. Il est à noter que l'odeur et le goût des huiles essentielles sont donnés par ces composés oxygénés. Parmi ces composés, on note les alcools (géraniol, linalol), les esters (acétate de linalyle), les aldéhydes (menthone, camphre, thuyone), les cétones, les éthers, les phénols et les peroxydes (**Paris et al., 1981., Svoboda et al., 1999**).

6-5-1-1-1- Les monoterpènes :

Les composés monoterpéniques sont constitués de deux unités d'isoprène, leur formule chimique brute est $C_{10}H_{16}$ (**Rahal, 2004**). Ces composés peuvent être: des monoterpènes acycliques (myrcène, ocimènes), monoterpènes monocycliques (α - et γ -terpinène, p-cymène) et des monoterpènes bicycliques (pinènes, Δ^3 -carène, camphène, sabinène). Selon **Bruneton (1999)**, la réactivité des cations intermédiaires justifie l'existence de nombreuses molécules caractérisées par différentes fonctions: alcools, cétones, esters, aldéhydes, éthers, peroxydes et phénols.

6-5-1-1-2- Les sesquiterpènes :

Ils comportent trois unités d'isoprène, leur formule est C₁₅H₂₄ soit une fois et demie (sesqui) la molécule des terpènes (**Belaiche, 1979**). Ils présentent une grande variété dans les structures conduisant à un nombre élevé de possibilités, ce qui a retardé l'élucidation de leurs structures (**Rahal, 2004**). Les sesquiterpènes peuvent être également, comme les monoterpènes, acycliques (farnésol), monocycliques (humulène, α -zingibèrene) ou polycycliques (matricine, artéannuine, β ,artémisinine). Ils renferment aussi des fonctions comme les alcools (farnésol, carotol, β -santalol, patchoulol), les cétones (nootkatone, cis-longipinane-2.7-dione, β -vétivone), les aldéhydes (sinensals), et les esters (acétate de cédryle) (**Bruneton b, 1999., Laouer, 2004**).

6-5-2- Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane :

En plus des terpènes, les huiles essentielles renferment aussi des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (C₆-C₃), mais qui sont beaucoup moins fréquents que les terpènes et dont la biogenèse est totalement différente (**Paris et al., 1981**). **Bruneton (1999)** considère que ces composés sont très souvent des allyl- et propenyl phénols, parfois des aldéhydes, caractéristiques de certaines huiles essentielles d'Apiacées (Anis, Fenouil: anéthole, anisaldehyde, méthyl-chavicol=estragole. Persil : apiole) mais aussi de celles du Girofle (eugénol), de la Muscade (safrol, eugénol), de l'Estragon (eugénol), du Basilic (eugénol), de (asarones) ou des Cannelles (cinnamaldéhyde eugénol safrol). On peut également selon le même auteur, rencontrer dans les huiles essentielles des composés en C₆-C₁ comme la vanilline (assez fréquente) ou l'antranilate de méthyle. Les lactones dérivées des cinnamiques (par exemple les coumarines) étant, au moins pour les plus simples d'entre elles, entraînaibles par la vapeur d'eau, sont également présentes dans certaines huiles essentielles.

6-5-3- Les composés d'origines diverses :

Ce sont des produits résultant de la transformation de molécules non volatiles entraînaibles à la vapeur d'eau. Il s'agit de composés issus de la dégradation d'acides gras et de terpènes. D'autres composés azotés ou soufrés peuvent subsister mais sont rares. Enfin, il n'est pas rare de trouver dans les concrètes, des produits de masses moléculaires plus importantes non entraînaibles à la vapeur d'eau, mais extractibles par les solvants tels que les

homologues des phénylpropanes, diterpènes, etc... (**Bruneton, 1999**). **Abou Zeid (1988)** signale que le composé soufré le plus rencontré est l'allyl-isothiocyanate issu de la dégradation d'un glucoside sinigraside qui se trouve dans les graines de moutarde noire. Ce composé est incolore, fluide et de saveur piquante. Certaines plantes aromatiques produisent des huiles essentielles dont les composés terpéniques renfermant l'élément nitrogène. Parmi ces composés on cite l'indole, qui se trouve dans l'huile essentielle du citron et des fleurs de jasmin

6-6- Activités des huiles essentielles :

6-6-1- L'activité biologique :

Les plantes aromatiques sont utilisées depuis des siècles dans la santé et la thérapie contre plusieurs maladies (**Piochon, 2008**). A cause de leur richesse en composés phénoliques, les huiles essentielles ont la capacité de détruire de nombreuses bactéries pathogènes (**Pauli 2001**). Certaines huiles essentielles ont également un grand effet antimicrobien (**Fabian et al., 2006**).

6-6-2- L'activité pharmacologique :

De nombreuses huiles essentielles possèdent de puissants composés antioxydants (**Edris 2007**) pouvant influencer le stress oxydatif observé pendant plusieurs maladies dans le corps humain comme l'alzheimer ou le cancer. Ces huiles peuvent équilibrer la sécrétion des enzymes oxydatifs et protéger les cellules cervicales (**Gardner 1997.,Butterfield et Lauderback, 2002**). Elles représentent donc une nouvelle option dans le traitement des maladies inflammatoires (**Edris, 2007**).

6-6-3- Activité commerciale :

Selon l'institut national des recherches (NRDC), les huiles essentielles représentent 60 % de la demande totale en substances naturelles utilisées principalement dans la fabrication des parfums et d'autres produits cosmétiques (**Muyima et al., 2002**). Les huiles essentielles sont également utilisées dans l'industrie et la conservation des produits alimentaires (**Shan et al, 2005**).

6-7- Activité insecticide des huiles essentielles :

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

L'effet insecticide des huiles essentielles par contact, ingestion et par fumigation a été bien démontré contre les déprédateurs des denrées entreposées (**Rogeret al., 1993**), de nombreux travaux ont porté sur l'amélioration des formes d'utilisation des plantes qui permettent de renforcer et de rentabiliser leur activité insecticide (**Isman, 2005**).

Certaines observations ont montré que l'extrait brut éthanolique (**Nieber, 1992., Nuto, 1995**) ou à l'éther de pétrole (**Gakuru et Foua, 1996**) de matériel végétal possède une toxicité effective vis-à-vis des ravageurs de stocks. D'autres résultats indiquent que les huiles essentielles extraites de plantes odorantes ont une activité insecticide indéniable vis-à-vis de *Callosobruchus maculatus* F. (**Glitho, 1997., Gakuru et Foua, 1996**).

En Algérie, des travaux ayant le même axe de recherche ont été entrepris. Kechout (**2001**), avait testé l'efficacité de l'huile essentielle du thym sur *Sitophilus orysae* L., traduite par un taux de mortalité évalué à 85%.

6-8- Extraction des huiles essentielles :

Les huiles essentielles peuvent être fabriquées dans des conditions de laboratoire à travers une procédure bien déterminée, ou par utilisation des molécules fabriquées dans un laboratoire privé dans des conditions purement naturelles.

6-8-1- Extraction des huiles essentielles au laboratoire:

6-8-1-1- L'extraction par distillation

Il existe plusieurs procédures pour l'extraction des huiles essentielles : l'hydro distillation, l'entraînement à la vapeur d'eau et l'extraction par micro-ondes et par solvant volatile (Piochon 2008).

6-8-1-2- L'hydro distillation

Le principe de l'hydro-distillation consiste à immerger à un moment déterminé, la matière végétale dans un bain d'eau et la porter à ébullition sous pression atmosphérique (Baser et Buchbauer, 2010). En ce moment, les cellules végétales s'éclatent et libèrent leurs contenus (Elkoli, 2016). L'appareil utilisé est en forme de distillation circulatoire, constitué d'un fond chauffé et d'un réfrigérant (Piochon, 2008), le refroidissement par condensation conduit ensuite à la séparation du mélange eau huile essentielle par décantation (Dehak, 2013). C'est la méthode (Fig23), la plus utilisée pour l'extraction des huiles essentielles de menthe et de lavande. Une prolongation de l'opération de l'extraction peut mener à la dégradation des molécules aromatiques (Lucchesi, 2005).

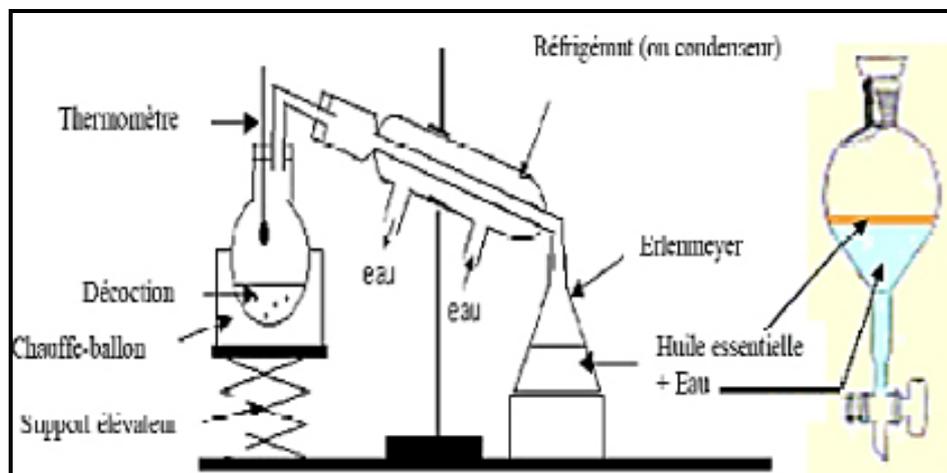


Figure 23. Mécanisme de l'hydro-distillation (Lagunez, 2006).

6-8-1-3- La distillation par vapeur d'eau

Dans cette méthode, le matériel végétal n'est pas mis en contact avec l'eau, une grille perforée laisse diffuser la vapeur d'eau à travers le matériel végétal (Piochon, 2008) (Fig24).

La distillation des huiles essentielles par vapeur d'eau à l'avantage d'éliminer les altérations hydrolytiques lors de l'extraction ce qui améliore la qualité des produits et protège les molécules aromatiques (Nixon et McCaw, 2001., Dehak, 2013).

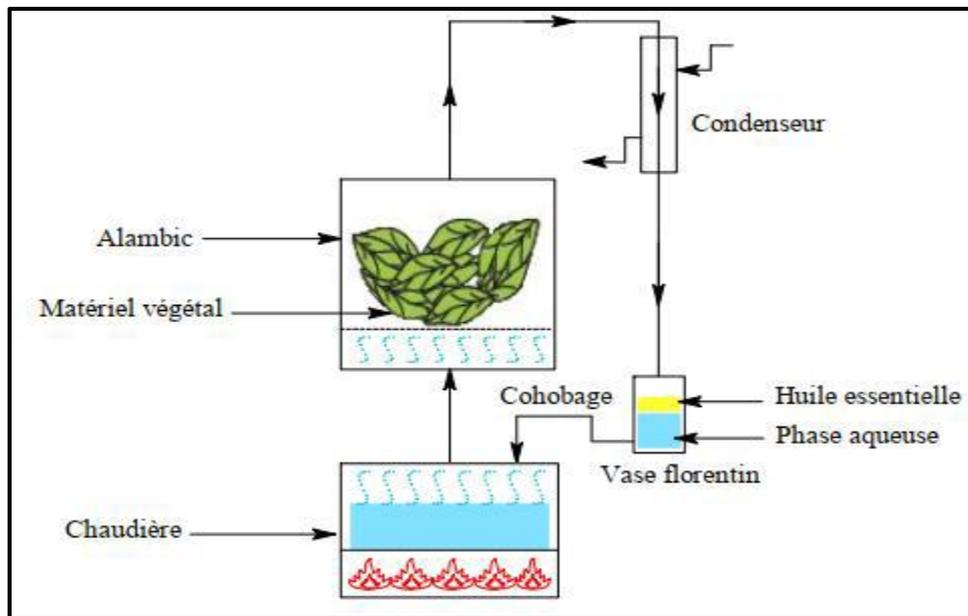


Figure 24. Dispositif d'entraînement à la vapeur d'eau (Chenni, 2016).

6-8-1-4- L'extraction à froid

Elle est souvent utilisée pour l'extraction des essences de zeste (Dugo et DiGiacomo, 2002). Une machine est utilisée pour presser les écorces des zestes afin de recueillir des huiles essentielles (Dehak, 2013) (Fig25).

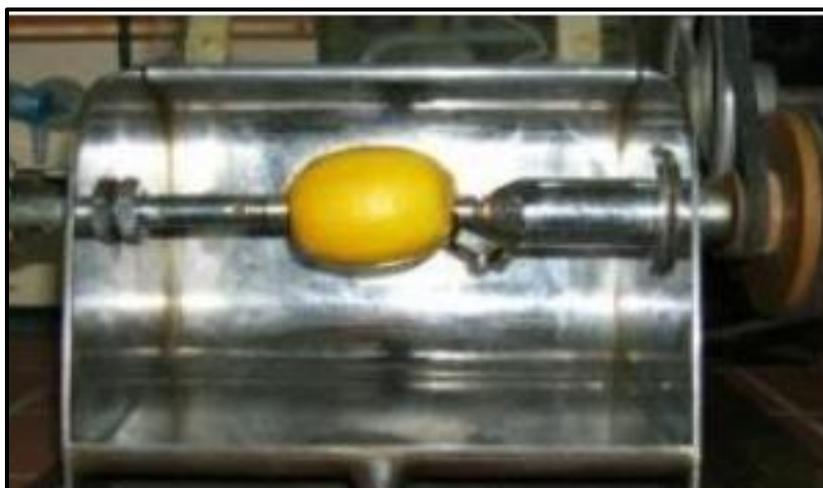


Figure 25. Dispositif de l'expression à froid (Chenni, 2016).

6-8-1-5- L'extraction assistée par micro-onde

La méthode de l'extraction par micro-ondes (**Fig26**) se déroule en enceinte close, c'est une combinaison de chauffage par micro-ondes et de distillation à sec, et les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau de la plante et récupérés par refroidissement (**Piochon 2008**).

Il fournit des huiles essentielles plus précieuses et d'importance économique et énergétique. L'extraction par micro-onde à l'avantage de minimiser la durée de distillation et d'améliorer le rendement de l'extrait et offre beaucoup de bénéfices comparant avec les autres procédure (**Lucchesi et al., 2004., Benouali 2016**).

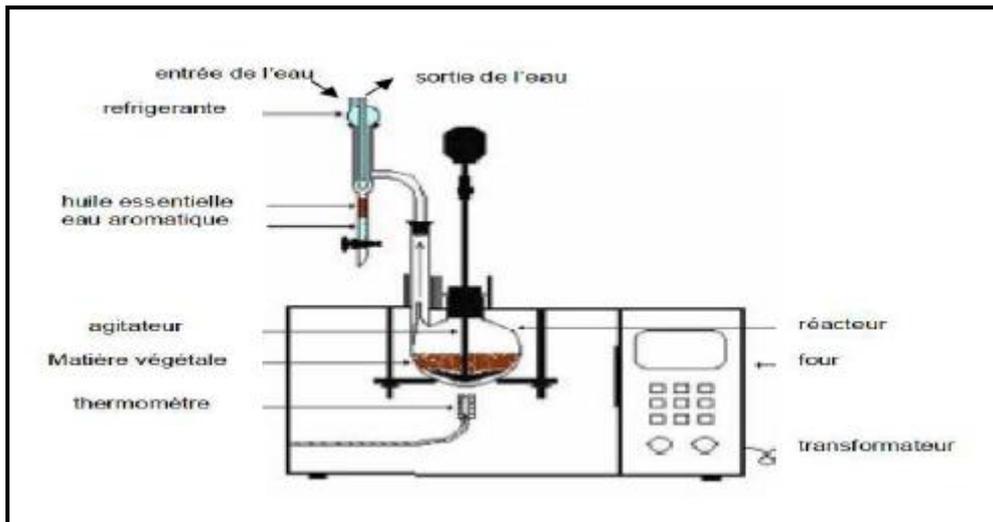


Figure 26. Hydrodistillation sous micro-ondes (Lagunez-Rivera, 2006)

6-8 -1-6- L'extraction par solvants volatils

L'extraction par solvants volatils réalisée avec un appareil de Soxhlet (Dehak, 2013), il s'agit d'extraits aqueux de plantes obtenus et non pas des huiles essentielles de qualité (Piochon, 2008). Les solvants les plus utilisés pendant cette technique sont l'hexane, l'éthanol, le méthanol, et l'acétone (Kim et lee, 2002).

6-9- Classification des huiles essentielles

Selon le pouvoir spécifique sur les germes microbiens, et grâce à l'indice aromatique obtenu par des aromatogramme, Chakou et Bassou (2007) classent les huiles essentielles comme suit:

- Les huiles majeures
- Les huiles médiums
- Les huiles terrains.

6-10- Utilisations des huiles essentielles :

Les huiles essentielles interviennent dans la fabrication des produits alimentaires (jus de fruits, crèmes glacées, bonbons, etc....), des produits d'hygiène et de beauté, des parfums et

autres produits de désinfection. Les huiles essentielles sont utilisées également pour leurs différentes propriétés et effets thérapeutiques divers (**deschepper, 2017**) :

a) Les effets anti-infectieux ; notamment sur les souches résistantes à des antibiotiques récents. Parmi ces molécules antibactériennes les plus puissantes, nous pouvons citer : le carvacrol, le thymol, l'eugénol, le géraniol, le linalol, le terpénool, le menthol, etc.

b) Des effets calmants et antispasmodiques ; les aldéhydes (citral de la verveine,...), les esters (salicylate de méthyle,...).

c) Des effets antiparasitaires ; surtout les phénols.

d) Des effets anti-inflammatoires ; selon le type de douleurs, on peut utiliser des esters, des alcools (menthol) ou des aldéhydes (cuminal).

e) Les huiles essentielles possèdent aussi des propriétés antioxydantes, expectorantes, diurétiques, et antifongiques.

f) Elles possèdent également des propriétés insecticides et insectifuges.

6-11- Rôle des huiles essentielles :

6-11-1- Rôle écologique :

Les huiles essentielles jouent un rôle important, elles protègent la plante des microorganismes et des insectes nuisibles ainsi que des herbivores. Leurs composants réagissent comme donneurs d'hydrogène dans la réaction d'oxydoréduction (**Roger, 1997 in Belkacemi et Mokhtari, 2019**). Parmi ces composants, il y a les terpénoïdes qui possèdent un rôle écologique lors des interactions végétales, comme inhibiteur de la germination et aussi lors des interactions végétal-animal, comme agent de protection contre les prédateurs tels que les insectes (**Roger et Hamraoui, 1997**).

6-11-2- Rôle dans la plante :

Les travaux de Croteau en (**1977**) puis ceux de Croteau et Hooperen (**1978**) ont montré que, bien qu'étant des produits du métabolisme secondaire, les composants volatils auraient en fait un rôle de mobilisateur d'énergie lumineuse et de régulateur thermique au profit de la plante (**Randrianarivelo, 2010**). Certains terpènes jouent un rôle important et varié dans la relation

des plantes avec leur environnement (**Roger et Hamraoui, 1997**), ainsi le 1,8-cinéole et le camphre inhibent la germination des organes responsables de la prolifération des infections ou la croissance des agents pathogènes issus de ces organes (**Razafindrakoto, 1988 in Randrianarivelo, 2010**).

Pour certains auteurs, les huiles essentielles constitueraient « les déchets » du métabolisme cellulaire de la plante (**Salle, 1991 in Randrianarivelo, 2010**) pour d'autres, elles serviraient à attirer les insectes pour permettre la fécondation ou alors à les éloigner de la plante. L'attrait des insectes pour les plantes à fleurs en vue de la pollinisation est également crédité aux huiles essentielles que ces plantes contiennent (**Randrianarivelo, 2010**).

Les huiles essentielles constitueraient enfin un moyen de défense de la plante vis-à-vis des prédateurs, tels que les microorganismes (bactéries et champignons) et les herbivores (**Sadou et al., 2013., Amri et al., 20**

Matériel et Méthodes

II-Matériel et méthodes

1- Présentation de la région de Mila:

La wilaya de Mila est connue par la pureté de sa terre et par son excellent climat. La région a connu depuis les premiers siècles de son apparence des progrès dans divers domaines, en particulier dans le domaine agricole en raison de la disponibilité de l'eau en abondance, ainsi les surfaces cultivées. C'est une région purement agricole connue par sa diversité biologique et écologique et sa verdure annuelle remarquable.

La composante la plus importante de ces forêts d'arbres sont des forêts naturelles telles que: le chêne liège, le hêtre, les juments et les forêts artificielles comme le pin de montagne boisée et jungles de cyprès... **(DGF Mila, 2016)**.

Avec une superficie de 3.478 km², Mila est d'une mosaïque de structure dans l'Est Algérien. Le voisinage de la wilaya de Mila est composé de 6 wilayas, Jijel et Sekikda au Nord, Constantine à l'Est, Sétif à l'Ouest, au Sud les wilayas de Batna et Oum-El-Bouaghi **(Aissoui, 2013)**.

La wilaya de Mila (**Fig27**) fait partie du bassin versant de l'Oued El Kébir-Enja. Ce dernier se localise dans la chaîne Tellienne orientale, couvre une superficie de 216 mileshectares et représente une région intermédiaire entre le domaine Tellien à très forte influence méditerranéenne au Nord et un domaine à très forte influence continentale au Sud **(Zouaidia, 2006)**.



Figure 27. Situation géographique de la wilaya de Mila (ANDI, 2013).

1-1- Commune d'échantillonnage :

1-1-1- La Commune de sidi Mérouane :

Sidi Merouane est une commune parmi les trente-deux communes de la wilaya de Mila en Algérie, elle est située à 12 km du nord-Est de la wilaya. La commune de Sidi Merouane (Fig28), se trouve sur une zone de reliefs accidentés à forte pente sud-nord. Elle est bordée nord en arc-de-cercle par le barrage de Beni- Haroun qui lui donne un aspect de presqu'île. En outre, la commune de sidi Merouane est dotée d'une station d'épuration des eaux usées qui joue un rôle très important sur la protection du barrage Beni Haroun et la protection de l'environnement et l'écologie (DGF Mila, 2016).



Figure 28. Position géographique de la commune de Sidi Merouane

1-2- Présentation de la région d'échantillonnage:

1-2-1- La forêt de Fardoua

La forêt de « Fardwa » dans la commune de Sidi Merouane, se situe dans la wilaya de Mila. C'est un jeune reboisement de pin d'Alep qui date depuis environ 2000 (**Fig29**). La forêt est d'une superficie de 20 ha, la taille moyenne de ses arbres varie entre 3 à 6 m d'hauteur



Figure 29. Forêt de « Fardwa » dans la commune de Sidi Merouane

La pinède de « Fardwa » se situe sur la façade supérieure du barrage de Ben Haroun et a la proximité de la commune de Sidi Merouane.



Figure 30. Situation géographique de la forêt de « Fardwa » dans la commune de Sidi Merouane (**Anonyme 02**)

Elle est limitée au nord par le barrage de Ben haroun, A l'est par la commune de Sidi Merouane. A L'Ouest et au Sud par ville de Mila. Elle est d'une altitude moyenne qui varie entre 320 et 340 m d'hauteur (**Fig30**).

1-3- Données climatiques du la zone d'échantillonnage :

1-3-1- Le Climat:

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants dans leur environnement.

Les facteurs climatiques regroupent un ensemble de facteurs énergétiques constitués par la lumière et la température, par le facteur hydrologique présenté par les précipitations et les humidités de l'air et les facteurs mécaniques avec le vent et l'enneigement (**DGF Mila, 2016**).

1-3-2- Précipitation :

La zone étudié est caractérisée par un climat semi-humide avec un hiver semi-froid et pluvieux est un été chaud et sec (**Tab01**). Les précipitations allant de 600 mm à 800 mm par année, une chute irrégulière de pluie au début de l'automne à la fin du printemps, ainsi que des orages et de fortes pluies qui tombent sur la région effectuée donc sur la diversité écologique, ce qui conduit à l'érosion (**DGF Mila, 2016**).

Tableau 01. Moyennes des précipitations mensuelles dans la région (2005 à 2016)

(**SMAT, 2016**).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annu
P Moy	75,8	52,9	42,9	54,3	45,0	18,8	4,7	11,0	36,3	33,1	63,9	86,9	525,8
P par jour	12.1	10.7	9.00	9.6	7.6	5.2	1.8	3.4	7.2	6.4	10.2	13.2	96.5

1-3-3- Température :

La région est caractérisée par une température élevée où l'été est sec et soit la température moyenne dans la région est d'environ 16 °C, et ceci est représenté en degrés de table prélevés par la température, qui montre le maximum et minimum et la température moyenne de l'année (DGF Mila, 2016) (Tab 02).

Tableau 02. Maximum et minimum des températures moyennes de l'année
(SMAT, 2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annue
Tmini	2.4	2.7	5.1	6.9	11.3	15.7	18.2	18.7	15.9	11.9	6.9	3.7	9.9
Tmaxi	11.6	15.1	18.7	21.2	25.8	33.4	36.9	38.1	34.3	28.9	22.6	14.7	25.10
TMoy	7	8.9	11.9	14.05	18.55	24.7	27.55	28.4	25.1	20.4	14.75	9.2	13.84

1-3-4- Humidité:

L'humidité est considéré comme un élément important des facteurs environnementaux et climatiques, il est essentiel pour la croissance de certaines plantes, il existe de nombreuses variétés de forêt et les porteurs de fruits, qui nécessitent une forte humidité et même cette croissance bien compris (Tab 03).

La connaissance de l'humidité de l'air importante que liée au développement des parasites qui aident à la fertilité bénéfique du sol des arbres, en hiver jusqu'à l'humidité à 78%, ce qui les rend très élevé et le plus faible pourcentage de son été avec 47%, et la région étudiée caractérisée par une forte humidité en raison de sa proximité de la côte nord cela est indiqué dans le tableau ci-dessous pour les différents mois de l'année (DGF Mila, 2016).

Tableau 03. Humidité annuelle de la région (SMAT, 2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annu
Humidité	78	72	70	69	68	52	45	47	60	64	74	79	64.83

1-3-5- Vent

La zone d'étude est affectée par un vent dominant le Nord, y compris le Nord-Ouest et souffle dans quelques jours de l'année avec un rythme légers qui ne cause pas de dommages, le type le plus connu des vents dans la région d'Alsiroko, Le nombre moyen de jours connus par la présence des vents saisonniers est indiqué dans le tableau suivant (DGF Mila, 2016) (Tab04).

Tableau 04. Le vent annuel de la région (SMAT, 2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annu
V par Jour	10	00	00	00	0.2	0.8	0.8	0.1	0.1	0.1	00	0.1	2,8

1-3-6- Glace

Il est rare dans la zone d'étude, mais il est à l'origine des pertes importantes aux cultures, mais se remarque entre les mois de Janvier et Février, et recouvre les arbres fruitiers (DGF Mila, 2016) (Tab05).

Tableau 05.Glacé annuelle de la région (SMAT, 2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annu
G par													
Jour	10.2	6.4	4	1.2	0	0	0	0	0	0	1.1	7.2	30.1

2- L'étude toxicologique par les huiles essentielles contre les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* :

Le but de cette étude est d'évaluer l'effet toxique de quelques huiles essentielles (du pin lariccio, du bois gaïac et du cyprès) sur les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* au 4^{ème} stade larvaire.

2-1- Le choix des molécules :

Après une large étude bibliographique sur les huiles essentielles, ayant un effet toxique élevé sur les insectes ravageurs et dans le cadre de la lutte contre les chenilles processionnaires du pin, Notre choix des molécules utilisées pour le traitement biologique s'est porté sur trois huiles essentielles à savoir : L'huile du pin lariccio, (*Pinus Lariccio*), l'huile de bois de Gaïac, (*Bulnesia sarmienti*), et l'huile du cyprès (*Cupressus sempervirens*)

2-2- Les principaux paramètres des huiles essentielles testées :

Chaque huile essentielle utilisée est caractérisé par un nom commun, une odeur et une densité spécifique (**Tab06**). La saison de la récolte ainsi que la partie extraite de la plante jouent un rôle important dans son efficacité. L'aspect de l'huile extraite indique la manière de son utilisation et la procédure de la préparation des délutions

Tableau1 06. Les différents paramètres des huiles essentielles utilisées

Molécules	Nom Scientifique	Nom commun	Partie Extraite	Aspect	Odeur	Densité
Huile de Pin laricio	<i>Pinus Lariccio</i>	Pin laricio	Aiguillesrameaux	Liquide limpide	Fraiche ; résineuse	0,89
Huile de Cyprès	<i>Cupressus sempervirens</i>	pin sylvestre	Parties aériennes	Liquide Pale	Boisée de térébenthine	0,885
Huile de bois de Gaïac	<i>Bulnesia Sarmienti</i>	Bois De vie	Bois	Solution Appâtée	Boisée	0,98

II-2-3- Utilisation des huiles :

Les huiles essentielles sont récupérées depuis le laboratoire commercial d'Aroma, en France, les huiles botaniques pures sont préparées dans des conditions naturelles, sans ajout de produits commerciaux, chimiques, aromatiques ou esthétiques et sont conservées dans un réfrigérant le long de l'expérimentation. Les trois molécules des huiles essentielles sont extraites par la technique de la distillation complète par entraînement à la vapeur d'eau (**Anonyme 03**). Elles sont sensibles aux rayonnements UV ainsi qu'à l'évaporation progressive de leurs constituants.

Il est donc impératif de les conserver dans un flacon en verre coloré ou en aluminium à fermeture étanche, à une température comprise entre 5°C et 40°. Selon les recommandations de la pharmacie européenne, et les laboratoires internationaux spécialisés en vente des huiles essentielles, les molécules sont conditionnées dans des flacons avec compte gouttes incorporé.

De plus, les huiles essentielles ont une densité proche de 0,9. Cette situation nous donne les résultats suivants pour les huiles essentielles : 1 ml = 0,9 g = 35 à 40 gouttes et une goutte pèse approximativement 25 à 30 mg.

2-4- Les principaux constituants biochimiques des huiles utilisées:

2-4-1- Composition biochimique de l'huile de pin Laricio (*Pinus lariccio*) :

L'huile de pin laricio(**Fig31**) est riche en vitamines essentielles ainsi qu'en substances macroéléments qui ont un pouvoir nutritif. Comme vitamines on peut citer : **E** et **F**, connues pour leur haut niveau physiologique et propriétés antiacides, **B1**, **B2** , **B3** et vitamine pro **A** (bêta-carotène) et d'autres caroténoïdes (**Stephen 2004., Kissileff et al.,2003 in Kadari,2012**).

Dans cette huile il y a aussi des micro-éléments comme le magnésium, zinc, fer , cuivre, iode, calcium, phosphore, manganèse, cobalt et une grande quantité d'acides gras polyinsaturés. Ces éléments, qui ont un effet bénéfique pour la santé, sont fortement présents dans les graines de *Pinus halepensis*, (**Rouhou et al., 2006 in Kadari,2012**).L'huile de pin contient également jusqu'à 5% de substances azotées, dont 90% sont les acides aminés, parmi

lesquels 70% sont des aminoacides essentiels (Stephen 2004, Kissileff et al.,2003 in Kadari, 2012).



Figure 31. Huile essentielle de pin lariccio (Photo personnelle)

2-4-2- Composition biochimique du cyprès (*Cupressus sempervirens*) :

La composition de l'huile essentielle extraite des « parties aériennes » est la plus étudiée et la forme de cyprès (Fig32), la plus couramment utilisées. (Boukhrisset al., 2012). Certaines études sur la composition chimique de Cyprès indiquent que la plante contient divers métabolites secondaires, à savoir des alcaloïdes, des flavonoïdes, des saponines et des phénols. Toutes les proportions sont inférieures à 2%. Ces molécules naturellement présentes dans les plantes ont des propriétés chimiques différentes. Comme son nom l'indique, les alcaloïdes sont alcalins et ont une signification thérapeutique historique. Le tanin est un polyphénol dont la propriété est de précipiter les protéines et est utilisé pour tanner le cuir. Les saponines sont des hétérosides naturels des plantes (Rawat et al., 2010.)



Figure 32. Huile essentielle de cyprès (Photo personnelle)

2-4-3- Composition biochimique de l'huile de l'huile de bois de Gaïac (*Bulnesiasarmi*) :

L'huile essentielle de bois de Gaïac (**Fig33**), est composée en grande partie de molécules sesquiterpéniques, distribuées en deux familles biosynthétiquement liées : les guaïanes et les eudesmanes. Au sein des sesquiterpènes, le squelette guaïanique est probablement l'une des structures de base les plus répandues. En effet, le guaïol (**Cachet,etal., 2016**), un alcool tertiaire bicyclique, a été l'un des tout premiers guaïanes identifiés dans la nature, celui-ci étant facilement obtenu en relativement bonne pureté à partir de l'essence de Gaïac par recristallisation. Le nom générique guaïane a été par la suite donné à toute une famille de sesquiterpènes partageant le même squelette de base 7-isopropyl-1,4-diméthyl-décahydroazulénique. La chimie analytique et la synthèse organique ont évolué depuis ces premières études, et maintenant, la famille des guaïanes englobe plusieurs centaines de membres d'origine synthétique ou bien identifiés dans des extraits naturels.

Certains composés tels que les guaïanolides possèdent certaines activités biologiques, tandis que d'autres trouvent des applications spécifiques dans le domaine des arômes et parfums, comme la rotundone (**Ishihara et al.,1993**) ou des dérivés issus de l'auto-oxydation de l' α -guaïène (**Ordóñez,etal., 2016**). Bien que les guaïanes aient attiré l'intérêt de nombreux scientifiques dans le monde entier, l'huile essentielle de bois de Gaïac, qui est la matrice à l'origine de cette nomenclature, n'a pas bénéficié d'une analyse chimique approfondie.



Figure 33. Huile essentielle de bois de gaïac (Photo personnelle)

3- Préparation du traitement et dilution des concentrations :

A partir d'un produit commercial des huiles essentielles, nous avons préparé une solution diluée pour chaque huile. Suivant les indications du laboratoire, il est conseillé de diluer les solutions suivant la formule suivante : verser environ 35 à 40 gouttes de chaque flacon des différentes molécules dans un litre d'eau afin d'avoir une dilution d'huile d'un gramme de la solution mère dans un litre d'eau : (1 g/l). A partir de ces solutions, et après plusieurs essais préliminaires, les dilutions nous ont permis d'évaluer les concentrations nécessaires pour chaque traitement (Tab07).

Tableau 07. Concentrations utilisées durant le traitement des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* pour chaque huile essentielle.

Huiles	Doses utilisées g/l		
Huile de pin Lariccio	1	2	4
Huile de cyprès	0,75	1,5	3
Huile de bois de gaïac	2	2,5	3

3-1- La préparation des tests :

Le traitement toxicologique est réalisé dans des boîtes de congélation, chacune des boîtes contient 10 larves de même âge. Le traitement pour chaque molécule est réalisé selon trois doses différentes, avec trois répétitions pour chacune, afin de confirmer le taux de mortalité causée par chaque molécule utilisée.

Le traitement est réalisé par pulvérisation jusqu'à ruissèlement de l'insecticide sur les aiguilles de pin fraîches et distribué aux larves dans toutes les boîtes. Des feuilles non traitées sont distribuées au quatrième lot pour comparer avec ceux traitées (Témoin).

La mortalité est observée chaque jour après traitement, les aiguilles sont également changées à chaque observation (**Fig34**).



Figure 34. Préparation du traitement (**Photos personnelles**)

Le traitement toxicologique par les huiles essentielles est réalisé sur des chenilles du 4^{ème} stade larvaire de la processionnaire du pin.

La fin du traitement est souvent indiquée par la mortalité totale de la population testée. Les taux de mortalités observées ont fait ensuite l'objectif de plusieurs traitements statistiques, afin d'évaluer l'effet toxique de chaque huile.

Les analyses statistiques sont réalisées sur les résultats de mortalités des chenilles après 4 et 8 jours d'exposition aux traitements.

3-2- Le Traitement statistique des données :

Les traitements statistiques de l'étude toxicologique ont pour but d'évaluer l'effet de chaque molécule des huiles essentielles utilisées, sur la mortalité des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* en fonction des différentes concentrations utilisées, du stade larvaire de la chenille, et du temps d'exposition au traitement. Les concentrations létales 50 et 90 (CL 50 et CL 90) sont estimées pour chaque molécule testée, pendant tous les stades larvaires. Tous les traitements statistiques sont réalisés sur un logiciel (Minitab 2017).

- La mortalité observée :

Le pourcentage de la mortalité observée chez les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées par les différentes huiles essentielles à différentes concentrations ainsi que chez les témoins est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Mortalité observée} = \text{Nombre de chenilles mortes} / \text{nombre de chenilles traitées} \times 100$$

- La mortalité corrigée :

Le pourcentage de mortalité observée est corrigé par la formule d'Abbott (1925) qui permet d'éliminer la mortalité naturelle :

$$\text{Mortalité Corrigée} = \frac{\text{mortalité chez les traités} - \text{Mortalité chez le témoin}}{100 - \text{mortalité chez le témoin}} \times 100$$

Les pourcentages de mortalité corrigée subissent une transformation angulaire selon (Bliss 1938 in Fisher & Yates 1957). Les données ainsi normalisées font l'objet d'une analyse de la

variance à un critère de classification suivie par le classement des concentrations par le Test de Tukey.

- **L'analyse des probits :**

Les concentrations létales sont déduites à partir du tracé des droites de régression (Finney 1971). Pour cela, les pourcentages de mortalité corrigés sont transformés en probits (Fisher et Yates 1957).

- **Les droites de régression des taux de mortalités:**

Des équations de régression sont estimées pour chaque huile, durant le 4^{ème} stade larvaire de la chenille processionnaire du pin, après 4 et 8 jours du traitement.

- **Les concentrations létales :**

Ces tests ont pour but d'estimer les concentrations létales 50 et 90 (CL 50 : Concentration qui tue 50% de la population traitée, et CL 90 : Concentration qui tue 90% de la population) pour chaque molécule utilisée pendant le 4^{ème} stade larvaire de la chenille processionnaire.

Résultats

III-Résultats

1- Traitement des chenilles à L'huile de Pin laricio (*Pinus laricio*) :

1-1-Après 4 jours du traitement

-Mortalité observée :

Les taux de mortalité des chenilles du 4^{ème} stade larvaire de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de pin laricio ont enregistrées les valeurs moyennes de 13,34 % pour la dose de 1g/l, 30% pour la dose de 2 g/l et la valeur de 43,34% pour la dose de 4g/l (Tab08).

Tableau08 : Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de pin laricio, au 4^{ème} jour du traitement.

Concentrations (g/l)	1	2	4
R1	10	40	40
R2	20	30	40
R3	10	20	50
Moyenne	13,34	30	43,34

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Transformation angulaire des taux de mortalités :

Les taux de mortalité corrigée sont ensuite normalisés pour atteindre les valeurs de 3,89 % pour la concentration de 0,17 g/l, la valeur de 4,38% pour la concentration de 0,3 g/l et la valeur de 4,83% pour la concentration la plus élevée 0,6 g/l de l'huile de pin laricio (Tab09)

Tableau 09. Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et logarithme des doses du traitement à l'huile de pin laricio au 4^{ème} jour du traitement:

Log Dose	0,17	0,3	0,6
Probit Mortalité	3,89	4,38	4,83
Moyenne			

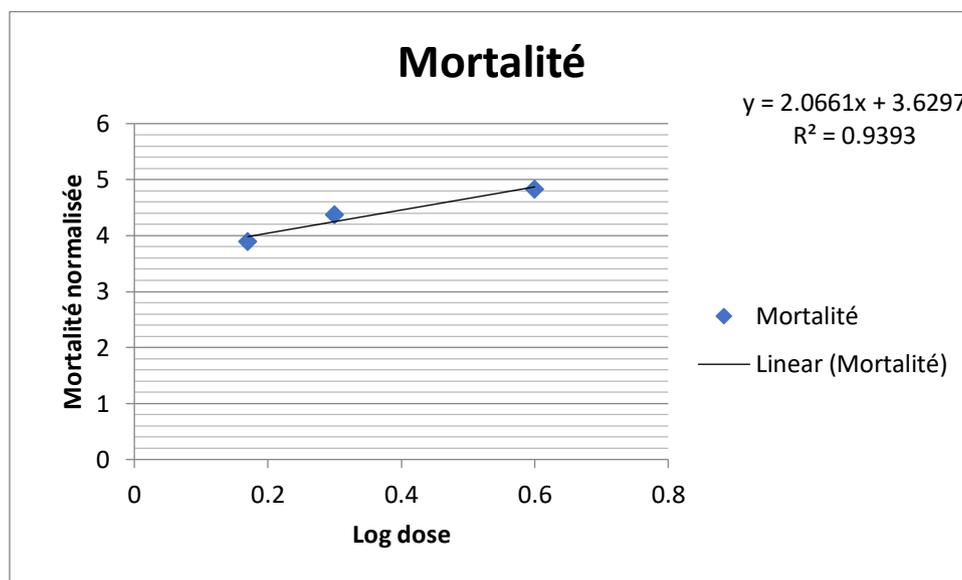


Figure 35. Courbe de régression après 4 jours du traitement des chenilles à l'huile de pin laricio

1-2-Après 8 jours du traitement :

-Mortalité observée :

Les taux de mortalité des chenilles du 4^{ème} stade larvaire de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de pin laricio ont enregistrées les valeurs moyennes de 50%, 76,67%, 100%, pour les concentrations de 1g/l, 2%, et de 4% g/l et cela après 8 jours du traitement (Tab10)

Tableau 10. Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de pin lariccio, au 8^{ème} jour du traitement

Concentrations (g/l)	1	2	4
R1	60	70	100
R2	50	60	100
R3	40	100	100
Moyenne	50	76,67	100

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Mortalité corrigée :

Les mortalités observées des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de pin lariccio sont corrigées par la formule d'Abbott, qui montre l'effet réel des différentes concentrations (**Tab11**). Les valeurs de mortalité corrigée ont atteint 44,44% pour la concentration de 1g/l, 74,07% pour la concentration de 2g/l et la valeur de 99,99% pour la concentration de 4g/l de l'huile de pin lariccio.

Tableau11. Taux de Mortalité corrigée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de pin lariccio, au 8^{ème} jour du traitement.

Concentrations (g/l)	1	2	4
R1	55,55	66,66	99,99
R2	44,44	55,55	99,99
R3	33,33	99,99	99,99
Moyenne	44,44	74,07	99,99

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Transformation angulaire des taux de mortalités :

Les taux de mortalité corrigée sont ensuite normalisés pour atteindre les valeurs de 4,86% pour la concentration de 0,17 g/l, la valeur de 5,66% pour la concentration de 0,3 g/l et la valeur de 7,36% pour la concentration la plus élevée 0,6g/l de l'huile de pin laricio (Tab12)

Tableau12. Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et logarithme des doses du traitement à l'huile de pin laricio au 8^{ème} jour du traitement:

Log Dose	0,17	0,3	0,6
Probit Mortalité	4,86	5,66	7,36
Moyenne			

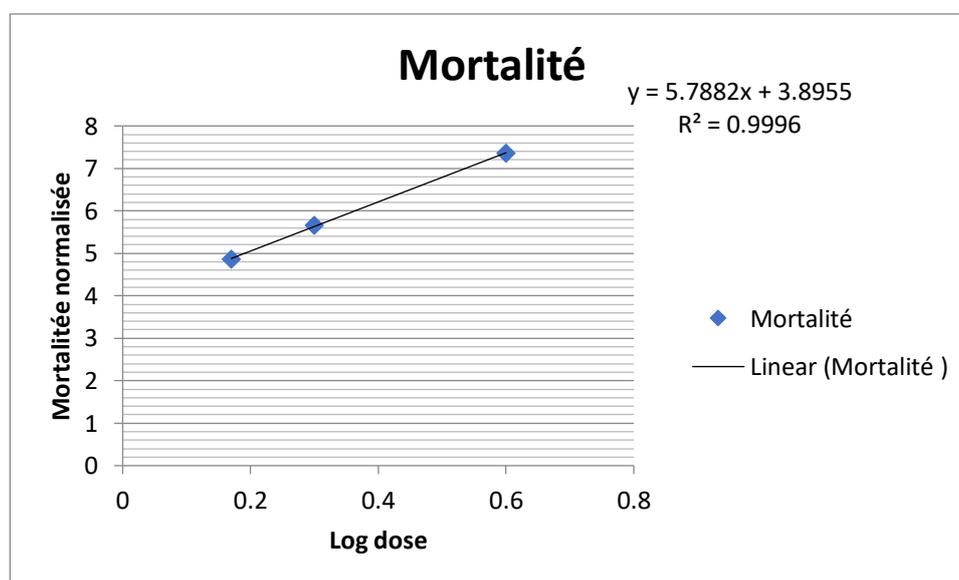


Figure 36. Courbe de régression après 8 jours du traitement des chenilles à l'huile de pin laricio

1-3- Étude de la variance des taux de mortalité des chenilles traitées à l'huile de pin lariccio :

Les données des taux de mortalité corrigée du tableau (M= 4,86%, 5,66%, 7,36%) ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification qui révèle un effet concentration très hautement significatif (F= 10,56) (**Tab13**). Le coefficient de détermination ($R^2= 70,51 \%$) révèle une liaison positive très forte entre taux des mortalités et les concentrations testées).

Tableau 13. Variance des taux de mortalité des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de pin lariccio au 8^{ème} jour après traitement.

Source	D F	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	2	4636	2317,8	10,56	0,011	70,51 %
Error	6	1317	219,4			
Total	8	5952	/			

SS : Somme des carrés- ADJ DF : Degré de liberté – ADJ MS : régression-F : Variance observé-P : Niveau de signification -R²: Coefficient de détermination

1-4- Paramètres toxicologique du traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de pin lariccio :

Le traitement toxicologique des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* du 4^{ème} stade larvaire à l'huile de pin lariccio enregistre une équation de régression suivante : $Y= 2,06 x+3,63$ (**Fig35**). Les valeurs des CL 50 et 90 sont de 4,57 et 19,05 et respectivement. Le traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de pin lariccio a enregistré une valeur de R²égale à 93% après 4 jours du traitement (**Tab14**).

En ce qui concerne le traitement des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* du 4^{ème} stade larvaire à l'huile de pin lariccio au 8^{ème} jour, l'équation de régression est la suivante : $Y= 5,79 x+3,89$ (**Fig36**). Les valeurs des CL 50 et 90 sont de 1,54 et 2,57 et respectivement. Le traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de pin lariccio a enregistré une valeur de R²égale à 99% après 8 jours du traitement (**Tab14**).

Tableau14. Paramètres toxicologiques, droite de régression et doses létales du traitement toxicologique au pin de laricio :

L'huile	Exposition	Dose (g/l)	Equation de régression	DL50	DL 90	R ²
Pin laricio	4 jours	1	Y= 2,06 x+3,63	4,57	19,05	93%
		2				
		4				
	8 jours	1	Y= 5,79 x+3,89	1,54	2,57	99%
		2				
		4				

2- Traitement des chenilles à L'huile de Bois de Gaïac (*Bulnesiasarmi*) :

2-1- Après 4 jours du traitement :

-Mortalité observée :

Les taux de mortalité des chenilles du 4^{ème} stade larvaire de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de bois de Gaïac ont enregistré les valeurs moyennes de 10%, 20%, et de 50% pour les concentrations de 2g/l, de 2,5%, et de 3 g/l et cela après 4 jours du traitement (**Tab15**)

Tableau 15. Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de bois de Gaïac, au 4^{ème} jour du traitement.

Concentrations (g/l)	2	2,5	3
R1	10	10	60
R2	10	10	30
R3	10	40	60
Moyenne	10	20	50

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Transformation angulaire des taux de mortalités :

Les taux de mortalité corrigée sont ensuite normalisés pour atteindre les valeurs de 3,72% pour la concentration de 0,3 g/l, la valeur de 4,16% pour la concentration de 0,39 g/l et la valeur de 5% pour la concentration la plus élevée 0,47 g/l de l'huile de bois de gaïac (Tab16)

Tableau 16. Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et logarithme des doses du traitement à l'huile de bois de gaïac au 4^{ème} jour du traitement:

Log Dose	0,3	0,39	0,47
Probit Mortalité	3,72	4,16	5
Moyenne			

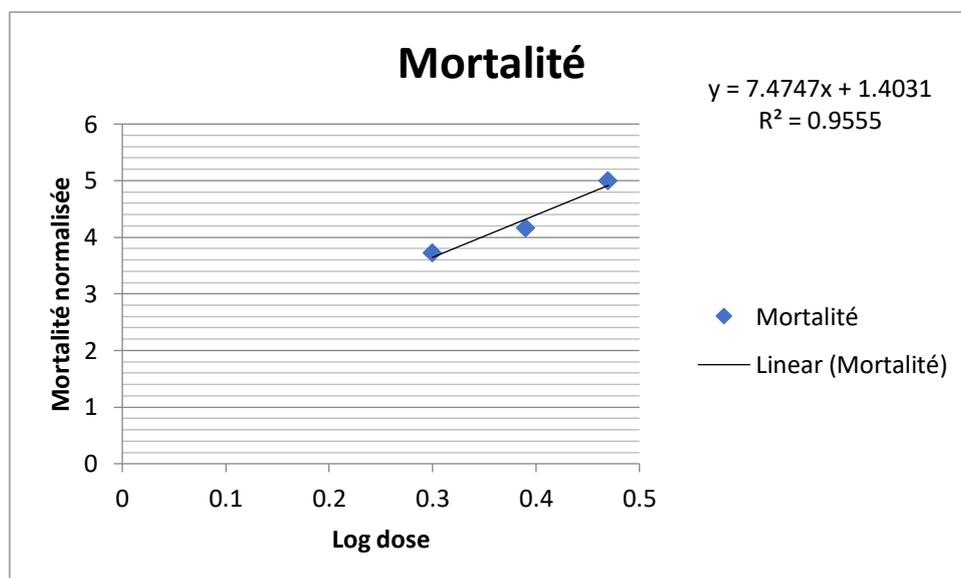


Figure 37. Courbe de régression après 4 jours du traitement des chenilles à l'huile de bois de gaïac

2-2-Après 8 jours du traitement :

-Mortalité observée :

Les taux de mortalité des chenilles du 4^{ème} stade larvaire de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de bois de gaiac, ont enregistrées les valeurs moyennes de 63,34%, 70%, 100% , et pour les concentrations de 2 g/l, de 2,5g/l, et de 3 g/l et cela après 8 jours du traitement (**Tab17**)

Tableau 17. Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de bois de Gaiac, au 8^{ème} jour du traitement.

Concentrations (g/l)	2	2,5	3
R1	60	60	100
R2	70	80	100
R3	60	70	100
Moyenne	63,34	70	100

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Mortalité corrigée :

Les mortalités observées des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de bois de gaiac sont corrigées par la formule d'Abbott, qui montre l'effet réel des différentes concentrations (**Tab18**).

Les valeurs de mortalité corrigée ont atteint 59,25% pour la concentration de 2g/l, 66,66 % pour la concentration de 2,5 g/l, et la valeur de 99,99%, pour la concentration de 3g/l de l'huile de bois de gaiac.

Tableau 18.Taux de Mortalité corrigée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de bois de gaïac, au 8^{ème} jour du traitement.

Concentrations (g/l)	2	2,5	3
R1	55,55	55,55	99,99
R2	66,66	77,77	99,99
R3	55,55	66,66	99,99
Moyenne	59,25	66,66	99,99

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Transformation angulaire des taux de mortalités :

Les taux de mortalité corrigée sont ensuite normalisés pour atteindre les valeurs de 5,25% pour la concentration de 0,3 g/l, la valeur de 5,43% pour la concentration de 0,39 g/l, et la valeur de 7,46% pour la concentration la plus élevée 0,47 g/l de l'huile de bois de gaïac (**Tab19**)

Tableau 19. Transformation angulaire des taux de mortalité et logarithme des doses du traitement à l'huile de bois de gaïac au 8^{ème} jour du traitement:

Log Dose	0,3	0,39	0,47
Probit Mortalité			
Moyenne	5,25	5,43	7,46

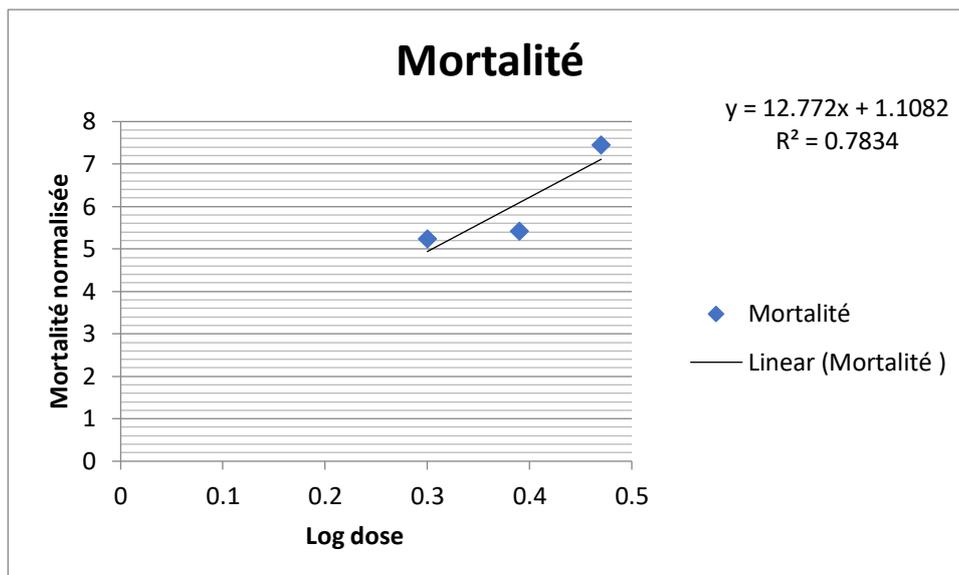


Figure 38. Courbe de régression après 8 jours du traitement des chenilles à l'huile de bois de Gaïac

2-3- Étude de la variance des taux de mortalité des chenilles traitées à l'huile de Bois de gaïac :

Les données des taux de mortalité corrigée du tableau (M=5,25%, 5,43%, 7,46%) ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification qui révèle un effet concentration très hautement significatif ($F= 25,75$) (**Tab20**). Le coefficient de détermination ($R^2= 86, 09 \%$) révèle une liaison positive très forte entre taux des mortalités et les concentrations testées).

Tableau 20. Variance des taux de mortalité des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de Bois de gaiac au 8^{ème} jour après traitement.

Source	D F	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	2	2825,2	1412,61	25,75	0,001	86,09 %
Error	6	329,2	54,86			
Total	8	3154,4	/			

SS : Somme des carrés- **ADJ DF** : Degré de liberté – **ADJ MS** : régression-**F** : Variance observée-**P** : Niveau de signification -**R²**: Coefficient de détermination

2-4- Paramètres toxicologique du traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de bois de Gaïac :

Le traitement toxicologique des chenilles de *Thaumetopoea pityocampadu* 4^{ème} stade larvaire à l'huile de bois de Gaïac enregistre une équation de régression suivante : $Y = 7,47x + 1,40$ (Fig37). Les valeurs des CL 50 et 90 sont de 3,02 et 4,26 et respectivement. Le traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de bois de Gaïac, a enregistré une valeur de R² égale à 99% après 4 jours du traitement (Tab 21).

En ce qui concerne le traitement des chenilles de *Thaumetopoea apityocampadu* 4^{ème} stade larvaire à l'huile de bois de Gaïac au 8^{ème} jour, l'équation de régression est la suivante : $Y = 12,77x + 1,11$ (Fig38). Les valeurs des CL 50 et 90 sont de 1,2 et 2,51 et respectivement. Le traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de bois de Gaïac a enregistré une valeur de R² égale à 75% après 8 jours du traitement (Tab21)

Tableau 21. Paramètres toxicologiques, droite de régression et doses létales du traitement toxicologique à l'huile de bois de Gaïac :

L'huile	Exposition	Dose (g/l)	Equation de régression	DL5	DL 90	R ²
Bois de gaïac	4 jours	2	$Y = 7,47x + 1,40$	3,02	4,26	99 %
		2,5				
		3				
	8 jours	2	$Y = 12,77x + 1,11$	1,2	2,51	75 %
		2,5				
		3				

3- Traitement des chenilles à L'huile de cyprès : *Cupressus semperviens*

3-1- Après 4 jours du traitement :

-Mortalité observée :

Les taux de mortalité des chenilles du 4^{ème} stade larvaire de *Thaumetopoea*

pityocampa traitées à l'huile de cyprès ont enregistrées les valeurs moyennes de 13,34%, de 20%, et de 30% pour les concentrations de 0,75 g/l, de 1,5g/l, et de 3g/l et cela après 4 jours du traitement (**Tab 22**)

Tableau22. Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de cyprès, au 4^{ème} jour du traitement.

Concentrations (g/l)	0,75	1,5	3
R1	0	10	40
R2	20	30	30
R3	20	20	20
Moyenne	13,34	20	30

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Transformation angulaire des taux de mortalités :

Les taux de mortalité corrigée sont ensuite normalisés pour atteindre la valeur de 3,89% pour la concentration de -0,12 g/l, la valeur de 4,16% pour la concentration de 0,14g/l, et la valeur de 4,48% pour la concentration la plus élevée 0,48 g/l de l'huile de Cyprès (**Tab23**)

Tableau 23. Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles et logarithme des doses du traitement à l'huile de cyprès au 4^{ème} jour du traitement:

Log Dose	-0,12	0,14	0,47
Probit Mortalité	3,89	4,16	4,48
Moyenne			

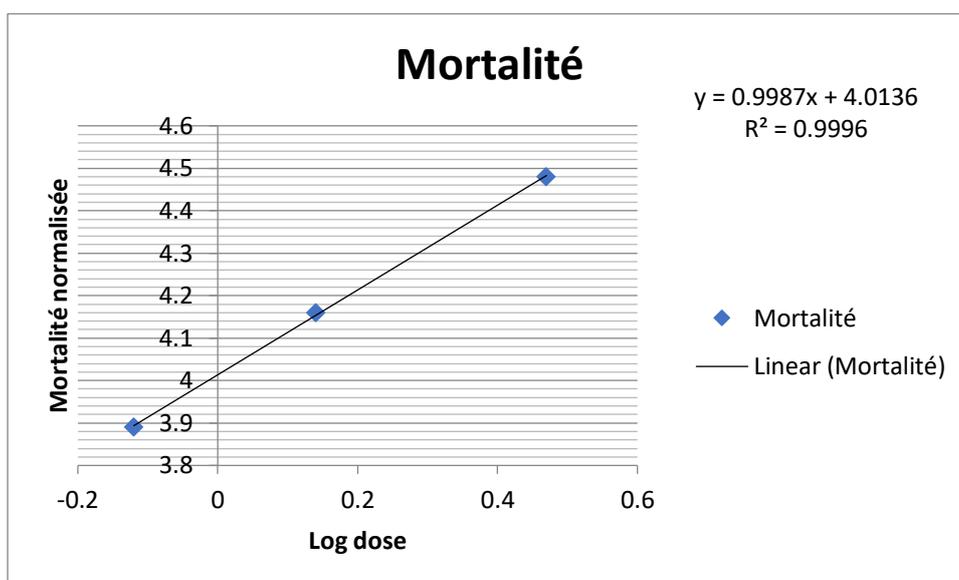


Figure 39. Courbe de régression après 4 jours du traitement des chenilles à l'huile de cyprès

3-2-Après 8 jours du traitement :

-Mortalité observée

Les taux de mortalité des chenilles du 4^{ème} stade larvaire de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de cyprès, ont enregistrées les valeurs moyennes de 46,67%, de 76,67%, et de 96,67%, pour les concentrations de 0,7 g/l, de 1,5g/l, et de 3 g/l et cela après 8 jours du traitement (**Tab23**)

Tableau 24. Taux de Mortalité observée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de cyprès, au 8^{ème} jour du traitement.

Concentrations (g/l)	0,75	1,5	3
R1	60	80	100
R2	50	90	100
R3	30	60	90
Moyenne	46,67	76,67	96,67

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Mortalité corrigée :

Les mortalités observées des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de cyprès sont corrigées par la formule d'Abbott, qui montre l'effet réel des différentes concentrations (**Tab25**). Les valeurs de mortalité corrigée ont atteint 40,74% pour la concentration de 0,75g/l, la valeur de 74,07% pour la concentration de 1,5g/l et la valeur de 96,29% pour la concentration de 3g/l de l'huile de cyprès.

Tableau 25. Taux de Mortalité corrigée sur les chenilles processionnaires du pin traitées à l'huile de cyprès, au 8^{ème} jour du traitement

Concentrations (g/l)	0,75	1,5	3
R1	55,55	77,77	99,99
R2	44,44	88,88	99,99
R3	22,22	55,55	88,88
Moyenne	40,74	74,07	96,29

R1, R2, R3 : Répétition pour les taux de mortalité

-Transformation angulaire des taux de mortalités :

Les taux de mortalité corrigée sont ensuite normalisés pour atteindre la valeur de 4,76%, pour la concentration de -0,12g/l, la valeur de 5,53% pour la concentration de 0,14g/l, et la valeur de 6,79% pour la concentration la plus élevée 0,47 g/l de l'huile de cyprès (**Tab26**)

Tableau 26. Transformation angulaire des taux de mortalité des chenilles processionnaires du pin et log des doses du traitement à l'huile de cyprès au 8^{ème} jour du traitement:

Log Dose	-0,12	0,14	0,47
Probit Mortalité	4,76	5,53	6,79
Moyenne			

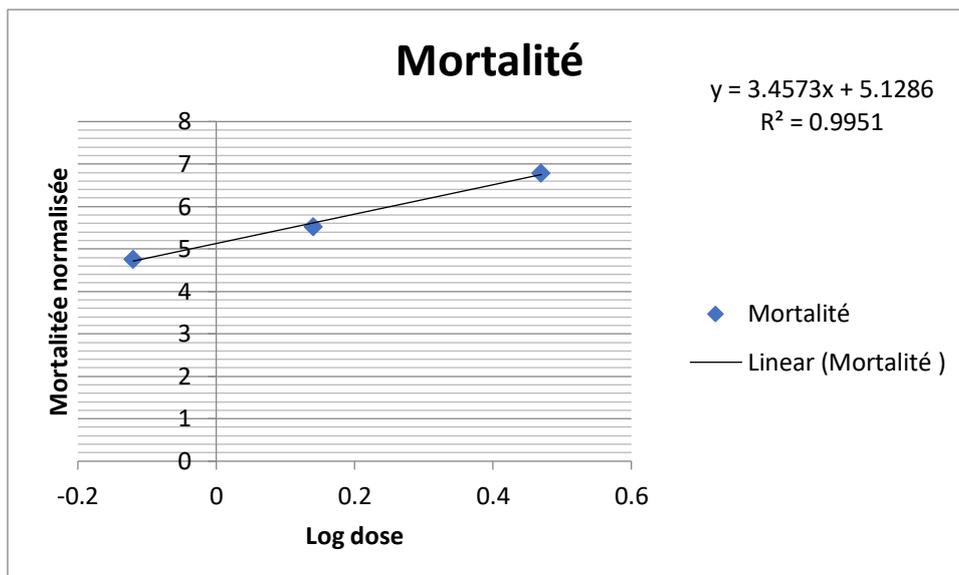


Figure 40. Courbe de régression après 8 jours du traitement des chenilles à l'huile de cyprès.

3-3-Étude de la variance des taux de mortalité des chenilles traitées à l'huile de cyprès :

Les données des taux de mortalité corrigée du tableau (M= 4,76%, 5,53%, 6,79%) ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification qui révèle un effet concentration très hautement significatif (F= 11,40) (**Tab27**). Le coefficient de détermination ($R^2= 72, 22 \%$) révèle une liaison positive très forte entre taux des mortalités et les concentrations testées).

Tableau 27. Variance des taux de mortalité des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées à l'huile de cyprès au 8^{ème} jour après traitement

Source	D F	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	2	4690	2345, 2	11,40	0,009	72,22 %
Error	6	1234	205,7			
Total	8	5925	/			

SS : Somme des carrés- **ADJ DF** : Degré de liberté – **ADJ MS** : régression-**F** : Variance observée-**P** : Niveau de signification -**R²**: Coefficient de détermination

3-4- Paramètres toxicologique du traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de cyprès

Le traitement toxicologique des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* du 4^{ème} stade larvaire à l'huile de cyprès enregistre une équation de régression suivante : $Y = 0,99x + 4,01$ (**Fig39**). Les valeurs des CL 50 et 90 sont de 195 et 2,13 et respectivement. Le traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de cyprès, a enregistré une valeur de R^2 égale à 99% après 4 jours du traitement (**Tab28**).

En ce qui concerne le traitement des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* du 4^{ème} stade larvaire à l'huile de cyprès au 8^{ème} jour, l'équation de régression est la suivante : $Y = 3,46x + 5,13$ (**Fig40**). Les valeurs des CL 50 et 90 sont de 10 et 0,93 et respectivement. Le traitement des chenilles processionnaire du pin à l'huile de cyprès a enregistré une valeur de R^2 égale à 99% après 8 jours du traitement (**Tab28**).

Tableau 28. Paramètres toxicologiques, droite de régression et doses létales du traitement toxicologique à l'huile de cyprès :

L'huile	Exposition	Dose (g/l)	Equation de régression	DL50	DL 90	R ²
Cyprès	4 jours	0,75	$Y = 0,99x + 4,01$	10	0,93	99%
		1,5				
		3				
	8 jours	0,75	$Y = 3,46x + 5,13$	195	2,13	99%
		1,5				
		3				

Discussion

IV-Discussion

La forêt est un écosystème complexe qui englobe une grande diversité d'espèces animales et végétales. Cette surface est menacée par plusieurs facteurs naturels ou humains. Parmi ces facteurs on peut citer les insectes ravageurs qui participent à long terme à la disparition totale de plusieurs forêts dans le monde (**Djehiche et Menar 2020**).

Les insectes défoliateurs causent des épidémies à grande échelle. Qu'ils soient permanents ou cycliques, ils peuvent endommager la productivité des forêts. Contrairement à certains ravageurs qui engendrent la mort systématique de l'arbre hôte, les dégâts des insectes défoliateurs sont plus difficiles à être maîtrisés dans l'environnement (**Vepakomma et al., 2017**).

Le mécanisme de défoliation et son effet sur la croissance et la productivité des arbres reste moins compris. Les processus écophysologiques issus de ces défoliations sont interprétés, par une simple réduction de la photosynthèse, un affaiblissement de l'arbre observé après plusieurs années d'attaque, et une disparition totale des forêts à long terme (**Jacteletal., 2011**).

Ces ravageurs développent beaucoup de comportements adaptatifs sur les plantes hôtes. Le principal est le comportement alimentaire de l'insecte connu par sa diversité, ce qui fait de l'insecte, une espèce polyphage (**Denis et Schiffermüller., 1775**). Ces défoliations peuvent à long terme causer la mortalité totale des arbres ou la disparition complète des forêts comme effet à grande échelle en raison des défoliations successives (**Hodaret al., 2003., Jalbert, 2015**).

Depuis les ennemis naturels de la forêt algérienne, la chenille processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa*, semble être le principal insecte défoliateur de plusieurs espèces de pin et du cèdre dans le pourtour méditerranéen (**Robinet et al., 2011**), son aire de répartition est en synchronisation avec l'évolution du climat. On se nourrissant sur les

aiguilles fraîches, les chenilles entraînent une défoliation souvent totale de l'arbre (**DGF. 2004**).

La chenille processionnaire du pin à développement hivernal, *Thaumetopoea pityocampa* connue depuis l'Antiquité pour son mode de déplacement en file indienne, provoque des dégâts forestiers considérables, pouvant aller jusqu'à la modification du paysage et engendrer d'importantes pertes économiques. Elle est également responsable d'atteintes médicales chez les Hommes et les animaux par l'intermédiaire de ses poils urticants (**Chakali, 2011**).

Le cycle de vie de l'insecte est annuel, il commence par les œufs et se termine par les adultes, en passant par cinq stades larvaires et la nymphose (**Martin, 2005**). La durée de la nymphose est variable, elle est en fait le complément exact de la durée totale d'évolution nécessaire pour assurer le maintien du rythme annuel ; ce qui indique que plus la durée d'évolution est courte (régions à hiver chaud), plus la nymphose est longue. Ce qui se traduit généralement par une émergence tardive ou précoce des adultes, et ce qui accorde à l'insecte une plasticité écologique qui lui permet de s'adapter aux variations climatiques interannuelle et spatiale (**Sbabdji, 2011**).

Les dégâts de la chenille processionnaire du pin sont à la fois économiques, écologiques et sanitaires. Ses défoliations sont de plus en plus remarquables dans les grandes forêts et les jeunes reboisements de pin et de cèdre (**Battisti 1988., Carus 2004., Raymond 2009., Jactel et al., 2012**). La présence des nids dans les plantations des forêts de production, des parcs et des jardins publics, est de plus en plus gênante et aurait même causé la migration d'autres espèces cohabitantes (**Rivière 2011**). C'est également un problème de santé publique qui peut développer des réactions allergiques chez l'être humain et les animaux (**Martin et Jambois 2016**).

A cause de ses poils urticants, la chenille processionnaire du pin occasionne des allergies pouvant causer des lésions cutanées et oculaires, et plus rarement, des détresses ou insuffisances respiratoires et des réactions anaphylactiques, ainsi que des atteintes buccales marquées chez les animaux (**Rivière 2011**).

L'utilisation des insecticides à base de plante est devenue plus intéressante que celle de nature chimique. Les insecticides naturels sont obtenus à partir des ressources renouvelables et rapidement dégradables. En effet la résistance habituellement développée par les insectes vis à vis des substances est un processus lent, sans oublier que leur effet sur la nature est neutre. Car ce sont des molécules biodégradables, moins nocive pour l'environnement **(Georgis et Gaugler, 1991., Lambert 2010., Dibartolomels et al., 2019).**

Nous nous sommes intéressés dans notre travail à l'évaluation de l'effet de trois molécules biologiques sur les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* du 4ème stade larvaire à savoir ; le pin laricio (*Pinus Lariccio*), le cyprès (*Cupressus semperviens*), et le bois de gaïac (*Bulnesia sarmienti*). Nous avons également estimé les doses létales 50 et 90 après 4 et 8 jours du traitement.

Nos résultats ont montré un bon effet insecticide des trois molécules testées. Concernant l'huile du pin laricio, la mortalité enregistrée après 4 jours du traitement est (de 13,34 % , de 30%, et de 43,34%). Ces taux ont augmenté pour atteindre les moyennes (de 46,67% , de 76,67%, et de 96,67%) après 8 jours du traitement et cela pour les doses (de 1g/l, de 2g/l, et de 4g/l),de l'huile du pin laricio. La variance des taux de mortalité a indiqué une bonne corrélation entre les taux mortalité et les doses utilisées. La valeur de F est de (10,56) et le coefficient de détermination R^2 est de (70,51%)

Kechroud (2012) a étudié l'effet insecticide de l'huile essentielle de pin laricio sur les ravageurs des denrées stockées. Les résultats ont mis en évidence un effet toxique important de l'huile du pin lariccio sur ces ravageurs pour les deux types de test : de contact et d'inhalation ainsi qu'un effet répulsif très marquant.

Le pin lariccio est une espèce hôte pour la chenille processionnaire du pin, l'insecte peut se nourrir sur ses aiguilles durant le stade laraire. La plante quand à elle a développé des mécanismes de résistance contre l'insecte ravageur. Ces propriétés sont traduites par des effets toxiques des extraits ou des huiles essentielles du pin laricio, utilisés contre les insectes ravageurs qui le considèrent comme plante hôte.

En ce qui concerne l'huile de cyprès, l'équation de régression enregistrée après 8 jours du traitement est la suivante $y=3,457x+5,128$. Les doses létales estimées pour le traitement toxicologiques des chenilles sont de DL 50% (5) et de DL 90% (6,28) et cela à la fin de traitement.

Dahah (2020) a étudié l'effet antifongique de l'huile essentielle de cyprès sur colletotrichum agent de l'anthracnose de tomate, Les résultats obtenus ont montré que l'huile essentielle de cyprès a présenté une activité antifongique notable contre l'insecte.

Une autre étude de l'effet de la poudre de *Cupressus lucitanica*, a été réalisée afin de déterminer leur efficacité dans la conservation du maïs et du haricot. Les résultats de cette étude ont indiqué une efficacité de la poudre de *C. lucitanica* pour la conservation du maïs avec un taux d'infection moins élevé (Kaloma et al., 2008).

L'extrait méthanolique de *Cupressus sempiverens* a été étudié dans le domaine médicale pour des activités puissantes contre l'hépatotoxicité par rapport à l'auto-récupération hépatique et peut donc être utile dans le traitement et la récupération en toute sécurité des troubles hépatiques (Rizk et al., 2007)

Enfin pour le traitement des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* à l'huile du bois de Gaïac, les résultats de la mortalité enregistrée sont (de 60%, de 70%, et de 100%) pour les doses (de 2g/l, de 2,5g/l, et de 3g/l) et cela après 8 jours du traitement.

L'huile essentielle hydrodistillée obtenue à partir de *Bulnesiasarmi* (Bois de Gaïac) est analysée par GC/MS dans les travaux de Pegard (2015), D'après l'auteur, quatorze composés, représentant 83,09% de l'huile essentielle, ont été identifiées. Une fraction rectifiée de cette huile est débarrassée des composés de tête et de queue pour raisons olfactives. Les principaux constituants de l'huile sont le bulnesol (36-44%) et le guaiol (27- 34 %). D'après l'auteur aussi, l'huile a présenté une activité antimicrobienne significative contre les bactéries de souche Gram+

Beaucoup de travaux ont fait l'objet de l'étude toxicologique des chenilles processionnaires du pin et cela en utilisant des molécules biologiques. Parmi ces travaux, nous pouvons citer l'étude de Kesdek et al., (2014), qui ont évalué l'effet de 6 huiles essentielles sur les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* du 2^{ème} et du 3^{ème} stade larvaire à savoir (*Achilleawilhelmsii*), (*Nepeta meyeri*), (*Saturejahortensis*), (*Origanumonites*), (*O. rotundifolium*), et (*Tanacetumargyrophyllum*). Les auteurs ont montré que l'espèce qui a enregistré un effet larvicide meilleur est *T. argyrophyllum*.

Hiour et al., (2021), ont étudié l'effet de l'extrait aqueux de Basilic sur les Chenilles de *T. pityocampa*. Leurs résultats ont montré une efficacité remarquable de l'extrait contre les larves. Les doses létales (DL 50% et DL 90%) enregistrées sont de 1,14g/l et de 1,54 g/l, à la fin du traitement et cela pour les doses les plus élevées.

Kanat et Alma (2003) ont également noté que l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* est très efficace contre les larves de *Thaumetopoea pityocampa*. et que la sensibilité des chenilles augmente avec l'augmentation de la concentration utilisée (25, 50, et 100%), et du temps d'exposition à l'insecticide.

Plusieurs extraits de différentes plantes sont testés vis-à-vis des chenilles processionnaires dans le cadre de la lutte biologique contre l'insecte ravageur. Bachir et al., (2017) ont montré que les larves de *Thaumetopoea pityocampa* des différents stades larvaires traitées aux extraits des feuilles de *Juniperus oxycedrus* et de *Juniperus phoenicea* à différentes concentrations, ont présenté des taux de mortalité importantes (56,2±0,38% et 54,4±0,62%).

Les taux de mortalité enregistré pour le traitement des chenilles à l'extrait d'Eucalyptus sont importante pour les doses les plus élevées (Une mortalité de 100% pour la population testée pour la dose de 6 g/l et cela après seulement 5 jours du traitement (Kriout et al., 2021)

Batisti et al.,(1998) ont indiqué l'efficacité de la lutte contre les chenilles processionnaires du pin dans les pinèdes de l'Italie du centre par le *Bacillus thuringiensis*. Les auteurs ont

montré que les larves du 2^{ème} stade larvaire, traitées sur les arbres du pin à une dose de 20 BIU/ha, ont développé une mortalité variée entre (20-85%) durant tout le traitement.

Les travaux de Roversi (2008) ont également mentionné la possibilité du contrôle de l'effet de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* dans les forêts de pins en Turquie, en utilisant le *Bacillus thuringiensis*. D'après l'auteur, la mortalité des chenilles traitées sur terrain a atteint entre (75.05% à 96.42%) après 13 jours de traitement.

Les trois molécules utilisées, l'huile essentielle de pin laricio, l'huile essentielle de cyprès, et l'huile essentielle de bois de gaïac ont un bon effet contre les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa*, avec une efficacité supérieure du cyprès. Nous concluons à travers cette étude que l'utilisation des huiles essentielles a un effet positif sur la nature en général et sur les pins d'Alep en particulier ; Et à partir de là, nous pouvons dire que l'utilisation des huiles contribue à protéger les pins des dommages qui leur sont causés.

Conclusion

V-Conclusion :

Thaumetopoea pityocampa est l'un des importants insectes ravageurs des pinèdes en Algérie, dans la région méditerranéenne et en Europe centrale. Ce ravageur est responsable de plusieurs dégâts naturels et humains ces dernières années. En effet, en étant une espèce polyphage, la chenille peut se nourrir pendant son stade larvaire sur plusieurs espèces de pin ou de cèdre. L'affaiblissement des forêts peut réduire leur résistance contre d'autres ennemis des forêts, des incendies, ou des conditions de sécheresse. L'arbre se trouve affaibli et est donc plus vulnérable aux attaques d'autres ravageurs.

Les chenilles processionnaires du pin *Thaumetopoea pityocampa* est un lépidoptère, son cycle de vie est annuel, il se décompose en trois phases successives: la phase adulte caractérisée lors de la durée de l'envol des papillons, la phase larvaire qui comprend cinq stades du L1 à L5, et la phase nymphale qui correspond à la transformation des chenilles en chrysalides.

Le ravageur présente au cours de l'année une phase de pullulation qui entraîne une défoliation complète des arbres. En dehors de cette phase de pullulation, la population est maintenue à un niveau bas avec des générations qui se chevauchent de façon continue. Le niveau de population reste important d'une année à l'autre, si l'on s'en tient à l'importance de la défoliation et indépendamment des fluctuations possibles de la valeur absolue de la population et observée à chaque saison.

L'objectif de ce travail était d'étudier l'effet toxicologique de trois molécules de huiles essentielles (huile essentielle de cyprès, huile essentielle de pin laricio, huile essentielle de bois de gaïac) sur les larves de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*.

L'intérêt de ce travail est de tester la résistance des chenilles de pin, prélevées dans la forêt de ferdoua à sidi marouane, au niveau de la région de mila vis-à-vis des huiles essentielles aux doses suivantes : l'huile essentielle de pin laricio aux doses utilisées (1g /l, 2g/l, 4g/l), l'huile essentielle de cyprès aux doses utilisées (0,75g/l, 1,5g/l, 3g/l), et enfin l'huile essentielle de bois de gaïac aux doses utilisées (2g/l, 2,5g/l, 3g/l).

Les résultats obtenus ont montré un bon effet larvicide des trois molécules utilisées contre toutes les populations testées de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*). Nos résultats ont également montré que le cyprès est l'espèce qui a montré l'effet le plus important dans le traitement toxicologique contre les larves du L4.

Nous concluons que la lutte biologique par les huiles essentielles est considérée parmi les meilleurs moyens pour lutter contre les insectes ravageurs et que ce traitement peut diminuer leurs effets à long terme et pour protéger la nature par conséquent.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques :

A

Abdelli et moali D., 1996 : Contribution à l'étude biosystématique du pin laricio du Maghreb (*Pinus laricio* Arn. ssp. *mauretanica*) : Rif et Djurdjura. Mém. Ing. Agr. U.M.M.T.O. (Algérie).

Abdelli D., 2002. Contribution à l'étude de la variabilité morphologique et anatomique chez quelques provenances du Pin laricio de la méditerranée occidentale : *Pinus laricio* Arnold. Mém. Mag.Int. D'agronomie. Spécialité : foresterie.Univ.T.O.155P.

Abgrall F.F., Soutrenon A., Barthod C., 1990. Guide technique du forestière méditerranéen, chapitre 5: « protection sanitaire » ; 100 p.

Afnor (Association Française de Normalisation), 2000. Recueil des normes françaises "huiles essentielles". Monographies relatives aux huiles essentielles. AFNOR, Paris.

Al-Snafi A.E., 2016. Medical importance of *Cupressus sempervirens*- A review. IOSR Journal Of Pharmacy, 6(6) : 66-76.

Anonyme01:<https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/1987/pinlaricio#:~:text=Le%20pin%20laricio%20est%20une,sur%20sol%20siliceux%20ou%20calcaire.>

Anonyme 02: <https://www.google.com/maps/@36.5085441,6.2522341,11z>

Anonyme 03 : <https://www.aroma-zone.com/tous-nos-produits.html>

Aouati A., 2016. Etude de la toxicité de certaines plantes sur les larves de culex pipiens (Diptera, Culicidae). These université Mentouri, p 150

Arctander S. Perfume and flavor materials of natural origin; Arctander, S.: Elizabeth, New Jersey (USA), 1960.

Aribi N, Soltani N, 1988, Etude d'un ravageur des forêts : *Thaumetopoea pityocampa* schiff lepidoptera. Thèse de doctorat, Université Badji mokhtar, Annaba Algérie

Arnaldo. P.S., Chacim. S., et Lopes. D. (2010). Effects of defoliation by the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* on biomass growth of young stands of *Pinus pinaster* in northern Portugal. *Forest Biogeosciences and Forestry*, **3**:159-162.

Asmani A., 1988 : Etude biosystématique du pin laricio de Djurdjura (*Pinus laricio* Arnold subsp. *clusiana* Clem. Var. *mauretanica* Maire & Peyer). thèse Ing. Agr. Inst. D'agronomie T.O. 105 p.

B

Baser K.H.C and Buchbauer G., 2010-Essential oils. Science, technology, and applications, International Standard Book (CRC Press). ISBN 978-1-4200-6315-8. Number: 978-1-4200-6315-8

Battisti A., 1988-Host-plant relationships and population dynamics of the Pine Processionary Caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermiiller). *J. Appl. Ent*, 105 :393-402.

Battisti, M. Stastny, S. Netherer, C. Robinet, A. Schopf, A. Roques, S. Larsson, 2005: Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures, *Ecol. Appl.* 15 (6) (2005) 2084–2096.

Bazizi M., 2016- Extraction d'huile essentielle de l'espèce Végétale (*Salvia officinalis* L.) par hydrodistillation : Caractérisation physicochimique et modélisation paramétrique. Thèse université Badji Mokhtar. Annaba, p 96.

Becker M., Picard J. F., Tibai J., 1982. “ la rousse des arbres de arbustes de l'Europe Occidentale ”, Ed : Larousse, Paris, p 330.

Belaiche P. (1979) - Traité de phytothérapie et d'aromathérapie. Tome 1 : l'aromatogramme .éd. Maloine. Paris.

Belkacemi O., et Mokhtari A., 2019. L'effet insecticide des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L et *Artemisia herba-alba* A sur *Aphis fabae*. Mémoire Master en Protection des végétaux. Univ Akli Mouhand Oulhadj Bouira., p (15-16).

Belaissaoui M Ch., Habitouche F., Diafat A. (2017). Etude de quelques paramètres bioécologiques de l'chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller, 1775). Mémoire du master.

Bendjilali B., Richard H., Liddle P. 1984. Chémotypes d'armoise blanche du Maroc, congrès international de la société italienne de phyto-chimie, 131-151 p.

Benouali D., 2016-Extraction et identification des huiles essentielles. Thèse Université Mohammed Boudiaf. Oran. P 185.

Boukhris.M. et al., 2012. Chemical composition and biological potential of essential oil from Tunisian *Cupressus sempervirens* L. J. Arid Land Stud. P329.

Bonnet C., Martin J.C., 2008. Les moyens de lutte disponibles et à venir en milieu forestier et urbain. In : Colloque Insectes et changement climatique. [en ligne] Micropolis, Aveyron. France

Bouchou, M. L., 2015 "Les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff et leur importance dans quelques peuplements de pin et de cèdre du Nord de l'Algérie."

Bouyahyaoui A., 2017. Contribution à la valorisation des substances naturelles : Etude des huiles essentielles des cupressacées de la région de l'Atlas algérien. Thèse Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences biologique. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, 89p.

Brofas G., Karetos G., Dimopoulos P., Tsagari C., 2006. The natural environment of *Cupressus sempervirens* in Greece as a basis for its use in the Mediterranean region. Land Degrad. Develop., 17 : 645–659.

Bruneton J., 1999. phytochimie, plantes médicinales, Ed. Technologie et documentation.

Butterfield D.A and Lauderbaack C.M., 2002- Lipid peroxidation and protein oxidation in Alzheimer's disease brain : Potential causes and consequences involving amyloid peptide-associated free radical oxidative stress. Free Radical Biology & Medicine, Vol. 32(11): 1050-2002.

C

Cachet T., Brevard H., Chaintreau A., Demyttenaere J., French L., Gassenmeier K., Joulain D., Koenig T., Leijts H., Liddle P., Loesing G., Marchant M., Merle P., Saito K., Schippa C., Sekiya F., Smith T., IOFI recommended practice for the use of predicted relative-response factors for the rapid quantification of volatile flavouring compounds by GC–FID, *Flavour Fragr. J.*, **2016, *31*, 191.**

Camus.A., 1914. Les cyprès (Genre Cupressus) : monographie systématique anatomie-culture-principaux usage. Paris. P9.

Cardil, U. Vepakomma, L. Brotons., 2017 : Assessing pine processionary moth defoliation using unmanned aerial systems, *Forests* 8 (2017) 1–13

Carus S., 2004- Impact of Defoliation by the Pine Processionary Moth (*Thaumetopoea pityocampa*) on Radial, Height and Volume Growth of Calabrian Pine (*Pinus brutia*) Trees in Turkey. *Phytoparasitica* 32(5):459-469.

Chakali G ,2011. Processionary Moths and Climate Change. Alain Roques Editor An Update p 42

Chakali G. (2014). Processionary Moths and Climate Change. *Alain Roques Editor An Update* 42p.

Chakou M. et Bassou K.(2007) : Efficacité antibactériennes et antifongiques des huiles essentielles obtenues par extraction de la menthe verte *Mentha Spicata* Lisdue de la région de Ouargla sur quelques germes pathogènes. *Ecoli, Pseudomona saeroginosa. Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis* et *Candida albicans*. Mémoire de DES microbiologie. Université de KasdiMerbah Ouargla P.14-27.

Chararas C., 1974. La pression osmotique des essences forestières et rapports avec l'installation des insectes Xylophages. Ed. Gauthier-Villars, 218 p.

Chenchouni, K. Zanati, A. Rezougui, A. Briki, A. Arar . , 2010: Population pheromone trapping at the southern limit of distribution of *Pinus halepensis* in Eastern Algeria, *Forest. Sci. Technol.* 6 (2) (2010) 67–79.

Cheraief I., Ben Jannet H., Ben Jannet M., Ben Jannet S., 2006. "Composition chimique de l'huile essentielle des cônes du *Cupressus sempervirens*. L." Poussant en Tunisie, Journal de la société Algérienne de chimie, 16 (1) : 91-98.

Chinery M.(1988). Insectes d'Europe occidentale. Ed: Arthaud.

Colborn, T. (2006). A case for revisiting the safety of pesticides: a closer look at neurodevelopment. *Environ. Health. Perspect.*, 114: 10-17.

Costa, L.G., Aschner, M., Vitalone, A., Syversen, T., & Soldin, O.P. (2004). Developmental neuropathology of environmental agents. *Annu Rev Pharmacol Toxicol.*, 44: 87-110.

D

Dajoz. R., 1980. Ecologie des Insectes forestiers. Collection «Ecologie fondamentale et appliquée».

Dajoz R.(1998). Les insectes et la forêt. ed. Lavoisier Tec& Doc. 594 p. Paris.

Dehak D.K., 2013-Méthodes d'extraction et de séparation des substances naturelles. Cours de chimie et Analyse physicochimique et réactivité des espèces moléculaire. Université KASDI Merbah. Ouargla, pp 13.

Demoli N G. (1962). Comportement des Adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff . C.R. *Acad. Sci. Paris*, 255 : 2838-2839pp.

Demolin G., Delmas J.C., 1967. Les éhippigères, orthoptères tettigonidae, prédateurs occasionnels mais importants de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Entomophaga*, n", pp.399-401.

Demolin, G. (1969b). Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Annales des Sciences Forestières* 26 : 81–102.

Demolin G., Millet A.(1983). Le dimilin utilisé à trois doses sur la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Rev. For. Fr.* [en-ligne] **35(2)** 107-111. [<http://documents.irevues.inist.fr>] (consulté le 10 Mars 2011).

Demolin D., 1988. « Some problems of phonological reconstruction in Central Sudanic. » In *Belgian Journal of Linguistics*, 3, p. 53-9.

Den Hond, E. et Schoeters, G. (2006). Endocrine disrupters and human puberty. *Int J Androl.*, 29: 264-271.

Denis et Schiffermüller.(1775). Systematisches Verzeichnis der Schmetterlinge der Wienergegend. Wien : Bernardi, 343 p.

Degryse A., Delpa L., Voinier M. (2008): Risque et bénéfices possibles des huiles essentielles. Ingénieure du Génie Sanitaire, atelière santé environnement.

Deschepper R, 2017. Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. Thèse de doctorat en pharmacie. Univ Aix Marseille., p (14-110).

DGF, 2004 : Secteur de la direction générale des forêts algérienne.

DiBartolomeis M., Kegley S., Mineau P., Radford R., Klein K., 2019- An assessment of acute insecticide toxicity loading (AITL) of chemical pesticides used on agricultural land in the United States. *PLoS ONE*, 14(8): 22-29.

Djehiche et Menar., 2020 : Etude de l'abondance des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin « *Thaumetopoea pityocampa* » dans plusieurs forêts du Nord- Est algérien. Effet du traitement toxicologique sur la formule hématocytaire des chenilles.

Dugo G and Di Giacoma A., 2002- Citrus. Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles. Volume 26. *British Library Catalogue in Publication Data* A catalogue record for this book is available from the British Library, p 656.

E

Edris E.A., 2007-Pharmaceutical and Therapeutic Potentials of Essential Oils and Their Individual Volatile Constituents: A Review. *Phytother. Res.*, pp : 2-17.

Elkoli M., 2016- Structure et Activités des substances naturelles : Principes et applications : Cours de microbiologie Master II : Université Ferhat Abbas. Sétif, pp70.

El Sayed M.S., Dunbat D.C., Perry T.L., 1997. Marine natural products as prototype insecticidal agents. *Journal of agricultural and food chemistry* 45 (7), 2735-2739. ACS publications

Englebin M . (2011) : Essences et huiles essentielles : précaution d'emplois et conseils d'utilisation .Centre formation en aromathérapie.

Eriksson, P., Ahlbom, J. & Fredriksson, A. (1992). Exposure to DDT during a defined period in neonatal life induces permanent changes in brain muscarinic receptors and behaviour in adult mice. *Brain Res.*, 582: 277-281.

F

Fabian D., Sabol M, Domaracka K and Bujkackova D., 2006- Essential oils—their antimicrobial activity against *Escherichia coli* and effect on intestinal cell viability. *Toxicology in Vitro* 20 : 1435–1445.

G

Gardiner E.M.M and Strand M.R., 1999- Monoclonal antibodies bind distinct classes of hemocytes in the moth *Pseudoplusia includens*. *Journal of Insect Physiology* 45 : 113–126.

Gakuru S. et Foua.BI K.(1996). *Effet d'extraits de plantes sur le bruche du niébé* *Coltosobructius maculatus* Fab. Et le charançon du riz *Sitophilus orizae* L. *Cahiers Agriculture; vol. 5. T 1, pp.39.42.*

Georgis R., Gaugler R., 1991- Predictability in biological control using Entomopathogenic nematodes. *J. Econ. Entomol*, 84 (03): 710-720.

Gubb.A., 1913. La flore algérienne : naturel et acquise. Adolphe Jourdan. Alger.P102.

Guerrero A., Camps F., CollJ.et Riba M., 1981. Identification of a potential sex pheromone of the processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae). *Tetrahedron Lett.* 22 (21): 2013-2016.

Guignard J.L. (2000) – végétale. 2ème Ed. De l'abrégé Dunod, Paris, pp.177-185 Biochimie.

Glitho I.A . (2002) . Annexe post récolte des biopesticides en Afrique. In Regnault –Roger C., Philogène BJR,

Glitho I.A., Ketoh KG. et Koumaglo H.K.(1997). *Effets de quelques huiles essentielles sur l'activité reproductrice de Callosobruchus maculatus* Fab. *Annales de l'Université de O Grandjean, P. et Landrigan, P.J.* (2006). Developmental neurotoxicity of industrial chemicals. *Lancet.*, 368: 2167-2178. *Ouagadougou Série B, Vol. N° 5, pp. 174.185*

H

Habbachi W., 2013- Etude des Blattellidae (Dictyoptera): Essais Toxicologiques, Synergie et Résistance aux Insecticides et aux Biopesticides. Thèse Badji mokhtar. Annaba, p 185.

Hireche B., Ferhat H., 2019. Etude de l'effet inhibiteur des huiles essentielles de Cyprès (*Cupressus Sempervirens*. L) sur la corrosion de l'acier X70 (sans et avec soudure). Mémoire de master. Université Mohamed Khider de Biskra, faculté des sciences exactes et des sciences de la nature, 154p.

Hodar J.A., Castro J., Zamora R., 2003. Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climate warming. *biol. Cons.*, 110 : 123- 129.

Hodar J.A., Zamora R., 2004. Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodiversity And Conservation*, 13: 493-500

Huchon, H and Demolin, G. 1970- La Bioécologie de la processionnaire du Pin. Dispersion potentielle. Dispersion actuelle. *Revue forestière française*, vol. XXII, n° spécial » La lutte biologique en forêt », pp. 220-234.

I

Ishaaya I. & Horowitz A.R. (2007). In focus: IPM using novel insecticides and other approaches. *Pest. Manag. Sci.*, **63**:729.

Ishihara M., Tsuneya T., Uneyama K., Fragrant sesquiterpenes from agarwood, *Phytochemistry*, **1993**, 33, 1147.

Isman M.B. (2005). Problems and opportunities for the commercialization of botanical insecticides. In *Biopesticides of Plant Origin*, ed. C Regnault-Roger, BJR Philogene, C Vincent, Paris. Lavoisier. pp. 91.283.

J

Jacquet J.S., Orazio C and Jactel H., 2012- Defoliation by processionary moth significantly reduces tree growth: a quantitative review. *Annals of Forest Science*. 69:857–866

Jacquet JS, Bosc A, O’Grady AP, Jactel H., 2013 Pine growth response to processionary moth defoliation across a 40- year chronosequence. *Forest Ecology and Management* 293: 29–38

Jactel H., Petit J., DesprezLoustau M.L ., , Delzon S, Piou D., Battisti A., Korichev J.,

2012. Drought effects on damage by forest insects and pathogens: a meta-analysis. *Global*

Change Biology. 18, 267–276

K

Kaloustian J., Chevalier J., Mikai., C., Martino M., 2008. Étude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne. *Phytotherapie* 6 (3):160-164

Kadik B.(1987). Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie : Ecologie, dendrométrie, morphologie. O.P.U., 581 p.

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.

Kim N.S and Lee D.S., 2002- Comparison of different extraction methods for the analysis of fragrances from *Lavandula* species by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, 982 : 31–47.

Krim.N., 2016. Le reboisement de protection de la forêt de Sidi Hamza (Ouled Mimoun) bilan des travaux et résultats acquis. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en foresterie : Aménagement et gestion des forêts. Tlemcen. P5. P

L

Lahlou M, 2004. Essential oils and fragrance compounds: bioactivity and mechanisms of action. *Flavour and Fragrance journal.* 19 (02). P159-165.

Lamarti A., Badoc A., Deffieux G., et Carde J .P. (1994) - Biogénèse des monoterpènes I-localisation et sécrétion. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 133 :69-78

Lamarti A., Badoc A., Deffieux G., et Carde J .P. (1994) - Biogénèse des monoterpènes I-localisation et sécrétion. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 133 :69-78

Larck. J.B., Mirbel.B., 1803.Histoire naturelle des végétaux: classes par familles.Crap LBT. Paris. P28. P29.

Laouer H. (2004) -Inventaire de la flore médicinale utilisée dans les régions de Sétif, de Bejaia, de Msila et de Djelfa, composition et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Ammoidespusilla*et de *Magydari spastinacea*. Thèse de Doctorat d'état, Département de Biologie, Faculté des sciences, UFA de Sétif.

Lagunez-Rivera L. (2006) - Etude de l'extraction de métabolites secondaires de différentes matières végétales en réacteur chauffe par induction thermomagnétique directe. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.

Leblond, A., Martin, J.C., Napoléone, C., Geniaux, G., Robinet, C., Provendier, D., et Gutleben, C. (2010).La processionnaire du pin vue par ses gestionnaires. Une enquête auprès des communes françaisesdonne un nouveau regard sur ce ravageur. *Phytoma*, **633**, 18.23.

Lemoine B., 1977. Contribution à la mesure des pertes de production causées par la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) au Pin maritime dans les Landes de Gascogne. (3), pp.205-214.

Lequet A.(2010) Les pages entomologiques d'André Lequet. [en-ligne]. Mise à jour le 05 Décembre 2010[<http://www.insectes-net.fr/>] (consulté le 22 décembre 2010).

Lilian M.(2016). La chenille processionnaire du Pin, une présence cyclique. *Thaumetopoea pityocampa* (Deniset Schiffermüller, 1775). Office National des Forêts, correspondant du Département Santé des Forêts pour le 04.

Lucchesi M.E., ChematF and Smadja J., 2004- Solvent-free microwave extractionof essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation.

Journal of Chromatography, 1043 : 323–327.

Lucchesi M.L., 2005- Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondesConceptionet Application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse, Université de la réunion,

pp 147.

M

Makhloufi L. et Sadi S. (2002). Impact de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) sur la croissance du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans la région de Ain-Abessa (Sétif). Mémoire d'ing. Biologie Sétif. 24p.

Markalas S., 1998. Biomass production of *Pinus pinaster* after defoliation by the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), USDA, For. Serv. Gen. Technical Report, NE-247.

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

Martin J.C., Jambois A., 2016- Protection des arbres et des personnes contre les nuisances causées par la processionnaire du pin. Analyse Socio-économique des Impacts de la Recherche Publique Agricole. Sciences et impact, p 16.

Martínez G. J., Barboza G. E., Natural pharmacopoeia used in traditional Toba medicine for the treatment of parasitosis and skin disorders (Central Chaco, Argentina), *J. Ethnopharmacol.*, **2010**, *132*, 86.

Martin J.C., Bonnet C.(2008). Les moyens de lutte disponibles et à venir en milieu forestier et urbain. In *.Colloque Insectes et changement climatique.* [en.ligne] Micropolis, Aveyron(France), 15 novembre 2008.

Martin J.C., Jambois A., 2016- Protection des arbres et des personnes contre les nuisances causées par la processionnaire du pin. Analyse Socio-économique des Impacts de la Recherche Publique Agricole. Sciences et impact, p 16.

Markouk M., Bekkouche K., Larhsini M., Bousaid M.(2000). Evaluation of some Moroccan medicinal plants extracts for Larvicidal activity. *Journal of Ethnopharmacology* **73**, pp. 293.297.

Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G. & Swift, M.J. (1997). Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science.*, **277**: 504-509.

Messaoudi K. C., 2017 : Dégât, lutte sur la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocompa* dans la forêt de Harhara région Sour El Ghozelen, université Akli Mohand Oulhadj. Bouira.

Mezali, 2003 : Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3ème session du forum des Nations Unis sur les forêts, 9 p.

Minnaard A. J. *Germacrane sesquiterpenes. Synthesis and role in biosynthesis*; Minnaard, A. J.: Wageningen, **1997**.

Muyima N.Y.O., Zulu G., Bhengu T and Popplewell D., 2002- The potential application of some novel essential oils as natural cosmetic preservatives in an aqueous cream formulation. *FlavourFragr. J*,17: 258–266.

N

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.

Nancy, 2020. Nancy 2020 la processionnaire du chêne mieux la connaître pour mieux s'en protéger à destination du grand public

Nichane. M., 2015. Contribution à l'étude de l'entomofaune de quelques espèces résineuses de la région de Traras occidentaux (w.Tlemcen). Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Foresterie: Gestion et conservation des écosystèmes. Tlemcen. P35. P39. P41.

Nuto Y.(1995). *Synergistic action of cooccurring toxins in the root barks of Zanthoxylum anthoxyloides (Rutaceae) against the cowpea beetle Callosobruchus maculatus (Coleoptera. Bruchidae).* Thesis of Ph.D.S.U.N.Y.

Syracuse, New York, 107p.

O

Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests, *J. Agric. Sci.* **144**: 31-43.

Ordóñez P. E., Sharma K. K., Bystrom L. M., Alas M. A., Enriquez R. G., Malagón O., Jones D. E., Guzman M. L., Compadre C. M., Dehydroleucodine, a Sesquiterpene Lactone from *Gynoxys verrucosa*, Demonstrates Cytotoxic Activity against Human Leukemia Cells, *J. Nat. Prod.*, 2016, 79, 691.

P

Paiva, Santos, Kerdelhue, Mateus, et Branco, 2011. Can climate change drive speciation Proceedings of the global conference on global warming, Lisbon, Portugal, pp. 779-783.

Pauli A., 2011- Antimicrobial properties of essential oil constituents. The international journal of aromatherapy, 11 (3) : 1-8.

Paris M. et Hurabielle M. (1981) – Abrégé de matière médicale (pharmacognosie) Tome. Ed. Masson p.339

Svoboda K. P. and Hampson J. B. (1999) – Bioactivity of essential oils of selected temperate aromatic plants: antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory and other related pharmacological activities. <http://www.csl.gov.uv/ienica/seminars/>

Tabanca N., Demirci B., Ozek T., Kirimer N., Baser

Paris M. et Hurabielle M. (1981) – Abrégé de matière médicale (pharmacognosie) Tome. Ed. Masson p.339

Pierron C., 1989- Les huiles essentielles et leurs expérimentations dans les services hospitaliers de France : exemples d'applications en gériatrie-gérontologie et soins palliatifs. Thèse université de Lorraine, p 257.

Piochon M., 2008- Etude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore Laurentienne composition chimique, activités pharmacologique et hémisynthèse. Thèse université de Québec, Chicoutimi, p 213.

Pibiri M. C. (2006) - Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huiles essentielles. Thèse Doctorat, EPFL Lausanne, p.161.

Prelot-Claudon.A., 2018. Utilisation de l'extrait de plantes fraîches standardisé de *Cupressus sempervirens* (cypres toujours vert) comme virucide lors de maladies respiratoires des bovins. Thèse pour le Doctorat en vétérinaire. Ecole national vétérinaire d'Alfort. P73.

Q

Quezel P., 1980 : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen Act d'écologie Forest-Edit-Pesson, Paris, 225p.

Quezel, P. (1986). "Les pins du groupe «Halepensis»: écologie, végétation, écophysiologie." Options méditerranéennes: 11-24.

Quezel P and Barbero M., 1992-le pin d'Alep et les espèces voisines. Forêts méditerranéennes, pp 158-170.

Quezel et medail F., 2003:Ecologie et biogéographie des forêts du bassin mediteraneen. Ed. Elsevier L.571P.

R

Rahal S. (2004) - Chimie des produits naturels et des êtres vivants. O.P.U. Edition. p.162

Randrianarivelo R, 2010. Etude de l'activité antimicrobienne d'une plante endémique de madagascar « *Cinnamosmafragrans*», alternative aux antibiotiques en crevetticulture. Thèse de doctorat en biochimie. Univd'antananarivo Madagascar., p (22)

Rawat.P., Khan.M.F., Kumar.M., 2010.Constituants from fruits of *Cupressus sempervirens*. Fitoterapia 81(3). P162.

Raymond M., 2005- L'Aromathérapie chez le nourrisson et le petit enfant. Thèse université de Nantes. Novembre, p101.

Raymond L., 2009- Chenille Processionnaire du pin. De fortes défoliations. Pas d'affolement! Point de la situation sur le Massif Landais hiver 2009-2010. Santé des Forêts Aquitaine et Midi-Pyrénées, pp 1-4.

-Rebeix.K., 1999. Oligomères flavanolique de *Cupressus sempervirens L.*, *Pinusmaritimal L.* et *Vitisvinifera*. Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en pharmacie. Université de Limoges. P21.

Regnault.Roger. C, Hamraoui. A, Holeman. M, Théron. E, Pinel. R.(1993). Insecticidal effect of essential oils from Mediterranean plants upon *A. obtectus* Say (Coleoptera, Bruchidae), a pest of kidney bean (*Phaseolus vulgaris L.*) *J ChemEcol*, **19** :1231.1242p.

Robinet C., Rousselet J., Roques A., 2013. Potential spread of the pine processionary moth in France: Preliminary results from a simulation model and future challenge. *Annals of Forest Science*. 71(2):149-160.

Roger C., et Hamraoui A ,1997. Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leurs molécules allélochimiques, *Acta Botanica Gallica*,144(4)., p (401-412).

Robinet C, Imbert C.E, Rousselet J, Sauvard D, Garcia J, Goussard F, Roques A.(2011). Human-mediated long distance jumps of the pine processionary moth in Europe. *Biol Invasions* 14 (8).1557–1569.

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.

S

Sadou N., Seridi R., Abdelghani D., et Hadeif Y, 2013. Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill. Du Nord-est Algérien. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 30., p (35-38).

Sbabdji M., 2011. Étude des infestations de la cédraie de Chréa par la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa Schiff*: description spatiotemporelle et interaction arbredéfoliateur. Thèse de doctorat, ENSA, El Harrach, Alger.

-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.*

Shan B., Cai Y.Z., Sun M and Coreke H., 2005- Antioxidant Capacity of 26 Spice Extracts and Characterization of Their Phenolic Constituents. *J. Agric. Food Chem.*53, 7749-7759.

Snedeker, S.M. (2001). Pesticides and breast cancer risk: a review of DDT, DDE, and dieldrin. *Environ. Health Perspect.*, **109 Suppl 1**: 35-47.

Surburg H.,Panten J. In *Common Fragrance and Flavor Materials*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: 2006, p 177.

Southwell I. A.,Tucker D. J., Isokessane and β -Kessane from *Rubus rosifolius* Sm, *J. Essent. OilRes.*, **1996**, 8, 143.

Stefanakis M.K., Touloupakis E.,Anastasopoulos E., 2013. Antibacterial activity of essential oils from plants of the genus *Origanum*. *Food control journal* 34 (02), 539-546

T

Turgeon M., 2001-Profil des produits forestiers, premières transformation des huiles essentielles, Ministère des Ressources naturelles Secteur des forêts. Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, pp 1-21.

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, 182 p.

V

Vepakomma U., Cormier D., 2017. Potential of multi-temporal UAV-borne lidar in assessing effectiveness of silvicultural treatments. The international archives of photogrammetry, Remote sensing and spatial information science. 42. 339p.

W

Waller T., Barros M., Draque J., Micucci P., Conservation of the Palo Santo tree, *Bulnesia sarmientoi* Lorentz ex Griseb, in the South American Chaco region, *Medicinal Plant Conservation*, **2012**, 15, 4.

Z

Zahiri, Lafontaine, Schmidt, Holloway, Kitching, Mutanem, Wahlberg, 2013. Relations among the basal lineages of Noctuidae (*Lepidoptera*, *Noctuoidea*) based on eight gene regions. *Zoologica Scripta*, 42, 488-507

Zamoum 1998. Données sur la bioécologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *thaumetopoeapityocampa* Denis & Schiffermüller (*lep ; thaumetopoeidae*) dans les pineraies subsahariennes de la région de djelfa (Algérie) .Thèse de doctorat de l'université de Rennes I, 247pp .

Zamoum M., Demolin G., 2002. The pine processionary caterpillars life cycle, *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermüller (Lep., Thaumetopoeidae) conditions of a subsaharian region (Djelfa, Algeria). *Comm.Symp. Internat. deRabat (Maroc)*.

Résumé :

Les écosystèmes forestiers sont une richesse naturelle, soumise à différentes variables qui conditionnent leur diversité et leur productivité. En Algérie les massifs forestiers couvrent une surface d'environ 4 millions d'ha et le pin d'Alep occupe la première place dans cette surface forestière avec 35% de couverture.

En plus des pertes dues principalement aux facteurs de dégradations anthropiques, aux incendies, et à la surexploitation, la chenille processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa*, est considéré comme le principal insecte défoliateur des Pins. La lutte chimique est considérée comme un moyen efficace contre cet insecte mais les problèmes de la résistance et de la nocivité de ces insecticides synthétiques ont abouti à la nécessité de trouver des alternatives plus efficaces et plus saines, les huiles essentielles sont les produits les plus testés actuellement.

Le but de notre étude est de tester l'efficacité des huiles essentielles dans le domaine de la lutte biologique en général et de l'éradication du la chenille processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa*, en particulier. C'est la raison pour laquelle l'huile essentielle de cyprès, l'huile essentielle de pin laricio et l'huile essentielle de bois de gaïac ont été choisies pour tester leur effet sur la chenille processionnaire du pin. L'échantillonnage a été réalisé dans la pinède de la zone de Ferdoua à Sidi Marouane dans la région de Mila. Les chenilles du 4^{ème} stade larvaire sont traitées aux huiles essentielles à différentes doses.

Les résultats obtenus ont montré que ces huiles contribuent à l'élimination de la chenille processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa* avec un taux de mortalité de 100% à la fin de chaque traitement, avec une préférence pour l'huile de cyprès.

Mots clés : *Thaumetopoea pityocampa* , Ferdoua, huile essentielle, cyprée, pin laricio, bois de gaïac,

ABSTRACT

Forest ecosystems are a natural wealth, subject to different variables that condition their diversity and their productivity. In Algeria the forest areas cover an area of about 4 million ha and the Aleppo pine occupies the first place in this forest area with 35% coverage.

In addition to losses mainly due to anthropogenic degradative factors, fires, and over exploitation, the processionary caterpillar of the pine *Thaumetopoea pityocampa*, is considered as the main defoliator insect of Pines. Chemical control considers an effective means against this insect but the problems of resistance and the harmfulness of these synthetic insecticides have led to the need to find more effective and healthier alternatives, essential oils are the most tested products currently.

The aim of our study is to test the effectiveness of essential oils in the field of biological control in general and the eradication of the processionary caterpillar of the pine *Thaumetopoea pityocampa*, pine worm in particular, this is why cypress essential oil, laricio pine essential oil and guaiac wood essential oil were tested on the mortality of pine processionary larvae. The study was realized on pine forest of Fardoua near to Sidi Merouane in Mila.

The results obtained showed that these oils contribute to the elimination of the processionary caterpillar of the pine *Thaumetopoea pityocampa*, and have a positive effect on Aleppo pine trees, with 100% of mortality in each treatment with a preference for cypress oil.

Key words: *Thaumetopoea pityocampa*, ferdoua, essential oils, cypress, laricio pine, guaiac wood, aleppo pine trees.

ملخص:

الأنظمة الإيكولوجية للغابات هي ثروة طبيعية تخضع لمتغيرات مختلفة تحافظ على تنوعها و إنتاجيتها.تغطي المناطق الغابية في الجزائر مساحة تبلغ حوالي 4ملايين هكتار و تحتل مساحة غابات الصنوبر الحلبي المركز الأول بنسبة تغطية تقدر ب 35٪. بالإضافة إلى الخسائر الناجمة أساسا عن العوامل البشرية، الحرائق و الاستغلال المفرط، فالصنوبر الحلبي يتعرض لآفات حشرة كاتربيلر الصنوبر (*thaumetopoea pityocampa*) التي تعتبر من الحشرات الرئيسية الآكلة لأوراق الصنوبر.

الهدف من دراستنا هو إختبار مدى فعالية الزيوت الأساسية في مجال المكافحة البيولوجية بصفة عامة و القضاء على دودة الصنوبر (*thaumetopoea pityocampa*) بصفة خاصة.

هذا هو السبب في إختيار الزيوت الأساسية لكل من: صنوبر لاريسيو، خشب الغاياك، و السرو، لاختبار تأثيرها على دودة الصنوبر.

أجريت عملية أخذ العينات (*thaumetopoea pityocampa*) من غابة الصنوبر بمنطقة فردوة بسبيدي مروان ولاية ميللة و تمت معالجتها باستخدام الزيوت الأساسية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الزيوت الأساسية تساهم في القضاء على حشرة كاتربيلر الصنوبر (*thaumetopoea pityocampa*) و لها تأثير إيجابي على أشجار الصنوبر وخاصة زيت السرو.

الكلمات المفتاحية: *thaumetopoea pityocampa*، غابة فردوا، الزيوت الأساسية،شجر السرو، صنوبر لاريسيو، خشب الغاي