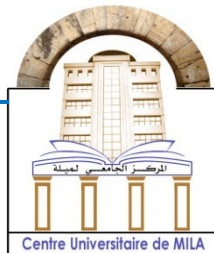


République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :.....

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et de l'Environnement

**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 écosystèmes

Thème :

**Effet d'une variété d'huiles essentielles dans la lutte
écologique contre la chenille processionnaire du pin
(*Taumatococcus panyassii* Schiff)**

Présenté par :

- Saifi Marwa
- Cheriak Rayane

Devant le jury :

Présidente:	Bensakhri .I	MCA	C U M
Promoteur :	Boudjahem. I	MCB	C U M
Examinatrice :	Zentar .A	MCB	C U M

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace « Marwa »

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu pour Sa guidance, Sa sagesse et Sa force qui nous ont soutenus tout au long de ce parcours. Ses bénédictions ont été notre fondement et notre source de persévérance.

Nous sommes profondément reconnaissants envers nos familles et amis, dont l'amour, la patience et l'encouragement ont été notre roc. Votre confiance en nous a été une source constante de motivation, et vos sacrifices n'ont pas été ignorés.

À notre professeur estimé, Boudjahem Ibtissem, merci pour votre mentorat, votre savoir et votre dévouement sans faille. Vos conseils ont non seulement amélioré nos compétences académiques mais ont également inspiré une passion pour l'apprentissage et la recherche.

Enfin, nous tenons également à exprimer notre gratitude à notre département et à notre collège, Institut des Sciences et de la Technologie Département des Sciences de la Nature et de la Vie, pour avoir fourni un environnement d'apprentissage propice et les ressources nécessaires à nos études. Votre soutien a été crucial pour la réalisation de ce travail.

Merci à tous.

Dédicace « Rayane »

Avec l'aide et la protection d'ALLAH

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance :

A mes parents :

Ma chère mère **sihem**, qui a œuvré pour ma réussite, de par ton amour, ton
Soutien, tes sacrifices consentis et tes précieux conseils, pour toute
Ton assistance et ta présence dans ma vie. Reçois à travers ce travail aussi
Modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et mon éternelle
Gratitude mon cher père **Kamel**, qui peut être fier de moi et il trouve
Dans cet ouvrage le résultat de longues années de sacrifices et de privation. Je
Te remercie de m'avoir aidé et encouragé. Puisse Allah faire en sorte que ce travail
Porte son fruit. Je te remercie encore pour ton éducation et ton soutien
Permanent.

A mes chers frères

Anis et **rami** et **Abdelwadoud** et **Wassim**, les bijoux de ma famille, source de
Mes joies, et de ma force qui n'ont pas cessé d'être pour moi, des exemples de
Persévérance, de courage et de
Sans oublier ma petite jolie sœur **Miral** je prie dieu de la protéger à moi
A ma tendre grand-mère **Zineb** et **Yamina** la gardienne de notre famille, la
Source d'amour inconditionnel, je vous dédie ce travaille en signe de profond respecte.

A mes chères Amies et copines

Asma et **marwa** et **dikra** et aya et **nourhane** et **hanan** et **anaghim** et
Mayssa et Sara et **amira** qui m'a accompagné et m'a encouragé
. A tous mes enseignants : A tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense
aussi.

En fin, je veux remercier toute personne qui m'a soutenue de près ou de loin à la réalisation de ce
modeste travail.

Remerciement

Nous exprimons d'abord notre gratitude envers Dieu, le miséricordieux, pour nous avoir accordé le courage, la force et la patience.

à la réalisation de ce mémoire.

À la fin de cette tâche, nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance envers tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons tout d'abord notre gratitude envers notre encadrante, Melle Boudjahem Ibtissem.

Après nous avoir donné l'opportunité de travailler sur un projet captivant et plein de qualité scientifique.

Nous exprimons notre sincère gratitude envers : Madame Zentar .A.

D'avoir consenti à diriger le jury.

à Madame Bensakheri . Z Pour avoir accepté de prendre en compte ce projet.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers toutes les personnes qui ont joué un rôle essentiel dans sa réalisation.

Sommaire :

I-INTRODUCTION :	1
Chapitre I : Etude Bibliographique.....	Error! Bookmark not defined.
II-ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE :	6
1. Généralités sur les chenilles processionnaires du pin :	6
1.2. Description et systématique :	6
1.3. Les principales espèces de chenilles processionnaires :	7
1.4. Description des stades de développements de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> :	7
1.4.1. La phase aérienne :	8
1.4.2. La phase sous terrainne :	12
1.5. Distribution géographique :	13
1.5.1. Dans le monde :	13
1.5.2. En Algérie :	14
1.6. Conséquences environnementales et Dégât causés par la chenille processionnaire :	15
1.6.1. Conséquences écologiques :	15
1.6.2. Conséquences sanitaires :	16
1.6.3. Conséquences économiques.....	17
1.7 Les techniques de lutte contre la chenille processionnaire :	18
1.7.1. Lutte Mécanique :	19
1.7.2. La lutte biologique :	19
1.7.3. La lutte sylvicole :	20
1.7.4. La lutte microbiologie :	21
1.7.5. La lutte chimique :	22
1.7.6. Lutte par pièges à phéromone sexuels :	22
1.7.7. La prédation par les mésanges :	23
2-Caractéristiques de l'espèce hôte : Le pin d'Alep :	23
2.1. Généralités :	23
2.2. Systématique.....	24
2.3. La caractéristique botanique et forestière :	24
2.3.1. Description générale de l'arbre :	24
2.3.2. Longévité :	24
2.3.3. L'écorce :	24
2.3.4. Le houppier :	25

2.3.5. Enracinement :	25
2.3.6. Les feuille :	25
2.3.7. Aiguilles :	26
1.3.8. Fruits	26
1.3.9. Graines :	27
3-Présentation et caractéristiques des plantes utilisées :	27
3-1- La citronnelle <i>Cymbopogon citratus</i> :	27
3.1.1. Description botanique :	27
3.1.2. Classification botanique :	28
3.2. Le Gingembre <i>Zingiber officinale</i> :	29
3.2.1. Description botanique :	29
3.2.2. Classification botanique:	30
3.3. L'Eucalyptus <i>Eucalyptus globulus</i> :	30
3.3.1. Description botanique :	31
3.3.2. Classification botanique :	32
4-Les huiles essentielles et leur utilisation contre les insectes ravageurs :	33
4-1-Définition d'une huile essentielle :	33
4-2-Propriétés des huiles essentielles :	33
4-2-1-propriétés physico-chimique :	33
4-2-2-Propriétés toxicologiques des huiles essentielles :	34
4-3-Caractéristiques des huiles essentielles :	34
4-3-1- Les caractéristiques organoleptiques :	34
4-4-Composition des huiles essentielles :	35
4.4.1. Les terpènes :	35
4.4.2. Les monoterpènes :	36
4.4.3. Les sesquiterpènes :	36
4-4-4-Les composés aromatiques dérivés du phenylpropane:	36
4.4.5. Les composés d'origines diverses :	36
5. Activités des huiles essentielles :	37
5.1. Activités biologiques des huiles essentielles :	37
5.2. Activités pharmacologiques :	38
5.3. L'activité antioxydante :	38
5.4. Activité insecticide des huiles essentielles :	39
5.5. Activité commerciale :	39
6. Techniques d'extraction des huiles essentielles :	40

6.1. L'hydro distillation :	40
6.2. La distillation par vapeur d'eau :	40
6.3. L'extraction à froid :	41
6.4.L'extraction assistée par micro-onde :	42
6.5. L'extraction par solvants volatils :	42
7. Utilisations des huiles essentielles :	43
Chapitre II : Matériel et Méthodes	Error! Bookmark not defined.
III-MATERIEL ET METHODES :	46
1-Site d'échantillonnage:	46
1-1-Présentation de la région de Mila:	46
1-2-Présentation de la Commune de « Sidi Merouane » :	47
1-3- Présentation de la forêt de « Fardwa »:	47
1-4-Données climatiques du la zone d'échantillonnage (Mila 2018) :	48
1-4-1- Le Climat:	48
1-4-2- La pluviométrie :	48
1-4-3-La température :	49
1-4-4-L'Humidité :	49
1-4-5- Le vent :	50
1-4-6- Glace :	50
2-Traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin par les huiles sélectionnées : ..	51
2-1- But du traitement :	51
2-2- Choix des molécules :	51
2-3-Extraction des huiles essentielles sélectionnées :	51
2-3-1-Récolte des plantes :	51
2-3-2-Hydrodistilation par Clevenger :	52
2-3-3- Récupération des huiles extraites :	53
2-4- Préparation des solutions et dilution des concentrations :	53
2-4-1-Doses utilisées :	53
2-4-2-La préparation des tests :	54
2-5-Paramètres des huiles essentielles testées :	55
2-6-Composition biochimique des huiles utilisées :	55
2-6-1- L'huile de Citronnelle :	55
2-6-2- L'huile de Gingembre :	56
2-6-3- L'huile d'Eucalyptus :	56
3-Le Traitements statistiques des donnés :	56

Sommaire

3-1-Détermination du rendement :	56
3-2- Traitement toxicologique :	57
3-3- Analyse factorielle :	58
Chapitre III : Résultats	Error! Bookmark not defined.
III-RESULTATS :	60
1-Rendement des huiles essentielles utilisées :	60
2-Traitement toxicologique des chenilles processionnaires à l'huile de Citronnelle :	60
2-1-Mortalité Corrigée après 3 jours du traitement :	60
2-2-Mortalité Corrigée après 7 jours du traitement :	61
2-3-Comparaison entre l'effet des trois molécules :	62
2-3-1- Comparaison de l'effet larvicide des huiles après 3 jours du traitement :	62
2-3-2- Comparaison de l'effet larvicide des huiles après 7 jours du traitement :	63
3-Analyse factorielle du traitement toxicologique :	64
3-1- Test d'Anova des traitements toxicologiques aux huiles essentielles après 3 jours du traitement :	64
3-2- Test d'Anova des traitements toxicologiques aux huiles essentielles après 7 jours du traitement :	65
4-Paramètres toxicologiques des taux de mortalité :	66
4-1-Valeurs des droites de régression et des concentrations létales pour chaque	66
4-2-Valeurs des droites de régression et des concentrations létales pour chaque	68
Chapitre IV : Discussion Conclusion	Error! Bookmark not defined.
IV-DISCUSSION ET CONCLUSION :	79
Résumé	86
Référence :	82

Liste des abréviations

- **PH** : puissance hydrogène
- **kg**: kilogramme
- **AGP** :Angiospermes Reproduction Group
- **HEs** : huiles essentielles
- **UV**: Ultra-violet
- **NRDC**: l'institut national des recherches
- **BHT** :hydroxytoluène butyle
- **BHA** :hydroxyanisolebutylé
- **TBQH** :le butyle hydroquinone tertiaire
- **Km²** : kilomètre carré
- **P(mm)**: précipitation mensuelle
- **T°C** : la moyenne de la température
- **Hum %** : humidité mensuelle
- **g**: gramme
- **ml** : millilitre
- **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
- **P**: Niveau de signification
- **DGF**: Direction générale des forêts

Tableau Des Figures:

Figure 1: Cycle de vie de la processionnaire du pin (<i>Taumatopoea pityocampa</i> Schiff) (Dulaurent, 2010)...	8
Figure 2: 1) Papillon femelle 2) Papillon mâle (Demolin 1969).	9
Figure 3: Ponte de la processionnaire sur pin d'Alep (Chakali, 2014).	10
Figure 4: Les différents stades larvaires (Martin, 2005)	11
Figure 5: Nid d'hiver des chenilles processionnaires du pin (Photo personnelle).	12
Figure 6: Chrysalide mâle (à gauche) et chrysalide femelle (à droite) extraites de leur Cocon (Martin, 2007).	13
Figure 7: Répartition mondiale de la chenille processionnaire du pin d'Alep (Turpin, 2006).	14
Figure 8: Distribution de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en Algérie (Chakali, 2014).	15
Figure 9: Dégâts occasionnés par la processionnaire sur le pin d'Alep (Photo personnelle).	16
Figure 10: Troubles cutanés occasionnés par la processionnaire du pin sur l'homme (Vega et al., 2011).	17
Figure 11: Nécrose linguale étendue chez un chien 72h après contact avec la chenille processionnaire (Matos et al., 2006).	17
Figure 12: calendrier de lutte contre la chenille processionnaire (Martin, 2007).	18
Figure 13: Matériel nécessaire à la lutte mécanique: échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite (K3D Lyon Chenilles).	19
Figure 14: Parasite des œufs de la chenille processionnaire du pin : <i>Baryscapus servadei</i> (Anonyme 01).	20
Figure 15: Spore et cristal de <i>Bacillus thuringiensis</i> (Institut Pasteur 2007).	21
Figure 16: Une grande diversité de pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008).	22
Figure 17: Mésange prélevant du nid les chenilles de la processionnaire du pin pour son alimentation (Martin, 2012).	23
Figure 18: Pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i> Mill.) (Bouguenna, 2011). a) jeune sujet, b) vieux sujet et c) écorce.	25
Figure 19: Aiguilles du pin d'Alep (Bobbou, 2016).	26
Figure 20: Fruit du pin d'Alep (Bobbou, 2016).	26
Figure 21: Graines du pin d'Alep (Bobbou, 2016).	27
Figure 22: Aspect morphologique et botanique de <i>Cymbopogon citratus</i> (citronnelle) (Anonyme 02).	28
Figure 23: Illustration botanique de <i>Zingiber officinale</i> L et de son Rhizome (Anonyme 03).	30
Figure 24: <i>L'Eucalyptus globulus</i> (Bey et Boulekbache, 2014).	32
Figure 25: Schémas des principales formes de squelette carbonés des mono et sesquiterpènes (Negre et al., 2006).	37
Figure 26: Schéma des étapes d'hydrodistillation (Clevenger) (Mehani, 2016).	40
Figure 27: Montage de l'entraînement à la vapeur d'eau (Bazizi, 2017).	41
Figure 28: Principe de l'extraction à froid (Bradley et al., 1933).	41
Figure 29: Système d'extraction par micro-ondes (Rostagno et Prado, 2013).	42
Figure 30: Schéma d'extraction par solvants volatils (Lucchesiet al., 2007).	42
Figure 31: Situation géographique et limites de la Wilaya Mila (CETIC, 2009)	46
Figure 32: Situation géographique de la commune de « Sidi Merouane » Mila (Anonyme 04)	47
Figure 33: Forêt de « Ferdoua » « Sidi Merouane » Mila (Anonyme 05)	48
Figure 34 :: Moyenne de précipitation mensuelle dans la région d'étude Mila	48
Figure 35: Variation de la moyenne de la température	49
Figure 36: Variation de la moyenne d'humidité mensuelle	49
Figure 37: Variation de la moyenne des vents mensuels	50
Figure 38 : Préparation du matériel végétal pour l'hydrodistillation a) Zeste du Citron b) Racine du gingembre râpé c) Feuille d'Eucalyptus coupées (Photos personnelles).	52

Liste des figures

Figure 39: Hydro-distillation des trois plantes sélectionnées (a):La Citronnelle (<i>Cymbopogon citratus</i>); (b) : Le Gingembre (<i>Zingiber officinale</i>);(c) :L'Eucalyptus (<i>Eucalyptus globulus</i>) (Photos personnelles)	53
Figure 40:Flacon de tween 20 (Photo personnelle).....	53
Figure 41: Traitement des huiles essentielles sur les aiguilles du pin (Photos personnelles)	54
Figure 42: Préparation du traitement (Photos personnelles).....	54
Figure 43 : Comparaison des taux de mortalité enregistré après 3 jours du traitement toxicologique aux différentes huiles essentielles.....	63
Figure 44: Comparaison des taux de mortalité enregistré après 7 jours du traitement toxicologique aux différentes huiles essentielles.....	64
Figure 45 : Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Citronnelle au 3ème jour du traitement	67
Figure 46: Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile d'Eucalyptus au 3ème jour du traitement	67
Figure 47 : Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Citronnelle au 7ème jour du traitement	69
Figure 48: Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de gingembre au 7ème jour du traitement.....	69
Figure 49: Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de gingembre au 7ème jour du traitement.....	70

Liste des tableaux :

Tableau 1: Glace annuelle de la région (SMAT, 2016)	50
Tableau 2 :Paramètres des huiles essentielles utilisées.....	55
Tableau 3 : Taux de mortalité corrigée après 3 jours du traitement toxicologique aux trois huiles essentiels	61
Tableau 4: Taux de mortalité corrigée après 7 jours du traitement toxicologique aux trois huiles essentiels	62
Tableau 5 : Variance des taux de mortalité des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> traitées aux différentes huiles après 3 jours du traitement	65
Tableau 6: Tab 0: Variance des taux de mortalité des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> traitées aux différentes huiles après 7 jours du traitement	66
Tableau 7 : Paramètres toxicologiques et concentrations létales après 3jours du traitement des chenilles du 3ème stade larvaire de <i>T. pityocampa</i> par les différentes huiles essentielles	68
Tableau 8 : Paramètres toxicologiques et concentrations létales après 7 jours du traitement des chenilles du 3ème stade larvaire de <i>T. pityocampa</i> par les différentes huiles essentielles.	71

Introduction

I-INTRODUCTION :

Malgré leur rôle primordial dans les écosystèmes naturels, les insectes, qui représentent les trois quarts des espèces animales identifiées, sont encore mal connus. Leur relation avec le règne végétal et l'espèce humaine, en tant que compétiteurs au niveau des cultures, reflète une importance majeure (Calatayud et *al.*, 2019)

Les interactions entre les espèces entomologiques et les plantes hôtes sont conditionnées par différents caractères physiques des végétaux tels que la taille ou la forme (**Berenbaum, 1995**) mais aussi par des facteurs chimiques tels que la présence de métabolites secondaires (**Vet et Dicke, 1992; Harborne 1993**) qui jouent un rôle primordial dans les variables relations entre les différentes espèces (**Berenbaum, 1995**).

De nombreuses espèces remplissent des fonctions bénéfiques et même critiques dans les forêts. Certains visitent les fleurs et pollinisent les plantes. D'autres fonctionnent comme des agents dans la dégradation de la végétation morte. Lorsque les insectes deviennent excessivement abondants, ils peuvent endommager les arbres et les forêts et rentrent en concurrence pour les ressources naturelles, l'espace et les services fournis par l'écosystème forestier (**FAO 2005**).

Le dépérissement des peuplements forestiers est un processus complexe pouvant être attribué à un large éventail de causes potentielles, impliquant le plus souvent des sécheresses antérieures qui initient une baisse de la vitalité, une réduction de croissance et une longue chaîne d'événements interactifs (**Camarero et Gutiérrez, 2004 ; Das et al., 2007 ; Galiano et al., 2010**).

La forêt algérienne possède une grande variété biologique. Différents organismes (insectes, plantes, champignons...) interagissent avec les arbres et les divers éléments naturels qui la composent. La plupart de ces interactions ne sont pas perturbées par le développement des arbres, mais parfois les explosions démographiques de certains d'entre eux peuvent entraîner une diminution de la croissance, l'affaiblissement et même la mort de ces arbres (**Chararas, 1977**).

La dégradation du patrimoine forestier en Algérie, a été signalée depuis l'époque coloniale où 116 000 ha de forêts ont été détruits (**Ouelmouhoub, 2005**). Actuellement le couvert végétal global est de 4,1 millions d'hectares soit un taux de boisement de 16,4% du Nord du pays. Sa situation actuelle se présente comme l'une des plus critiques dans la région méditerranéenne (**Ouelmouhoub, 2005**).

L'essence principale des forêts en Algérie est le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), qui représente plus 850 000 hectares (**Quezel, 1986 ; Mezali, 2003**). En raison de sa souplesse et de ses exigences réduites, le pin d'Alep demeure l'espèce la plus employée pour les reboisements et la reconstruction des zones dégradées (**Seigue, 1985 ; Bentouati et al., 2006**).

Cette importante essence connaît une situation alarmante, et ce, depuis l'apparition des premiers symptômes de dépérissement vers les années 1980. Ce déclin s'est étendu progressivement pour toucher de grandes superficies surtout au début des années 2000 (**Nahal, 1986 ; Boutte et al., 2012**).

Parmi les principaux ennemis du pin d'Alep en Algérie, on compte la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* **Denis et Schiffermüller, 1775**; Lepidoptera, Thaumetopoeidae); un important défoliateur des pins et du cèdre dans le pourtour méditerranéen (**Rousselet, 2011; Robinet et al., 2013 ; Bouchou, 2015**). En effet, La consommation du feuillage, qui peut être intense si les colonies sont importantes, occasionne une défoliation massive et un préjudice important, surtout aux arbres jeunes ou affaiblis (**Martin, 2007**).

En plus, en zone d'habitation, la présence de nids sur les pins dans les jardins particuliers ou les lieux publics pose un problème de santé majeur à cause des poils urticants libérés par les larves à partir du 3^{ème} stade en moment de stress ou de menace, ce qui engendre d'importantes réactions allergiques et d'irritations cutanées chez l'humain ou l'animal (**Hagerman, 2022**).

En raison des atteintes que peut engendrer la répétitivité des défoliations à la vitalité des arbres, les attaques de cette espèce constituent une des préoccupations importantes des gestionnaires et des chercheurs. De ce fait, d'importants programmes d'investigations et de lutte sont déployés continuellement pour combattre et limiter ses dégâts (**Sbabdji, 2012**).

Il existe actuellement quatre principaux types de mesures de lutte contre ce ravageur : la lutte mécanique (prélever manuellement les pontes et/ou les nids ; voire les pré-nids), la lutte chimique, la lutte microbiologique et les luttes écologiques respectueuses de l'environnement **(Leblon et al., 2010)**.

Le contrôle des populations de la chenille processionnaire du pin a pour principal objectif de les maintenir à des niveaux tolérables, afin de protéger la santé humaine et animale ainsi que les peuplements forestiers, mais n'a pas pour finalité son éradication **(Leblond et al., 2010)**.

La lutte contre les insectes nuisibles, se fait généralement par des traitements chimiques de synthèse, mais leur utilisation doit être limitée en raison des effets secondaires indésirables sur l'environnement et les organismes bénéfiques. Il est plutôt important de choisir une méthode de lutte alternative appropriée afin de préserver l'environnement tout en contrôlant les ravageurs. Parmi ses méthodes, l'utilisation des métabolites secondaires des plantes reste une voie prometteuse **(Bekri et Benkoriche, 2023)**

L'exemple le plus utilisé pour les molécules naturels, sont les huiles essentielles qui représentent un mélange complexe de composés volatils, issus par extraction d'une plante entière, ou d'une partie dont l'origine taxonomique doit être connue **(Franz et Novak, 2010)**.

Ces essences sont des métabolites secondaires produits par les plantes comme moyen de défense contre les ravageurs phytophages **(Csek et Kaufman, 1999)**. Ils contiennent en moyenne 20 à 60 composés qui sont pour la plupart des molécules peu complexes. Leur mécanisme d'action est mal connu et relativement peu d'études ont été réalisées à ce sujet **(Isman, 2000)**.

Les constituants volatils de ces extraits sont variables d'une huile à l'autre pouvant présenter un large spectre pharmacologique et ayant des propriétés analgésiques, anti-inflammatoires, antibactériennes, antivirales, insecticides et antioxydantes **(Burt 2004., Bakkali et al., 2008 et Alviano et al., 2012)**.

Plusieurs facteurs déterminent le rendement des plantes en huiles essentielles à savoir l'espèce de la plante, l'aire de répartition géographique, la période de récolte, les pratiques culturales, la technique d'extraction, la température et la durée de séchage (Csek et al., 1999).

L'utilisation des huiles essentielles est connue depuis plusieurs siècles (Elkoli2016). En effet, une large gamme d'huile essentielle issue de différentes espèces végétales ou d'une combinaison de plusieurs huiles, a fait l'objet de plusieurs études toxicologiques (Kim et al., 2003 ; Kaya et al., 2008 ; Cakir et al., 2016 ; Alghamdi2018 ; Bahr et al., 2019) vis-à-vis de différentes souches de bactéries, de champignons ou d'autres insectes ravageurs. Parmi ces études, plusieurs auteurs ont étudié la sensibilité de la chenille processionnaire du pin vis-à-vis des huiles essentielles (Unal et Akkuzu, 2009 ; Kesdek et al., 2014 ; Babaz et Bahaz, 2022 ; Nadio et al., 2023).

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

Dans ce cadre, nous avons évalué l'effet larvicide de trois huiles essentielles à savoir l'huile de Citronnelle (*Cymbopogon citratus*); l'huile de Gingembre (*Zingiber officinale*), et l'huile d'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), extraites par hydrodistillation dans des conditions contrôlées sur des larves de la chenille processionnaire du pin du 3^{ème} stade larvaire. Des doses de 0,25%, de 0,5% et de 1% sont diluées depuis la solution primaire des huiles.

La mortalité des chenilles est suivie et observée chaque jour pendant 8 jours du traitement. La fin des tests toxicologiques est souvent indiquée par la mortalité de toute la population traitée ou par le taux de mortalité maximale dans les lots.

Des droites de régression et des concentrations létales (CI 50% et CI 90) sont estimées après 3 et 7 jours des tests toxicologiques.

Etude bibliographique

II-ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE :

1. Généralités sur les chenilles processionnaires du pin :

La processionnaire du pin, ou *Thaumetopoea pityocampa* est l'un des plus grands défoliateur des forêts résineuses dans le sud de l'Europe et le Nord de l'Afrique, en termes de répartition temporelle et géographique ainsi que l'impact socioéconomique (**Robinet, 2006**). C'est un papillon nocturne à vie très brève, dont les larves sont appelées chenilles processionnaires du pin (**Soltani et al., 1988**).

Les chenilles processionnaires tirent leur nom de la manière dont elles se déplacent : lorsqu'elles quittent l'arbre pour s'enfouir dans le sol et se muer en papillon au printemps, elles se mettent en ligne les unes derrière les autres, telle une « procession religieuse », avec en tête de ligne une femelle qui les guide. On peut également les apercevoir la nuit, durant l'hiver, lorsqu'elles sortent pour se nourrir (**Fraval, 2007**).

Elles se nourrissent des aiguilles de pin pendant l'automne et l'hiver. Cela diminue considérablement la croissance des arbres à court terme, même à faibles niveau de défoliation (**Élie, 2009**).

1.2. Description et systématique :

La chenille processionnaire du pin à développement larvaire hivernal *Thaumetopoea pityocampa* est connue depuis deux cents ans, elle a été décrite pour la première fois sous le nom *Bombyx pityocampa* par (**Denis et Schiffermüller 1775**). En 1819, Hubner créa le genre *Thaumetopoea* pour toutes les espèces incluses aujourd'hui dans la famille des *Thaumetopoeidae* (**Dajoz, 2007**). Stephens, fit passer en 1928 toutes les espèces du genre *Thaumetopoea* dans le genre *Cnethocampa*, qu'il a placé dans la famille des *Notodontidae* (**Agenjo, 1941**).

En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (*campa*= chenille, *pityo*= pin) et *thaumetopoea* signifie « qui vénère la verdure » (*thaumeto*= vénérer, *poea*= herbe) (**Julie, 1987**). Selon **Alboutetal (2017)** la taxonomie de la processionnaire du pin est la suivante :

- Classe: Insecta
- Ordre: Lepidoptera
- Famille: Notodontinae
- Genre: Thaumetopoea

- Espèce: *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Shiffermuller, 1775).

La famille de Thaumetopoeidae est constituée d'un seul genre *Thaumetopoea*, auquel on connaît actuellement 9 espèces de processionnaires qui vivent dans la région méditerranéenne, *T. pityocampa* (Schiff), *T. solitaria* (Freyer), *T. processionea* (Linneo), *T. bonjeani* (Powell), *T. Pinivora* (Treitschke), *T. herculeana* (Rambur), *T. Jordana* (Staudinger), *T. wilkinsoni* (Tams), et *T. cheela* (Moore) qui est décrite en Inde (El Yousfi, 1989).

Elles coexistent localement et sont parfois difficiles à distinguer. Toutefois, il existe certaines différences telles: trophiques (plante hôte), comportementales, morphologiques (intensité de la couleur des ailes), biologiques (notamment en ce qui concerne les plantes hôtes et la date d'éclosion) (Riviere, 2011).

1.3. Les principales espèces de chenilles processionnaires :

Les principales espèces de chenilles processionnaires sont :

- *T. processionea*, la processionnaire du chêne qui habite l'Europe sauf l'extrême nord.
- *T. pityocampa*, la processionnaire du pin, qui habite l'Europe méridionale, le Maroc, le Moyen Orient.
- *T. wilkinsoni* de Chypre et du Moyen Orient, vit sur *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* et *Pinus canariensis*.
- *T. pinivora* attaque *Pinus sylvestris* surtout dans le nord de l'Europe et est rare en France (Alpes, Centre, Normandie, Seine Maritime en forêt de Brotonne).

1.4. Description des stades de développements de *Thaumetopoea pityocampa* :

La distribution géographique de processionnaire du pin dépend du climat de l'altitude, de l'exposition au vent, de la faune et de la flore locale, mais également de la nature du sol.

Le cycle de développement est généralement annuel mais il peut durer jusqu'à cinq ans selon les conditions environnementales. Celui-ci est, en effet, sensible à la température et à l'insolation. Il existe donc de fortes variations de dates de déclenchement des stades selon l'altitude et la latitude (Martin, 2005).

Le cycle de vie de l'insecte (**Fig01**) comprend deux phases à deux strates différentes de l'écosystème: l'une aérienne sur l'arbre (évolution larvaire en cinq stades), l'autre souterraine (pré nymphose et nymphose) (**Huchonh et Demolin, 1970**).

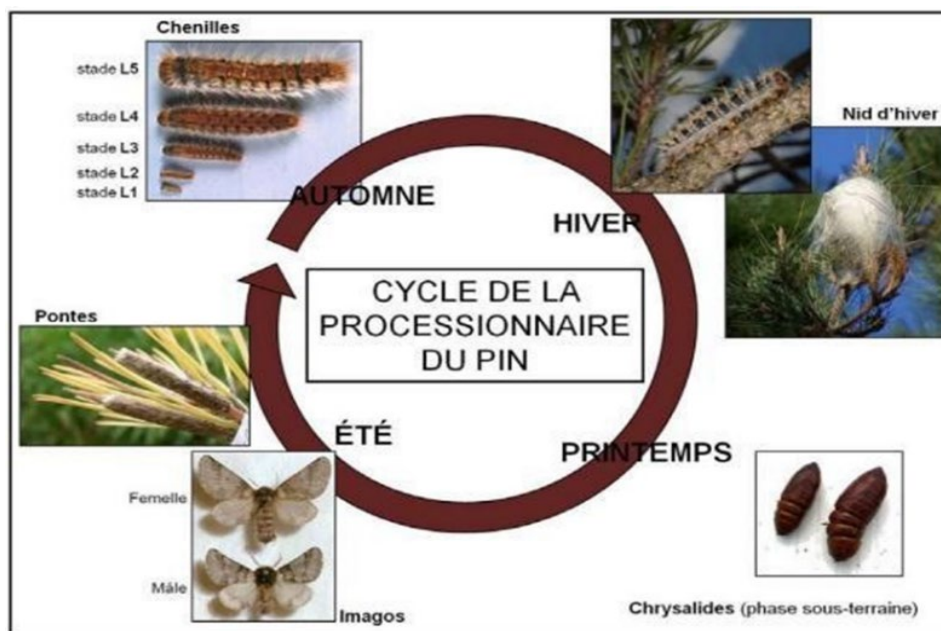


Figure 1 Cycle de vie de la processionnaire du pin (*Taumetopoea pityocampa* Schiff) (Dulaurent, 2010).

1.4.1. La phase aérienne :

Cette phase aérienne a lieu généralement sur l'arbre hôte débute par le dépôt puis l'éclosion des œufs à l'automne, donnant naissance à des chenilles dont le développement se déroule selon cinq stades larvaires, sur une période allant de 5 à 9 mois en fonction des conditions écologiques.

a- Les adultes :

Les adultes de la processionnaire du pin (**Fig02**) émergent du sol au cours de la période place en été ou à l'automne. Le papillon lui-même ne vit le plus souvent que quelques heures et passe inaperçu mais c'est durant cette phase qu'il se dissémine dans l'environnement et que l'arbre est colonisé ou recolonisé. La femelle émet une phéromone sexuelle qui attire le mâle, et qui, une fois identifiée et synthétisée artificiellement, a pu servir de base au développement des méthodes de monitoring, de piégeage de masse et de confusion sexuelle (**Leblond et al., 2009**).

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. 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. Une fois son hôte trouvé la femelle va y déposer ses œufs généralement qu'une seule fois mais elles peuvent déposer jusqu'à 320 œufs. Ce nombre dépendant de leurs conditions d'alimentation durant le stade larvaire.



Figure 2:1) Papillon femelle 2) Papillon mâle (Demolin 1969).

b- La ponte :

Selon les conditions environnementales, les femelles pondent environ 150 à 300 œufs, dont la taille peut varier. Les œufs sont pondus en lots sur les aiguilles et les brindilles et recouverts d'écailles de la femelle (**Fig03**).

Le nombre d'œuf par ponte est représentatif des réserves accumulées pendant l'évolution larvaire : de 70 dans le cas d'une population éprouvée, il peut approcher 300 lorsque la potentialité dynamique de la population devient particulièrement élevée (En l'absence de site favorable, elle pourra parcourir plusieurs kilomètres en effectuant un vol à une vitesse de l'ordre de 10 à 15 Km/h pour conquérir d'autres territoires (**Gachim, 1996**).



Figure 3: Ponte de la processionnaire sur pin d'Alep (Chakali, 2014).

c- Les chenilles :

L'éclosion des œufs se produit 30 à 45 jours après la ponte. Les chenilles ainsi écloses vont passer successivement par cinq stades larvaires que l'on note respectivement de manière abrégée, L1, L2, L3, L4 et L5. Ces stades correspondent à un âge biologique facilement repérable par leur taille qui varie.

Les L1 s'éloignent progressivement de leur lieu d'éclosion, en abandonnant les légers nids temporaires qu'elles ont tissés. Les chenilles deviennent rousses à deuxième stade larvaire (stade L2). Le nombre de soies latérales augmente significativement. Ce phénomène s'amplifie encore au troisième stade larvaire (L3) et s'accompagne de l'apparition de poils urticants, localisés à la face dorsale de certains segments abdominaux. L'appareil urticant continue à se développer au cours des deux stades suivants L4 et L5.

Dès les premiers froids, généralement à la fin du troisième stade larvaire, les chenilles confectionnent leur nid définitif, plus épais et mieux structuré, après avoir cherché la position la mieux exposée au soleil. La colonie bénéficie ainsi d'un véritable radiateur solaire, de plus, le nid est en mesure de jouer un rôle d'abri et de protection pour les chenilles contre l'action des différents ennemis naturels dont les parasitoïdes et autres. Au stade L5, les chenilles mesurent quatre à cinq centimètres (**Martin, 2005**).

A chaque changement de stade larvaire (**Fig04**), les chenilles entrent dans une période de mue où elles cessent de s'alimenter. À la fin du cinquième stade larvaire, les chenilles quittent l'arbre en procession et cherchent un endroit au sol suffisamment chaud et meuble pour s'enfouir à

quelques centimètres de profondeur pour se nymphose dans un cocon en une chrysalide diapauses (Demolin, 1971).

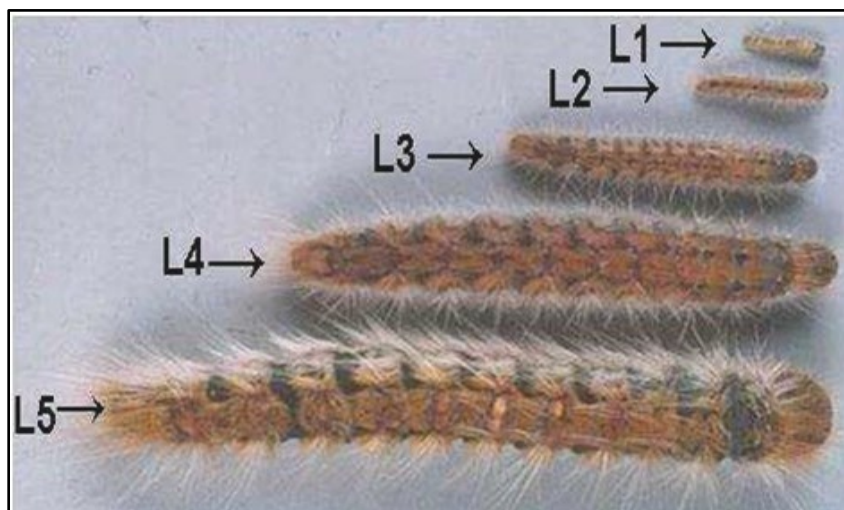


Figure 4: Les différents stades larvaires (Martin, 2005)

d- La période ambulatoire :

Au cours de tout leur développement, les chenilles vont se nourrir durant la nuit sur l'arbre où elles ont émergé. Au 1er stade larvaire les chenilles vont tisser un pré-nid autour de la ponte composé d'un réseau de soies très léger qui va les abriter durant les premiers stades larvaires. Quand la température commence à chuter, les chenilles vont tisser leur nid d'hiver à l'extrémité d'une branche, le plus souvent orienté du côté sud. Ce nid va leur permettre de survivre durant l'hiver en faisant office de radiateur solaire avec une température à l'intérieur du nid supérieure à la température extérieure durant la période d'insolation pour leur alimentation les chenilles sont dépendant de deux seuils de température, une température supérieure à 0°C durant la nuit et une température à l'intérieur du nid supérieure à 9°C durant la journée d'avant (Battisti et al., 2005).

Tant que la température extérieure est suffisante (20°C en moyenne), la colonie change d'emplacement fréquemment, dévorant toutes les feuilles entourant les lieux de rassemblement. Le signal des migrations successives, lié tout d'abord au manque de nourriture, va progressivement être donné par la baisse de température automnale (Huchon et Démolin, 1970).

e- Le nid d'hiver:

Pour faire face aux températures hivernales, les chenilles généralement au stade L4 construisent un « nid d'hiver » à l'extrémité des branches les plus hautes et les plus ensoleillées (**Fabre, 1899**).

Ce nid est plus ou moins piriforme, de 10 à 15 cm de diamètre, se prolongeant jusqu'à 30 cm vers le bas. Il comprend deux enveloppes superposées, une interne d'épaisseur importante et une externe plus lâche, qui a un rôle de superstructure, sans aucun orifice de sortie. Les chenilles se faufilent à travers les mailles du tissage pour entrer ou sortir. Elles ne sortent que la nuit pour s'alimenter en se déplaçant en procession suivant un fil de soie et réintègrent les bourses pendant la journée. Les crottes s'accumulent à la partie inférieure.

Le nid (**Fig05**) représente un facteur essentiel de survie pour les colonies de chenilles, car il permet non seulement l'effet de masse mais une compensation thermique, il peut y faire jusqu'à 20°C de plus qu'à l'extérieur (**Démolin, 1967**).



Figure 5: Nid d'hiver des chenilles processionnaires du pin
(Photo personnelle).

1.4.2. La phase sous terrain :

Les chenilles de dernier stade larvaire migrent de l'arbre vers des sites diversifiés de nymphose (**Fig06**). Les chenilles une fois enfouies sous terre se transforment en chrysalides et entrent en diapause (**Robredo, 1972**).

La procession de nymphose, à l'origine du nom de l'insecte, a lieu de février à mai. La chenille de tête cherche une zone ensoleillée et meuble. Les chenilles se regroupent alors et commencent à s'enfouir, à une profondeur comprise entre 5 et 20 cm selon la nature du sol. Une

fois sous terre, les chenilles tissent autour d'elles un cocon de nymphose et arrêtent leur développement (phase de diapause). Cette phase souterraine peut durer de quelques jours à plusieurs mois, en général de mars à juillet. Cependant, lorsque les conditions sont défavorables, elle peut durer jusqu'à 5 ans (**Markalas, 1989**).



Figure 6: Chrysalide mâle (à gauche) et chrysalide femelle (à droite) extraites de leur Cocon (Martin, 2007).

1.5. Distribution géographique :

1.5.1. Dans le monde :

La sous-famille des Thaumetopoeinae renferme 100 espèces réparties entre 23 genres largement réparties en Afrique, dans la région de la Méditerranée, dans le sud de l'Europe et au moyen orient, l'Australie et la Nouvelle Calédonie (**Kiriakoff, 1970; Schintlmeister, 2013**) (Fig07).

Les exigences de ces diverses espèces sont variables selon leur biotope. De récentes études ont été conduites afin de caractériser l'évolution phylogénétique des différentes espèces et leurs caractéristiques cladistiques (**Zahiri et al., 2013**).

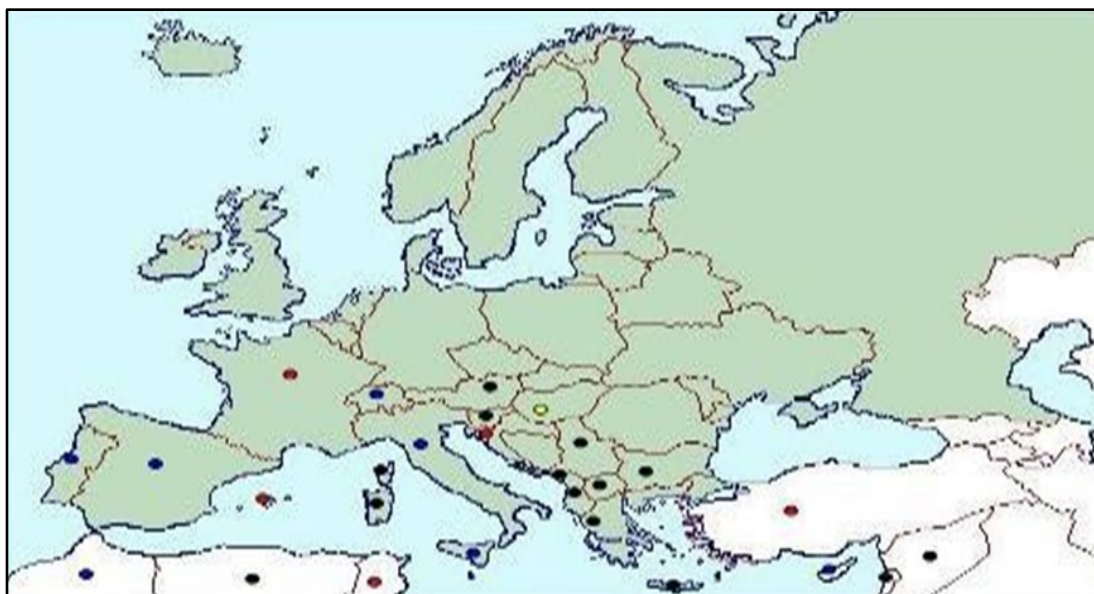


Figure 7: Répartition mondiale de la chenille processionnaire du pin d'Alep (Turpin, 2006).

1.5.2. En Algérie :

En Algérie (**Fig08**), cette essence est présente dans tous les étages bioclimatiques avec une prédominance dans l'étage semi-aride. Cet insecte ravageur est présent dans l'ensemble des forêts résineuses ; ces pullulations sont temporaires avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements (**Zamoum, 1998**).

En effet, sur le massif de Chréa, les distributions spatiale et temporelle des nids ainsi que leur abondance sont significativement plus importantes en haute altitude (1200-1400 m) comparées aux altitudes plus basses (1000-1200 m), ce qui reflète le potentiel dynamique de la processionnaire. Selon **Démolin (1969)**, cette stratégie vient en réponse au stress thermique lié à l'élévation des températures estivales. Ces dernières affectent le cycle biologique de l'insecte ainsi que sa performance à se nourrir (**Battisti et al., 2005**).

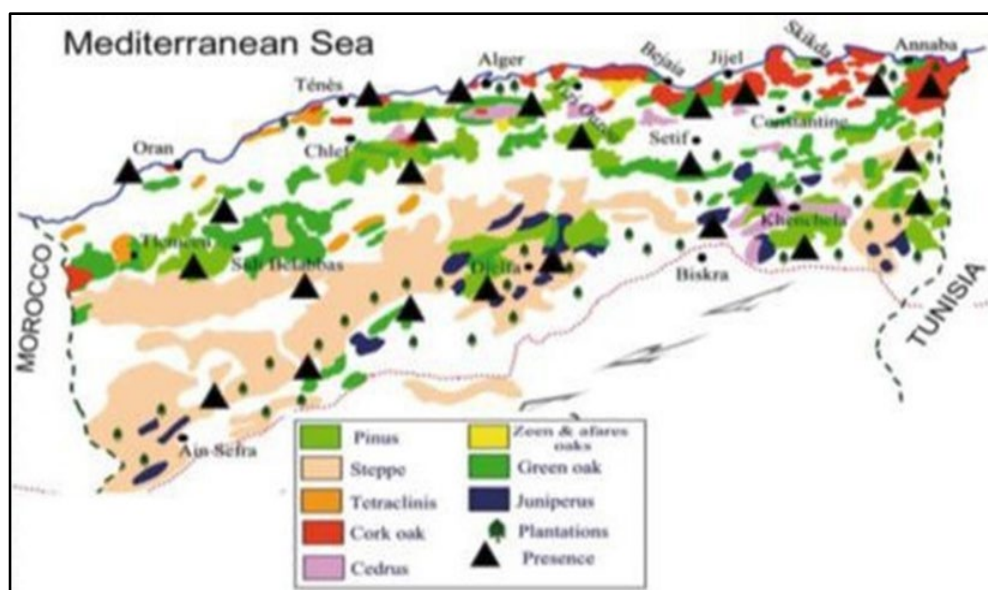


Figure 8: Distribution de *Thaumetopoea pityocampa* en Algérie (Chakali, 2014).

1.6. Conséquences environnementales et Dégât causés par la chenille processionnaire :

1.6.1. Conséquences écologiques :

Le papillon du cortège hivernal, *Thaumetopoea pityocampa*, provoque de nombreux problèmes sanitaires et forestiers. Au niveau national, les attaques de chenilles processionnaires du pin s'élèvent à plus de 293 000 hectares infestés, dont 113 893 hectares sévèrement attaqués. Une fois écloses à l'automne, les larves commencent à se nourrir des aiguilles de l'arbre hôte, et les feuilles se multiplient ensuite au cours de l'hiver. Les larves se nourrissent d'abord d'aiguilles situées à proximité du site de ponte, puis s'éloignent progressivement au fil du temps de leur développement larvaire. Les dommages environnementaux dépendent donc du stade de développement larvaire (Turpin, 2006).

Les conséquences immédiates de la défoliation sont un affaiblissement par une puissance photosynthétique réduite et une perte de croissance des arbres en périmètre et en hauteur (Arnaldo et al., 2010).

Même une défoliation totale (Fig09) ne provoque pas la mort des plantes Arbres endommagés. Les larves ont donc un effet néfaste sur la production et la croissance des arbres, mais pas directement sur la mortalité des pins (Lillian, 2016). Cependant, les arbres deviennent plus vulnérables aux ravageurs secondaires tels que les scolytes ou les psylles (Markalas,

1998) et au stress thermique et hydrique (Martin, 2005).



Figure 9: Dégâts occasionnés par la processionnaire sur le pin d'Alep (Photo personnelle).

1.6.2. Conséquences sanitaires :

Des problèmes de santé associés aux poils urticants ont été rapportés chez les humains et les animaux. Cela se produit lorsque ces poils commencent à apparaître, à partir du troisième stade larvaire. Les poils urticants sont libérés dans l'air une fois la chenille se sent menacée. Ces poils peuvent être emportés par le vent. Ceux-ci peuvent coller à la peau et provoquer des réactions :

- Peau : démangeaisons, voire œdèmes pouvant mettre jusqu'à deux semaines à disparaître.
- Yeux : Si les poils ne sont pas épilés rapidement, cela peut entraîner des conséquences graves : glaucome, cataractes, etc.
- Système respiratoire : Vous pouvez ressentir un léger inconfort, pouvant dans certains cas entraîner une crise d'asthme.
- Allergies : Cette nuisance concerne également les animaux, notamment les chiens et les chevaux (Fig10).



Figure 10: Troubles cutanés occasionnés par la processionnaire du pin sur l'homme (Vega et al., 2011).

Le symptôme le plus courant est la nécrose de la langue, qui peut parfois s'accompagner d'un gonflement des lèvres et de vomissements (Arditti et al., 1988). Le risque est particulièrement élevé lors des périodes de procession au printemps pour toute personne entrant en contact avec l'insecte (Fig11).



Figure 11: Nécrose linguale étendue chez un chien 72h après contact avec la chenille processionnaire (Matos et al., 2006).

1.6.3. Conséquences économiques.

Les conséquences économiques sont principalement liées aux pertes de croissance dans les forêts de production, dues à une défoliation généralisée par les chenilles du pin qui peut avoir des répercussions sur plusieurs années. Ainsi, selon Morell (2008), un fort retrait entraînerait une perte économique d'une année entière de production de bois, répartie sur les trois années

suivant l'attaque. La perte économique du bois au fil des années se traduit par une baisse de la valeur des arbres sont infestées et les espèces hôtes sont rares, ce qui augmente certes le prix de vente, mais rend néanmoins ces forêts moins attractives pour les exploitants. À long terme, ces pertes de production peuvent avoir un impact durable sur les valeurs foncières, entraînant une baisse des valeurs immobilières des terrains. Les coûts réduits associés à la mise en œuvre de soins sans cruauté ainsi que le fardeau de maintenance associé aux modifications environnementales peuvent également être pris en compte. Les pertes économiques sont importantes et il incombe aux autorités locales (municipalités rurales) et aux individus de réagir eux-mêmes à l'épidémie.

1.7 Les techniques de lutte contre la chenille processionnaire :

Les chenilles processionnaires du pin posant des problèmes depuis des années, de nombreuses méthodes ont été mises en place pour limiter les infestations. Les méthodes seront différentes en fonction de la période de l'année, de la zone (urbaine ou rurale) et de la surface à traiter (Fig12).

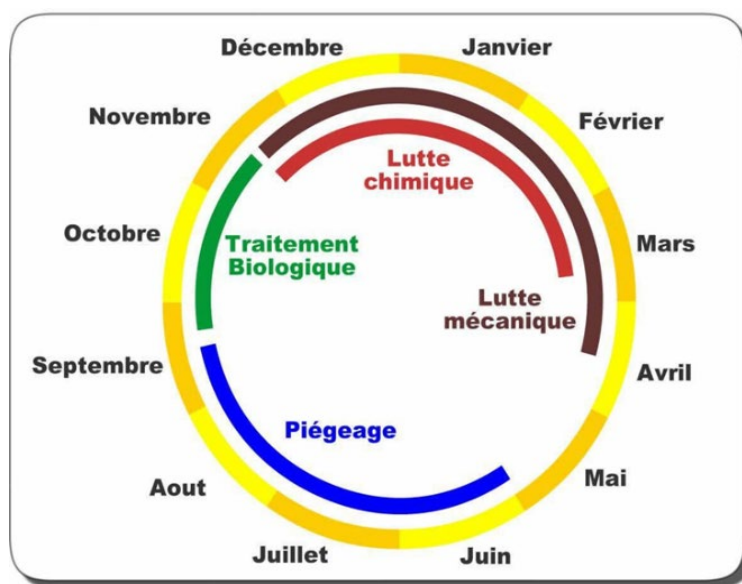


Figure 12: calendrier de lutte contre la chenille processionnaire (Martin, 2007).

1.7.1. Lutte Mécanique :

Le contrôle mécanique consiste à retirer et à détruire manuellement les nids de la teigne du pin. Pour les chenilles, on a souvent recours à une intervention manuelle, c'est-à-dire à l'élagage des nids avec un outil de désherbage, une technique appelée «désherbage ». Après leur retrait, les nids doivent être brûlés avec leurs larves, à condition d'obtenir un permis de brûlage auprès du gouvernorat ou en les trempant pendant 24 heures dans un bac contenant de l'eau. Et plus humide. Cette méthode est pratiquée pendant la période hivernale d'octobre à mars, avant la procession. Il faut bien se protéger des poils qui piquent (masque, lunettes, etc.) présents (Chapelin, 2012) (Fig13).

Des variantes ont été utilisées pour détruire les nids à distance, notamment en utilisant des tirs de fusil pour détruire la branche et le nid en même temps. Ce procédé contrairement aux deux autres méthodes de destruction mentionnées ci-dessus, dispersera les cheveux mais peut être considéré comme un gain de temps.



Figure 13: Matériel nécessaire à la lutte mécanique: échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite (K3D Lyon Chenilles).

1.7.2. La lutte biologique :

La lutte biologique consiste à utiliser des organismes naturels pour lutter contre les espèces indésirables (Martin et Brinquin, 2016, 2017). Les ennemis de la chenille (insectes, champignons, virus, bactéries, oiseaux, chauves-souris, etc.) sont nombreux et peuvent agir à

toutes les étapes de son cycle de développement (œufs, larves, pupes ou papillons).

- Concernant les parasites, pour la ponte, on peut citer les guêpes *Ooencytus pityocampa* et *Baryscapus servadei* (**Fig14**) Pour les larves, les mouches *Phyxecaudata* et les guêpes fermoratrices *Erigorgus* ; Enfin, pour les pupes, la guêpe *Coelichneu monrudis* et la mouche *Villa brunnea*.
- Du côté des prédateurs, la sauterelle *Ephippigiere phippigier* s'attaque aux œufs qui pondent, le grand papillon *Parus major* et le syrphe *Xanthandru contus* chassent les larves, tandis que la huppe fasciée *Upupa* se nourrit des pupes.

Ainsi, des nichoirs artificiels sont placés pour favoriser la nidification et la présence de mésanges dans les zones à traiter. Ces nichoirs sont installés au début de l'automne en hauteur pour que les mésanges se sentent en sécurité. Le nombre de nichoirs nécessaires est estimé à huit par hectare. Cette méthode de lutte cible les chenilles et peut être utilisée en ville ou en forêt. Les nichoirs nécessitent un entretien à partir de septembre.



Figure 14: Parasite des œufs de la chenille processionnaire du pin : *Baryscapus servadei* (Anonyme 01)

1.7.3. La lutte sylvicole :

Des espèces d'arbres non sensibles à la processionnaire peuvent être plantées. La diversité des espèces forestières en général réduit la colonisation de la teigne du pin dans son cortège (**Martin et Bonnet, 2008**).

Elle s'appuie sur l'aménagement spatial de la zone forestière ou du parc urbain. Plantez des arbres à feuilles caduques pour créer des îlots d'espèces forestières mixtes et/ou entourez les

forêts de pins de haies de feuillus pour empêcher les femelles d'être découvertes par leurs hôtes. Les espèces à croissance rapide, comme le bouleau, doivent être privilégiées. Évitez de planter du pin, notamment du pin noir, dans les endroits fréquentés par le public.

1.7.4. La lutte microbiologie :

Utilisation d'insecticides biologiques à base de *Bacillus thuringiensis*. Il couvre actuellement près de 100% des surfaces traitées Défilé des pins. Le bacille de Thuringe, *Bacillus thuringiensis* BT(**Fig15**), est une bactérie Gram-positive en forme de bâtonnet de la famille des Bacillacées. Il a été isolé pour la première fois au début des années 1900 chez des vers à soie infectés au Japon et a été rapidement associé à ses propriétés entomopathogènes. Décrit en 1911 par **Berliner** en Thuringe (Allemagne), chez l'insecte *Anagasta kuehniella* (Lépidoptères). Le bacille produit une protéine cristalline lors de la phase de sporulation qui, une fois ingérée par les larves et en présence de pH alcalin, se transforme en une protéine toxique qui attaque la paroi intestinale moyenne. Les larves cessent alors de se nourrir dans les 5 jours suivant la fécondation et finissent par mourir.

Ce bio-insecticide est principalement utilisé pendant les mois De septembre à décembre, lorsque les larves sont aux stades L1 à L4. Le BT n'est pas sans risque pour les insectes, notamment vis-à-vis d'autres espèces de papillons dont les stades larvaires peuvent être présents en hiver. De plus, dans les sites naturels à très forts problèmes de conservation (par exemple le Cap d'Erquy avec des espèces très rares comme le papillon Azuré des mouillères) et dans les zones humides (marécages peu alcalins), une telle reproduction devrait inévitablement être évitée.

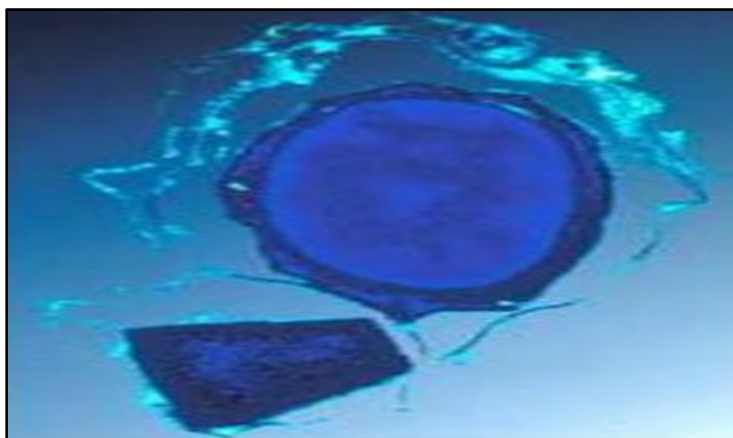


Figure 15: Spore et cristal de *Bacillus thuringiensis* (Institut Pasteur 2007).

1.7.5. La lutte chimique :

La lutte chimique, utiliser jusqu'au début des années 90 était principalement basée sur l'utilisation d'un insecticide à base de Diflubenzuron, qui s'avérait très efficace (**Ribrioux et Dolbeau, 1975**). Cet insecticide utilisé est généralement régulateur de croissance qui perturbe le processus de mue larvaire (**Martin, 2005**). Cependant, cette méthode est bannie aujourd'hui à cause de l'impact écologique du Diflubenzuron qui est un insecticide à large spectre (**Martin, 2005**).

1.7.6. Lutte par pièges à phéromone sexuels :

La lutte alternative par phéromone cible la chenille processionnaire du pin à l'âge adulte, et diffère radicalement des techniques de lutte chimique et microbiologique qui visent à détruire les formes larvaires, stade le plus destructeur. Les phéromones utilisées sont spécifiques d'espèce et donc extrêmement sélectives. Ce piégeage (**Fig16**) des papillons, basé sur une phéromone de synthèse (dans les années), très proche de la phéromone naturelle, a permis la mise en place de mesures de lutte spécifiques de la chenille processionnaire du pin, en piégeant les mâles par attraction spécifique « mass-trapping » ou en les désorientant par pulvérisation d'importantes doses de phéromones dans l'environnement (confusion sexuelle) (**Martin et al., 2009**).



Figure 16: Une grande diversité de pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008).

1.7.7. La prédation par les mésanges :

La présence de nichoirs artificiels adaptés à la mésange, oiseau prédateur de la chenille, avec un diamètre du trou de 32 mm favorise largement la nidification et donc potentiellement la prédation des chenilles présentes sur le site. En effet la mésange (**Fig17**) 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 al, 2011**).



Figure 17: Mésange prélevant du nid les chenilles de la processionnaire du pin pour son alimentation (Martin, 2012).

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

2.1. Généralités :

Le pin d'Alep a une aire de répartition autour de la Méditerranée qui s'étend principalement de la Grèce au Maghreb (**Nahal, 1962 ; Bellefontaine et Raggabi, 1977 ; Quézel, 1980**). Elle occupe environ 3,5 millions d'hectares (**Le Houerou, 2005**). Le troche-Blaroche (1982) confirme que le pin d'Alep est l'espèce la plus répandue en Algérie, puisqu'il occupe une superficie totale estimée à 800 mille hectares, soit 37% de la superficie forestière du pays. Les groupes de pins d'Alep poussent sur un substrat rocheux très diversifié, mais cette espèce craint le froid et une humidité excessive ; Elle fait partie des espèces résineuses les plus tolérantes à la sécheresse et aux sols calcaires (**Barbéro et al., 1998 ; Benabid, 2000**).

Il est ainsi adapté à une sécheresse estivale marquée, à des précipitations irrégulières, aux vents du nord et à un ensoleillement élevé. Les températures annuelles moyennes dans leur aire naturelle varient entre 13°C et 18°C avec un développement optimal dans les zones semi-

arides avec de faibles précipitations comprises entre 300 mm et 400 mm Le pin d'Alep forme une litière acide qui se décompose lentement, fournissant généralement un sol pauvre en matière organique.

2.2. Systématique

D'après **Nahal, (1962)**, le pin d'Alep est une essence appartenant au groupe halepensis, qui reforme cinq pins, tous méditerranéens. Sa systématique est la suivante :

- Embranchement : spermaphytes.
- Classe : Conifères.
- Ordre : Coniferalespinoidines.
- Famille : Pinacéaeque.
- Genre : Pinus.
- Espèce : *Pinus Halepensis*.
- Nom scientifique : Pinus Halepensis mill.
- Nom arabe: Sanaoubar al-halabi.
- Nom berbère : Azoumbi /thayda.
- Nom commun : pin d'Alep.

2.3. La caractéristique botanique et forestière :

2.3.1. Description générale de l'arbre :

Selon **Boudy (1952)**, le pin d'Alep est un arbre de taille moyenne qui dépasse rarement une hauteur de 20 mètres. En général, dans les stations à fertilité moyenne, il peut atteindre 15m à 18m (**Kadik, 1987**). En Algérie, il existe quelque sujet dépassant les 20m dans les Aurès (**Belarouci ,1982**) (**Fig18**)

2.3.2. Longévité :

Le Pin d'Alep ne vit pas longtemps. Sa longévité ne dépasse généralement pas 150 ans, la moyenne étant de 120 à 130 ans (**Nahal, 1962**).

2.3.3. L'écorce :

L'écorce des jeunes plants est lisse et gris argenté. Chez l'adulte, il forme une aponévrose quelque peu fissurée constituée d'écailles fines, larges et plates, de couleur rougeâtre. L'écorce et

le bois contiennent des canaux à l'intérieur desquels se trouve une substance collante et collante appelée résine à raison de 3 kg/arbre/an (**Venette, 1986**). Il est hautement inflammable et contient une grande quantité de tanin.

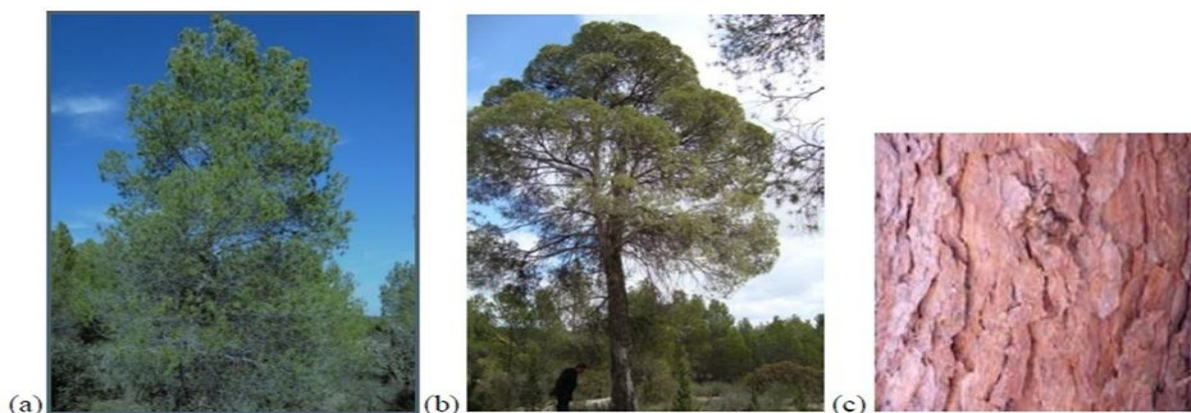


Figure 18: Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) (Bouguenna, 2011). a) jeune sujet, b) vieux sujet et c) écorce.

2.3.4. Le houpier :

La couronne est de forme conique lorsque l'arbre est jeune. Il se propage avec l'âge en raison du ralentissement. Développement de la hauteur de la tour terminale. L'âge auquel commence ce ralentissement dépend de la fertilité des sols, et notamment de leur profondeur. Dans les sols fertiles et profonds, la couronne conserve sa forme conique plus longtemps que dans les sols peu profonds et pauvres. La limite qui sépare le bois fort du bois jeune est le trou d'un diamètre de 7 cm (circonférence 22 cm).

2.3.5. Enracinement :

Selon **Kadik (1987)**, la consistance du sol conditionne l'évolution du système racinaire qui est pivotant sur sols fertiles et profonds et se propageant latéralement sur sols pauvres et squelettiques.

2.3.6. Les feuille :

Ce sont des aiguilles vert clair, de 6 à 10 cm de longueur, droites et souples, fasciculées par deux et entourées à la base d'une gaine persistante. (**Julve, 1999**) Contribution à l'étude de L'effet de pin d'Alep.

2.3.7. Aiguilles :

Les aiguilles (**Fig19**) sont fasciculées par deux, de 5 à 10 cm de long et 1 mm de diamètre, de couleur vert clair, persistant 2 ans, à marge finement denticulée. Le sommet est brusquement atténué en pointe rigide (**Boutchiche et Boutrighe, 2016**).



Figure 19: Aiguilles du pin d'Alep (Bobbou ,2016).

1.3.8. Fruits

Les fruits sont des cônes verticillés apparaissent à l'automne sur les arbres adultes. Les écailles s'écartent à maturité, libérant des graines (7mm), mates, munies d'une aile 4 fois plus longue qu'elles, persistante qui permet leur dissémination rapide (**Seigue, 1985**) (**Fig20**).



Figure 20: Fruit du pin d'Alep (Bobbou, 2016).

1.3.9. Graines :

Les graines abondantes, longues d'environ 5 à 7mm possèdent une grande aile persistante qui permet une dissémination rapide, (kadik, 1987) Contribution à l'étude de l'effet de pin d'Alep (Fig21).



Figure 21: Graines du pin d'Alep (Bobbou, 2016).

3-Présentation et caractéristiques des plantes utilisées :

3-1- La citronnelle *Cymbopogon citratus* :

Le genre *Cymbopogon* fait partie de la famille des herbacées, connue dans le monde entier pour sa teneur élevée en huiles essentielles. Il est largement répandu sur les continents où il est utilisé à diverses fins, commerciales et médicinales. Les différentes espèces de *Cymbopogon* sont bien documentées (Opeyemi et al., 2015). Le genre *Cymbopogon* comprend une cinquantaine d'espèces originaires d'Asie, mais certaines d'entre elles ont été introduites et localisées à travers le monde depuis très longtemps (Teuscher et al., 2005).

3.1.1. Description botanique :

La citronnelle (Fig22) est une plante herbacée vivace sans ramifications, à odeur de citron poussant à touffes denses. Elle atteint une hauteur de 1 mètre et une largeur de 5 à 10 mm. Elle a des feuilles vert bleuâtre distinctives et ne produit pas de graines. Cependant, elle possède de nombreuses tiges gonflées dont la taille des touffes augmente à mesure que la plante grandit. Les feuilles sont longues, nues, bleu-vert, linéaires, effilées vers le haut et le long des marges, avec des toiles très courtes et des gaines étroites à la base, étroites et séparées à l'extrémité distale. Les

inflorescences sont terminées par des grappes appariées de panicules par des bractées d'environ 1 m de long avec des tiges de 30 à 60 cm de long (Jayasinha, 2001 ; Ross, 1999).

Les touffes denses à l'odeur de citron et aux longues feuilles très étroites ont besoin de suffisamment d'humidité et d'un emplacement ensoleillé pour bien pousser. Cette plante aromatique et médicinale ne doit pas être exposée à des températures de moins de 13°C en hiver. La citronnelle se multiplie par semis ou par division des touffes. Elle se récolte en coupant la tige à sa base et est utilisée fraîche ou séchée (Pousset, 2004).

3.1.2. Classification botanique :

Classification botanique de la plante est la suivante :

- Règne: plantae
- Division: Magnoliophyta
- Classe: Liliopsida
- Ordre: Cyperales
- Famille: poaceae
- Genre: Cymbopogon
- Espèce: *Cymbopogon citratus*.



Figure 22: Aspect morphologique et botanique de *Cymbopogon citratus* (citronnelle) (Anonyme 02)

3.2. Le Gingembre *Zingiber officinale* :

Le gingembre est l'une des plantes les plus anciennes connues de l'homme, et c'est aussi l'une des premières épices orientales (Singh et al., 2008).

Plusieurs revues ont été publiées dans la littérature sur cette plante, ce qui peut refléter la popularité de son utilisation comme épice et plante médicinale (Ali et al., 2008).

Le *Zingiber officinale*, communément appelé « Zanjabil » ou « gingembre », est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des monocotylédones des Zingiberacées et au genre *Zingiber* (Marwat et al., 2015), et est largement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales (Haniadka et al., 2013). C'est l'une des herbes les plus largement utilisées en Asie, en Amérique centrale et du Sud et en Afrique depuis longtemps, et elle a été utilisée expérimentalement pour traiter divers troubles (Aleem et al., 2020).

3.2.1. Description botanique :

Le gingembre (**Fig23**) est une plante tropicale herbacée vivace poussant dans les régions ensoleillées et humides, se dressant sur une tige de 1,50 m en moyenne, mais pouvant atteindre 3 m de haut, la partie souterraine utilisée est le rhizome. Celui-ci se divise dans un seul plan et est constitué de tubercules globuleux ramifiés.

La peau du rhizome est beige pâle et sa chair est jaune pâle juteuse. La cassure est fibreuse et granuleuse, l'odeur est aromatique avec une saveur chaude et piquante (Gigon, 2012). Ses feuilles sont persistantes bisériées, longues, étroites, lancéolées, pointues et longues de 20 cm. Elle possède deux sortes de tiges : tiges hautes stériles servant pour l'assimilation chlorophyllienne et des tiges plus courtes (20 cm environ) portant des fleurs irrégulières en épi.

L'inflorescence est en court épis axillaires très serrés, à tige couverte d'écailles, entourée de spadice dense : grosses bractées vert jaune cireuses, superposées. Elle a des fleurs parfumées blanc jaune, avec des trainées rouges sur les lèvres. La floraison a lieu entre les mois d'août et novembre (Faivre et al., 2006).

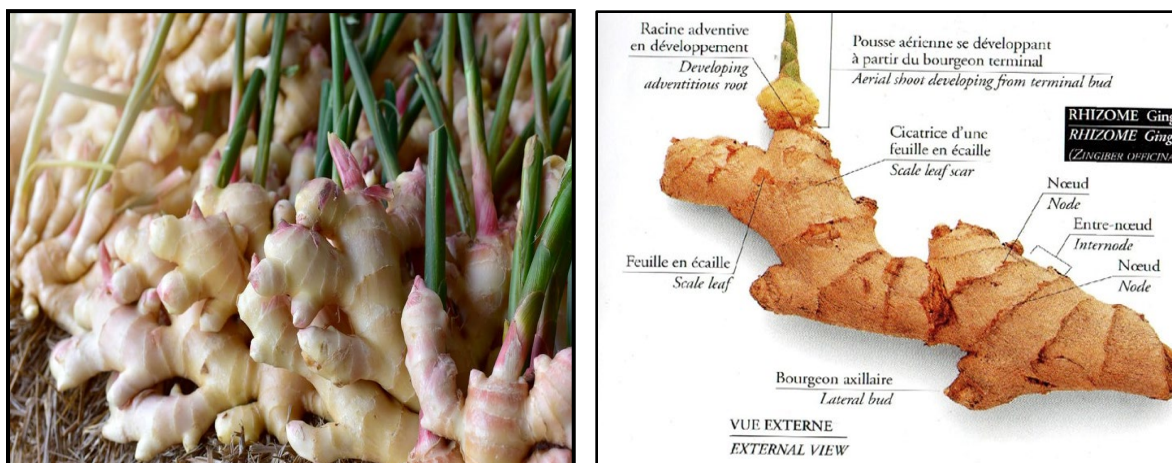


Figure 23: Illustration botanique de *Zingiber officinale* L et de son Rhizome (Anonyme 03)

3.2.2. Classification botanique:

Le gingembre est classé comme suit (Faivre et *al.*, 2006).

- Règne: Plantae.
- Sous règne: Trachéobionta.
- Division: Magnoliophyta (ouangiospermes).
- Classe: Liliopsida.
- Sous Classe: Zingibéridéés.
- Ordre: ScitaminalesouZingibérales.
- Famille: Zingibéracées.
- Sous-Famille: Zingibéroidéés.
- Genre: *Zingiber*.
- Espèce : *Zingiber officinale* L.

3.3. L'Eucalyptus *Eucalyptus globulus*:

Les Myrtacées (famille des myrtes, eucalyptus, girofliers ou goyaviers) sont une grande famille de plantes ligneuses dicotylédones placées dans l'ordre des Myrtales contenant plus de 5 650 espèces organisées en 130 à 150 genres. Elle est reconnue comme la huitième plus grande famille de plantes à fleurs.

La famille se trouve principalement dans l'hémisphère sud. Elle a des centres de diversité dans les tropiques humides, en particulier en Amérique du Sud, en Australie et en Asie tropicale,

avec des occurrences au Brésil où l'on trouve jusqu'à 90 espèces de Myrtacée par hectare et on peut en trouver en Afrique et en Europe (**Grattapaglia et al., 2012**).

3.3.1. Description botanique :

Les Eucalyptus (**Fig24**) appartiennent à la famille des Myrtacées grande famille de 72 genres et 300 espèces (genres *Eucalyptus*, *Eugenia*, *Melaleuca*, *Myrta*). Ils comptent environ 600 à 700 espèces et variétés (**Warot, 2006**). Activités biologiques des huiles essentielles des feuilles et du fruit d'une plante médicinale *Eucalyptus globulus*. Il mesure 30 à 60 mètres de haut et il peut atteindre jusqu'à 100 mètres dans certains cas. Cette famille présente les caractères morphologiques suivants (**Simpson, 2010**).

- Les racines possèdent des mycorhizes ectotrophes (le mycélium entoure les racines d'une plante sans pénétrer à l'intérieur).
- Les tiges ont des cavités sécrétoires et un phloème interne dans la moelle.
- Les feuilles sont opposées (généralement) ou en spirale, rarement verticillées, simples, glanduleuses ou pellucides, et souvent coriaces, avec la présence ou l'absence des petites stipules.
- Le mode de groupement des fleurs (inflorescence) est variable.
- Les fleurs sont bisexuées, actinomorphes, bractées, épi périgynes, rarement périgynes.
- Le périanthe est bisérié, les segments du périanthe distincts ou connés, fusionnés en un calypstre en forme de paupière (opercule) dans certains (par exemple, *Eucalyptus*).
- Le calice se compose de 4–5 sépales imbriqués.
- La corolle se compose de 4–5 pétales.
- Les étamines sont centripètes, distinctes ou connées en 4 ou 5 groupes.
- Les anthères sont à déhiscence loculicides ou poricides.
- Le gynécée est syncarpe, avec un ovaire inférieur [rarement demi-inférieur ou supérieur], 2–5 carpelles et 2–5 locules.

- Le fruit est une baie (fruit charnu, en général indéhiscent et contenant une ou plusieurs graines) ou une capsule loculicide (fruit sec déhiscent).

3.3.2. Classification botanique :

La classification scientifique réalisée par l'AGP (Angiospermes Reproduction Group) sur le genre eucalyptus a permis de définir la systématique présentée comme suit (**Bouras, 2018**).

- Règne: Végétal.
- Division: Tracheophyton.
- Embranchement: Spermatophyte.
- Classe: Magnoliopsida ou Dicotyledones.
- Super ordre: Rosaceae.
- Ordre: Myrtales.
- Famille: Myrtaceae.
- Genre: Eucalyptus.
- Espèce: globules (**Maïga, 2014**).

Synonymes: Gommier bleu, Eucalyptus globuleux, Arbre à fièvre, Eucalyptus officinal (**Goetz et Ghedira, 2012**).



Figure 24: L'Eucalyptus globulus (Bey et Boulekbache, 2014).

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

4-1-Définition d'une huile essentielle :

Le terme « huile » s'explique par la propriété que présentent ces composés de se solubiliser dans les graisses et par leur caractère hydrophobe. Le terme « essentielle » fait référence au parfum, à l'odeur plus ou moins forte dégagée par la plante. **(Bruneton, 1993).**

Les huiles essentielles sont des composés liquides très complexes. Elles ont des propriétés et des modes d'utilisation particuliers et ont donné naissance à une branche nouvelle de la phytothérapie; l'aromathérapie **(Cimanga, 2002).**

Selon la norme AFNOR NF'T 75-006, « l'huile essentielle désigne le produit obtenu à partir d'une matière première d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe, soit par distillation sèche. Elle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques » **(Afnor, 2000).**

Il s'agit de la sécrétion naturelle élaborée par le végétal et contenue dans les cellules de la plante, soit dans les fleurs (ylang-ylang, Bergamotier, rosier), soit dans les sommités fleuries (tagète, lavande), soit dans les feuilles (citronnelle, eucalyptus), ou dans l'écorce (cannelier), ou dans les racines (vétiver), ou dans les fruits (vanillier), ou dans les graines (muscade) ou encore autre part dans la plante **(Antonnet et Lobstein, 2005).**

4-2-Propriétés des huiles essentielles :

4-2-1-propriétés physico-chimique :

Malgré leurs différences de constitution, les huiles essentielles possèdent un certain nombre de propriétés physiques communes, elles sont généralement constituées de substances à forte odeur aromatique. Habituellement, elles sont liquides, faiblement colorées, de densité inférieure à celle de l'eau (0,759 à 1,096), à l'exception de quelques essences: celles de la cannelle, du girofle et du saffran **(Valisolalao, 1989; Valnet, 1990).** Elles sont solubles dans les solvants organiques et dans les matières grasses et insolubles dans l'eau **(Kalustian et Francis, 2012),** elles ont un indice de réfraction élevée la plupart dévient la lumière polarisée. Elles sont inflammables **(Laurent et Delorme, 2008).** Elles sont très facilement altérables et sensibles à l'oxydation, mais ne rancissent **(Faye et al., 1997).**

Les HEs sont composées de molécules à squelette carboné, le nombre d'atomes de carbone étant compris entre 5 et 22 (le plus souvent 10 ou 15).

Ce sont des mélanges complexes de constituants variés en concentration variable. Ces constituants appartiennent principalement mais pas exclusivement à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : les terpenoides et les substances biosynthétisées à partir de l'acide chimique (donnant naissance aux dérivés du phénylpropane) (Da silva, 2010).

4-2-2-Propriétés toxicologiques des huiles essentielles :

Les huiles essentielles ne sont pas des produits qui peuvent être utilisés sans risque. Comme tous les produits naturels : "ce n'est pas parce que c'est naturel que ce sans danger pour l'organisme". Certaines HEs sont dangereuses lorsqu'elles sont appliquées sur la peau en raison de leur pouvoir irritant (huiles riches en thymol ou en carvacrol), allergène (huiles riches en Cinna aldéhyde ou phototoxique (huiles de citrus contenant des furcoumarines).

D'autres HEs ont un effet neurotoxique (huiles riches en α -thujone) ou cancérogènes. C'est le cas par exemple de dérivés d'alkylbenzènes ou de propylbenzènes comme le saffrole (Sassafras), l'estragol (*Artemisia dracunculoides*), la β -asarone (*Acorus calamus*) et le méthyl eugénol. Des chercheurs ont mis en évidence l'activité hépato-carcinogénique de ces composés chez les rongeurs.

De plus, tout dépend de la dose administrée lors des expériences et bien souvent la dose absorbée par l'animal est loin de correspondre à celle qu'un homme est susceptible d'ingérer par jour (Pionchon, 2008).

4-3-Propriétés organoleptiques des huiles essentielles :

4-3-1- Les caractéristiques organoleptiques :

Les huiles essentielles ont des propriétés organoleptiques (caractéristiques d'une substance qui sont perceptibles par les organes des sens: saveur, odeur, aspect et consistance de l'objet).

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

- ✚ **La couleur :** La couleur des huiles essentielles est très variable. Cela comprend l'ultra-violet (UV) du zeste de mandarine (*Citrus reticulata* Blanco), le bleu (lié à la présence de cham azulène) des sommités de tanaïsie annuelle (*Tanacetum annuum* L.), le vert émeraude (azulène) de l'inule odorante ou de l'immortelle d'Italie (*Helichrysum italicum* (Roth) G. Don), le vert franc du nard de l'Himalaya (*Nardostachys jatamansi* (D. Don) DC.) La plupart des huiles essentielles ont une couleur jaune presque imperceptible. Elles foncent au cours de leur vieillissement (oxydation).
- ✚ **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**).

4-4-Composition des huiles essentielles :

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes pouvant contenir plus de 300 composés différents (**Sell, 2006**). D'après **Guenter (1975)** La structure des composés des huiles essentielles est constituée d'un squelette hydrocarboné, constituant une chaîne plus ou moins longue. Sur ce squelette de base est souvent présent un ou plusieurs sites fonctionnels semblables ou différents. Ils peuvent posséder toutes les grandes fonctions de la chimie organique : des alcools, des composés carbonylés (principalement aldéhydes et cétones), des esters, des phénols et, dans une moindre mesure, des dérivés azotés et soufrés. Néanmoins, Les terpènes (hydrocarbures en C₁₀ ou C₁₅) et terpénoïdes (terpènes fonctionnalisés) sont, de loin, les plus abondants **Bruneton (1999)**.

4.4.1. Les terpènes :

Environ 30 000 terpènes ont été décrits dans la littérature (**Connolly et Hill, 1991**). Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'unité isoprénique à 5 atomes de carbone (C₅H₈). Ils sont subdivisés selon le nombre d'entité isoprènes en monoterpène formés de deux isoprènes (C₁₀H₁₆), en sesquiterpènes, formés de trois isoprènes (C₁₅H₂₄), enditerpènes, formés de quatre isoprènes (C₂₀H₃₂), entétra terpènes, huitisoprènes qui conduisent aux caroténoïdes, en poly terpènes (C₅H₈)_n où n peut-être de 9 à 30 (**Ochoa, 2005**). Les terpénoïdes sont les terpènes dérivés des composés ayant un ou plusieurs groupes chimiques fonctionnels (alcool, aldéhyde, cétone, acide, ...).

4.4.2. Les monoterpènes :

Les monoterpènes sont les plus simples constituants des terpènes dont la majorité est rencontrée dans les HEs (90%). Ils comportent deux unités isoprène (C_5H_8), selon le mode de couplage « tête-queue ». Ils peuvent être acycliques, monocycliques ou bicycliques. A ces terpènes se rattachent un certain nombre de produits naturels à fonctions chimiques spéciales.

(El Haib, 2011).

4.4.3. Les sesquiterpènes :

Ce sont des dérivés hydrocarbures en $C_{15}H_{22}$ (assemblage de trois unités isoprènes) (Fig25) (El Haib, 2011). Ils ont une variabilité structurale de même nature que les monoterpènes. L'allongement de la chaîne avant cyclisation lors de leur synthèse augmente le nombre de cyclisations possibles, d'où la très grande variété de structures connues (Cohen, 2013). Ils se trouvent sous forme d'hydrocarbures ou sous forme d'hydrocarbures oxygénés comme les alcools, les cétones, les aldéhydes, les acides et les lactones (El Haib, 2011).

4-4-4-Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane:

Les huiles essentielles renferment aussi des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (C_6-C_3), mais qui sont beaucoup moins fréquents que les terpènes et dont la biogenèse est totalement différente (Paris et Hurabielle, 1981). Ces composés sont très souvent des allyle- et propenyl phénols, parfois des aldéhydes, On peut également selon le même auteur, rencontrer dans les huiles essentielles des composés en C_6-C_1 comme la vanilline (assez fréquente) ou comme l'anthranilate 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, elles seront également présentes dans certaines huiles essentielles (Bruneton, 1999).

4.4.5. Les composés d'origines diverses :

Ce sont des produits résultant de la transformation de molécules non volatiles entraînaibles par la vapeur d'eau. Il s'agit de composés issus de la dégradation d'acides gras, 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 : homologues des phénylpropanes, diterpènes, etc (Bruneton, 1999).

Abou Zeid (1988) signale que le composé le plus rencontré est l'allyle isothiocyanate issu de la dégradation d'un glucoside sinigroside 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 azoté. Parmi ces composés on cite l'indole, qui se trouve dans l'huile essentielle de citron et des fleurs de jasmin.

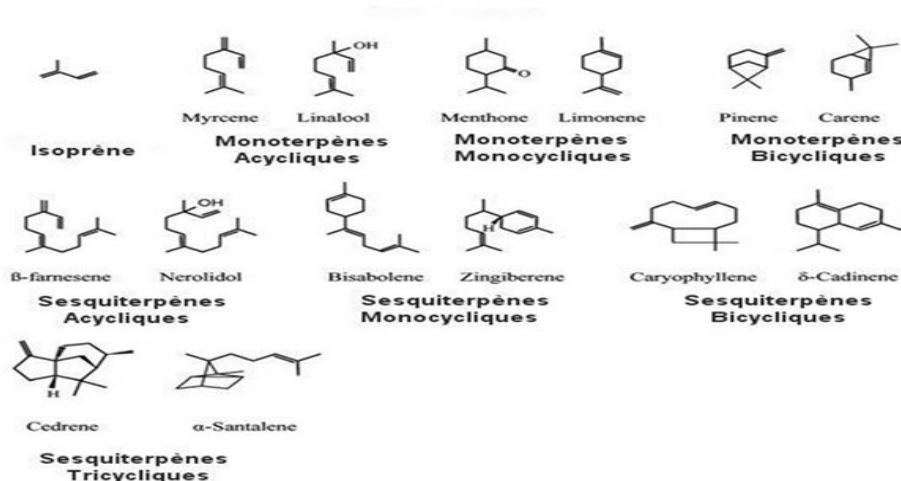


Figure 25: Schémas des principales formes de squelette carbonés des mono et sesquiterpènes (Negre et al., 2006).

5. Activités des huiles essentielles :

5.1. Activités biologiques des huiles essentielles :

Les plantes aromatiques et épicées sont utilisées depuis des siècles dans les préparations alimentaires non seulement pour la saveur qu'elles apportent mais également pour leurs propriétés antibactériennes et antifongiques. Origan, thym, sauge, romarin, clou de girofle sont autant de plantes aromatiques fréquemment utilisés comme ingrédients alimentaires.

Les huiles essentielles de ces plantes ont toutes une particularité commune : elles sont riches en composés phénoliques comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol. Ces composés possèdent une forte activité antibactérienne.

Le carvacrol est le plus actif de tous. Reconnu pour être non toxique, il est utilisé comme agent de conservation et arôme alimentaire dans les boissons, friandises et autres préparations. Le thymol est l'ingrédient actif des rince-bouches et l'eugénol est utilisé dans les produits cosmétiques, alimentaires, et dentaires.

Ces trois composés ont un effet antimicrobien contre un large spectre de bactéries : *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *Clostridium jejuni*, *Lactobacillus sakei*, *Staphylococcus aureus* et *Helicobacter pylori* (Pauli, 2001 ; Fabian et al., 2006).

D'autres familles de composés présentent aussi des propriétés antibactériennes intéressantes : certains alcools, aldéhydes et cétones monoterpéniques (géraniol, linalol, menthol, terpinéol, thujanol, myrcénol, citronellal, néral, thujone, camphre, carvone, etc.), des phénylpropanes (cinnamaldéhyde) et des monoterpènes (γ-terpinène, p-cymène). Les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques sont très intéressées par les propriétés de ces composés d'autant plus qu'il s'agit d'aromatisants naturels. De ce fait, beaucoup de chercheurs à travers le monde étudient leur potentiel en tant qu'agent de conservation (Burt, 2004).

5.2. Activités pharmacologiques :

Les propriétés antioxydantes des huiles essentielles sont depuis peu massivement étudiées. Le stress oxydatif, qui survient lors de déséquilibres entre la production de radicaux libres et d'enzymes antioxydantes, est en relation avec l'apparition de maladies telles que l'Alzheimer (Butterfield, 2002), l'artériosclérose et le cancer (Gardner, 1997). Une façon de prévenir ce stress oxydatif qui endommage et détruit les cellules est de rechercher, dans l'alimentation, un apport supplémentaire de composés antioxydants (vitamine C, α-tocophérol, BHT, etc.) (Béliveau, 2005). Les huiles essentielles de cannelle, muscade, clou de girofle, basilic, persil, origan et thym possèdent de puissants composés antioxydants (Edris, 2007).

Le thymol et le carvacrol sont encore une fois les composés les plus actifs. Leur activité est en relation avec leur structure phénolique car les composés de ce type ont des propriétés oxydo-réductrices et jouent ainsi un rôle important en neutralisant les radicaux libres et en décomposant les peroxydes (Braga et al., 2006).

5.3. L'activité antioxydante :

L'activité antioxydante des huiles essentielles est également attribuable à certains alcools, éthers, cétones, et aldéhydes monoterpéniques : le linalool, le 1,8-cinéole, le géraniol/néral, le citronellal, l'isomenthone, la menthone et quelques monoterpènes : α-terpinène, γ-terpinène et l'α-terpinolène (Edris, 2007). Le potentiel thérapeutique très varié des huiles essentielles a attiré, ces dernières années, l'attention de chercheurs quant à leur possible activité contre le cancer.

De ce fait, les huiles essentielles et leurs constituants volatils font dorénavant l'objet d'études dans la recherche de nouveaux produits naturels anticancéreux (**Edris, 2007**).

5.4. 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 oryzae* L., traduite par un taux de mortalité évalué à 85%. La sensibilité d'un insecte pour une huile essentielle évolue en fonction de son cycle biologique (**Isman, 2000**).

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

5.5. 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. Techniques d'extraction des huiles essentielles :

6.1. L'hydro distillation :

Au cours de l'hydrodistillation, le matériel végétal est immergé dans l'eau, le mélange hétérogène est bouilli, et l'huile essentielle est volatilisée puis condensée. Etant donné l'insolubilisation dans l'eau de ses principaux composés volatils, l'HE peut être séparée par décantation après refroidissement dans un séparateur de phases (**Penchev, 2010**).

L'hydrodistillation (water distillation) (**Fig26**), est la méthode la plus simple anciennement utilisée. Le matériel végétal est immergé directement dans un alambic rempli d'eau placé sur une source de chaleur. Le tout est ensuite porté à ébullition, les vapeurs hétérogènes sont condensées dans un réfrigérant et l'huile essentielle se sépare de l'hydrolat par simple différence de densité. L'huile essentielle étant plus légère que l'eau surnage au-dessus de l'hydrolat (**Lucchiesi, 2005**).

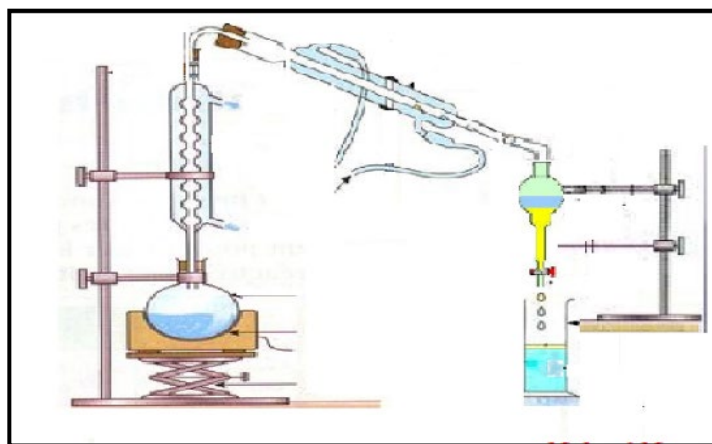


Figure 26: Schéma des étapes d'hydrodistillation (Clevenger) (Mehani, 2016).

6.2. La distillation par vapeur d'eau :

Dans ce système d'extraction (**Fig27**), le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable. Les vapeurs saturées en composés volatils sont condensées puis décantées. L'injection de vapeur se fait à la base de l'alambic. Le matériel végétal dont on veut extraire une huile est placé sur des grilles puis dans des cuves appelées extracteurs. On les remplit de solvant et on effectue ainsi plusieurs lavages successifs. Le mélange est ensuite envoyé dans un décanteur où on le laisse reposer : cette phase de repos va permettre d'obtenir deux phases. Celle au fond contiendra l'eau contenue dans les plantes, l'eau étant plus lourde

que le solvant celui-ci sera à la surface. Les huiles essentielles étant très solubles dans le solvant, elles se retrouvent dans la même phase. Il suffit donc d'éliminer l'eau. Ensuite on fait s'évaporer le solvant afin d'obtenir un composé pur (Werner, 2002). En fonction de la technique et du solvant utilisé on obtient : des hydrolysats, alcoolats, teintures, résinoïdes, oléorésines et des concrètes.

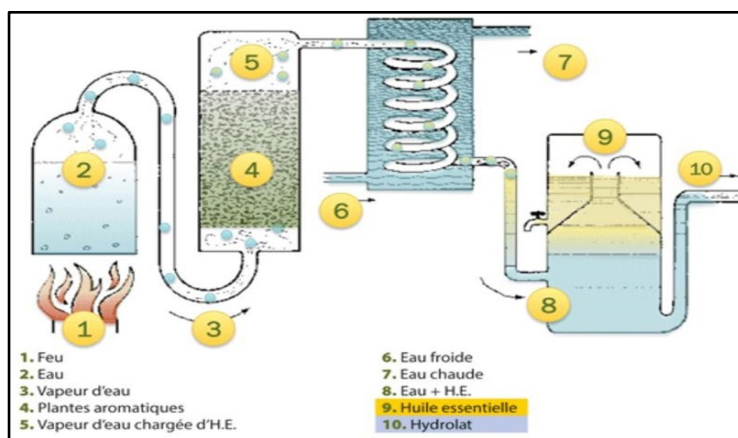


Figure 27: Montage de l'entraînement à la vapeur d'eau (Bazizi, 2017).

6.3. L'extraction à froid :

L'extraction par expression à froid (Fig28), est souvent utilisée pour extraire les huiles essentielles des agrumes comme le citron, l'orange, la mandarine, etc. Son principe consiste à rompre mécaniquement les poches à essences. L'huile essentielle est séparée par décantation ou centrifugation. D'autres machines rompent les poches par dépression et recueillent directement l'huile essentielle, ce qui évite les dégradations liées à l'action de l'eau (Chaintreaux, 2003).

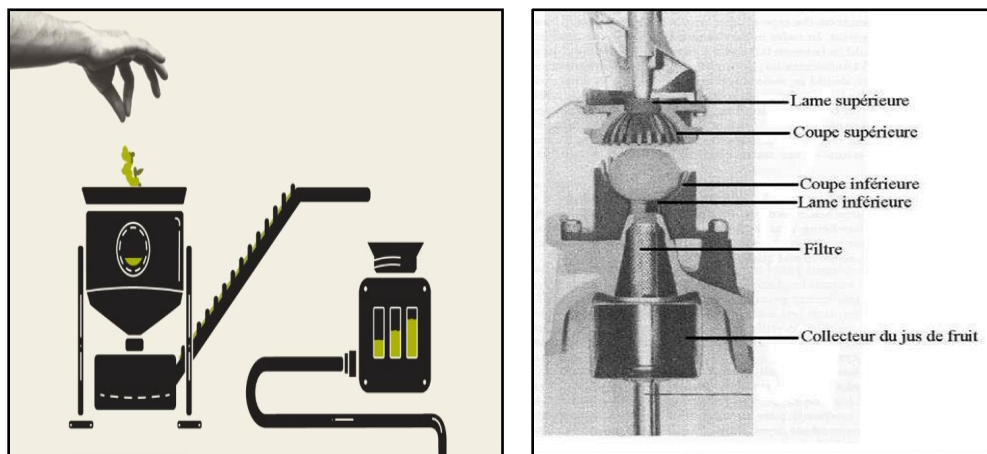


Figure 28: Principe de l'extraction à froid (Bradley et al., 1933).

6.4. L'extraction assistée par micro-onde :

Cette technique très efficace pour l'extraction des huiles essentielles avec un haut rendement et une courte extraction du temps (**Fig29**). Le principe de la méthode est basé sur le fait d'appliquer des microondes, dont l'objectif est d'exciter les molécules d'eau présentes dans la plante, tout en provoquant la rupture des cellules végétales et la libération des huiles essentielles dans l'espace des tissus extracellulaires (**Lahlou, 2004**).

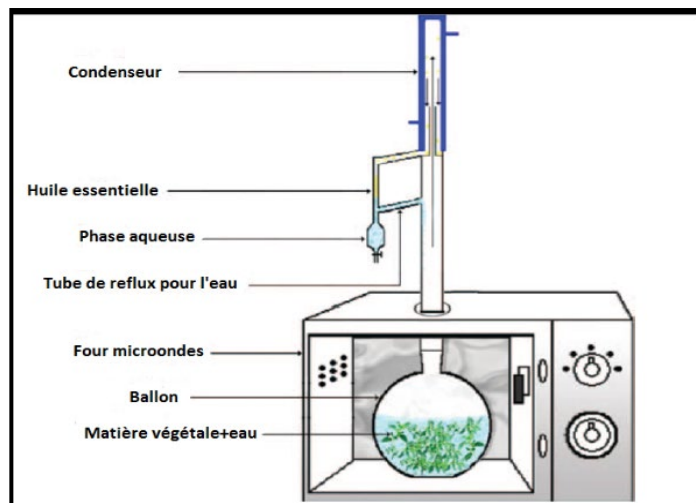


Figure 29: Système d'extraction par micro-ondes (Rostagno et Prado, 2013)

6.5. L'extraction par solvants volatils :

C'est un procédé qui conduit à l'obtention des concrètes, des résinoïdes et des absolues ; le matériel végétal frais est par la suite épuisé par des solvants organiques volatils (**Da Silva, 2010**). Ces extraits sont très utilisés en parfumerie (**BenAbdelkader, 2012**) (**Fig30**).

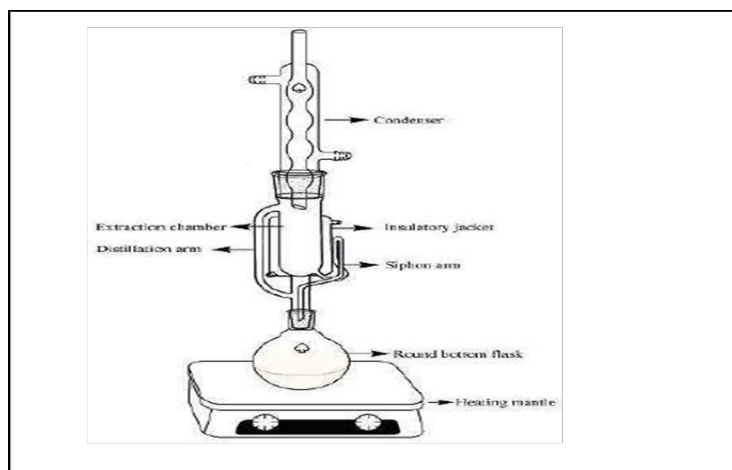


Figure 30 Schéma d'extraction par solvants volatils (Lucchesiet al., 2007)

7. Utilisations des huiles essentielles :

- ❖ **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 terpinéol, le menthol, etc.
- ❖ **Effets calmants et antispasmodiques :** les aldéhydes (citral de la verveine,), les esters (salicylate de méthyle,).

7.3. Effets antiparasitaires : surtout les phénols.

- ❖ **Effets anti-inflammatoires :** selon le type de douleurs, on peut utiliser des esters, des alcools (menthol) ou des aldéhydes (cuminol).
- ❖ **Effets antioxydants:** Les antioxydants ont été largement utilisés comme additifs alimentaires pour fournir une protection contre la dégradation oxydative des aliments, la décoloration et pour allonger leur durée de vie surtout les aliments gras. Les antioxydants les plus utilisés commercialement sont synthétiques ex. hydroxytoluène butyle (BHT) et hydroxyanisolebutylé (BHA) et le butyle hydroquinone tertiaire (TBQH); toutefois ils peuvent provoquer des effets secondaires toxiques sur la santé (Dorman et Hiltunen, 2004 ; Tepe et *al.*, 2006 ; Nickavar et *al.*, 2008).

Matériel et Méthodes

II-MATERIEL ET METHODES :

1-Site d'échantillonnage:

1-1-Présentation de la région de Mila:

Mila est une wilaya du Nord-Est de l'Algérie, à une altitude de 464 mètres et à une distance de 73 km de la mer Méditerranée. Selon **ANDI (2013)**, elle est incluse dans l'Est de l'Atlas tellien grâce à une chaîne de montagnes qui s'étend d'Ouest en Est sur tout le territoire nord du pays. Ses forêts d'arbres sont principalement constituées de forêts naturelles telles que le chêne liège, le hêtre, les juments, ainsi que de forêts artificielles telles que le pin de montagne boisée et les jungles de cyprès... (**DGF Mila, 2016**) (**Fig31**).

La superficie totale de Mila est de 3480,54 km², ce qui représente 0,14 % de la superficie totale du pays. Sa population était de 810370 habitants en décembre 2011. En 1984, Mila a été divisé en 32 communes (**Chaalal, 2012**). La wilaya de Mila est située au centre d'une vaste wilaya, dont elle est le chef-lieu et qui est limitée par:

- ❖ Au Nord-ouest par la wilaya de Jijel ;
- ❖ Au Nord-est par la wilaya de Constantine et Skikda ;
- ❖ À l'Ouest par la wilaya de Sétif ;
- ❖ Au Sud-est par la wilaya D'Oum-El Bouaghi ;
- ❖ Au sud par la wilaya de Batna.

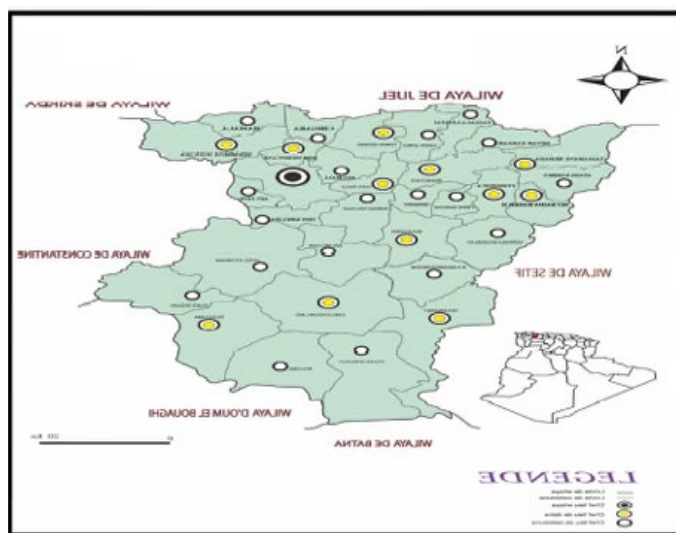


Figure 31: Situation géographique et limites de la Wilaya Mila (CETIC, 2009)

1-2-Présentation de la Commune de « Sidi Merouane » :

La Commune « Sidi Merouane » est située sur le versant nord de la wilaya de Mila à 10 Km du chef-lieu de la wilaya, elle est bordée au nord par la commune d'AL-Shigara, Du côté sud la commune de Mila, à l'est par la commune d'Al Grarem Gouga, et l'ouest par la commune de Traa Baynen. La zone de Sidi Marouane est située dans la province Orientale de l'Algérie, au sein du Barragede Beni Haroun, Aussi elle entourée de vallées (Oued Al-Rimal et ouadEndj) (Fig32).



Figure 32 Situation géographique de la commune de « Sidi Merouane » Mila (Anonyme 04)

1-3- Présentation de la forêt de « Fardwa »:

La zone de « Fardoua » à Mila est une région située dans la wilaya de Mila, en Algérie. Connue pour sa beauté naturelle, cette zone est souvent appréciée pour ses paysages pittoresques, ses montagnes majestueuses et ses vallées verdoyantes. « Fardoua » offre également des opportunités de randonnée et d'exploration pour les amateurs de plein air.

La forêt de « Fardoua » est l'une des attractions principales de la région. Elle est réputée pour sa biodiversité riche, abritant une variété d'espèces végétales et animales. Les visiteurs peuvent profiter de promenades relaxantes à travers ses sentiers sinueux, découvrir des cascades cachées et observer la faune et la flore locales. La forêt de « Fardoua » offre également un refuge paisible pour ceux qui cherchent à se ressourcer en pleine nature (Fig33).

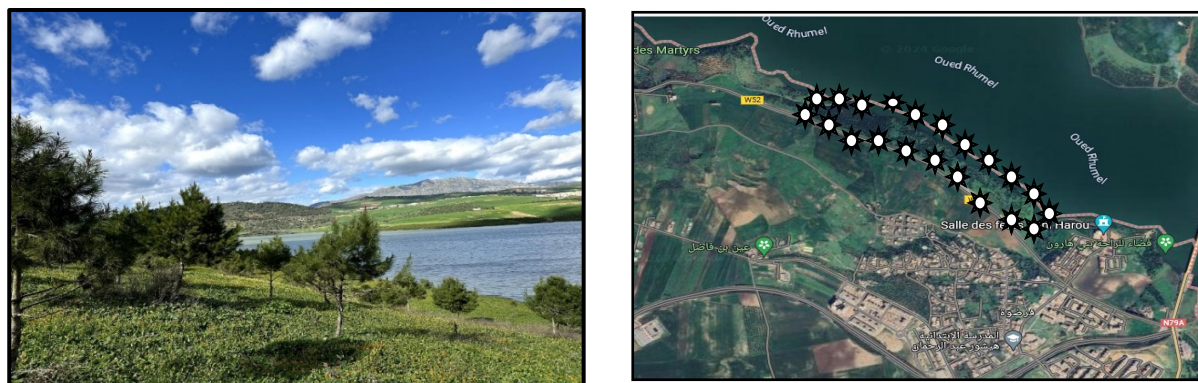


Figure 33: Forêt de « Ferdoua » « Sidi Merouane » Mila (Anonyme 05)

1-4-Données climatiques du la zone d'échantillonnage (Mila 2018) :

1-4-1- Le Climat:

Le climat est essentiel pour la répartition et la vie des organismes vivants dans leur environnement. Selon DGF Mila (2016), les facteurs climatiques englobent différents éléments tels que la lumière et la température.

1-4-2- La pluviométrie :

Selon **Dajoz (2000)**, les précipitations sont toutes sortes d'eau qui tombent du ciel, qu'elle soit liquide ou solide. La répartition des espèces dans les aires biogéographiques est influencée par le volume annuel des précipitations (**Ramade, 1984**). Les besoins en humidité des différentes espèces animales varient en fonction des étapes de leur développement et des fonctions vitales envisagées (**Dreux, 1980**). (Fig34)

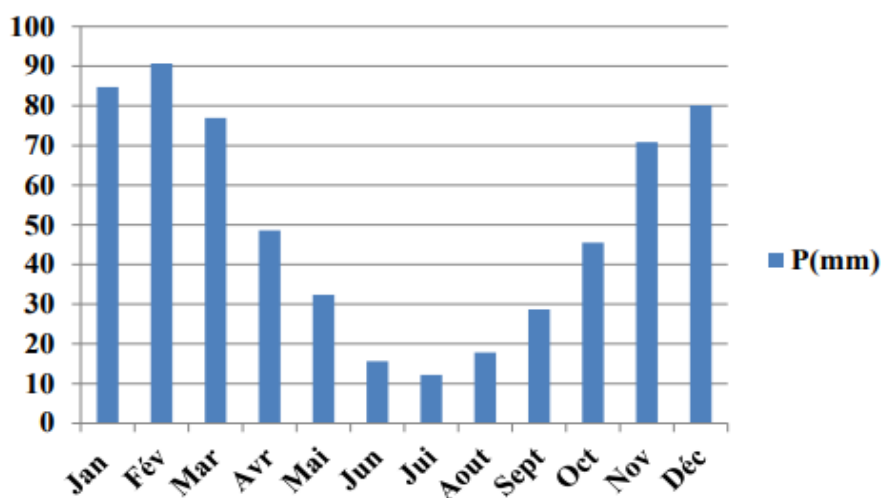


Figure 34 :: Moyenne de précipitation mensuelle dans la région d'étude Mila (Mila 2018)

1-4-3-La température :

La température peut influencer sur les organismes directement ou indirectement parce que les conditions thermiques affectent d'autres organismes à laquelle un individu est écologiquement lié, bien que ces relations passent être complexes. Elle agit directement sur vitesse de réaction des individus, sur leur abondance et leur croissance (Faurie et *al.*, 1980; Ramade, 1984) (Fig35).

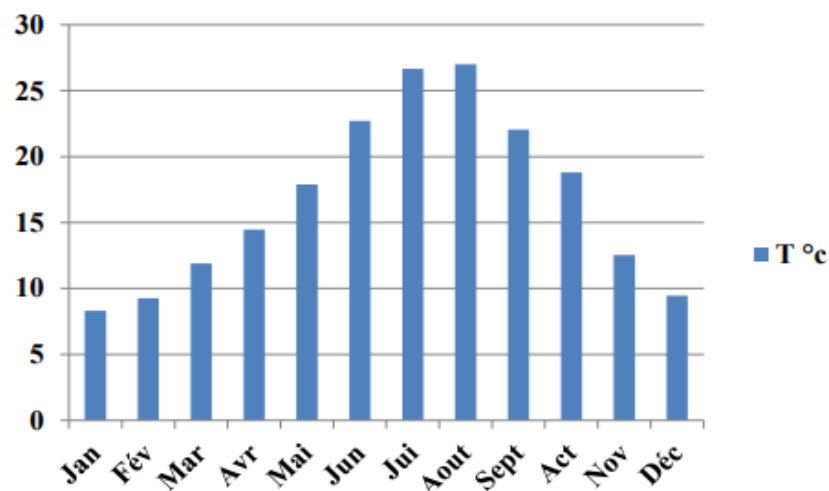


Figure 35: Variation de la moyenne de la température (Mila 2018)

1-4-4-L'Humidité :

C'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans un volume d'air donné et la quantité possible dans le même volume à la même température (Villemeuve, 1974). Elle dépend de plusieurs facteurs climatiques (Faurie et *al.*, 1980) (Fig36)

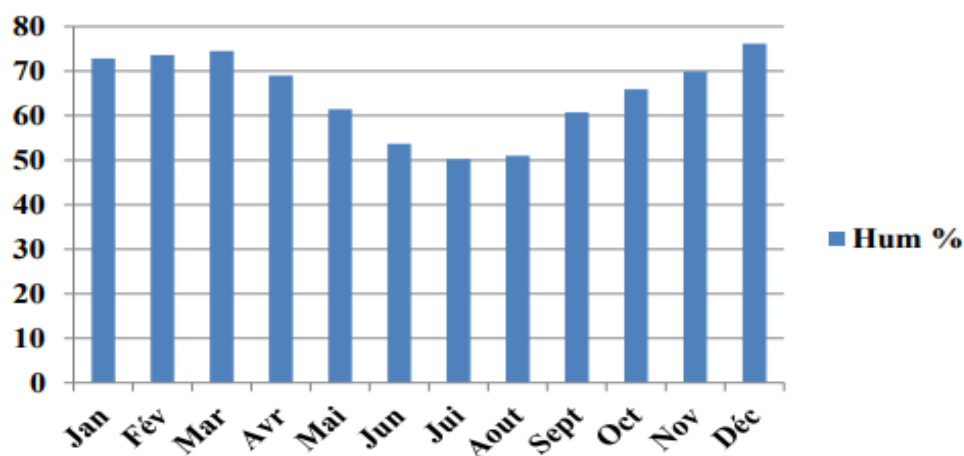


Figure 36: Variation de la moyenne d'humidité mensuelle (Mila 2018)

1-4-5- Le vent :

Le vent est l'un des éléments les plus typiques de la climatologie. Cela peut entraîner une sécheresse en activant l'évaporation (Seltzer, 1946) (Fig37).

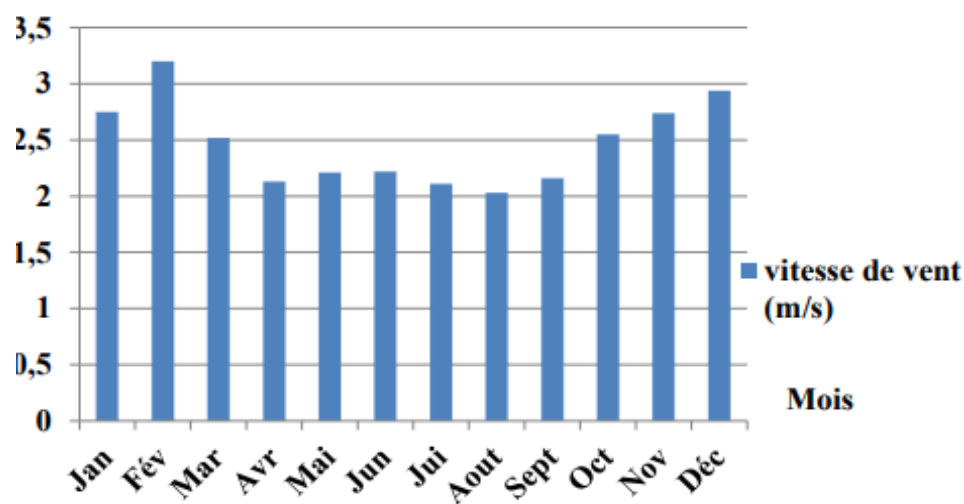


Figure 37: Variation de la moyenne des vents mensuels (Mila 2018)

1-4-6- Glace :

Il est peu fréquent dans la région d'étude, mais il entraîne des pertes significatives aux cultures. Il se manifeste principalement entre janvier et février et touche les arbres fruitiers (DGF Mila, 2016) (Tab01).

Tableau 1: Glace 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-Traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin par les huiles

sélectionnées :

2-1- But du traitement :

Le but principal de notre expérimentation est de développer l'effet toxicologique de trois variétés d'huiles essentielles sur la mortalité des chenilles processionnaires du pin *Thaumetopoea pityocampa* du 3^{ème} stade larvaire.

2-2- Choix des molécules :

Notre choix s'est porté sur trois plantes aromatiques connues pour leur rendement important en matière d'huile essentielle à savoir la Citronnelle (*Cymbopogon citratus*), Le Gingembre (*Zingiber officinale*) et L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*).

2-3-Extraction des huiles essentielles sélectionnées :

La technique d'extraction exercée pour nos échantillons est l'hydro-distillation. Elle est basée sur les principes indiqués par **Ernest (1948)**. Cette dernière est réalisée dans le laboratoire des sciences et des matériaux au niveau du centre universitaire de Mila entre janvier et mars 2024 par un appareil de type « Clevenger » composé principalement d'un :

- ✚ Ballon 1000 mL
- ✚ Chauffe ballon
- ✚ Réfrigérant
- ✚ Circuit d'eau
- ✚ Condensateur Clevenger.

2-3-1-Récolte des plantes :

Le matériel végétal utilisé dans cette étude comprend trois plantes aromatiques récoltées de la région de Guelma en hiver de l'année 2024, à savoir la Citronnelle (*Cymbopogon citratus*), le Gingembre (*Zingiber officinale*) et l'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*).

Les trois plantes ont été séchées, lavées et préparées pour l'extraction selon les étapes suivantes (**Fig38**):

- ❖ Pour la Citronnelle : les fruits sont épluchés en évitant de prendre la partie interne blanche de la peau, puis broyés à l'aide d'un mixeur et introduits dans le ballon rempli à moitié d'eau distillée.

- ❖ Pour le Gingembre : Les rhizomes sont épluchés puis coupés en petits morceaux (2 à 5 mm), et enfin introduits dans le ballon rempli à moitié d'eau distillée.
- ❖ Pour l'Eucalyptus : Les feuilles d'eucalyptus sont séchées à température ambiante, à l'ombre et à l'abri de l'humidité dans une pièce aérée pendant une semaine et ensuite à moitié broyées (Coupées en morceaux) pour être introduites dans le ballon rempli d'eau distillée.

**a****b****c**

Figure 38: Préparation du matériel végétal pour l'hydrodistillation a) Zeste du Citron b) Racine du gingembre râpé c) Feuille d'Eucalyptus coupées (Photos personnelles).

2-3-2-Hydrodistillation par Clevenger :

Nous avons porté à ébullition 100 gramme de chaque plante dans 300 à 400 ml d'eau distillée. Les cellules du végétal éclatent et libèrent alors les molécules chimiques odorantes qui sont entraînées par la vapeur d'eau. Ces derniers sont récupérés dans une burette après condensation dans le réfrigérant. L'hydrodistillation (**Fig39**), qui a durée entre 90 à 120 minutes, contient une phase aqueuse (hydrolat) ainsi qu'une phase organique (l'huile essentielle). Les vapeurs chargées d'huile et qui traversent le réfrigérant, se condensent et chutent dans une ampoule à décanter; L'eau et l'huile se séparent par différence de densité et l'huile est ensuite récupérée, pesée pour calculer le rendement et enfin conservée dans des tubes opaques en verre à température comprise à 4°C.

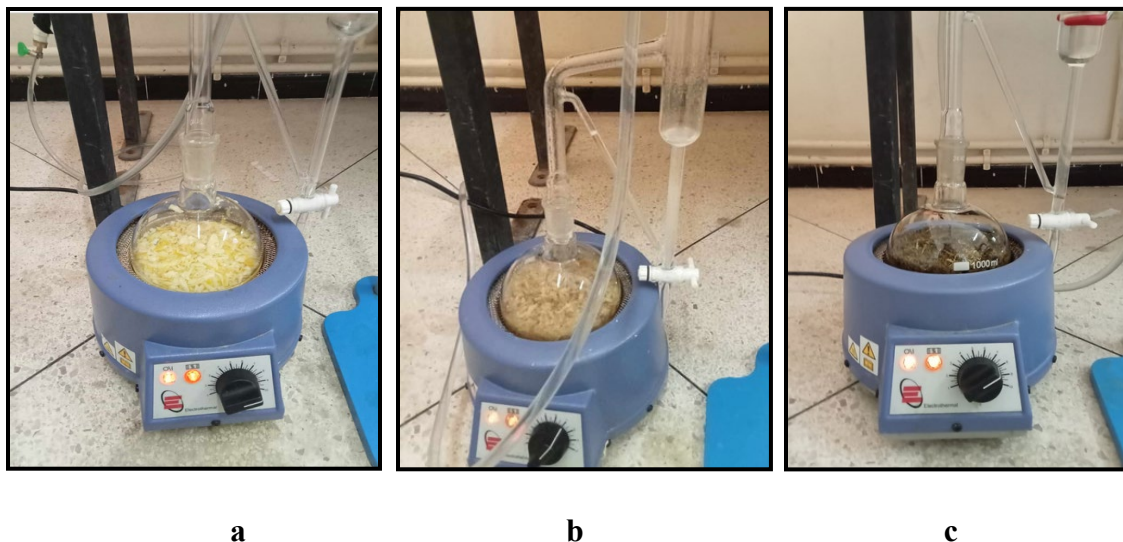


Figure 39: Hydro-distillation des trois plantes sélectionnées (a):La Citronnelle (*Cymbopogon citratus*); (b) : Le Gingembre (*Zingiber officinale*);(c) :L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) (Photos personnelles)

2-3-3- Récupération des huiles extraites :

Les solutions obtenues sont récupérées dans des tubes en verre de type **Eppendorf** et ensuite traitées par le sulfate de sodium (Na_2SO_4) afin d'éliminer les gouttelettes d'eau mélangées à huiles à la fin de l'extraction. Les extraits obtenus des trois plantes étudiées, sont ensuite formulés par le tween 20 à 3% (**Fig40**) pour les préparées à la dilution. Une gamme de doses été retenus pour chaque huile pour l'évaluation de leur pouvoir insecticide.



Figure 40:Flacon de tween 20 (Photo personnelle)

2-4- Préparation des solutions et dilution des concentrations :

2-4-1-Doses utilisées :

Des doses de 1%, de 0,5%, et de 0,25% sont préparées depuis chaque solution primaire des huiles essentielles extraites selon les recommandations de L'OMS. Chaque dilution est placée dans un tube vaporisateur afin de procéder au traitement des aiguilles du pin par pulvérisation.



Figure 41: Traitement des huiles essentielles sur les aiguilles du pin (Photos personnelles)

2-4-2-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 (**Fig41**)

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.



Figure 42: Préparation du traitement (Photos personnelles)

Le traitement toxicologique par les huiles essentielles est réalisé sur des chenilles du 3^{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 (**Fig42**)

Les analyses statistiques sont réalisées sur les résultats de mortalités des chenilles après 3 et 7 jours d'exposition aux traitements.

2-5-Paramètres des huiles essentielles testées :

Les paramètres des trois huiles utilisées à savoir la Citronnelle (*Cymbopogon citratus*); (b) : le Gingembre (*Zingiber officinale*) et l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) sont indiqués dans le tableau suivant (**Tab02**):

Tableau 2 : Paramètres des huiles essentielles utilisées

Molécules	Nom Scientifique	Nom commun	Partie Extraite	Aspect (Forme)	Odeur	Densité
Huile de Citronnelle	<i>Cymbopogon citratus</i>	Citronnelle Ou Lemongrass	Zeste	Liquide jaunâtre	Fraiche, vive et citronnée	0,89
Huile de Gingembre	<i>Zingiber Officinale</i>	Gingembre commun	Rhizomes	Liquide transparent	Fraiche et mentholée	0,87
Huile d'Eucalyptus	<i>Eucalyptus Globules</i>	<i>Eucalyptus</i> commun	Feuilles	Liquide doré	Fraiche et camphrée	0,90

2-6-Composition biochimique des huiles utilisées :

2-6-1- L'huile de Citronnelle :

Les différentes espèces de *Cymbopogon* contiennent principalement des huiles essentielles composées de monoterpènes. L'huile essentielle de *C. citratus* possède différentes compositions chimiques. Selon l'origine géographique, on a principalement enregistré des composés hydrocarbonés tels que les terpènes, les alcools, les cétones, les esters et les aldéhydes de manière continue (**Costa, 1986 et Cicognaal, 1986-1987**). Selon **Matouschek et Stahl (1991)**, **Trease (1996)** et **Silva et al., (1995)**. Parmi les divers isolants et les composés issus des feuilles et des racines de citronnelle, on retrouve des alcaloïdes, de la saponine (A-sistostérol), des terpènes, des alcools, des cétones, des flavonoïdes, l'acide chlorogénique, l'acide caféique, l'acide

p-coumarique et des sucres. (Alves et Souza, 1960 ; Olaniyiet *al.*, 1975 ; Hansonet *al.*, 1976) ; Gunasingh et Nagarajan, 1981 ; Matouschek et Stahl, 1991 ; Chisowa et *al.*, 1998). Ces huiles essentielles sont extrêmement abondantes.

2-6-2- L'huile de Gingembre :

Le gingembre possède une composition chimique complexe. Les rhizomes contiennent principalement des glucides ou de l'amidon, qui est le principal composant (50-70%) (Grzanna et *al.*, 2005 ; Srinivasan, 2017). De plus, il contient une huile essentielle riche en lipides (3-8%) et en composés phénoliques, ainsi qu'une fraction d'huile essentielle allant de 10 à 40 mL/kg, contenant de nombreuses molécules odorantes (terpènes) (Srinivasan, 2017 ; Mahboubi, 2019)

2-6-3- L'huile d'Eucalyptus :

L'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* est également inscrite à la Pharmacopée Européenne. D'après celle-ci, elle contient (1,8-cinéole) au minimum 70% ; du (α -pinène) de 0,05 à 10 % ; du limonène de 0,05 à 15% ; du (β -pinène) de 0,05 à 1,5 % ; du sabinène, au maximum 0,3% : du (α -phellandrène) de 0,05 à 1,5% et enfin du camphre, au maximum 0,1% (Koziol, 2015)

3-Le Traitements statistiques des données :

3-1-Détermination du rendement :

Selon la norme Afnor (1986), le rendement en huile essentielle, est défini comme étant le rapport entre la masse de l'huile essentielle obtenue après extraction et la masse de la matière végétale utilisée. Il est donné par la formule suivante :

$$R = (Ph / PP) \times 100$$

Où:

R : Rendement en HE exprimé en pourcentage (%)

Ph: Poids de l'HE en gramme

PP : Poids de la masse végétative en gramme

3-2- Traitement toxicologique :

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 et 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 3^{ème} stade larvaire de la chenille processionnaire du pin, après 3 et 7 jours du traitement sur (Excel 2010).

- **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 3^{ème} stade larvaire des chenilles processionnaires.

3-3- Analyse factorielle :

Les données normalisées font l'objet d'une analyse de la variance (ANOVA) à un seul critère de classification sur (Minitab 2017). En utilisant ANOVA nous cherchons à déterminer s'il existe une différence significative entre les différentes doses d'insecticides utilisées.

Résultats

III-RESULTATS :**1-Rendement des huiles essentielles utilisées :**

$$R\% = \frac{\text{pois de l'huile(g)}}{\text{pois(plants)}} \times 100$$

$$R \% = \frac{1(g)}{100(g)} \times 100$$

$$R = 1\%$$

Le rendement des huiles essentielles utilisées est de 1%. A partir de cette dose primaire, des délutations de 0,25%, de 0,5% et de 1% ont fait l'objet des traitements toxicologiques.

2-Traitement toxicologique des chenilles processionnaires à l'huile de Citronnelle :**2-1-Mortalité Corrigée après 3 jours du traitement :**

Le traitement toxicologique des chenilles processionnaires aux huiles essentielles indiquent des résultats variables d'une huile à l'autre et d'une dose à une autre et ce après 3 jours des tests :

Pour l'huile de Citronnelle, les résultats marquent un taux de mortalité égale à 6.66 pour la dose (0.25%) et la dose (0.5%) et 13,33% pour la dose (1%).

Concernant l'huile de gingembre, après trois jours, le traitement n'a enregistré aucune mortalité pour les doses (0.25%) et (0.5%) et seulement 10% pour la dose de (1%)

Pour l'huile d'Eucalyptus, le taux de mortalité enregistrée après 3 jours du traitement est de 6.66% pour la dose de (0.25%), 20% pour la dose de (0,5%) et 16,66% pour la dose de (1%) **(Tab03).**

Tableau 3 : Taux de mortalité corrigée après 3 jours du traitement toxicologique aux trois huiles essentielles

Huiles	Répétitions	0,25%	0,5%	1%
Citronnelle	R1	10	10	10
	R2	10	10	20
	R3	10	0	10
Moyenne		6.66	6.66	13.33
Gingembre	R1	0	0	10
	R2	0	0	10
	R3	0	0	10
Moyenne		0	0	10
Eucalyptus	R1	10	20	10
	R2	10	30	30
	R3	0	10	10
Moyenne		6.66	20	16.66

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

2-2-Mortalité Corrigée après 7 jours du traitement :

-Après 7 jours du traitement toxicologique aux huiles, on constate que les taux de mortalité augmentent remarquablement :

Pour l'huile de Citronnelle, le taux de mortalité est égal à 25.92% pour la dose de (0.25 %). Cette valeur augmente pour atteindre 29.62% pour la dose de (0.5 %) et 37.03 % pour la dose de (1%).

Concernant l'huile de gingembre le taux de mortalité enregistré au 7^{ème} jour est de 3.70% pour la dose de (0.25%), 7.40% et pour la dose (0.5%) et 14.81% pour la dose de (1%)

Enfin et pour l'huile d'Eucalyptus, le taux de mortalité est le plus important comparant aux autres molécules. En effet, le traitement toxicologique a enregistré des valeurs de mortalité égale à 29.62% pour la dose de (0.25%), 40.73% pour la dose de (0.5%) et enfin 74.06% pour la dose (1%) et cela après 7 jours des tests (**Tab04**).

Tableau 4: Taux de mortalité corrigée après 7 jours du traitement toxicologique aux trois huiles essentielles

Huiles	Repetitions	0,25%	0,5%	1%
Citronnelle	R1	22.22	22.22	44.44
	R2	22.22	44.44	44.44
	R3	33.33	22.22	22.22
Moyenne		25.92	29.62	37.03
Gingembre	R1	0	11.11	22.22
	R2	0	11.11	11.11
	R3	11.11	0	11.11
Moyenne		3.70	7.40	14.81
Eucalyptus	R1	33.33	44.44	88.88
	R2	33.33	44.44	77.77
	R3	22.22	33.33	55.55
Moyenne		29.62	40.73	74.06

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

2-3-Comparaison entre l'effet des trois molécules :

2-3-1- Comparaison de l'effet larvicide des huiles après 3 jours du traitement :

-Après 3 jours de traitement toxicologique, les huiles essentielles ont marqué un effet variable d'une huile à l'autre. En effet :

Pour la dose de (0.25%), les huiles de citronnelle et d'Eucalyptus ont enregistré l'effet larvicide le plus élevé avec 6.66% de mortalité.

Concernant les résultats de la dose de (0.5%), l'huile d'Eucalyptus est celle qui a marqué l'effet toxicologie le plus important avec (20%) de mortalité.

Enfin et pour les tests à la dose la plus élevée (1%), l'huile d'Eucalyptus est toujours la molécule qui a indiqué l'effet larvicide le plus élevé (**Fig43**).

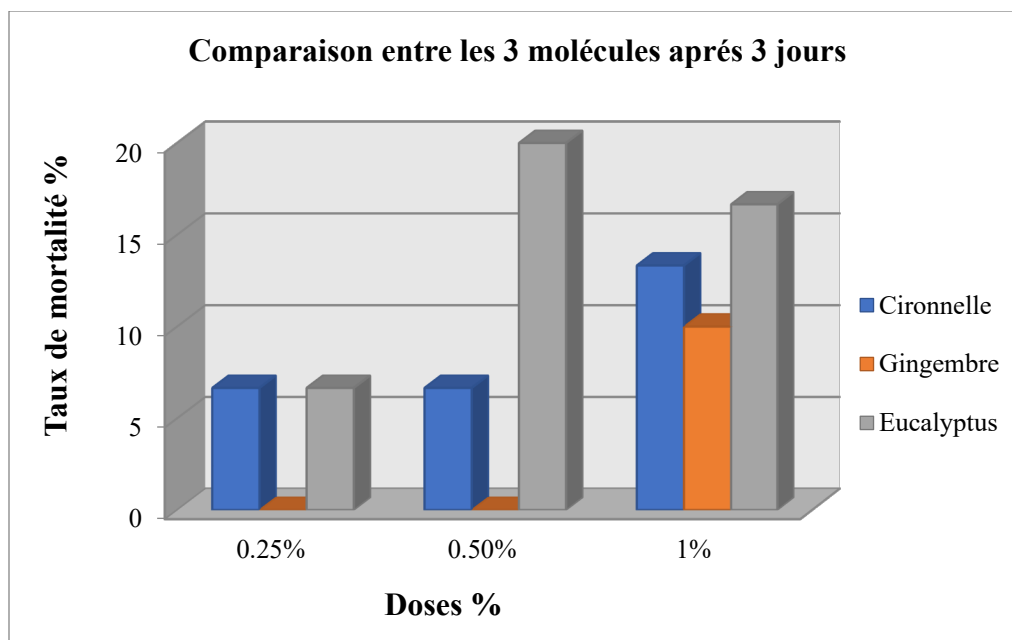


Figure 43 : Comparaison des taux de mortalité enregistré après 3 jours du traitement toxicologique aux différentes huiles essentielles

2-3-2- Comparaison de l'effet larvicides des huiles après 7 jours du traitement :

-Après 7 jours du traitement toxicologique, le taux de mortalité a remarquablement augmenté pour toutes les huiles testées et pour les doses utilisées. On remarque que :

Pour la dose (0.25%) l'effet le plus élevée est celui d'Eucalyptus avec un taux de mortalité (29.62 %) suivi par la Citronnelle avec un taux (25.92%) et enfin le Gingembre qui n'a tuée que (3.70%) de population traitée.

Les mêmes résultats sont enregistrés pour les doses les plus élevées avec un taux de mortalité plus élevée chez la chenille traitée à huile d'Eucalyptus (40.73%) pour la dose de (0.5%) et (74.06%) sur la dose de (1%) (**Fig44**).

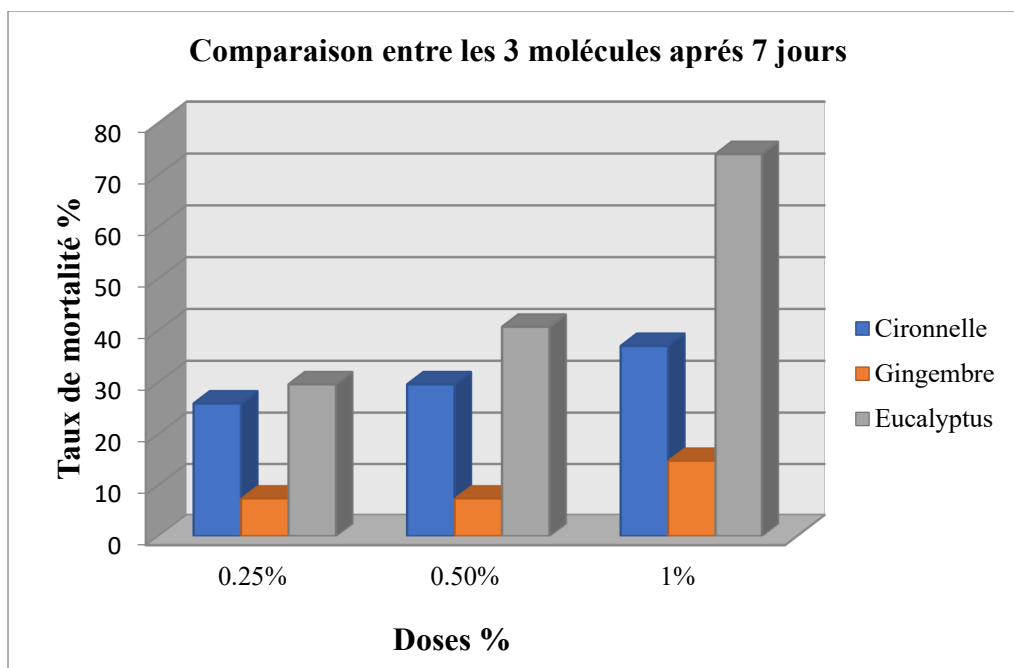


Figure 44: Comparaison des taux de mortalité enregistré après 7 jours du traitement toxicologique aux différentes huiles essentielles

3-Analyse factorielle du traitement toxicologique :

3-1- Test d'Anova des traitements toxicologiques aux huiles essentielles après 3 jours du traitement :

Après 3 jours des tests toxicologiques, et pour le traitement des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Citronnelle, les données des taux de mortalité corrigés et normalisés ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification qui révèle un effet concentration non significatif ($F= 1,50$). Le coefficient de détermination ($R^2= 11,11\%$) révèle l'absence de corrélation entre les probits des mortalités corrigées et le logarithme des concentrations testées.

Concernant le traitement des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Citronnelle, les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (**Tab05**) révèlent un effet concentration non significatif ($F= 1,63$). Le coefficient de détermination ($R^2= 13,51\%$) révèle une faible liaison entre les probits des mortalités corrigées et le logarithme des concentrations testées.

Tableau 5: Variance des taux de mortalité des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées aux différentes huiles après 3 jours du traitement

Les huiles	Sourc e	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Citronnelle	Factor	2	66.67	33.33	1.50	0.296	11.11%
	Error	6	133.33	22,22			
	Total	8	200.00				
Gingembre	Factor	2	200.000	100.000	*	*	100.00%
	Error	6	0.000	0.000			
	Total	8	200.000				
Eucalyptus	Factor	2	288.9	144,44	1.63	0.27	13.51%
	Error	3	533.3	88,89			
	Total	5	822.2				

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

2-3- Test d'Anovades traitements toxicologiquesaux huiles essentielles après 7 jours du traitement :

Après 7 jours des tests toxicologiques, et pour le traitement des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Citronnelle, les données des taux de mortalité corrigés et normalisés ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification qui révèle un effet concentration faible ($F = 0,78$). Le coefficient de détermination ($R^2 = 00\%$) révèle l'absence de relation entre les probits des mortalités corrigées et le logarithme des concentrations testées.

Concernant le traitement des chenilles processionnaires du pin à l'huile de gingembre, les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (**Tab06**) révèlent un effet concentration non significatif ($F = 2,33$). Le coefficient de détermination ($R^2 = 25\%$)

Enfin et pour le traitement des chenilles processionnaires du pin à l'huile d'Eucalyptys, l'analyse de la variance à un critère de classification enregistre une valeur de ($F = 13$) et indique des différences très hautement significatives entre les différents taux de mortalité marquées par les

différentes doses. Le coefficient de détermination ($R^2 = 75\%$), ce qui révèle une liaison positive très forte entre les probits des mortalités corrigées et le logarithme des concentrations testées.

Tableau 6: Tab 0: Variance des taux de mortalité des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* traitées aux différentes huiles après 7 jours du traitement

Les huiles	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R^2
Citronnelle	Factor	2	192.0	96.00	0.78	0.501	00%
	Error	6	740.6	123,43			
	Total	8	932.6				
Gingembre	Factor	2	192.0	96.00	2.33	0.178	25%
	Error	6	246.9	41,14			
	Total	8	438.9				
Eucalyptus	Factor	2	3209.2	1604.4	13.00	0.007	75%
	Error	6	740.6				
	Total	8	3949.8				

SS : Somme des carrés – ADJ DF : Degré de liberté – ADJ MS : régression- F : Variance observée-
P : Niveau de signification- R^2 : Coefficient de détermination

4-Paramètres toxicologiques des taux de mortalité :

4-1-Valeurs des droites de régression et des concentrations létales pour chaque molécule après 3 jours du traitement :

Après 3 jours de traitement des chenilles processionnaires à l'huile de citronnelle l'équation de régression est la suivante : $y = 0.6667x + 3.8233$, avec des doses létales DL 50 % et des DL 90% égales à 60% et 5248,07%. Le coefficient de détermination R^2 est de 75% (**Fig45**).

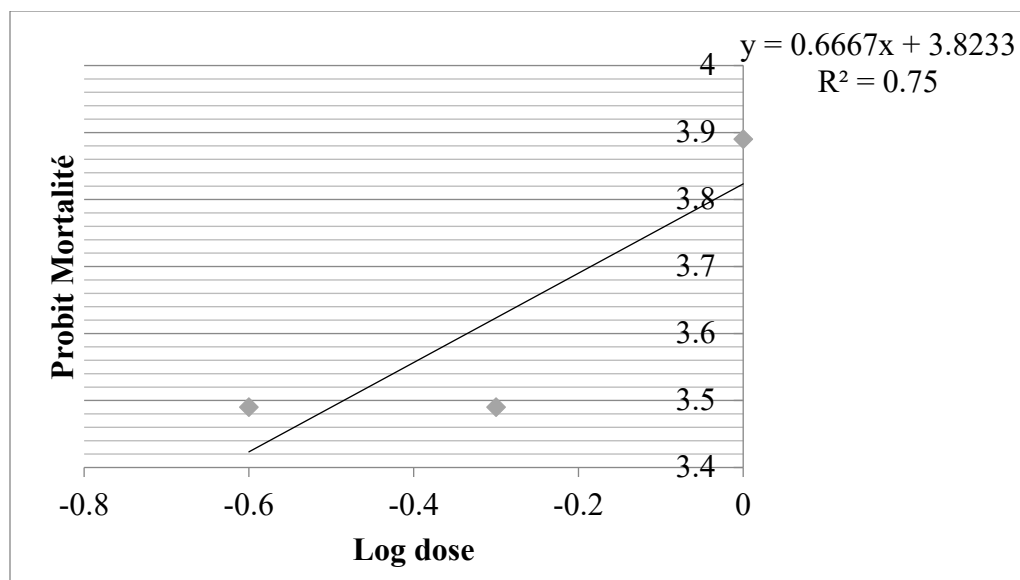


Figure 45 : Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Citronnelle au 3ème jour du traitement

Concernant le traitement des chenilles processionnaires à l'huile d'Eucalyptus l'équation de régression est la suivante : $y = 0,9x + 4,633$, avec des doses létales DL 50 % et des DL 90% égales à 8,51% et 223,8%. Le coefficient de détermination R^2 est de 57,75 % (Fig46) (Tab07).

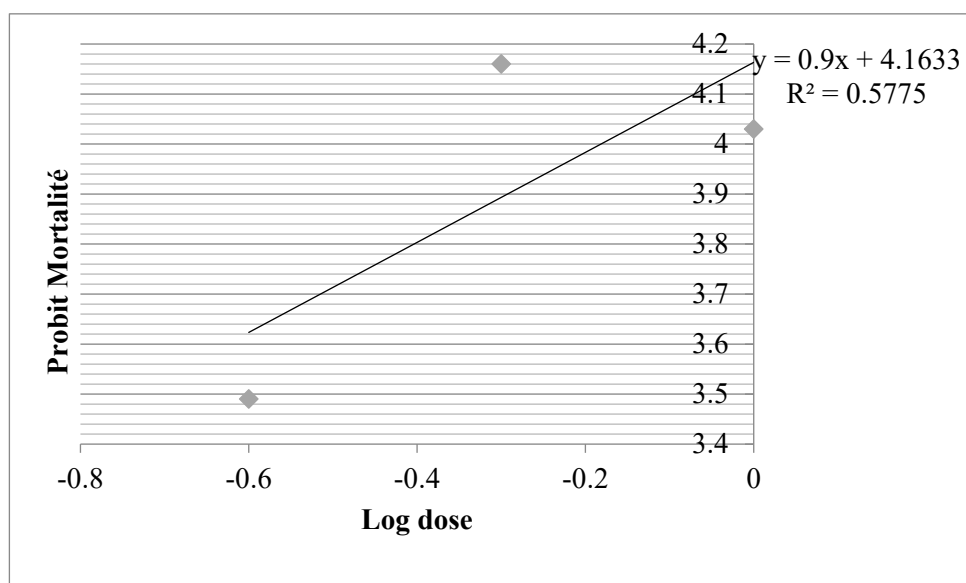


Figure 46: Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile d'Eucalyptus au 3ème jour du traitement

Tableau 7 : Paramètres toxicologiques et concentrations létales après 3 jours du traitement des chenilles du 3ème stade larvaire de *T. pityocampa* par les différentes huiles essentielles

Paramètres	Concentrations utilisées (%)	Droite de régression	CL50	CL90	R ²
Huile de Citronnelle	0,25	$Y = 0,66x + 3,82$	60,25%	5248%	75%
	0,5				
	1				
Huile d'Eucalyptus	0,25	$Y = 0,9x + 4,16$	8,51%	223%	57%
	0,5				
	1				

Y : Droite de régression-CL : Concentration létale- R² : Coefficient de détermination.

4-2-Valeurs des droites de régression et des concentrations létales pour chaque molécule après 7 jours du traitement :

Après 7 jours de traitement des chenilles processionnaires à l'huile de Citronnelle l'équation de régression est la suivante : $y = 0,5333X + 4,6567$, avec des doses létales DL 50 % et des DL 90% égales à 4,57% et 1174,89%. Le coefficient de détermination R² est de 97,96% (**Fig47**) (**Tab08**).

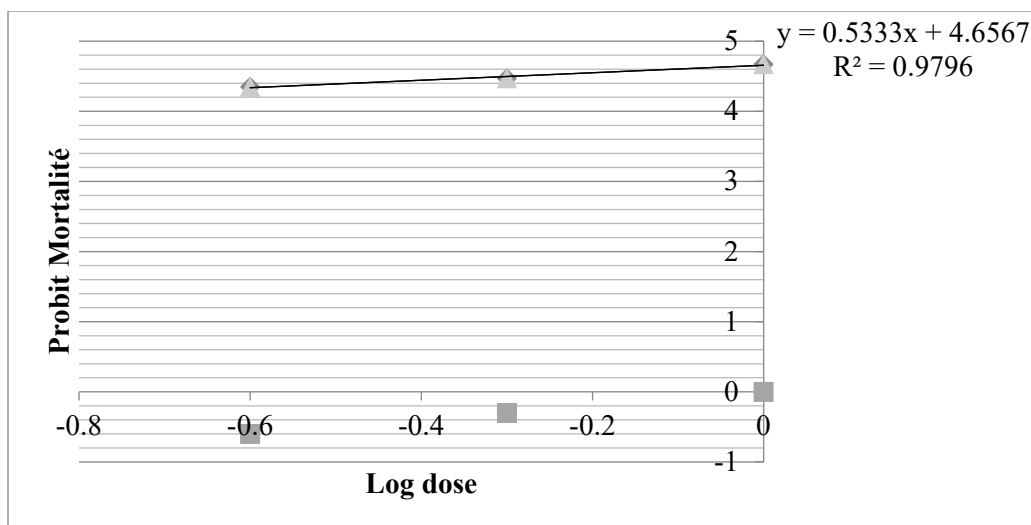


Figure 47 : Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Citronnelle au 7ème jour du traitement

Concernant le traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de Gingembre au 7ème jour, l'équation de régression est la suivante : $y = 0,6667x + 3,8833$, avec des doses létales DL 50 % et des DL 90% égales à 48,97% et 4265,79%. Le coefficient de détermination R^2 est de 75% (Fig48).

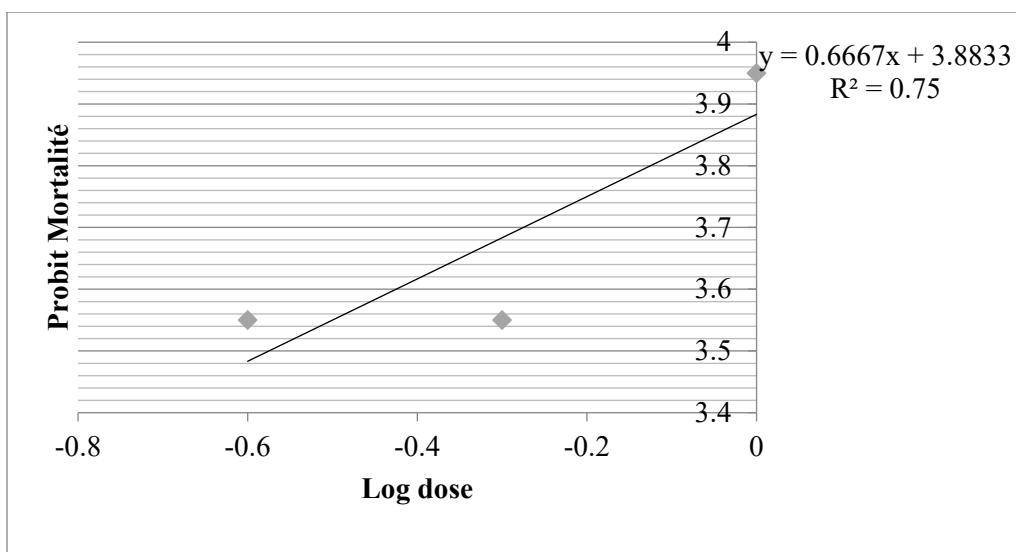


Figure 48: Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de gingembre au 7ème jour du traitement

Enfin et pour le traitement des chenilles processionnaires à l'huile d'Eucalyptus l'équation de régression enregistrée au 7^{ème} jour est la suivante : $y = 1,95x + 5,5417$, avec des doses létales DL 50 % et des DL 90% égales à 0,53% et 2,39%. Le coefficient de détermination R^2 est de 92,19 % (Fig49).

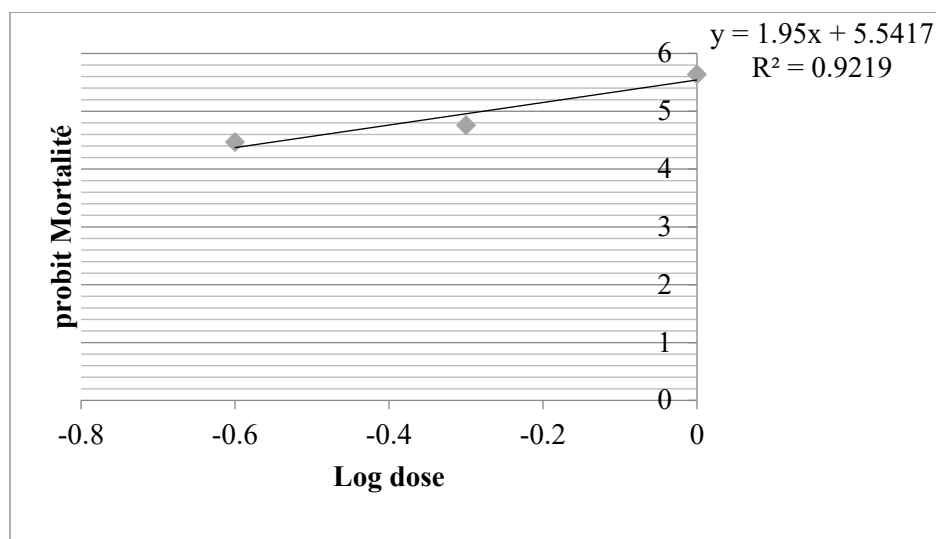


Figure 49: Droite de régression du traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile de gingembre au 7ème jour du traitement

Tableau 8 : Paramètres toxicologiques et concentrations létales après 7 jours du traitement des chenilles du 3ème stade larvaire de *T. pityocampa* par les différentes huiles essentielles.

Paramètres	Concentration sutilisées (%)	Droite de régression	CL50	CL90	R ²
Huile de Citronnelle	0,25 0,5 1	$Y=0,53x+4,65$	4,57%	1174%	97%
Huile de Gingembre	0,25 0,5 1	$Y=0,66x+3,88$	48,97%	4265%	75%
Huile d'Eucalyptus	0,25 0,5 1	$Y=1,95x+5,54$	0,53%	2,39%	92%

Y : Droite de régression-CL : Concentration létale- R₂ : Coefficient de détermination.

Discussion et Conclusion

IV-DISCUSSION ET CONCLUSION :

La Chenille processionnaire du pin est un insecte de l'ordre des Lépidoptères, connue pour son mode de déplacement en file indienne et pour être le principal ravageur défoliateur dans tout le bassin méditerranéen (**Sbabdji, 1997; Battisti et al., 2015**). Les larves se nourrissent des aiguilles de diverses espèces de pin et de cèdre, provoquant un affaiblissement important des arbres et une diminution considérable de leur croissance, même à faibles niveau de défoliation (**Robinet, 2006**). Ce qui peut les rendre plus sensibles aux attaques d'autres ravageurs (**Demolin et Rive, 1968**).

Le cycle de vie de l'insecte est annuel, il commence par les œufs et se termine par les adulte, en passant par cinq stades larvaire et la nymphose (**Martin, 2005**). Il s'agit des larves du papillon nocturne, *Thaumetopoea pityocampa*, qui éclosent entre juin et septembre et qui ne vivent généralement qu'une nuit (**Bertella, 1987 ; Zamoum et al., 2017**) .

C'est aussi un allergène et un irritant, ainsi qu'une nuisance pour les humains et les animaux. En effet, aux moments de défense ou de stress, les larves de la chenille processionnaire du pin projettent des poils, dans l'air, provoquent souvent des cas de rongement de langue chez les animaux et des démangeaisons chez les humains (**Martin, 2016**).

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

Différentes méthodes de combat existent, dont l'emploi dépend du cycle biologique, de la localisation géographique ou des conditions climatiques, des périodes de traitement, et du stade de développement de l'insecte (**Leblond et al 2010**).

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. En plus, 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**).

En quête de nouvelles techniques pour lutter contre les insectes nuisibles, la possibilité d'utiliser les substances secondaires des plantes a suscité beaucoup de travaux, qui ont montré la large variété d'activités biologiques des préparations à base des plantes (antitumorale, antimicrobienne, antioxydante, cicatrisante, insecticide,...) (**candan et al., 2003**).

Les huiles essentielles, également connues sous le nom d'essences, sont des combinaisons de composés aromatiques produits par diverses plantes et se trouvant sous forme de petites gouttelettes dans les feuilles, la peau des fruits, la résine et les bois. Les quantités de ces substances sont faibles par rapport à la masse du végétal (**Padrini et Lucheroni, 1996**).

Selon **Bruneton (1993)**, dans la 8^{ème} édition de la pharmacopée française, les huiles essentielles sont définies comme étant "des produits de composition généralement complexes qui contiennent les principes volatils présents dans les végétaux et qui sont plus ou moins altérés lors de leur préparation".

Nous nous sommes intéressés dans notre travail à l'évaluation de l'effet toxicologique de trois variétés d'huiles essentielles sur la mortalité des chenilles processionnaires du pin *Thaumetopoea pityocampa* du 3^{ème} stade larvaire à savoir : l'huile de Citronnelle (*Cymbopogon citratus*), l'huile d'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), et l'huile de Gingembre (*Zingibre officinale*). Des doses de 0,25%, de 0,5% et de 1% sont testées après 3 et 7 jours du traitement.

Les résultats des traitements toxicologiques indiquent que l'huile d'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) est celle qui a marqué l'effet larvicide le plus important avec environ (75%) de mortalité enregistrée après 7 jours de traitement, suivie par l'huile de Citronnelle (*Cymbopogon*

citratus) qui a développée un effet faible avec environ (37%) pour la dose la plus élevée (01%) et enfin l'huile de Gingembre (*Zingiber officinale*) qui n'a tué que 15% de la population testée.

Les huiles essentielles extraites de plantes sont constitué d'un mélange complexe de constituants volatils variables d'une huile à l'autre pouvant présenter un large spectre pharmacologique et ayant des propriétés analgésiques, anti-inflammatoires, antibactériennes, antivirales, insecticides et antioxydantes (**Alviano et al., 2012**).

Le traitement toxicologique des chenilles processionnaires à l'huile de Citronnelle présente une mortalité enregistrée égale à 6.66 pour les doses (0.25%) et (0.5%) après 3 jours du traitement et 13.33% pour la dose (1%). Après 7 jours du traitement, ces taux de mortalité ont légèrement augmenté pour atteindre les moyennes (25.92% 29.62% 37.03%) pour les doses (0.25% et 0.5% et 1%). La valeur de F après 3 et 7 jours est de (0.78) et (1.50), le coefficient de détermination R^2 après 3 et 7 jours est de (33.33%) et (20.59%).

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

L'huile essentielle des feuilles de Citronnelle (*Cymbopogon nardus* L.) a également fait l'objet des traitements toxicologiques contre *B. tabaci*, où les résultats ont indiqué que le taux de mortalité augmente avec la concentration de l'huile essentielle (6,66 μ L/L de concentration pour un taux de mortalité égale à 94,3 %) (**Khalid et al., 2017**).

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

Des études d'analyses chimiques de l'huile essentielle de la Citronnelle *Cymbopogon citratus* montrent qu'elle possède des propriétés anti-microbienne (in vitro), anti-inflammatoire et cicatrisante (in vivo) et indiquent sa fiabilité pour une éventuelle utilisation en dermocosmétique ou comme ingrédient nutraceutique (Guici EL-Kouacheur et Boucetta, 2017).

Lagraa et Bouznada (2023) ont montré que la plante de Citronnelle contient 37 produits, dont 4 produits sont majoritaires, et où le Citral est la substance essentielle et l'hémostype responsable de l'efficacité de cette huile essentielle.

Concernant les tests toxicologiques à base d'huile essentielle de Gingembre, les résultats indiquent des valeurs très faibles après 3 jours du traitement (0%, 0% et 10%) pour les doses (0,25 g/L, 0,5 g/L et 1 g/L). Ces valeurs ont changé après 7 jours pour atteindre (3,70%, 7,40%, 14,81%) pour les mêmes doses. La hausse des taux de mortalité a montré une faible relation entre les taux de mortalité et les doses utilisées.

Doumandji et al., (2015) ont étudié l'impact de la liaison de l'huile essentielle de Gingembre (*Zingiber officinale*) aux micro-organismes sur la mineuse de la tomate. Les tests d'activité antimicrobienne ont été effectués sur huit souches, dont cinq bactériennes : *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis* et *Aureus flora*, et trois souches fongiques : *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* et *Candida albicans*. Les résultats de cette étude ont montré que l'huile essentielle de *Zingiber officinale* a une activité antimicrobienne modérée et que *Metarhizium anisopliae* (champignon) est l'espèce la plus sensible aux traitements.

Benabdi et Moussaoui (2020) ont également étudié l'effet d'extraits d'*Artemisia (Artemisia herba alba)* et du Gingembre (*Zingiber officinale*) sur quelques bactéries et moisissures indésirables dans les denrées alimentaires. D'après les auteurs, les traitements montrent une

augmentation de l'activité antibactérienne par l'utilisation de la combinaison des deux plantes par rapport aux résultats de l'utilisation de chaque plante prise individuellement.

Des chercheurs en parasitologie de Taïwan, ont prouvé l'activité anti-helminthique (Antiparasitaire) de composés présents dans le rhizome de gingembre et précisément l'efficacité des composants du [10]-shogaol, [6]-shogaol, [10]-gingérol et [6]-gingérol contre le parasite *Anisakis simplex* (Quresh et al., 1989).

Sadok (2016) qui a étudié le rendement d'extraction des huiles essentielles du Gingembre et de Romarin, ainsi que leur activité antibactérienne, a constaté que *Zingiber officinale* HE avait un effet inhibiteur très important sur toutes les souches testées, soulignant qu'elle avait une activité très significative.

Enfin et pour le traitement toxicologique des chenilles processionnaires du pin à l'huile essentielle d'Eucalyptus, nos résultats ont indiqué que l'huile d'Eucalyptus est celle qui a marqué l'effet larvicide le plus important pour toutes les doses testées et quelque soit la durée d'exposition aux traitements. En effet les taux de mortalité enregistrée après trois jours du traitement sont de 6.66% pour la dose de (0.25%), 20% pour la dose de (0,5%) et 16,66% pour la dose de (1%). Les mêmes valeurs ont remarquablement augmenté après 7 jours pour atteindre 29.62% pour la dose de (0.25%), 40.73% pour la dose de (0.5%) et enfin 74.06% pour la dose de (1%).

Nos résultats concordent avec ceux de Kanat et Alma(2003) qui 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.

Par ailleurs, les taux de mortalité enregistré pour le traitement des chenilles processionnaire du pin à l'extrait aqueux d'Eucalyptus sont importantes 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**)

Bekri et Benkorich (2022) ont révélé qu'après 72 heures d'exposition du puceron vert des agrumes à une dose élevée (D1 = 1 %) d'huile d'*Eucalyptus*, la mortalité est de 100 %. De plus, la dose et la durée d'exposition augmentent proportionnellement aux taux de mortalité.

Nafadjara et al., (2023) ont mené une étude sur l'effet larvicide de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* sur les ravageurs récolteurs de coton. D'après leurs tests de contact et d'ingestion à de forte concentration d'huile, la coccidiose entraîne des taux de mortalité moyens élevés, semblables à ceux trouvés dans les insecticides synthétiques courants.

Bey-ouldsi-said (2013) à montré que l'huile essentielle d'*E. globulus* peut agir en tant qu'agent antioxydant et conservateur prometteur pour l'industrie alimentaire, car il est capable de prévenir l'oxydation des aliments et de réduire la croissance des microbes responsables de la détérioration des aliments.

L'*Eucalyptus globulus* possède une composition chimique très variée et également de nombreuses propriétés thérapeutiques (Une propriété balsamique, une propriété antiseptique des voies respiratoires, une propriété fébrifuge et une propriété antibactérienne) (**Dellile et al., 2007**).

Gasmi et Hernouf (2019) à étude Effet insecticide de trois huiles essentielles formulées (*Thymus pallescens* Noë ; *Pinus halepensis* Mill ; et *Artemisia herba alba* Asso.) sur les larves du L1 de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff). D'après leurs résultats, les huiles essentielles testées ont révélé un effet très hautement significatif sur le taux des populations résiduelles des larves et que le taux de mortalité augmente au fur et à mesure que la dose et le temps d'exposition augmentent.

Une autre étude préliminaire des effets in vitro des huiles essentielles de 5 plantes aromatiques (*Lavandula sp.*, *Origanum sp.*, *Rosmarinus sp.*, *Salvia sp.* et *Thymus sp.*) sur les larves de la processionnaire du pin d'Alep a montré des effets larvicides très importants (**Babaz et Bahaz, 2021**)

Cette toxicité des huiles essentielles sur les insectes est due à l'action de leurs composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) (**Seri-Kouassi et al., 2004 ; Carovic-Stanko et al., 2010; Herman et al., 2016**), qui ont des efficacités insecticides soit distinctes ou lorsqu'elles sont mises ensemble (**Ngamo et Hance, 2007**).

Enan (2005) a expliqué l'effet insecticide des huiles essentielles sur les insectes ravageurs des forêts et des cultures. D'après lui, les composés terpéniques qu'elles renferment agissent comme des composés neurotoxiques.

Résumé

La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* est le ravageur le plus connu des forêts de pins et de cèdres d'Algérie et du pourtour méditerranéen. L'effet destructeur de l'insecte s'observe au cours du stade larvaire qui s'étend généralement de septembre à avril et durant lequel les chenilles se nourrissent continuellement d'aiguilles de pin ou de cèdre. Cette activité participe surtout à affaiblir le pouvoir photosynthétique des arbres, les rend plus vulnérables aux autres ravageurs et conduit au fil des années à la disparition totale de la forêt.

Plusieurs méthodes de contrôle sont utilisées pour réduire les effets néfastes des ravageurs sur nos forêts. Parmi ces méthodes, la lutte écologique, utilisant des molécules bioactives naturelles, semble être la plus respectueuse de l'environnement.

Dans ce contexte, nous avons évalué l'effet toxicologique de l'huile essentielle de Citronnelle (*Cymbopogon citratus*); de l'huile de Gingembre (*Zingiber officinale*), et l'huile d'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), extraites par hydrodistillation dans des conditions contrôlées sur des larves de la chenille processionnaire du pin du 3^{ème} stade larvaire. Des doses de 0,25%, de 0,5% et de 1% sont diluées depuis la solution primaire des huiles.

Les résultats des traitements toxicologiques indiquent que l'huile d'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) est celle qui a marqué l'effet larvicide le plus important avec environ (75%) de mortalité enregistrée après 7 jours de traitement, suivie par l'huile de Citronnelle (*Cymbopogon citratus*) qui a développée un effet faible avec environ (37%) pour la dose la plus élevée (01%) et enfin l'huile de Gingembre (*Zingiber officinale*) qui n'a tué que 15% de la population testée.

Des droites de régression et des concentrations létales (Cl 50% et Cl 90) sont estimées après 3 et 7 jours des tests toxicologiques.

Mots clés : *Thaumetopoea pityocampa* ; *Cymbopogon citratus* ; hydrodistillation ; Des droites de régression ; concentrations létales.

Summary

The pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*, is the most well-known pest in pine and cedar forests in Algeria and the Mediterranean region. The destructive effect of this insect is observed during the larval stage, which typically lasts from September to April. During this period, the caterpillars continuously feed on pine or cedar needles. This activity primarily weakens the photosynthetic capacity of the trees, making them more vulnerable to other pests and leading, over the years, to the complete disappearance of the forest.

Several control methods are used to mitigate the harmful effects of pests on our forests. Among these methods, ecological control using natural bioactive molecules appears to be the most environmentally friendly.

In this context, we evaluated the toxicological effect of essential oils from Citronella (*Cymbopogon citratus*), Ginger (*Zingiber officinale*), and Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), extracted by hydrodistillation under controlled conditions, on the larvae of the pine processionary caterpillar at the 3rd larval stage. Doses of 0.25%, 0.5%, and 1% were diluted from the primary oil solution.

The results of the toxicological treatments indicate that Eucalyptus oil (*Eucalyptus globulus*) exhibited the most significant larvicidal effect, with approximately 75% mortality recorded after 7 days of treatment. This was followed by Citronella oil (*Cymbopogon citratus*), which showed a weaker effect with around 37% of mortality at the highest dose (1%). Finally, Ginger oil (*Zingiber officinale*) that killed only 15% of the tested population.

Regression lines and lethal concentrations (LC 50% and LC 90) were estimated after 3 and 7 days of toxicological tests.

Keywords: *Thaumetopoea pityocampa*; *Cymbopogon citratus*; hydrodistillation; regression lines; lethal concentrations.

ملخص:

تعد يرقة الصنوبر الموكية *Thaumetopoea pityocampa* من أشهر الآفات التي تصيب غابات الصنوبر والأرز في الجزائر ومنطقة البحر الأبيض المتوسط. ويلاحظ التأثير المدمر للحشرة خلال مرحلة اليرقات التي تمتد عادة من سبتمبر إلى أبريل والتي تتغذى خلالها اليرقات باستمرار على إبر الصنوبر أو الأرز. ويساهم هذا النشاط بشكل رئيسي في إضعاف قوة التمثيل الضوئي للأشجار، مما يجعلها أكثر عرضة للآفات الأخرى ويؤدي على مر السنين إلى اختفاء الغابة بالكامل. يتم استخدام العديد من طرق التحكم لتقليل الآثار الضارة للآفات على غاباتنا. ومن بين هذه الطرق، يبدو أن مكافحة البيئية، باستخدام الجزيئات الطبيعية النشطة بيولوجيًا، هي الأكثر ملاءمة للبيئة.

في هذا السياق، قمنا بتقييم التأثير السمي لزيت عشبة الليمون العطري (*Cymbopogon citratus*) ؛ زيت الزنجبيل (*Zingiber officinale*)، وزيت الأوكالبتوس (*Eucalyptus globulus*) ، المستخرج عن طريق التقطير المائي تحت ظروف خاضعة للرقابة على يرقات موكب الصنوبر في المرحلة اليرقية الثالثة. يتم تخفيف جرعات 0.25% و 0.5% و 1% من المحلول الأولي للزيوت.

تشير نتائج المعالجات السمية إلى أن زيت الأوكالبتوس (*Eucalyptus globulus*) هو الأكثر تأثيراً في قتل اليرقات بنسبة نفوق (75%) تقريباً بعد 7 أيام من العلاج، يليه زيت عشبة الليمون (*Cymbopogon citratus*) الذي تطور. تأثير ضعيف بحوالي (37%) للجرعة الأعلى (01%) وأخيراً زيت الزنجبيل (*Zingiber officinale*) الذي قتل 15% فقط من السكان الذين تم اختبارهم.

تم تقدير خطوط الانحدار والتركيزات القاتلة (50% CI) و (90% CI بعد 3 و 7 أيام من اختبارات السمية. الكلمات المفتاحية: ثاوميتوبويا بيتيوكامبا؛ سيمبوبوجون سيتراتوس. التقطير المائي خطوط الانحدار التركيزات القاتلة.

Références :

A

- **Abou Zeid, 1988;** Characterization of fibronectin-binding antigens released by *Mycobacterium tuberculosis* and *Mycobacterium bovis* BCG. *INFECTION AND IMMUNITY*, Dec. 1988, p. 3046-3051.
- **AFNOR , 1986.** "NF T 72-281 Procédés de désinfection des surfaces par voie aérienne", AFNOR. Parismedical recherche
- **AFNOR, 2000,** Huiles essentielles, Ed. PARA Graphic, Tome1 – Echantillonnage et
- **Agenjor., 1941-** Monographie de la famille des Thaumetopoeidae (Lep.). *Eos*, 17, 69-128.
- **Aleem, M., Khan, M. I., Shakshaz, F. A., Akbari, N., & Anwar, D. 2020.** Botany, phytochemistry and 'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne. Paris : CIHEAM,
- **Alghamdi 2018.** Insecticidal effect of four plant essential oils against two aphid species under laboratory conditions. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 6 (2): 27-30.
- **Ali, B.H., Blunden, G., Tanira, M.O., Nemmar, A., 2008.** Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): a review of recent research. *Food Chem. Toxicol.* 46 (2), 409–420.
- **Alves, A.C.; Souza, A.F. 1960.** Nota prévia sobre o estudo fitoquímico de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. *Garcia de Orta*, v.8, p.629-38.
- **Alviano D.S., Barreto A.L.S., Dias F.A., Rodrigues I.A., Rosa M.S.S., Alviano C.S and Soares R.M.A., 2012-** Conventional therapy and promising plant-derived compounds against trypanosomatid parasites. *Front Microbiol*, 3:283
- **ANDI., 2013.** Agence Nationale de Développement de l'Investissement
- **Anonyme 01:** <http://ephytia.inra.fr/fr/C/27417/Agir-Ses-ennemis-naturels>
- **Anonyme 02:** <https://www.750g.com/ingredients/citron-i31.htm>

- Anonyme 03: <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-gingembre-7694/>
- Anonyme 04: <https://www.google.com/maps/place/Sidi+Merouane/data=!4m2!3m1!1s0x12f22dec35f8c6c3:0x6a8df158fc97045?sa=X&ved=1t:242&ictx=111>
- Antonet et Lobstein, 2005. Chemopreventive properties of apple procyanidins on human colon cancer-derived metastatic SW620 cells and in a rat model of colon carcinogenesis.
- Aous , W. 2015. Variabilité chimique et activités biologiques d'extraits de citronnelle (*Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng) du Sahara Algérien (Doctoral dissertation, ENSA).
- Arditti et al., 1988; Micropropagation of Orchids.second edition .university of California, Irvine.
- Arnaldo. P.S., Chacim. S., et Lopes. D. 2010.Efects of defoliation by the pine processionary moth.

B

- Babaz M; Bahaz K. 2022. Étude préliminaire des effets *in vitro* des huiles essentielles de cinq plantes aromatiques (*Lavandula* sp., *Origanum* sp., *Rosmarinus* sp., *Salvia* sp. et *Thymus* sp.) sur les larves de la processionnaire du pin d'Alep
- Bahr T.A., Rodriguez D., Beaumont C and Allre K., 2019- The Effects of Various Essential Oils on Epilepsy and Acute Seizure: A Systematic Review. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, pp 14.
- Bakkali F., Averbek S., Averbek D., 2008- Idaomar M: Biological effects of essential oils. A review. Food ChemToxicol. 46:446–475.
- Barbéro M., R. Loisel, P. Quézel, D.M. Richardson & F.Romane, 1998.- Pines of the Mediterranean basin. In:Ecology and biogeography of Pinus. D.M. Richardson (ed.), Cambridge University Press, 153-170.

- **Bazizi.M, 2016;** Essential Oils in Food Preservation,. Flavor and Safety, 2016. Encyclopedia of Medicinal Plants .
- **Bekri A; Benkorich. 2023.** Etude préliminaire des effets in vitro des huiles essentielles de deux plantes aromatiques (Eucalyptus sp. et Mentha spicata) sur les larves de la processionnaire du pin d'Alep et du puceron vert des agrumes. Université Abdelhamid Ibn-Badis Mostaganem. 61 pages.
- **Béliveau, R.; Gingras, D. 2005.** Les aliments contre le cancer. Édition du Trécarré. Outremont. 213.
- **Bellefontaine R. et M. Raggabi, 1977.-** Contribution à l'étude des pins de la section Halepensis au Maroc : considérations générales et essai international de provenances. An. Rech. For. Maroc, 17, 191-233.
- **Benabdelkader T. 2012.** Biodiversité, Bioactivité et Biosynthèse des Composes Terpéniques Volatils des Lavandes Ailées, Lavandula stoechas Sensu Lato, un Complexe d'Espèces Méditerranéennes d'Intérêt Pharmacologique. Thèse de doctorat en Biologie et Ecophysiologie Végétale de l'Ecole Normale Supérieure de Kouba-Alger et de l'Université Jean-Monnet de Saint-Etienne, France. P10,25.
- **Benabid A., 2000.-** Flore et écosystèmes du Maroc.Evaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press. Paris, 359 p.
- **Bentouati A., 2006-**Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (Pinus halepensis M.) du massif d'Ouled Yagoub (Khenchela-Aurès). Thèse Université El Hadj Lakhdar-Batna. P 116.
- **Berenbaum, M. R., 1995-**Turnabout is fair play: Secondary roles for primary compounds. Journal of Chemical Ecology, 21(7) : 925–940.
- **Bey–Ould Si Said, Z., & Boulekbache-Makhlouf, L. E. 2014.** Activités biologiques des huiles essentielles des feuilles et du fruit d'une plante médicinale Eucalyptus globulus
- **Bliss 1938 in Fisher et R. A., & Yates, F. 1957.** Statistical tables for biological, agricultural and.
- **Bobbou A S,2016.** Contribution à l'étude d'inventaire de peuplement de pin d'Alep de la forêt de Sig(foret de Moulay Ismail)p55

- **Bouchou, 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. Thèse de Doctorat, ENSA-El-Harrach, Alger, Algeria.
- **Boudy P., 1952.** Guide forestier en Afrique du Nord. La maison rustique, Paris. 505 p.
- **Bouguenna S., 2011:** Diagnostic écologique, mise en valeur et conservation des pineraies de *Pinus halepensis* de la région de Djerma(Nord-est du parc national de Belezma, Batna).
- **Bouras M. 2018.** Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de
- Boutchiche F et Boutrigue S , 2016 . Caractérisation morpho métrique de la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) et de son hôte au niveau de la wilaya de Tlemcen. Mém, master en génétique, univ. Tlemcen p79.
- **Boutte B., 2012-** Bilan de la surveillance de la chenille processionnaire du pin en forêt, cycle biologique 2012-2013, Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-Alimentaire et de la Forêt - DGAL – SDQPV, Département de la santé des forêts, p 12.
- **Braga, P.C; Dal Sasso M.; Culici M.; GaSastri L; Marceca MX ; Guffanti E.E.; 2006.** Antioxydant
- **Bruneton J, 1993.** Pharmacognosie, phytochimie des plantes médicinales, Edition,
- **Burt S.A., 2004-** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications
- **Butterfield D.; Lauderback, C. 2002.** Lipid peroxidation and protein oxidation in Alzheimer's celdran_2165.pdf: certaines plantes de l'est algérien sur des souches résistantes aux antibiotiques.Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba.Algérie,15 p.

C

- **Çakır A., Özer H., Aydın T., Kordali S, Çavuşoglu A.T., Akçin T., Mete E. and Akçin A. 2016.** Phytotoxic and Insecticidal Properties of Essential Oils and Extracts of Four *Achillea* Species. *Rec. Nat. Prod.* 10:2 (2016) 154-167
- **Calatayud P A., Marion-Poll F., Sauvion N., and Thiéry D. 2019.** Interactions insectes-plantes. 978-2-7592-2018-2. Pages 749

- **Camarero, J.J, Gutiérrez, E., 2004.** Pace and pattern of recent treeline dynamics: response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic Change* 63, 181–200
- **Cayuela L., De la Cruz M., Ruokolainen K. 2011.** A method to incorporate the effect of taxonomic uncertainty on multivariate analyses of ecological data.
- **Chaalal O.M., (2012).** Mila la wilaya .Edition, Albayazin. Alger. 209p. compartiments Eau /Sédiments de l’oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et Beni Haroun
- **Chaintreau, A., D. Joulain, C. Marin, C.-O. Schmidt, and M. Vey, 2003 :** GC-MS quantitation of fragrance compounds suspected to cause skin reactions. 1. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(22): 6398-6403p.
- **Chakali G. 2014.** Processionary Moths and Climate Change. Alain Roques Editor An Update 42p.
- **Chapeli n., Viscardi J.D. 2012.** La Protection Biologique Intégrée à Orléans . La lutte contre la Processionnaire du Pin .Ed Laboratoire d’Eco.Entomologie .Orléans
- **Chararas C., 1977.-** Problèmes posés dans différents pays méditerranéens par les insectes parasites des forêts. Aperçu général sur les insectes forestiers au Maroc. *Comptes-rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*. 63:10, 611 - 618.
- **Chisowa, E. H., Hall, D. R., & Farman, D. I. (1998).** Volatile constituents of the leaf and rhizome oils of *Aframomum bialuriculatum* K. Schum. *Journal of Essential Oil Research*, 10(4), 447–449. <https://doi.org/10.1080/10412905.1998.9700940>
- **Cimanga, K., 2002:** Correlation between chemical composition and antibacterial condiments et huiles essentielles. Éditions Tec & Doc, éditions médicales internationales.
- **Connolly, J. D. and R. A. Hill (1991).** *Dictionnaire of terpenoids*. London, Chapman and Hall.
- **COSTA, A. F. 1986.** *Farmacognosia*. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian. 1032p.
- **Cseke L. J., LU C.R. , Korrnfeld A. , Kirakosyan A., Warber S. L., Duke J. A et Arielmann H. L., 1999.** *Naturel products from plants, How and why these compounds are synthesized by plants*, edition Taylor et Francis, 2ème edition. P 611
- **Cseke, L.J. et Kaufman, P.B. 1999.** How and why these compounds are synthesized by plants. In Kaufman, P.B., Cseke, L.J., Warber, S., Duke, J.A. et Brichmann, H.L., (eds), *Natural Products from plants*. CRC Press, Boca Raton, F.L. 37-90.

D

- **Da silva F.2010.**Utilisation des huiles essentielles en infectiologie ORL. Thèse de doctorat
- **Dajoz R., 2000.** Précis d'écologie: cours et exercices résolus. 7ième édition. Dunod, paris. 613p.
- **Das A.J., Battles J.J., Stephenson .L. et Vanmantgem P.J. 2007.** The relationship between tree growth patterns and likelihood of mortality: a study of two tree species in the Sierra Nevada. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 37, n° 3, p. 580-597.
- **Démolin G., 1967** - Gréganisme et subsocialité chez *Thaumetopoeapityocampa*Schiff. Nid d'hiver – activité de tissage. C. R. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux. pp 69-77.
- **Démolin G., 1969-** Bioecologia de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., incidencia de los factores climaticos. Bol. Serv. plag. Forest., 12 (3), pp : 9-22.
- **Démolin G., 1971** : Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoeapityocampa*Schiff. (Lepidoptera) pendant la période des processions de nymphose – Répercussionssur l'efficacité des parasites. Ann. Zool. - Écol. Anim. Hors série : 33-56. disease brain: potential causes and consequences involving amyloid beta-peptideassociated free radical oxidative stress. Free Radie. Biol. Med. 32,1050-106. Doctorat en: Génie des Procédés et de l'Environnement. Institut National Polytechnique de
- **Denis and Schiffermüller 1775-** (Lepidoptera *Thaumetopoeidae*) dans les pineraies semi arides. *An.Rech.For.Algérie*, 12, 30-42
- **DGF MILA 2016.** Direction générale des forêts de la wilaya de Mila.
- **Dorman H.J.D. and Hiltunen R. 2004:** Fe (III) reductive and free radical-scavenging properties of summer savory (*Satureja hortensis* L.) extract and subfractions. Food Chemistry, 88, 193-199.

- **Doumandji A., Alili D., Benerima A., Doumandji S.,** Étude de l'effet de l'association de l'huile essentielle de gingembre (*Zingiber officinale*) avec les microorganismes sur la mineuse de la tomate. 2^{ème} séminaire international "BIODIVERSITE FAUNISTIQUE EN ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES" 29 et 30 Novembre 2015.
- **Dreux P., (1980).** Précis d'écologie. Ed. Presses univ. France, Paris, 231 p.
- **Dudareva, N., F. Negre, et al. (2006).** "Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives." *Critical Reviews in Plant Sciences* 25(5): 417-440 *Ecologie, Dendrométrie, Morphologie.* Ed. OPU, Alger, 585 p.

E

- **Edris, A.E. 2007.** Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual Effet insecticide de trois huiles essentielles formulées (*Thymus*
- **El haib A.(2011).**Valorisation de terpenes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytique. These de doctorat en Chimie organique et catalyse. Université de
- **El Yousfi M. 1989.** La procesionaria del cedro, *Thaumetopoea bonjeani* (Powell). *Bol. Elsevier*. 428-432. en *Pharmacie* .Université Henri Poincaré - Nancy p17,10,p18. en *Sciences Sociales*, Paris, France, 188p.
- **Elkoli M., 2016-** Structure et Activités des substances naturelles : Principes et applications : Cours de microbiologie Master II : Université Ferhat Abbas. Sétif, pp 70.
- **Enan E. 2000 :** Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C : Toxicology&Pharmacology*. Vol130 (3) Nov 2001, p 325-337.
- **Enan E. 2005 :** Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. *Insect biochemistry and molecular biology*. Vol35(4) pp 309-321
- **Ernest G. 1948.** "The Essential Oils", Dr. Van Nostrand publishing company, Vol.(1), 4th edition, 427 pages.

F

- **Fabian, D.; Sabol, M.; Domaracké, K.; Bujnéková, D. 2006.** Essential oils - their antimicrobial Toulouse. P 9 ,P17,P19.
- **Faivre, C., Lejeune, R., Staub, H., & A, P. G. (2006).** Monographie mddicalisde Zingiber officinale Roscoe. 99–102. <https://doi.org/10.1007/s10298-006-0162>.
- **Faurie C., Ferra C., Medori P., (1980).** Ecologie. Edition. J. B. Baillière. Paris. 168 p.
- **Finney, D. J. (1971).** Statistical logic in the monitoring of reactions to therapeutic drugs. *Methods of information in medicine*, 10(04), 237-245.
- **Fisher, R. A., & Yates, F. (1957).** Statistical tables for biological, agricultural and medical research.citriodora: qualité, efficacité et toxicité.
- **Franz, C. et Novak, J. 2010.** Sources of Essential Oils. In: in « Essential oils in food preservation, flavor and safety» edited by Preedy, Victor R. Elsevier: 39-82
- **Fraval A., 2007-** Les processionnaires 1er partie - La processionnaire du pin. Insectesn°147, pp : 35-39. Function: 845-855.

G

- **Gachi M., 1996** - La chenille processionnaire du pin ThaumetopoeapityocampaSchiff. Conférence Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S.- Jijel. 17 pp.
- **Gakuru S. et Foua.BI K.1996.** Effet d'extraits de plantes sur le bruche du niébé Coltosobructiu
- **García-Galiano D, Navarro V, Roa J, Ruiz-Pino F, Sa'nchez-Garrido MA, Pineda R, Castellano JM, Romero M, Aguilar E, Gayta'n F et al. 2010** The anorexigenic neuropeptide, Nesfatin-1, is indispensable for normal puberty onset in the female rat. *Journal of Neuroscience* 30 7783–7792. (doi:10.1523/JNEUROSCI.5828-09.2010)
- **Gardner, P. 1997.** Superoxide-driven a conitase FE-S center cycling. *Bioscience Rep.*

17, 33-42.

- **Gasmi K., HERNOUF Z. 2019** Mémoire Effet insecticide de trois huiles essentielles formulées (*Thymus pallescens* Noë ; *Pinus halepensis* Mill ; et *Artemisia herba alba* Asso.) sur les larves L1 de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (1775).
- **Georgis et Gaugler, 1991** : Predictability in biological control using Entomopathogenic nematodes. J. Econ. Entomol, 84 (03): 710-720.
- **Gigon, F. (2012).** Le gingembre, une épice contre la nausée. *Phytothérapie*, 10(2), 87–91. <https://doi.org/10.1007/s10298-012-0695-4>
- **Glitho I.A., Ketoh KG. et Koumaglo H.K. (1997).** Effets de quelques huiles essentielles sur l'activité
- **Glitho I.A. (2002)** . Annexe post récolte des biopesticides en Afrique. In Regnault –Roger C., Philogène BJR, Vincent C.,. *Biopesticides d'origine végétales. Tec et Doc L* Mavoisier, Paris, pp . 313.321.
- **Goetz P, Ghedira K. (2012)** *Phytothérapie anti-infectueuse*. Edition Springer-Verlage, Paris,
- **Grzanna .R, Lindmark .L et Frondoza .CG. 2005.** «Ginger an herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions,» *Journal Medical of Food*, 125-132 p.
- **Guenther, 1975.** *The essential oils* Vol II, III, IV, V, VI, and D. Van No strand Ed. New York
- **Guici El Kouacheur K, Boucetta F., 2017.** Essence aromatique de citronnelle (*Cymbopogon citratus*) potentiel application comme conservateur nutraceutique. *Projet de fin d'étude, Université Saad dahlebblida. Faculté des sciences de la nature et de la vie*, P 40.
- **Gul, M.Z., Ahmad, F., Kondapi, A.K., Qureshi, I.A., Ghazi, I.A., 2013.** Antioxidant and antiproliferative

H

- **Habitouche F., Diafat A et Belaissaoui M.C 2017.** Mémoire sur Etude de quelques paramètres bioécologiques de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 1775) de 2016/2017
- **Hagerman G, 2022.** La chenille processionnaire du pin : impact sur la santé humaine et animale, lutte et traitements associés. Thèse de doctorat. Université de Limoges. France. 95 Pp.
- **Haniadka R., Saldanha E., Sunita V., Palatty P. L., Fayad R., Baliga M. S. 2013.** A
- **Hanson et al., 1976) ;**
- **Harborne, J.B., Baxter, H., 1993.** Phytochemical Dictionary. A Handbook of Bioactive Compounds from Plants. Taylor & Francis, London.
- **Hodat et al, 2012 .** Processionnaire du pin et réchauffement climatique : une approche par modélisation mathématique. La lettre du DSF. 33: 4-5
- **Houerou ed., Montpellier (2005) 220 p.**
- **Huchon H., Demolin G., 1970 -** La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle-Dispersion actuelle.Rev.For.Fr. n°spécial “La lutte biologique en forêt”,220-234.

I

- **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.
- **Isman. M.B., 2000-** Plant essential oils for pest and disease management. Crop Prot. 19:603 -608 .

J

- **Jayasinha, 2001.** Effect of Dietary Supplementation of *Cymbopogon Citratus* Oil on the

Performance and Carcass Characteristics of Broiler Chicks; Vol. 3, No. 11, pp. 167-173.

K

- **Kadik B., (1987)** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie:
- **Kalustian et Francis, 2012**;La connaissance des huiles essentielles : qualitologie et aromathérapie: Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée.
- **Kaya I., Yiğit N and Benli M., 2008-** Antimicrobial activity of various extracts of (*Ocimum Basilicum.L.*) and observation of the inhibition of Bacterial cells by use of scanning electron microscopy. Afr. J. Trad. CAM,5 (4): 363 – 369.
- **Kechout H, 2001**;Carboxymethyl)anilinium chloride. PMC2969300.
- **Kesdek M., Kordali S., Coban K., Usanmaz, E and Ercisli, S., 2014-**Larvicidal effect of some plant extracts on the pin processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller) in laboratory conditions. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus 13(5) : 145-162.
- **Kim N.S and Lee D.S., 2002-** Comparison of different extraction methods for the a
- **Kim S., Roh J.Y., Kim D.H. Lee H.S and Ahn Y.J., 2003-** Insecticidal activities of a
- **Kiriakoff, 1970**; Notodontidae Africains Nouveaux, X (Lepidoptera: Notodontoidea). THE DIRECTOR, TRANSVAAL MUSEUM, P.O. BOX 413, PRETORIA, S. AFRICA.
- **Koba K, Sanda K, Guyon C, et al. (2009)** In vitro cytotoxic activity of *Cymbopogon citratus* L. and *Cymbopogon nardus* L.. essential oils from Togo. Bangladesh J Pharmacol 4:29–34
- **Koziol, N. (2015).** Huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*, d'*Eucalyptus radiata* et de *Corymbia*

L

- **Lahlou M. 2004.** Methods to Study the Phytochemistry and Bioactivity of Essential Oils. *Pytotherapy Research* (18):435–448.
- **Laurent et Delerme, 2008 ;** Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles; 143-147 boulevard Anatole France.
- **Le Houerou H.N. -** Atlas de la répartition de 250 espèces-clés dans le bassin méditerranéen. Le
- **Leblond A., Martin J.C., Provendier D., Gutleben C., Robinet C., Napoleone C. 2010.** Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire du pin. Enquête nationale-guide technique
- **Lilian M. 2016.** La chenille processionnaire du Pin, une présence cyclique. *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiff er Müller, 1775). Office National des Forêts, correspondant du Département Santé des Forêts pour le 04
- **Lindmark, L., Frondoza, C. G. 2005.** Ginger—an herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions. *Journal of medicinal food*, 8(2), 125-132
- **Lucchisi, M.E., 2005.** Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-Ondes: Conception et Application à l'Extraction des Huiles Essentielles ; Thèse de Doctorat en Science ; Université de la REUNION ; p: 14-23.

M

- **Maïga M. A. A. 2014.** Etude de la chimie et des activités biologiques de six (6) plantes utilisées dans le traitement traditionnel du diabète : *Allium cepa* ; *Allium sativum* ; *Daucus carota* ; *Eucalyptus globulus* ; *Psidium guajava* et *Solanum melongena*. Thèse de doctorat, Université des Sciences, des Techniques et de Bamako, Mali ,42 p.
- **Markalas S. 1989.** Influence of soil moisture on the mortality, fecundity and diapause of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Journal of Applied Entomology* 107 (1-5): 211-215. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1989.tb00250.x>.

- **Markalas. S.1998.** Biomass production of *Pinus pinaster* after defoliation by the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), in Population dynamics, impacts, and integrated management of forest defoliating insects (ed. Mc Manus, M.L. and Liebhold, A.M.).
- **Markouk M., Bekkouche K., Larhsini M., Bousaid M., Lazrek H. B. & Jana M., 2000;** Evaluation of some Moroccan medicinal plant extracts for larvicidal activity. *Journal of Ethnopharmacology* 73 (2000) 293–297.
- **Martin et Brinquin, 2016,** processionary moths and climate change :An Update.édition Quae ,R10,78026,Versaillescedex,France.
- **Martin J.C., Jean F . 2011.** Développement de la lutte biologique afin de contrôler les
- **Martin J.C., 2005.** La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et
- **Martin J.C., 2007.**Méthodes de lutte contre la chenille processionnaire du pin en forêt. Régions corse, Languedoc- Roussillon, Paca et Rhône- Alpes. Département de la santé des forêts Information technique N° 57. Echelon technique Sud – Est.
- **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., Bonnet C., Mazet R., 2007,** La processionnaire du pin: vers un contrôle écologique et raisonné. In : conférence sur l’entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres Zones Non Agricoles. Angers(France).
- **Marwat, S. K., Shoaib, M., Khan, E. A., Rehman, F., & Ullah, H. (2015).** Phytochemistry and bioactivities of Quranic plant, zanjabil-ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): a review. *Am Eurasian J Agric Environ Sci*, 15(5), 707-713. _Mémoire de fin de formation en Phyto-aromathérapie.p3
- **Matouschek, B. K., and Stahl, B. E. 1991.** Phyto chemical study of non-volatile substance from *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf (Poaceae). *Pharm. Acta Helv.* 66, 242–245.
- **Mezali M, 2003.** Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3ème session du forum des Nations Unis sur les forêts, 9 p.
- **Montoya, R. & Robredo, F. 1972.** *Thaumetopoea pinivora* TR. " La procesionaria de Verano".

- **Morel. E. 2008.** La chenille processionnaire du pin et ses parasites oophages. vers un moyen de lutte biologique? In. Collaborations scientifiques, un stage . Les parasites oophages de la processionnaire. [en.ligne] Master Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité, Montpellier, 66p.
- **Muyima et al., 2002;** The potential application of some novel essential oils as natural cosmetic preservatives in a aqueous cream formulation.

N

- **Nadio N.A., Gmasson B., Bokobana E.M., Kantetou P.A., Poutaouli W., Koba K. & Sanda K. 2023.** Effet Larvicide de l’Huile Essentielle d’*Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae) sur *Pectinophora gossypiella* S. et *Thaumatotibia leucotreta* M. (Lepidoptera), Ravageurs Carpophages du Cotonnier au Togo. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 181.
- **Nahal I. 1986.** Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. Le pin d
- **Nahal L., (1962).** Le Pin d'Alep (pinus halepensis Mill). Etude taxonomique, phytogéographique, écologie et sylviculture. Annales Ecole, Nat, Eaux, Forêts, NANCY, 208P.
- **Negrelle, R. R. B., & Gomes, E. C. (2007).** Cymbopogon citratus (DC.) Stapf: chemical composition and biological activities. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 9(1), 80-92. neuve et Larose Ed. Paris : 502 p.
- **Ngamo L.S.T et Hance T.H., 2007.** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical, Vol. 25, P. 215-220
- **Nickavar B., Alinaghi A. and Kamalinejad M. 2008.** Evaluation of the Antioxidant Properties of Five Mentha Species. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 7 (3), 203-209.
- **Niza ME, Ferreira RL, Coimbra IV, Guerreiro HM, Félix NM, Matos JM, et al.** Effects of Pine Processionary Caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* Contact in Dogs: 41 Cases (2002-2006): *Thaumetopoea pityocampa* Contact in Dogs. *Zoonoses Public Health*. févr 2012;59(1):35-8.
- **Nuto, 1995;** Etude comparée de l’efficacité des huiles essentielle à base de thym et

d'origan sur différents aphids. revue agrobiologia 2012;n°3;77-86.

O

- **Olaniyi A.A., Sofowora E.A.; Oguntimenin B.O. 1975.** Phytochemical investigation of some nigerian plants used against fevers. II *Cymbopogon citratus*. *Planta Medica*, v.28, p.186-9,
- **Opeyemi A., Opeoluwa O., Pamela R., Benedicta N-C et Adebola O., 2015,** *Cymbopogon* Species; Ethnopharmacology, Phytochemistry and the Pharmacological Importance, *Molecules*, vol (20) :7438-7453.
- **Ouelmouhoub S., 2005 .** Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie). « Master en Science » n°78. Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (France). 127 pp.

P

- **Padrini et Lucheroni, 1996 :** Evaluation de l'activité des huiles essentielles L'Eucalyptus globulus à l'égard d'une espèce de moustique, *Culex pipiens* Biomarqueurs.pdf pallescens Noë ; *Pinus halepensis* Mill ; et *Artemisia herba alba* Asso.)
- **Paris M. et Hurabielle M. (1981).** Abrégé de matière médicale (pharmacognosie) Tome. Ed. Masson p.339. partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions.
- **Pauli, A. 2001.** Antimicrobial properties of essential oil constituents. *Int. J. Aromather.* 11, 126-
- **Penchev P.I.(2010).** Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à PhD thesis, Baqai Medical University, Karachi.
- **Piochon, M., Legault, J., Pichette, A. 2008.** Chemical composition of the essential oil from *Pityocampa* Schiff (1775). populations de processionnaires du pin dans les parcs départementaux des Alpes Maritimes. __potential of thymol determined by

chemiluminescence inhibition in human neutrophils

- **Pousset, 2004**); Etude Bibliographique et Phytochimique de Quelques Plantes Médicinales Utilisées Pour Le Traitement de Certaines Maladies par les Tradipraticiens de la Zone de l'Azawagh au Niger.
- **Pushpanathan T. et al, 2006** : Larvicidal, ovicidal and repellent activities of *Cymbopogon citratus* Stapf (Graminae) essential oil against the filarial mosquito *Culex quinquefasciatus* (Say) (Diptera : Culicidae). *Tropical Biomedicine*(2006) 23(2) : 208-212

Q

- **Quezel P., 1980**: Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen actualités d'écologie forestière sol, flore, faune. Ed. Gauthier villars. Paris : 205-255.
- **Quézel P., 1986**. Les pins du groupe « halepensis ». Écologie, végétation, écophysiologie. *Options méditerranéennes*, 86 : 11-23
- **Qureshi, M. A., S. E. Bloom, J. W. Hamilton, and R. R. Dietert, 1989**. Toxic effects of methyl methanesulfonate (MMS) on activated macrophages from chickens. *Environ. Mol. Muta-gen*. 13:253–262.
- **Qureshi, Z.K., 2012**. Evaluation of Some Indigenous Herbal Plant Extracts for their Antiemetic Activity.

R

- **Ramade F., 1984**. Eléments d'écologie fondamentale. Ed. mc. Graw hill, Paris, 397 p ravageur forestier à la nuisance urbaine. Centre de recherche d'Orléans. INRA, 2p
- **Rezzag Lagraa, M., & Bouznada, N. E.** Extraction et caractérisation de l'huile essentielle de la plante aromatique Citronelle de la région d'Ouargla (Doctoral dissertation, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA)

- **Ribrioux Y., Dolbeau., 1975**, essai de lutte contre la processionnaire du pin à l'aide de Diflubenzuron. *phytiatrie-phytopharmacie* 24 :193-204.
- **Rivière, 2011** : Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé
- **Robinet C., Rousselet J and Roques A., 2013**-Potential spread of the pine processionary moth in France: preliminary results from a simulation model and future challenges. *Annals of Forest Science*. 71:149–160.
- **Robinet. C. 2006**. Modélisation mathématique des phénomènes d'invasion en écologie :
- **Roger et al., 1993**; Detachment and coping the construction and validation of a new scale for measuring coping strategies. 15, No.6, pp. 619-626, 19.
romatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Stored Products Research*, 39 :293–303.
- **Ross, R. (1999)** Atherosclerosis—An Inflammatory Disease. *New England Journal of Medicine*, 340, 115-126.
- **Rousselet J., 2011**- La chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*

S

- **Sadok D. 2016**. Etude de l'activité insecticide des extraits de feuilles du *Ricinus communis* et *Mentha piperita* à l'égard d'*Aphis spiraecola* puceron vert des agrumes (Hemiptera: Aphididae). Mémoire de master. Université de Mostaganem. 135 Pp.
- **Sbabdji M, 2012**. Etude des infestations de la cédraie de Chréa par la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff: description spatiotemporelle et relations arbre-défoliateur. Thèse de doctorat. E.N.S.A. Algérie. Pp 137.
- **Scheiner. P.(2003)**. Les chenilles processionnaires chez le chien. Thèse Méd. Vét., Lyon, N°136, 122p.
- **Schintlmeister, A. 2013**. World Catalogue of Insects: Notodontidae & Oenosandridae (Lepidoptera). Volume 11: 1–608.
- **Seigue A., 1985** - La forêt circum-médi- terranéenne et ses problèmes. Maison-

- **Sell, C.S. 2006.** The Chemistry of Fragrance. From Perfumer to Consumer. 2nd edition. The Royal
- **Seltzer A., (1946).** Le climat de l'Algérie. Inst. Météo. Phys. glob. Université. Alger. 219 p. l'Université, Laval. Imprimé au Canada. 560 p
- **Shan et al., 2005;** Antioxidant Capacity of 26 Spice Extracts and Characterization of Their Phenolic Constituents. Journal of Agricultural and Food Chemistry.
- **Simpson. M. G. (2010)** Plant Systematics, Second Edition, Academic Press is an imprint of
- **Singh G., Kapoor I.P, Singh P.K., De Heluani C.S, DE Lampasona M.P, Catalan CA. 2008.** Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of Zingiber officinale . Food Chem Toxicol, ; 46(10) : 3295-
- **Singh G., Kapoor I., Singh P., S.de Heluani C., P. de lampasona M., A.N. catalan C. smaculatus** Fab. Et le charançon du riz Sitophilus oryzae L. Cahiers Agriculture; vol. 5. T 1, pp.39-42. Society of Chemistry. Cambridge. 329 p. Solidago puberula Nutt. growing wild in the north of Quebec. J. Ess. Oil Res. Numéro: RN2783 sur les larves L1 de la chenille processionnaire du pin (Thaumetopoea Technique et documentaire, 3eme édition , 634 p.
- **Srinivasan, 2017)** . Ginger rhizomes (Zingiber officinale): a spice with multiple health beneficial potentials. Pharma Nutr. 5 (1):18–28.
- **Srinivasan, 2017; Mahboubi, 2019)** Grabsi, S., Bouabida, H., & Dris, D. Ginger Rhizome (Zingiber officinale). In *Medicinal Spice and Condiment Crops* (pp. 298-309). CRC Press Grzanna, R.,

T

- **Tepe B., Akpulat H. K., Sokmen M., Daferera D., Yumrutas O., Aydin E., Polissiou M. and Sokmen A. 2006:** Screening of the antioxidative and antimicrobial properties of the essential oils of Pimpinella anisatum and Pimpinella flabellifolia from Turkey. Food Chemistry, 97, 719-724.

- **Teuscher, E., Anton R. et Lobstein A. (2005).** Plantes aromatiques : épices, aromates,
- **Turpin. M .(2006).** Les chenilles urticantes. Effets pathogènes chez l'homme et chez l'animal et données actuelles sur les venins et les moyens de lutte. Thèse. Méd.Vét. Nantes, N°097, 182p. USA.

U

- **Unal S ; Akkuzu E, 2009.** Forest gall midge fauna (Diptera: Cecidomyiidae) of Turkey. Research Journal of Agriculture and biological Sciences 5(6): 915-922.

V

- **Valisolalao J. (1989).** Huile essentielle, inventaire et études des plantes aromatiques et médicinales des Etats de l'Océan Indien. Projet FED/COI/AIRDOI.
- **Valnet J. (1990).** Aromathérapie : traitement des maladies par les essences de plantes, 2ème 2éd. Paris : Maloine, pp 31-43.
- **Vega J.M., Moneo I., Ortiz J.C.G., Palla P.S., Sanchis M.E. & Vega J. et al.,2001:** Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in adult population. Contact Dermat. 64, 220-228
- **Vet L.E.M and Dicke M., 1992-** Department of Entomology, Wageningen Agricultural University, PO Box 8031, 6700 EH Wageningen, The Netherlands. Annu. Rev. Entomol. 37:141-72.
- **Vilela, J., Martins, D., Monteiro-Silva, F., González-Aguilar, G., deAlmeida,J.** volatile constituents: A review. Phytother. Res. 21, 308-323.
- **Villemeuve O., 1974.** Glossaire de météorologie et de climatologie. Les presses l'Université, Laval. Imprimé au Canada. 560 p.

W

- **Warot S. 2006.** Les Eucalyptus utilisés en Aromathérapie .Préparatrice en pharmacie.
- **Werner, M., 2002.** Les Huiles Essentielles: réveil du corps et de l'esprit ; Ed : VIGOT, Collection Santé Bien- Etre ; p: 60-95.

Z

- **Zahiri et al., 2013;** Major lineages of Nolidae (Lepidoptera, Noctuoidea) elucidated by molecular phylogenetics. *Cladistics* 29 (2013) 337–359.
- **Zamoum M., 1998** – Données sur la bioécologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller. (Lep., Thaumetopoeidae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie). Thèse de Doctorat, Université des Sciences de Rennes I, France, 247 p.