

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn-Badis
Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BABAZ Mohammed

BAHAZ Khodir

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Protection des cultures

THÈME

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

DEVANT LE JURY

| | | | |
|--------------|------------------------------|-------|--------------------------|
| Présidente | M ^{me} BERGHEUL S. | M.C.A | Université de Mostaganem |
| Examinatrice | M ^{me} SAIAH F. | M.C.B | Université de Mostaganem |
| Encadreur | M ^{me} BADAoui M.I. | M.C.B | Université de Mostaganem |

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Avant tout nous remercions le bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la santé pour achever ce travail.

Tout d'abord, nous tenons particulièrement à remercier notre encadreur **M^{me} BADAOUI M.I.**, maitre de conférence à l'université de Mostaganem, qui a accepté de nous encadrer et nous a orienté dans ce travail.

Nous remercions **M^{me} BERGHEUL S.**, maitre de conférence à l'université de Mostaganem, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.

Nous remercions également à **M^{me} SAIAH F.**, maitre de conférence à l'université de Mostaganem, d'avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce mémoire.

Nos remerciements vont également à **M^r DAOUDI M.**, doctorant à l'université de Mostaganem, pour ces encouragements et son aide.

Tous nos remerciements vont encore au personnel des laboratoires de protection des végétaux et de biochimie. Nous devons parallèlement remercier toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous nos enseignants (es) du département d'agronomie et spécialement ceux de notre spécialité qui ont contribué à notre formation.

Dédicaces

Avant tout, je dois rendre grâce à dieu de m'avoir donné le courage de terminer ce travail.

Tout d'abord je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents

J'espère que j'ai répondu aux espoirs qu'ils ont fondé en moi, tous les mots du monde ne sauraient t'exprimer l'immense amour que je te porte, à mon chère grand-père qui m'ont toujours soutenu par leur encouragement et leur conseil, à mes chers **frères** et ma chère **sœur**, pour leurs encouragements et l'appui lors de mes études.

A ma chère **fiancée**.

A tous mes oncles et mes tantes et toutes les familles

BABAZ et **FEKHAR** à mes chères amies

Particulièrement mon chère collègue **BAHAZ Khodir** à tous mes collègues de protection des cultures

Dédicaces

Avant tout, je dois rendre grâce à dieu de m'avoir donné le courage de terminer ce travail.

Tout d'abord je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents

J'espère que j'ai répondu aux espoirs qu'ils ont fondé en moi, tous les mots du monde ne sauraient t'exprimer l'immense amour que je te porte, à mon chère grand-père qui m'ont toujours soutenu par leur encouragement et leur conseil, à mon cher **frère** et mes chères **sœurs**, pour leurs encouragements et l'appui lors de mes études.

A ma chère **femme**.

A tous mes oncles et mes tantes et toutes les familles

BAHAZ et **ALOUANE BASLIMANE** à mes chères amies **Zaki**, **BRAHIM** et **SID**

AHMED

Particulièrement mon chère collègue **BABAZ Mohammed** à tous mes collègues de protection des cultures

Résumé

La chenille processionnaire est l'un des principaux défoliateurs des forêts de pin d'Alep dans le bassin méditerranéen. La lutte chimique contre ce déprédateur est considérée comme un moyen efficace mais les problèmes de la résistance et de la nocivité des pesticides ont abouti à l'obligation de trouver des alternatives plus saines et plus efficaces, basées sur l'utilisation des produits naturels afin de mener une lutte biologique.

Cette étude est consacrée à la valorisation du potentiel insecticide des huiles essentielles de cinq plantes aromatiques appartenant à la famille des Lamiacées (*Lavandula* sp., *Origanum* sp., *Rosmarinus* sp., *Salvia* sp. et *Thymus* sp.) vis-à-vis les larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep.

Les résultats obtenus *in vitro*, ont révélé une forte activité insecticide sur les larves de ce ravageur, l'utilisation des huiles essentielles des cinq plantes aromatiques a permis d'observer des taux de mortalité supérieure à 50% et 80% pour toutes les doses testées respectivement au deuxième et au cinquième jour. Les observations montrent que les larves de la chenille processionnaire sont sensibles à l'effet des HEs d'*Origanum* sp., de *Thymus* sp. et de *Salvia* sp. en comparaison avec celui des HEs de *Lavandula* sp. et de *Rosmarinus* sp.

Ce travail indique que les huiles essentielles des plantes testées peuvent être une source de nouvelles molécules bioactives efficace pour mener une lutte biologique contre la chenille processionnaire du pin d'Alep.

Mots clés : Bio-control, plantes aromatiques, huiles essentielles, processionnaire du pin

Abstract

The processionary caterpillar is one of the main defoliators of Aleppo pine forests in the Mediterranean basin. The chemical fight against this pest is considered an effective means, but the problems of resistance and the harmfulness of pesticides have led to the obligation to find healthier and more effective alternatives, based on the use of natural products in order to biological control.

This study is devoted to the valuation of the insecticidal potential of the essential oils of five aromatic plants belonging to the Lamiaceae family (*Lavandula* sp., *Origanum* sp., *Rosmarinus* sp., *Salvia* sp. and *Thymus* sp.) against the Aleppo pine processionary larvae.

The results obtained in vitro, revealed a strong insecticidal activity on the larvae of this pest, the use of the essential oils of the five aromatic plants made it possible to observe mortality rates greater than 50% and 80% for all the doses tested. on the second and fifth day respectively. Observations show that processionary caterpillar larvae are sensitive to the effect of EOs from *Origanum* sp., *Thymus* sp. and *Salvia* sp. in comparison with that of HEs of *Lavandula* sp. and *Rosmarinus* sp.

This work indicates that the essential oils of the tested plants can be a source of new effective bioactive molecules to carry out a biological fight against the Aleppo pine processionary caterpillar.

Keywords: Bio-control, aromatic plants, essential oils, pine processionary

المخلص

اليرقة الجرارة هي أحد المسببات الرئيسية لغابات الصنوبر الحلبي في حوض البحر الأبيض المتوسط. تعتبر مكافحة الكيمائية لهذه الآفة وسيلة فعالة، لكن مشاكل المقاومة وضرر المبيدات أدت إلى الالتزام بإيجاد بدائل أكثر صحة وفعالية، تعتمد على استخدام المنتجات الطبيعية من أجل مكافحة البيولوجية.

هذه الدراسة مخصصة لتقييم قدرة الزيوت العطرية لمكافحة الحشرية لليرقة الجرارة لخمسة نباتات عطرية تنتمي إلى عائلة Lamiaceae (*Lavandula sp* و *Origanum sp* , *Rosmarinus sp* , *Salvia sp* , *Thymus sp*) ضد اليرقة الجرارة لصنوبر الحلبي.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها في المختبر وجود نشاط مبيد حشري قوي على يرقات هذه الآفة، وقد أتاح استخدام الزيوت الأساسية للنباتات العطرية الخمسة ملاحظة معدلات نفوق أعلى من 50% و 80% لجميع الجرعات المختبرة. اليوم الثاني والخامس على التوالي. تظهر الملاحظات أن اليرقات الجرارة حساسة لتأثير الزيوت الأساسية من *Origanum sp*، *Thymus sp* و *Salvia sp* بالمقارنة مع الزيوت الأساسية من *Lavandula sp* و *Rosmarinus sp*، يشير هذا العمل إلى أن الزيوت الأساسية للنباتات المختبرة يمكن أن تكون مصدرًا للجزيئات النشطة بيولوجيًا الجديدة الفعالة لتنفيذ معركة بيولوجية ضد اليرقة الجرارة لصنوبر الحلبي.

الكلمات المفتاحية: مكافحة البيولوجية، النباتات العطرية، الزيوت العطرية، معالجة الصنوبر

| | |
|-----------------------------------|---|
| Résumé | |
| Abstract | |
| ملخص | |
| Liste des figures et des planches | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des abréviations | |
| Introduction générale..... | 1 |

Partie bibliographique

Chapitre I : Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.)

| | |
|--|---|
| Introduction | 2 |
| I. Répartition géographique du pin d'Alep..... | 2 |
| I.1. Au bassin méditerranéen..... | 2 |
| I.2. En Algérie | 3 |
| II. Systématique | 3 |
| III. Caractères botaniques..... | 3 |
| IV. Exigences écologiques du pin d'Alep..... | 5 |

Chapitre 2 : Aperçu sur la processionnaire du pin d'Alep

| | |
|--|----|
| Introduction | 6 |
| I. Air de distribution..... | 6 |
| II. Systématique..... | 6 |
| III. Symptômes et dégâts occasionnées | 7 |
| IV. Cycle biologique de la processionnaire | 8 |
| IV.1. La ponte | 8 |
| IV.2. Stades larvaires | 9 |
| IV.3. Chrysalides et vie souterraine | 11 |
| IV.4. Adulte | 12 |
| V. Lutte contre la chenille processionnaire du pin d'Alep..... | 12 |
| V.1. Lutte mécanique | 12 |
| V.2. Lutte biotechnique (Piégeage)..... | 13 |

Chapitre III : Huiles essentielles et plantes aromatiques étudiées

| | |
|--|----|
| I. Les huiles essentielles (HEs)..... | 14 |
| I.1 Localisation des HEs dans les tissus de la plante..... | 14 |
| I.2 Propriétés biologiques des HEs..... | 14 |
| I.2.1. Effet insecticide des HEs..... | 15 |
| I.2.2. Cibles des toxines naturelles des plantes..... | 15 |
| I.3. Familles chimiques et composition des HEs..... | 15 |

| | |
|--|----|
| I.3.1. Les esters..... | 15 |
| I.3.2. Les phénols..... | 16 |
| I.3.3. Les aldéhydes..... | 16 |
| I.3.4. Les cétones | 16 |
| I.3.5. Les alcools..... | 16 |
| I.3.6. Les terpènes..... | 16 |
| I.3.7. Les acides..... | 16 |
| I.3.8. Les sesquiterpènes..... | 16 |
| II. Plantes aromatiques étudiées..... | 17 |
| II.1. <i>Salvia</i> sp. | 17 |
| II.1.1 Principes actifs de la sauge..... | 17 |
| II.2. <i>Thymus</i> sp., | 18 |
| II.2.1. Principes actifs du thym | 18 |
| II.3. <i>Origanum</i> sp. ,..... | 19 |
| II.3.1. Principes actifs de l'origan..... | 19 |
| II.4. <i>Rosmarinus</i> sp..... | 20 |
| II.4.1. Principes actifs du romarin..... | 20 |
| II.5. <i>Lavandula</i> sp. | 21 |
| II.5.1. Principes actifs de la lavande | 21 |

Partie expérimentale

Chapitre I: Matériel et méthodes

| | |
|--|----|
| I. Répartition de la processionnaire du pin d'Alep dans la wilaya de Mostaganem | 22 |
| II. Activité larvicide des HEs de cinq plantes aromatiques sur la chenille processionnaire | 22 |
| II.1 Matériel biologique..... | 22 |
| II.1.1 Matériel végétal | 22 |
| A. Plante hôte | 22 |
| B. Plantes aromatiques utilisées pour l'extraction des huiles essentielles ... | 22 |
| II.1.2 Matériel animal | 23 |
| II.2 Extraction des huiles essentielles..... | 25 |
| II.2.1 Matériel d'extraction. | 25 |
| II.2.2 Méthode d'extraction..... | 25 |
| II.2.3. Détermination du rendement | 26 |
| II.3. Conduite des tests biologiques..... | 26 |

Chapitre II: Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| I. Répartition de la chenille processionnaire de la wilaya de Mostaganem | 29 |
| II. Activité larvicide des HEs de cinq plantes aromatiques sur la chenille processionnaire | 31 |
| II. 1. Détermination du rendement..... | 31 |
| II.2. Évaluation de l'efficacité de l'HE d' <i>Origanum</i> sp. sur la chenille processionnaire | 31 |
| II. 3. Évaluation de l'efficacité de l'HE de <i>Salvia</i> sp. sur la chenille processionnaire..... | 33 |
| II. 4. Évaluation de l'efficacité de l'HE de <i>Lavandula</i> sp. sur la chenille processionnaire..... | 34 |
| II.5. Évaluation de l'efficacité de l'HE de <i>Thymus</i> sp. sur la chenille processionnaire..... | 35 |
| II. 6. Évaluation de l'efficacité de l'HE de <i>Rosmarinus</i> sp. sur la chenille processionnaire..... | 36 |
| Conclusion | 40 |
| Référence bibliographiques | 41 |
| Annexes | |

Liste des figures

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figure 1 | Arbre du pin d'Alep en cas normal..... | 2 |
| Figure 2 | Arbre du pin d'Alep. A : saine. B : infestée. | 7 |
| Figure 3 | Allergie de la processionnaire du pin au niveau du cou | 7 |
| Figure 4 | Cycle de vie de la processionnaire du pin d'Alep..... | 8 |
| Figure 5 | Manchons de ponte de la processionnaire du pin. | 8 |
| Figure 6 | Stades larvaires de la processionnaire du pin | 9 |
| Figure 7 | Migrations des chenilles processionnaires du pin sur un arbre au cours de leur développement. | 10 |
| Figure 8 | Larve de la chenille processionnaire sous binoculaire. | 10 |
| Figure 9 | La procession guidée par une chenille. | 11 |
| Figure 10 | Chrysalide de la chenille processionnaire. | 11 |
| Figure 10.1 | Adule de la chenille processionnaire <i>Thaumetopoea pityocampa</i> | 12 |
| Figure 11 | Échenillage manuelle et brulure des nids de la chenille processionnaire. | 12 |
| Figure 12 | Pièges à phéromones. | 13 |
| Figure 13 | <i>Salvia</i> sp.. | 17 |
| Figure 14 | <i>Thymus</i> sp., | 18 |
| Figure 15 | <i>Origanum</i> sp., | 19 |
| Figure 16 | <i>Rosmarinus</i> sp.. | 20 |
| Figure 17 | <i>Lavandula</i> sp.,. | 21 |
| Figure 18 | Sauge à l'état fraîche utilisée pour l'extraction des HEs..... | 22 |
| Figure 19 | Vue satellitaire du site d'échantillonnage localisé à la forêt de Lefnar | 23 |
| Figure 20 | Larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep | 23 |
| Figure 21 | Précautions prises lors de la collecte des larves | 24 |
| Figure 22 | Montage d'entraînement à la vapeur d'eau. | 25 |
| Figure 23 | Préparation des différentes concentrations | 26 |
| Figure 24 | Essences forestières les plus importantes à Mostaganem | 29 |
| Figure 25 | Répartition des zones infestées par la chenille processionnaire du pin d'Alep dans la wilaya de Mostaganem... .. | 29 |
| Figure 26 | Superficies traitées contre la chenille processionnaire du pin d'Alep entre 2019 et 2022 à Mostaganem. | 30 |
| Figure 27 | Histogramme comparatif des rendements des trois plantes aromatiques <i>Salvia</i> sp., <i>Lavandula</i> sp., et <i>Rosmarinus</i> sp., | 31 |
| Figure 28 | Effet des différentes concentrations de l'HE d' <i>Origanum</i> sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep | 32 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figure 29 | Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE d' <i>Origanum</i> sp.. | 32 |
| Figure 30 | Effet des différentes concentrations de l'HE de <i>Salvia</i> sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep | 33 |
| Figure 31 | Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de <i>Salvia</i> sp. | 33 |
| Figure 32 | Effet des différentes concentrations de l'HE de <i>Lavandula</i> sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep..... | 34 |
| Figure 33 | Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de <i>Lavandula</i> sp..... | 34 |
| Figure 34 | Effet des différentes concentrations de l'HE de <i>Thymus</i> sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep. | 35 |
| Figure 35 | Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de <i>Thymus</i> sp.. | 35 |
| Figure 36 | Effet des différentes concentrations de l'HE de <i>Rosmarinus</i> sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep | 36 |
| Figure 37 | Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de <i>Rosmarinus</i> sp.. | 36 |

Liste des planches

| | |
|---|----|
| Planche 01 : Pin d'Alep. A : Chaton male, B : Chaton femelle et C : Fruit (Originale 2022). | 4 |
| Planche 2 : Différents nids de la processionnaire du pin d'Alep. | 24 |
| Planche 3 : Dispositif expérimental des tests de toxicité sur les larves de la chenille processionnaire..... | 27 |

Liste des tableaux

Tableau 01 : Exprimée les différent condition de chaque stade 9

Liste des abréviations

% : pourcent

°C : Degré Celsius

DL 50% : Dose létale pour 50% de la population testé.

Et al : et collaborateurs

L : stade larvaire

L'HE : l'huile essentielle

Sp., : espèce

Introduction générale

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

En Algérie les forêts de pin d'Alep couvrent plus de 850 000 ha (Bentouati, 2006) qui occupe une aire de répartition morcelée sur tout le pourtour méditerranéen (Nahal, 1962).

La chenille processionnaire du pin d'Alep est l'un des plus grands défoliateurs 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 ; Hódat et *al.*, 2012). Les larves 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 niveaux de défoliation (Demolin et Rive, 1968). Qui peut le rendre sensible aux attaques d'autres ravageurs ou par les champignons. Les chenilles processionnaires sont également connues pour leurs propriétés urticantes qui posent de nombreux problèmes sanitaires pour les humains et les animaux (Ducombs et *al.*, 1981).

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

En raison des effets néfastes de la lutte chimique, les bio-pesticides d'origine végétale représentent une bonne alternative aux produits chimiques (Rochefort et *al.*, 2006). Les huiles essentielles offrent de nouvelles perspectives pour le contrôle des ravageurs des cultures. En effet, depuis quelques années, un intérêt accru est porté sur les huiles essentielles ayant montré des propriétés insecticides.

Dans le présent travail l'objectif visé est de tester et comparer les 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 chenille processionnaire du pin d'Alep.

Partie
bibliographique

Chapitre I :

Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.)

Introduction

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) constitue l'essence principale des formations forestière Algérienne, elle occupe plus de 35% de la superficie forestière globale du pays. Elle reste l'espèce la plus utilisée dans les reboisements et dans la reconstitution des zones dégradées. Son rôle se manifeste par la fixation du sol par les racines d'une part et d'autre part par la formation d'un couvert végétal assez large protégeant ce sol contre les pluies torrentielles (Seigue, 1985). Il s'accommode à tous les sols, lorsque les conditions climatiques lui sont favorables (Bentouati et al, 2006)

II. Répartition géographique du pin d'Alep

I.1. Au bassin méditerranéen

Le pin d'Alep est largement utilisé dans les reboisements pour la protection des sols. C'est une essence qui résiste à la sécheresse et peu tolérante aux autres facteurs à savoir les sols peu fertiles, climat aride, etc. (Simon et Navarrete, 1990). Il colonise pratiquement la plupart des zones semi-arides et subhumides. Son aire de répartition est limité au bassin méditerranéen et occupe plus de 3,5 millions d'hectares (Quezel, 1986). Cette espèce est surtout cantonnée dans les pays du Maghreb et en Espagne où elle trouve son optimum de croissance et de développement (Quezel et al., 1992).

Au Maroc, le pin d'Alep occupe une superficie de 65.000 hectares (Annexe 01) répartis en peuplements disloqués occupant la façade littorale méditerranéenne (Quezel, 1986).

En Tunisie, les forêts naturelles de pin d'Alep couvrent 170.000 hectares, occupant ainsi tous les étages bioclimatiques depuis la mer jusqu'à l'étage méditerranéen semi- aride (Chakroun, 1986). Cependant, (Ammari et al., 2001) avance le chiffre de 370.000 hectares, soit environ 56% de la couverture forestière du pays.

En France, le pin d'Alep est beaucoup plus fréquent en Provence, prolongeant dans le Nord la vallée du Rhône. (Couhert et Duplat 1993) avancent le chiffre de 202.000 hectares.

En Italie, le pin d'Alep est peu présent. Il ne représente que 20.000 hectares cantonnés essentiellement dans le sud, en Sicile et en Sardaigne. Par contre, en Grèce, les peuplements de pin d'Alep représentent une superficie importante de 330.000 hectares. Il existe aussi à l'état spontané mais d'une façon très restreinte en Turquie, en Albanie et en Yougoslavie et très peu au proche orient, Palestine, Jordanie, Syrie et le Liban (Seigue, 1985).

I.2. En Algérie

Le pin d'Alep est l'espèce qui occupe la première place de la surface boisée de l'Algérie. Son optimum de croissance et de développement se situe au niveau des versants Nord de l'Atlas saharien où il constitue des forêts importantes (Boudy, 1952). En 1987 Kadik cite à l'Est, les grands massifs de Tébessa avec leurs 90.000 hectares, celui des Aurès à plus de 100.000 hectares constitués principalement par les pinèdes des Béni-Imloul (72.000 ha), des Ouled Yagoub et celle des Béni - Oudjana. Au centre du pays, les forêts de Mostaganem qui totalisent 32227 hectares qui occupée 14.2% de surface totale de la wilaya.

II. Systématique

Selon Nahel en 1962, le pin d'Alep suit la classification suivante:

Règne : Plantae

Classe : Equisetopsida

Ordre : Pinales

Famille : Pinaceae

Genre : *Pinus*

Espèce : *Pinus halepensis* Mill.

Nom vernaculaire : pin d'Alep

En arabe : El-Sanaoubar El-Halabi

III. Caractères botaniques

Le pin d'Alep est un arbre (Figure 1) toujours vert, vivace avec une moyenne de 120 ans, de 20 m de hauteur, au tronc généralement tortueux, à écorce d'abord lisse et grise, puis épaisse et crevassé tournant au rouge-brun avec l'âge (Bouguenna, 2011).



Figure 01 : Arbre de pin d'Alep (Originale, 2022)

Le pin d'Alep est une plante à fleurs mâles et femelles séparées (monoïque) situées sur le même individu; elles sont groupées en épis. Au printemps, la floraison est unisexuée sur les pousses de l'année ; la partie mâle se présente sous forme de chaton rougeâtre à la base des rameaux de l'année (Planche 1.A), quant à la partie femelle, elle se présente sous forme de petits cônes violacés (Planche 1.B), qui après fécondation croit en volume, devient brunâtre et acquière une consistance très ligneuse (Makhloufi et *al.*, 2002). Selon (Nahal, 1962) et (Kadik, 1987), le Pin d'Alep fructifie vers 10 à 12 ans, les graines ne sont suffisamment abondantes qu'à partir de l'âge de 18 à 20 ans. Les fruits sont des cônes verticillés (Planche 1.C) 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).



Planche 01 : Pin d'Alep. A: Chaton male, B: Chaton femelle et C: Fruit (Originale 2022).

Le cône mûrit au cours des deuxièmes années et laisse souvent échapper ses graines au cours de la troisième année, une fois le cône récolté, il s'ouvre par simple réchauffement au soleil pendant 4 à 5 jours (Boudy, 1950).

Les feuilles sont groupées par deux, elles sont persistantes durant deux ans, elles sont courtes et minces, souples et d'un vert clair. Elles présentent des marges finement denticulées, à sommet brusquement atténué en une courte pointe rigide. Sur les feuilles, on observe des linges stomatiques, sur les deux faces (Maire, 1962), la longueur des aiguilles du pin d'Alep varie entre 45 et 80 mm (Kadik, 1987).

Le système racinaire et sa nature dépendent de la nature du sol et de sa fertilité, il est pivotant dans les sols profonds, alors qu'il est superficiel sur les sols squelettiques (Kadik, 1987). Le bois du pin d'Alep est composé d'un aubier blanc-jaunâtre et d'un coeur brun rougeâtre clair (Nahal, 1962) et (Kadik, 1987). Le pin d'Alep a un bois de qualité ordinaire, sa texture est régulière, sa densité varie de 0.5 à 0.8 Kg/dm³ (Jaquiot, 1955).

IV. Exigences écologiques du pin d'Alep

Le pin d'Alep est reconnu par son tempérament robuste, très plastique, car il s'adapte aux différentes conditions écologiques (Kadik, 1987). C'est une espèce à la fois héliophile et thermophile car elle se développe dans les limites de températures moyennes annuelles comprises entre 13°C et 35°C (Brochiero et *al.*, 1999).

Le pin d'Alep étant thermophile, il peut supporter une forte amplitude thermique très élevée et supérieure à 32° C (Meddour, 1982). La température moyenne optimale pour la croissance du pin d'Alep est de 14° C. Selon (Perrin, 1985), il est exigeant en lumière et en chaleur, il est sensible au gel et supporte rarement les températures variant entre 2,8 et 7,7° C pour mois le plus froid. La saison sèche s'étale de 4 à 5 mois, elle se répartie entre le mois de Juin et le mois d'Octobre, mais quand le mois de Mai est sec, le pin d'Alep rencontre des difficultés de développement (Makhloufi et *al.*, 2002). Concernant la pluviométrie, l'aire optimale de développement du pin d'Alep se situe dans la zone où la pluviosité est comprise entre 300 et 700 mm par an (Kadik, 1987). Le développement du pin d'Alep est favorable par un minimum de pluviométrie mensuelle de 4 à 10 mm.

Le pin d'Alep est une essence très tolérante de point de vue édaphique, elle s'accommode aussi à des sols calcaires qu'à des sols acides (Boudy, 1950). (Quezel, 1986) rapporte que le pin d'Alep puisse aussi végéter sur les substrats suivants :

- Substrats marneux calcano-marneux (calcaire en plaquettes) où il trouve en particulier les sols profonds facilement accessibles à son système racinaire.
- Substrat calcaire compact (littoral oranais).
- Substrat non calcaire (schistes, mica-calcaire).
- Limono-sableuse à taux d'argile ne dépassant pas les 10% (Kadik, 1987).

Le pH du sol est généralement basique. De point de vue géologique, on le rencontre en Algérie sur les terrains calcaires et marno-calcaires et sur les formations de calcaire dolomitique (Makhloufi et *al.*, 2002).

Chapitre II :

Aperçu sur la

proceSSIONNAIRE du pin d'Alep

Introduction

La chenille processionnaire du pin d'Alep, est l'un des plus grands défoliateurs 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). Les larves 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 niveaux de défoliation (Demolin et Rive, 1968).

I. Air de distribution

La processionnaire du pin s'étend sur tout le bassin méditerranéen, à l'exception de l'Égypte et de la Lybie (Demolin et Millet, 1981). Elle s'attaque à toutes les espèces de pin et de cèdre sans exception. Par son nid d'hiver qui constitue un capteur de l'énergie solaire, l'insecte peut exister dans les zones à températures relativement basses, mais à insolation élevée d'où un microclimat favorable à son évolution larvaire.

Cette adaptation biologique explique pourquoi cet insecte à développement larvaire hivernal, peut lorsque l'insolation est élevée, gagner les zones de plus hautes altitudes ou de latitudes plus nordiques d'insolation annuelle doivent être considérées comme la limite minimale en dessous de laquelle la survie est impossible (Demolin, 1975).

II. Systématique

Les processionnaires du pin sont des lépidoptères qui appartiennent au genre de *Thaumetopoea*. Ce genre renferme plusieurs espèces comme : *Thaumetopoea bonjeani*, *Thaumetopoea pinivora*, *Thaumetopoea processionea*, *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea wilkinsoni*. Ces espèces peuvent partager la même niche écologique et se nourrir sur la même espèce le long des stades larvaires. Elles ne sont distinguables que par certains paramètres morphologiques, telles que l'intensité de la couleur des ailes, et biologiques telles que le cycle de vie et la date d'éclosion des œufs (Rivière 2011).

Règne : Animalia.

Embranchement : Arthropoda.

Classe : Insecta.

Super-ordre : Endopterygota.

Ordre : Lepidoptera.

Famille : Notodontidae.

Genre : *Thaumetopoea*.

III. Symptômes et dégâts occasionnés

Les attaques causées par la chenille processionnaire du pin au niveau national sont plus de 293 000 ha infestés dont 113 893 ha fortement attaqués. Ces infestations aboutissent à une défoliation (Figure 02.B) totale quelle que soit l'espèce du pin concerné.

Les arbres âgés résistent mieux mais leur croissance est ralentie et la perte de production est importante (Dajoz, 1980).



Figure 02 : Arbre du pin d'Alep. A: saine. B: infestée. (Originale, 2022).

Les larves 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 niveaux de défoliation (Jacquet et *al.*, 2012).

Les chenilles processionnaires du pin peuvent causer des accidents médicaux chez l'homme (Figure 03) qui est au contact avec les colonies. Ces accidents résultent de la présence des poils urticants présents sur la surface du corps de la chenille.

Les accidents chez l'homme se manifestent par : les attaques dermatiques, les atteintes oculaires et respiratoires. Malgré toutes les précautions prises pendant l'expérimentation, certains de ces symptômes ont eu lieu.



Figure 03 : Allergie de la processionnaire du pin au niveau du cou (Originale, 2022)

IV. Cycle biologie de la processionnaire

La chenille processionnaire est une chenille à métamorphose complète qui comprend : le stade d'œuf, le stade larvaire, le stade de pupe (chrysalide) et le stade adulte.

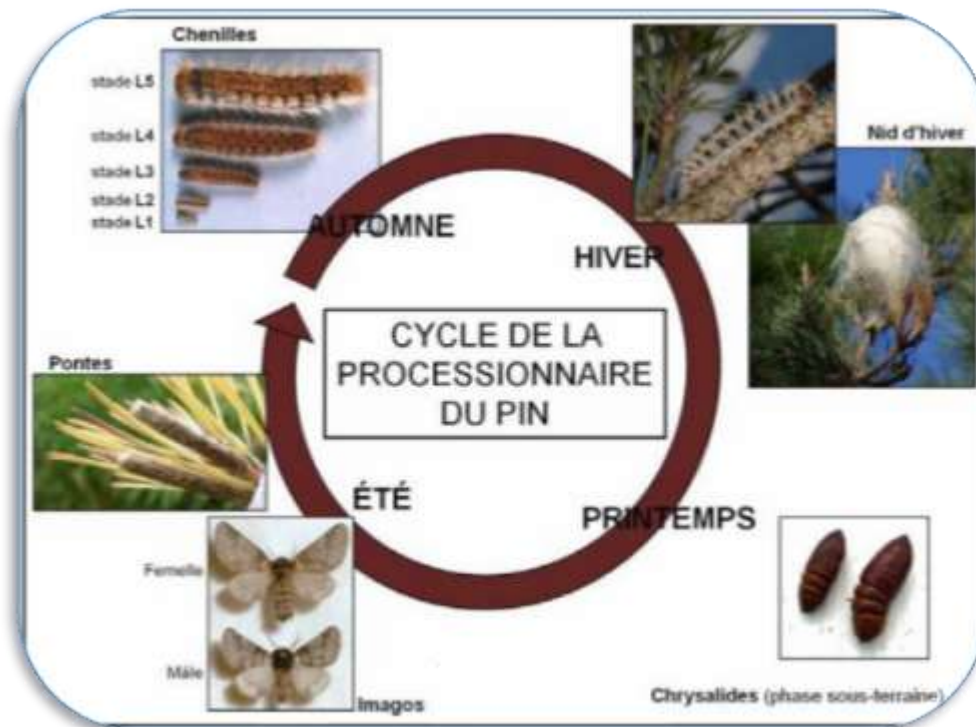


Figure 04. Cycle de vie de la processionnaire du pin d'Alep (Dulaurent, 2010)

IV.1. La ponte

Les œufs sont blancs, sphériques suivant une disposition hélicoïdale qui résulte du mouvement tournant de la femelle au cours du dépôt (Makhloufi, 2002). La ponte s'effectue sur l'extrémité des rameaux dès le jour qui suit la sortie des femelles du sol où elles se sont nymphosées. Les œufs sont groupés en manchons de 4 à 5 cm de long (Figure 05) et recouverts par de l'écaille beige clair qui les camoufient. La ponte peut compter de 70 à 300 œufs par femelle (Dajoz, 1998).



Figure 05. Manchons de ponte de la processionnaire du pin (Lequet, 2010)

IV.2. Stades larvaires

Les larves de types chenilles qui mesurent à l'éclosion 1,5 mm atteignant de 40 à 45mm avant la procession de nymphose.

Les chenilles éclosent de 30 à 45 jours après l'apparition des adultes. Il existe cinq stades larvaires (Figure 06) au cours desquels les chenilles se déplacent au fur et à mesure que les aiguilles du pin sont dévorées.



Figure 06 : Stades larvaires de la processionnaire du pin (Demolin *in* Martin, 2005)

Les durées moyennes des divers stades larvaires sont représentées sur le tableau suivant

Tableau 01 : Exprimée les différent condition de chaque stade (Dajoz, 1998).

| | Eclosion | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | Nymphose | Adulte |
|------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|------------------|----------|
| Mois | Décembre Mars | Mars Avril | Mars Avril | Mars Avril | Avril Juin | Juin Aout | Aout Décembre | Décembre |
| Durée (Jour) | 30 / 45 | 12 | 14 | 30 | 30 / 60 | 30 / 60 | 30 / 180 | 3 |
| Température (°C) | 17 | 10 / 17 | 10 / 17 | 10 / 17 | 20 / 25 | 20 / 25 | 10 / 20 | 10 / 20 |
| Longueur (cm) | 0.05 / 0.1 | 0.15 / 0.2 | 1 / 1.5 | 2 / 2.5 | 2.5 / 3.5 | 3.5 / 4.5 | 1,8 / 2,5 | 3 / 4 |
| Caractères | | Pas urticant | Pas urticant | Urticant | Urticant | Urticant | | |

Une des habitudes des chenilles processionnaire est qu'elles se déplacent d'un côté à l'autre selon leur stade, laissant derrière elles des dégâts sur l'arbre, comme le montre la figure 07. Les jeunes chenilles tissent de légers fils de soies qui forment des pré-nids abandonnés à chaque déplacement.

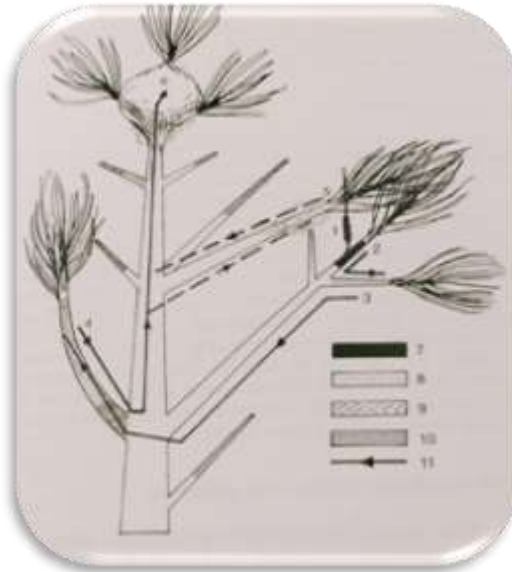


Figure 07 : Migrations des chenilles processionnaires du pin sur un arbre au cours de leur développement. 1: lieu de ponte, 2: chenilles L1, 3: chenilles L2, 4: chenilles L3, 5: pré-nid facultatif et 6: nid des chenilles L3 âgées et des L4 et L5 (Dajoz, 1998).

Au troisième stade, les chenilles acquièrent des structures cuticulaires appelées ‘‘miroirs’’ qui sont garnies de poils urticants (Figure 08). Ceux-ci peuvent se rompre et être entraînés par le vent tout autour de la colonie (Dajoz, 1998).

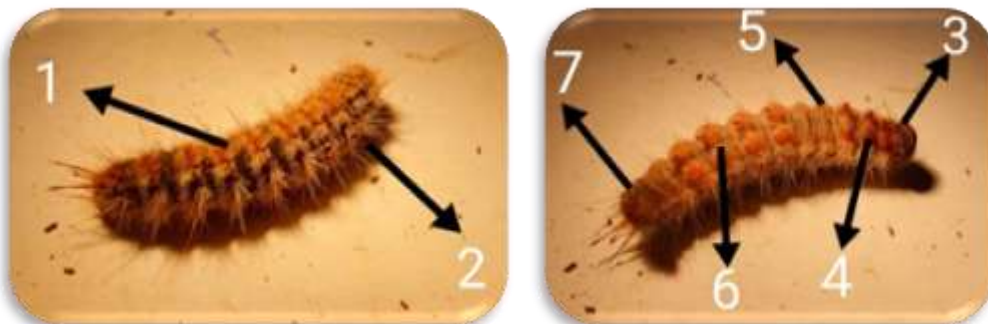


Figure 08 : Larve de la chenille processionnaire sous binoculaire. 1: poil urticant, 2: poils, 3: tête, 4: pattes, 5: abdomen, 6: fausse pattes, 7: anus (Originale, 2022)

Le nid d’hiver est une bourse de soie volumineuse atteignant 20 cm où les chenilles passent la mauvaise saison. C’est un abri qui assure la cohésion du groupe et aussi un accumulateur de chaleur dont la température peut s’élever de 1.5 °C par rapport à l’air ambiant en une heure d’insolation. Les chenilles groupées en colonies s’alimentent et poursuivent leur développement pendant l’automne et l’hiver ; au cours de l’automne, elles tissent en commun un nid soyeux et blanc à la fin de l’hiver ou au début du printemps.

Au terme de leur développement, elles quittent les nids en procession et peuvent s’en fuir dans le sol à une profondeur de 5 à 20 cm selon le type du sol et la température. Chaque chenille tisse alors un cocon dans lequel elle se transforme en chrysalide (Makhloufi et al., 2002).

Les processions de nymphose ont lieu à la fin de la vie larvaire de février à mai. La procession est guidée par une chenille (Figure 09), le plus souvent une femelle qui se dirige dans la zone la plus éclairée et la plus chaude du voisinage. Les processions n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10 et 22 °C (Dajoz, 1998).



Figure 09: La procession guidée par une chenille.

Les chenilles processionnaires sont caractérisés par la coordination des activités individuelles en une activité collective qui se manifeste par la construction d'un nid. En outre, les chenilles tissent des pistes de soie servant au guidage des individus, se déplacent collectivement et se nourrissent en commun, ce qui provoque des modifications importantes des métabolismes. Cette vie collective n'existe que chez la larve et elle disparaît chez l'adulte contrairement à ce qui se passe chez d'autres insectes comme les criquets dont les bandes constituent aussi des groupements organisés (Dajoz, 1998).

IV.3. Chrysalides et vie souterraine

D'après Schmidit (1990), la chenille pénètre de 5 à 25 cm dans le sol, c'est alors que l'activité de tissage du cocon commence. Ce cocon mesure 18 à 25 mm de long et 7 à 8 mm de diamètre. Quelques jours après la formation du cocon, la chenille se chrysalide (Figure 10), c'est la diapause. Cette dernière est plus ou moins longue selon les conditions climatiques correspond à un arrêt total de développement. Celui-ci reprend seulement un mois avant la date de sortie des adultes (Dajoz, 1998).



Figure 10. Chrysalide de la chenille processionnaire (Originale, 2022).

IV.4. Adulte

Les adultes appelés également papillons émergent au crépuscule pendant les mois de Juillet et Août. Leur activité est nocturne et leur vie est très brève; ils ne peuvent survivre plus de 48 heures (Makhloufi et *al.*, 2002). Les papillons femelles (Figure 10.1) sont de taille plus grande que les mâles (Figure 10.2) (Demolin, 1962).

Les femelles sortent de terre peu de temps avant le coucher de soleil. Elles s'installent en un endroit surélevé où elles restent immobiles, déploient leurs ailes puis, au bout de 2 à 4 heures d'inactivité, dévaginent leur armure génitale et deviennent attractives pour les mâles. L'accouplement dure près d'une heure. La femelle dépose ensuite ses œufs en commençant par la base des aiguilles du pin. En absence de la plante hôte, les femelles peuvent effectuer des déplacements de plus de 2 km pour rechercher un lieu de ponte (Dajoz, 1998).

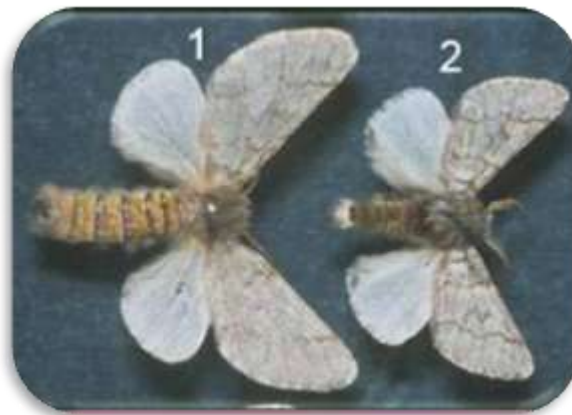


Figure 10 : Adule de la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* 1: papillon femelle et 2: papillon mâle (Demolin In Martin, 2005).

V. Lutte contre la chenille processionnaire du pin d'Alep

V.1. Lutte mécanique

L'échenillage consiste à enlever et à détruire les ponts et les nids, qui sont incinérés (Figure 11), en évitant tout contact avec les poils urticants des chenilles.



Figure 11 : Échenillage manuelle et brulure des nids de la chenille processionnaire.

Une autre technique de lutte mécanique consiste à utiliser une gouttière reliée à un sac peut être installé sur le tronc pour intercepter les chenilles lorsqu'elles descendent de l'arbre. La suppression par incinération des insectes capturés doit s'effectuer un mois après leur descente, lorsqu'elles sont au stade de chrysalides.

V.2. Lutte biotechnique (Piégeage)

Des pièges (Figure 12) à base de phéromones sexuelle de synthèse sont installés sur les arbres, attire de fin juin à mi-septembre les papillons males.



Figure 12 : Pièges à phéromones

Chapitre III :
Huiles essentielles et plantes
aromatiques étudiées

I. Les huiles essentielles (HEs)

Les HEs sont des métabolites secondaires produits par les plantes pour entre autre se défendre contre les ravageurs phytophages. Une huile essentielle (HE) est un extrait de végétaux aromatique, hautement volatiles, marqués par une forte odeur. C'est un produit de composition complexe. (Benayad, 2008).

Dans le monde, la production de l'huile essentielle est d'environ de 30 tonnes par an.

Les pays producteurs sont les Etats-Unis, la Chine, le Maroc, la Bulgarie, l'Inde, la France, l'Egypte et l'Espagne (Tchoumboungaang et *al.*, 2009).

I.1 Localisation des HEs dans les tissus de la plante

La synthèse et l'accumulation d'une huile essentielle sont généralement associées à la présence de structures histologiques spécialisées, le plus souvent situées sur ou à proximité de la surface du végétal (Bruneton, 1987 in Benazzeddine, 2010). Il existe en fait quatre structures sécrétrices :

- Les cellules sécrétrices chez les Lauracées, Zingibéracées.
- Les poils glandulaires épidermiques chez les Lamiacées, Géraniacées.
- Les poches sphériques schizogènes chez les Astéracées, Rosacées, Rutacées Myrtacées.
- Les canaux glandulaires lysigènes : On les retrouve chez les Conifères, Ombellifères.

Sur le site de stockage, les gouttelettes d'huile essentielle sont entourées de membranes spéciales constituées d'esters d'acides gras hydroxylés hautement polymérisés, associés à des groupements peroxydes. En raison de leur caractère lipophile et donc de leur perméabilité extrêmement réduite vis-à-vis des gaz, ces membranes limitent fortement l'évaporation des huiles essentielles ainsi que leur oxydation à l'air (Bruneton, 1993 ; Teuscher et *al.*, 2005 in Benazzeddine,2010).

I.2 Propriétés biologiques des HEs

Les HEs contenues dans les herbes aromatiques sont responsables des différentes senteurs que dégagent les plantes. Elles sont très utilisées dans L'industrie des cosmétiques, de la parfumerie, l'industrie alimentaire (les arômes) et aussi de l'aromathérapie.

Les huiles essentielles ont des propriétés Antivirale, Antibactériennes, Antiparasitaire, Antifongique, Antimicrobienne en industrie alimentaire, Spasmolytiques et sédatives, anti-inflammatoires et antihistaminiques,

I.2.1. Effet insecticide des HEs

L'usage des huiles essentielles dans la conservation des récoltes contre les insectes ravageurs a été pratiqué avant même l'apparition des insecticides de synthèse. Les HEs sont utilisées contre les ravageurs pour leurs effets insecticides et surtout insectifuges.

Plusieurs huiles essentielles extraites de matières végétales très variées sont, à dose contrôlée, moins toxiques à la santé humaine et présentent un effet toxique pour l'insecte. Certaines huiles, comme la lavande, le thym et l'origan, présentent des propriétés insecticides voire même parasitocides et répulsives importantes. L'application la plus connue est certainement l'effet répulsif de la citronnelle.

I.2.2. Cibles des toxines naturelles des plantes

Les substances actives contenues dans les plantes agissent de différentes manières sur les maladies et insectes, pour les maladies, elles inhibent le développement des champignons et efforcent les défenses immunitaires des plantes contre la plupart des parasites (mildiou, oïdium). Sur les insectes, elles ont un :

- a) Effet répulsif : les insectes sont repoussés par le goût et l'odeur de ces substances.
- b) Effet insecticide : par ingestion des feuilles traitées, certains insectes meurent.
- c) Effet sur le comportement sexuel : après traitement avec certaines plantes alternatives, on constate un changement de comportement ou de diminution de la capacité de reproduction pouvant aller jusqu'à la stérilité complète de l'insecte.
- d) Effet physique : une toxicité de contact qui provient de la formation d'un film imperméable sous forme de cuticule isolant l'insecte de l'air et provoquant son asphyxie.
- e) Effet sur le système nerveux : Parmi les molécules qui agissent sur le système nerveux des insectes, les plus connues appartiennent généralement au groupe des alcaloïdes, des pyrétroïdes et des huiles essentielles (Abbad, 2015).

I.3. Familles chimiques et composition des HEs

Les huiles essentielles contiennent un nombre considérable de familles biochimiques incluant les alcools, les phénols, les esters, les oxydes, les coumarines, les 26 sesquiterpènes, les terpénols, les cétones, les aldéhydes.

I.3.1. Les esters

Ils s'agissent directement sur le système nerveux central, ont une action équilibrante et calmante. Ils ont des propriétés anti-inflammatoires et de régénération des cellules. Parmi les huiles essentielles riches en ester, on trouve celles de lavande, de sauge, et de camomille. (Moro-Buronzo, 2008 in Ghani, 2011)

I.3.2. Les phénols

Ils ont une action stimulante, ils sont antiseptiques et bactéricides, protégeant ainsi l'organisme des contaminations. Ces composants sont très irritants pour la peau et les muqueuses. Parmi les huiles essentielles riches en phénols, on trouve celles de thym, d'origan, de cannelle, de clou de girofle et de sarriette. (Moro-Buronzo, 2008).

I.3.3. Les aldéhydes

Ils ont une action relaxante et calmante, et sont aussi anti-inflammatoires, ils donnent un parfum d'agrumes à certaines huiles. Parmi les huiles essentielles riches en aldéhydes, on trouve celles de citron, d'orange, de clou de girofle, de mélisse, de citronnelle et de cannelle. (Moro Buronzo, 2008 in Ghani, 2011)

I.3.4. Les cétones

Ils ont une action relaxante, et calmante, ils possèdent des propriétés cicatrisantes et aident à éliminer le mucus. Parmi les huiles essentielles riches en cétones, on trouve celles d'eucalyptus, de romarin, et de la sauge (Moro-Buronzo, 2008 in Ghani, 2011).

I.3.5. Les alcools

Ils comportent parmi les molécules les plus bénéfiques dans les huiles essentielles en raison de leurs propriétés antiseptiques, antivirales et analgésiques. Ils sont également immunostimulants. Parmi les huiles essentielles riches en alcools, on trouve de menthe, de lavande et d'arbre à thé. (MoroBuronzo, 2008 in Ghani, 2011).

I.3.6. Les terpènes

Très répandus dans l'ensemble des huiles essentielles, ils ont une action stimulante et tonique. Certains ont des propriétés antivirales, même à très basse concentration. Parmi les huiles essentielles riches en terpène, on compte celles de pin, de menthe, de citron, de cyprès, et de romarin. (Moro Buronzo, 2008 in Ghani, 2011).

I.3.7. Les acides

Ils sont présents en petites quantités, mais ils ont une action puissante. Ils sont anti-inflammatoires et sédatifs. Parmi les huiles essentielles riches en acides, citons celles d'ylangylang, de géranium. (Moro Buronzo, 2008 in Ghani, 2011).

I.3.8. Les sesquiterpènes

Ils ont une action équilibrante pour le système immunitaire, ils possèdent aussi des propriétés antivirales. Parmi les huiles essentielles riches en sesquiterpènes, on compte notamment celles de clou de girofle, de genièvre et de camomille. (Moro Buronzo, 2008)

II. Plantes aromatiques étudiées

II.1. *Salvia* sp.

Le genre *Salvia* comprend près de 1000 espèces à travers le monde, et représente l'un des plus grands genres dans la famille des Lamiacées (Lakušić et al., 2013). La sauge (Figure 13) est une plante annuelle et biannuelle d'origine méditerranéenne, elle préfère les terrains chauds et calcaires (Djerroumi et Nacef, 2004).

En Algérie les espèces qui ont été déterminées sont dans l'ordre d'une trentaine. Plusieurs appellations ont été données à la sauge. Selon Ibn El Beytar, les andalous la nomment « essalma » qui ajoute qu'elle est appelée « salbia » par les botanistes en Espagne. L'algérien indique l'expression « souekennebi » comme synonyme de saleme (Khiredine, 2013).

Règne : Plantae

Embranchement : Cormophytes.

Sous embranchement : Angiospermes.

Classe : Magnolipsida.

Ordre : Lamiales.

Famille : Lamiaceae.

Genre : *Salvia*.

Espèce : *Salvia* sp.,



Figure 13 : *Salvia* sp. (Originale, 2022).

II.1.1 Principes actifs de la sauge

La plante contient de l'huile essentielle à forte composante en cétones mono terpéniques, en tanins catéchiques, des acides polyphenol carboxylique (rosmarinique, caféique, chlorogénique, p-coumarique, férulique), ainsi que des principes amers diterpéniques, des triterpènes pentacyclique.

II.2. *Thymus* sp.

Le genre *Thymus* est l'un des 220 genres les plus diversifiés de la famille des Lamiacées (Morales, 2002). Le nom "Thymus" dérive du mot grec « thymusos » qui signifie parfumer à cause de l'odeur agréable que la plante dégage (Pariante, 2001). Le thym (Figure 14) est un élément caractéristique de la flore méditerranéenne, connue surtout pour ses qualités aromatiques, il a aussi de très nombreuses propriétés médicinales.

Règne : Plantae

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Magnolipsida.

Ordre : Labiales

Famille : Lamiaceae.

Genre : *Thymus*

Espèce : *Thymus* sp.,



Figure 14 : *Thymus* sp., (Roubaudi, 2006)

II.2.1. Principes actifs du thym

Le thymol et le carvacrol sont les principaux composés phénoliques du genre *Thymus*. Ainsi que le para-cymène, 1,8 cineol et le linalol. Les huiles essentielles contiennent aussi d'autres monoterpènes et sesquiterpènes tel que: α,γ terpinène, β , E-caryophyllène, Oxyde de caryophyllène, β pinène, Camphre, Bornéol, Terpinolène

Les espèces du thym peuvent être regroupées selon des chémotypes identifiés par leur richesse en certains composants par exemple :

Chémotype 1 : huile essentielle riche en carvacrol.

Chémotype 2 : huile essentielle riche en monoterpènes aromatiques (principalement thymol) et plus pauvre en carvacrol.

Chémotype 3 : huiles essentielle riche en 1,8 cinéol

II.3. *Origanum* sp.

Le genre *Origanum* comprend environ 70 espèces, sous-espèces, variétés et hybrides, caractérisés par une extrême variabilité dans leurs caractères morphologiques (longueur de la tige, arrangement, nombre et longueur des branches, formes des feuilles,) (Kintzios, 2002).

L'origan (Figure 15) ornait les montagnes méditerranéennes en abondance et assurait leur beauté (Dubois et *al.*, 2005).

Embranchement : Phanérogames ou Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Magnolipsida.

Ordre : Lamiales.

Famille : Lamiaceae.

Genre : *Origanum*

Espèce : *Origanum* sp.,



Figure 15 : *Origanum* sp., (Bigou, 2013).

II.3.1. Principes actifs de l'origan

Il y a un certain nombre de publications se référant à la chimie d'*Origanum*. L'origan recouvre des espèces riches en monoterpénoïdes phénoliques, principalement carvacrol, parfois thymol. Les espèces d'*Origanum* sont également riches en d'autres composés, tels que divers composés phénoliques, lipides et acides gras, flavonoïdes et anthocyanides. Les phénols totaux le thymol et son isomère le carvacrol (Ruberto, et al., 2002) représentent jusqu'à 90 % de l'essence, avec un peu de pinène, terpinéol, bornéol et des traces d'esters (Ultee et *al.*, 1999 : Bardeau, 2009).

II.4. *Rosmarinus* sp.

Le romarin (Figure 16) est un arbrisseau qui se reconnaît de loin à son odeur pénétrante (Beniston, 1984). Le *Rosmarinus* est connu depuis l'antiquité, c'est l'espèce la plus utilisée dans le méditerranéen surtout en Algérie. Elle possède plus de 3300 espèces et environ 200 genres. Le *Rosmarinus* est retrouvé à l'état sauvage. Il peut être cultivé. C'est la plante la plus populaire dans le bassin méditerranéen (Emberger, 1960). En Algérie, il se trouve dans les jardins, les parcs des sociétés, des écoles.....et les zones cultivées à l'entrée.

Règne : Plantae

Embranchement : Spermaphytes

Classe : Magnolipsida.

Ordre : Lamiales.

Famille : Lamiaceae.

Genre : *Rosmarinus*

Espèce : *Rosmarinus* sp (Quezel et Santa, 1963).



Figure 16 : *Rosmarinus* sp. (Originale 2022).

II.4.1. Principes actifs du romarin

L'huile essentielle du romarin contient : de l' α -pinène (7 à 80%), de la verbénone (1 à 37%), du camphre (1 à 38%), de l'eucalyptol (1 à 35%), du bornéol (4 à 19%), de l'acétate de bornyle (jusqu'à 10%) et du camphène. En plus de l'huile essentielle on trouve dans le romarin : 2 à 4% de dérivés triterpéniques tels que : l'acide ursolique, l'acide oléanolique, l'acétate de germanicol, des lactones diterpéniques: picrosalvine, dérivés de l'acide carnosolique, rosmanol, rosmadial, des acides phénoliques, des acides gras hydroxylés surtout des dérivés de l'acide décanoïque, des acides gras organiques: L'acide citrique, glycolique et glycérique, des stérols, de la choline, du mucilage et de la résine.

II.5. *Lavandula* sp.

La lavande (Figure 17) est un sous-arbrisseau de la famille des Lamiacées à tiges et feuilles persistantes, atteignant jusqu'à 1 mètre de longueur, de couleur vert pâle, avec des fleurs bleu-violet (Quezel et Santa, 1962). Elle est utilisée depuis longtemps en médecine traditionnelle comme anticonvulsivant et antispasmodique (Gilani et al., 2000), comme traitement pour diverses maladies du centre système nerveux (épilepsie et migraine) (Nadkarni, 1982). L'huile essentielle de cette plante est utilisée en parfumerie et la cosmétique (Gilani et al., 2000).

Règne : Plantae

Sous-Règne : Viridaeplantae

Classe : Magnolipsida.

Ordre : Lamiales.

Famille : Lamiaceae.

Genre : *Lavandula*

Espèce : *Lavandula* sp.,



Figure 17 : *Lavandula* sp., (Originale, 2022)

II.5.1. Principes actifs de la lavande

La lavande est riche, généralement en trois composés essentiels, qui sont : le cinéole, le Fenchone et le Camphre avec des teneurs plus ou moins élevés et la dominance d'un composé ou d'un autre selon la variété de la plante et les facteurs géographiques et écologiques. D'autres composés peuvent se présenter dans cette plante avec des concentrations beaucoup plus faibles tel que : l'acétate de Bornyl, le Viridiflorol, le Camphène, le Borneol, a-pinène, delta-3-carène, Fenchol et le p-cymène.

Partie expérimentale

Chapitre I:

Matériel et méthodes

II. Répartition de la processionnaire du pin d'Alep dans la wilaya de Mostaganem

Ce travail a été réalisé en recueillant des données statistiques auprès des services à la Conservation des Forêts de la wilaya de Mostaganem. Les informations obtenues, ont été le fruit du recensement réalisé par la Direction Générale des Forêts (D.G.F) en collaboration avec la Station Régionale de la Protection des Végétaux (S.R.P.V). Elles concernent en premier lieu la répartition spatio-temporelle du pin d'Alep et des infestations de la processionnaire au cours de trois campagnes agricoles, allant de 2018-2019 à 2020-2021 dans la wilaya de Mostaganem. Ainsi que les données statistiques en relation avec la lutte contre ce défoliateur des forêts de pin d'Alep.

II. Activité larvicide des HEs de cinq plantes aromatiques sur la chenille processionnaire

II.1 Matériel biologique

II.1.1 Matériel végétal

B. Plante hôte

Le pin d'Alep reste l'espèce la plus utilisée dans les reboisements et la reconstitution des zones dégradées dans les forêts algériennes. Il est actuellement menacé par les attaques périodiques de la processionnaire du pin qui se répartit en parfaite synchronisation avec l'évolution du climat (Rousselet, 2011).

B. Plantes aromatiques utilisées pour l'extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles étudiées ont été extraites à partir de cinq plantes aromatiques appartenant à la famille des Lamiacées (*Lavandula* sp., *Origanum* sp., *Rosmarinus* sp., *Salvia* sp. et *Thymus* sp.). La lavande a été cueillie au même endroit l'hors de l'échantillonnage de l'insecte ravageur. Le romarin et la sauge ont été récoltés le mois de Mars, du jardin de l'université Abdelhamid Ibn-Badis (l'ITA). La biomasse utilisée pour l'extraction des huiles essentielles était à l'état fraîche (Figure 18), constituée des feuilles, fleurs et tiges. Pour le thym et l'origan les HEs nous ont été fournis par notre encadreur.



Figure 18: Saugue à l'état fraîche utilisée pour l'extraction des HEs (Originale 2022).

II.1.2 Matériel animal

L'insecte étudié dans cette expérimentation est la processionnaire du pin, qui est considérée comme l'un des ravageurs défoliateurs du pin d'Alep en attaquant les feuilles qui sont sous forme d'aiguilles d'une longueur variable jusqu'à 60 mm.

L'échantillonnage s'est déroulé dans la commune d'Abdelmalek Ramdane, à l'Est de la wilaya de Mostaganem (18 Km), au lieu-dit forêt de Lefnar (le Phare) (Figure 19). Les sorties sur terrain ont été déroulées pendant le mois de Mars 2022.



Figure 19 : Vue satellitaire du site d'échantillonnage localisé à la forêt de Lefnar (Google Earth, 2022)

Après localisation des symptômes, les nids (Planche 02) contenant les larves de la processionnaire ont été récoltés.

Les larves vivantes des différents stades de la chenille processionnaire ont été sélectionnées (Figure 20). Les chenilles des deux derniers stades (L4 et L5) ont été choisies pour mener cette étude.

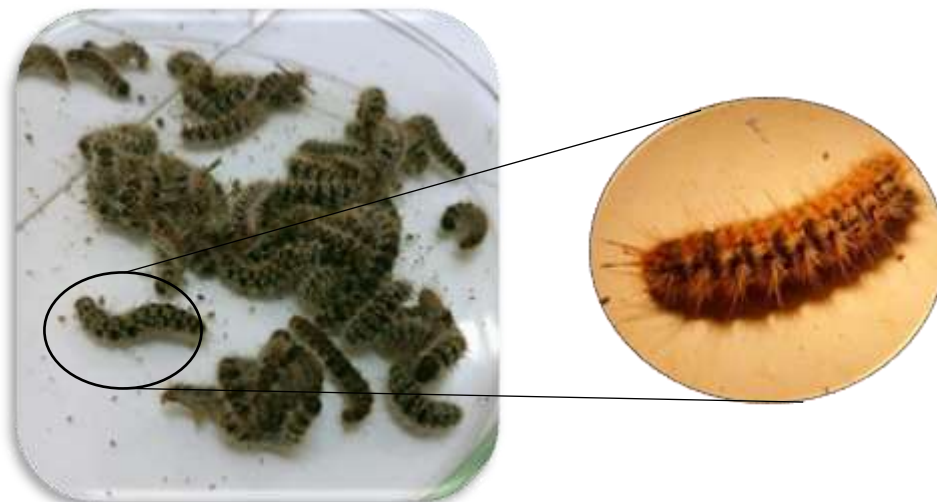


Figure 20 : Larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep (Originale, 2022)



Planche 02 : Différents nids de la processionnaire du pin d'Alep. A et B : < 20 chenilles, C et D : > 20chenilles (Originale, 2022).

Il est essentiel de prendre toutes les précautions nécessaires comme l'utilisation du masque et des gants (Figure 21) lors de la manipulation de ce bio-agresseur afin de se protéger de ses aiguilles urticantes qui cause des allergies chez l'homme.



Figure 21 : Précautions prises lors de la collecte des larves (Originale, 2022).

II.2 Extraction des huiles essentielles

II.2.1 Matériel d'extraction

La matière végétale fraîche a été déposée dans une cocotte-minute (Figure 22) communiquant avec un réfrigérant par un tuyau ça veut dire une extraction par l'entraînement à la vapeur d'eau réalisée dans un système d'alambic (Kéita et *al.*, 2001).



Figure 22 : Montage d'entraînement à la vapeur d'eau. 1: plaque chauffante, 2: cocotte-minute 3: condensateur, 4: sortie de l'eau, 5: réfrigérant, 6: entrée de l'eau et 7: tube gradué (Originale, 2022)

II.2.2 Méthode d'extraction

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée dans le laboratoire de biochimie de l'université de Mostaganem à l'aide d'un dispositif d'entraînement à la vapeur d'eau. Les huiles ont été obtenues par l'entraînement à la vapeur en mettant une quantité de la plante fraîche (de 300g à 500g en fonction de la plante utilisée) dans la cuve sur une grille qui sépare entre la matière végétal et l'eau distillée.

L'appareil est porté à ébullition sur une plaque chauffante électrique (02 heures). La vapeur d'eau et les molécules aromatiques condensées ont été récupérées dans un tube gradué dans lequel la décantation a été effectuée. La séparation entre eau et huile essentielle se fait par différence de densité, ce qui permet de le récupérer facilement. Les huiles essentielles de *Lavandula sp.*, *Origanum sp.*, *Rosmarinus sp.*, *Salvia sp.* et *Thymus sp.* ont été préservées aseptiquement dans des tubes protégés avec du papier aluminium afin éviter toute dégradation des molécules par la lumière, puis conservés au réfrigérateur pour une utilisation ultérieure.

II.2.3. 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 :

$$R = (P_h / P_P) \times 100$$

R : Rendement en HE exprimé en pourcentage (%)

P_h: Poids de l'HE en gramme

P_P : Poids de la masse végétative en gramme

II.3. Conduite des tests biologiques

Les bio-essais ont été effectués au laboratoire en déposant délicatement cinq larves de la chenille processionnaire dans un tube en verre (étiqueté et fermé par un bouchon) contenant des aiguilles de pin d'Alep. Le traitement des larves a été effectué par pulvérisation des extraits additionnés d'une goutte de tween 20 sur des lots de 15 individus. Chaque lot reçoit une seule pulvérisation de chaque phyto-préparation de telle sorte que les larves soient bien imbibées.

Les doses utilisées ont été obtenus à partir des HEs des cinq plantes (*Lavandula* sp., *Origanum* sp., *Rosmarinus* sp., *Salvia* sp. et *Thymus* sp.) diluée avec l'acétone à 60%. Quatre concentrations ont été préparées (Figure 23) soit : 1%, 0,5%, 0,25% et 0,125%.



Figure 23 : Préparation des différentes concentrations

Pour chacune des concentrations de l'HE ainsi que pour le témoin, trois répétitions ont été réalisées (Planche. 03). Les lots témoin sont constitués des larves traitées par l'acétone 6%. Pour chaque huile essentiel testé il y'a 15 tubes à observer. Le suivi des 75 tubes des cinq tests a été réalisé dans des conditions qui se rapprochent le plus possibles des conditions naturelles de l'insecte, dans la nature.



Planche 03: Dispositif expérimental des tests de toxicité sur les larves de la chenille processionnaire. **A** : choix des larves, **B**: dépôt des larves dans les tubes, **C et D**: traitement des larves et **E**: cinq tests

Les observations ont été effectuées quotidiennement afin de déterminer l'effet larvicide des HEs de *Lavandula* sp., *Origanum* sp., *Rosmarinus* sp., *Salvia* sp. et *Thymus* sp., sur les individus de la chenille processionnaire du pin d'Alep. Les comptages des insectes morts sont effectués après 24 heures des traitements pour les cinq essais.

Pour éliminer tous les risques de mortalité naturelle, Les mortalités dans les boîtes traitées (M1) ont été exprimées selon la formule d'Abbott (1925) en mortalités corrigées (MC), tenant compte des mortalités observées dans les boîtes témoins (Mt) selon la formule suivante :

$$\text{Mortalité corrigée (MC \%)} = [(M1 - Mt) / (100 - Mt)] * 100$$

M1 : est le pourcentage de la mortalité dans le lot traité

Mt : est le pourcentage de la mortalité dans le lot témoin

Chapitre II:

Résultats et discussion

I. Répartition de la chenille processionnaire de la wilaya de Mostaganem

Les forêts occupent 14.2% de la surface totale de la wilaya Mostaganem (D.G.F, 2022). Le pin d'Alep avec ses 41% de couverture reste bien l'espèce qui occupe la première place de la surface boisée dans cette ville (Figure 24).

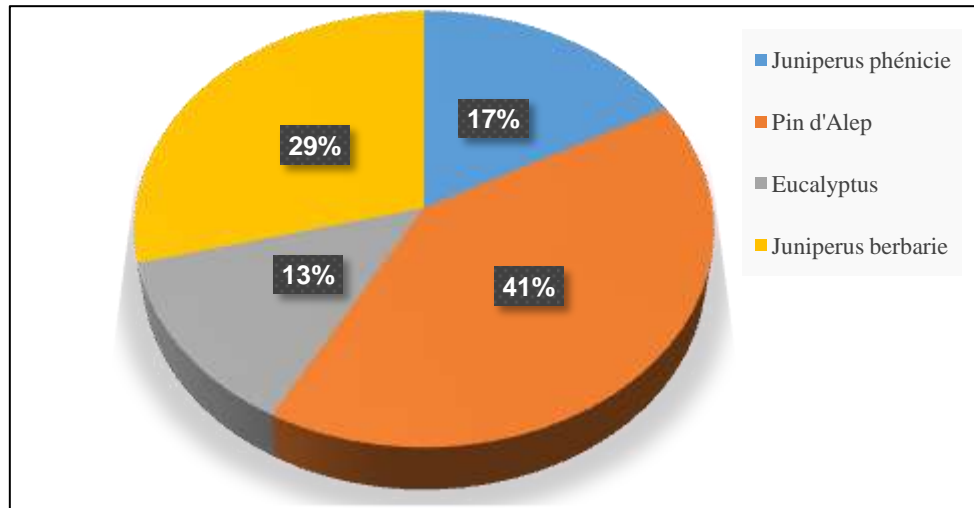


Figure 24 : Essences forestières les plus importantes à Mostaganem (D.G.F, 2022)

La carte représentée sur la figure 25, illustre la répartition géographique de la processionnaire du pin d'Alep au niveau de la wilaya de Mostaganem, au cours de trois campagnes agricoles comprises entre 2018 et 2021. La wilaya inclus 32 communes, dont deux sont fortement touchées (>50) il s'agit des communes de Mazagran et Hassi Mameche. Quatre communes sont moyennement infestées (25 à 50%) (Annexe 02). Les forêts faiblement attaquées (10 à 25%) se trouve dans huit communes dont la majorité se situe à l'Est de la wilaya.

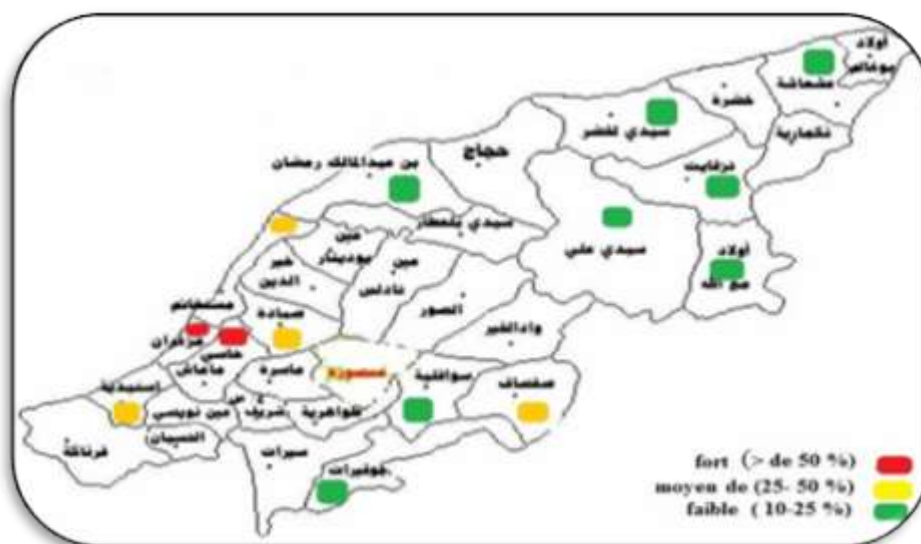


Figure 25 : Répartition des zones infestées par la chenille processionnaire du pin d'Alep dans la wilaya de Mostaganem (D.G.F, 2022)

Il est à noter que la conservation des forêts, compte les zones touchées en termes d'intensité ou de pourcentage des nids dans la zone forestière et s'associe à des entreprises privées pour les traiter ou brûler les nids de la chenille processionnaire. La figure 26, indique que la majorité des superficies infestées ont été traitées l'exception de la commune de Hassi mameche.

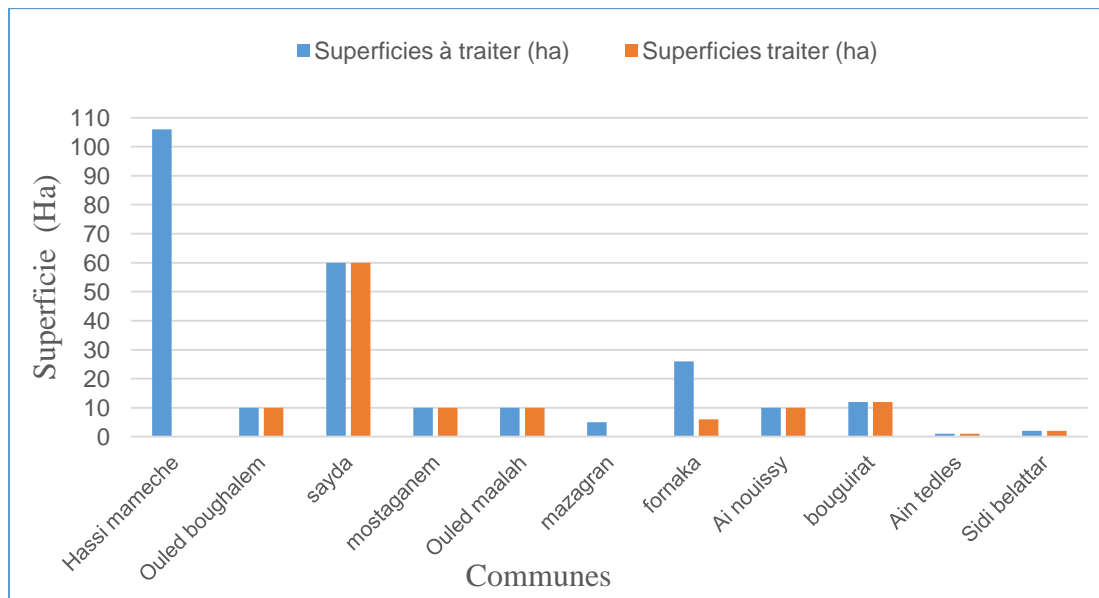


Figure 26 : Superficies traitées contre la chenille processionnaire du pin d'Alep entre 2019 et 2022 à Mostaganem. (D.G.F, 2022)

II. Activité larvicide des HEs de cinq plantes aromatiques sur la chenille processionnaire

II. 1. Détermination du rendement

La figure 27 récapitule les résultats des rendements moyens des HEs extraites à partir de 316 g de *Salvia* sp., 564 g de la *Lavandula* sp., et 320 g de *Rosmarinus* sp.

Les rendements des l'HEs des plantes aromatiques *Salvia* sp., *Rosmarinus* sp. et *Lavandula* sp. sont respectivement de l'ordre de 0.39%, 0.47% et 0.5%.

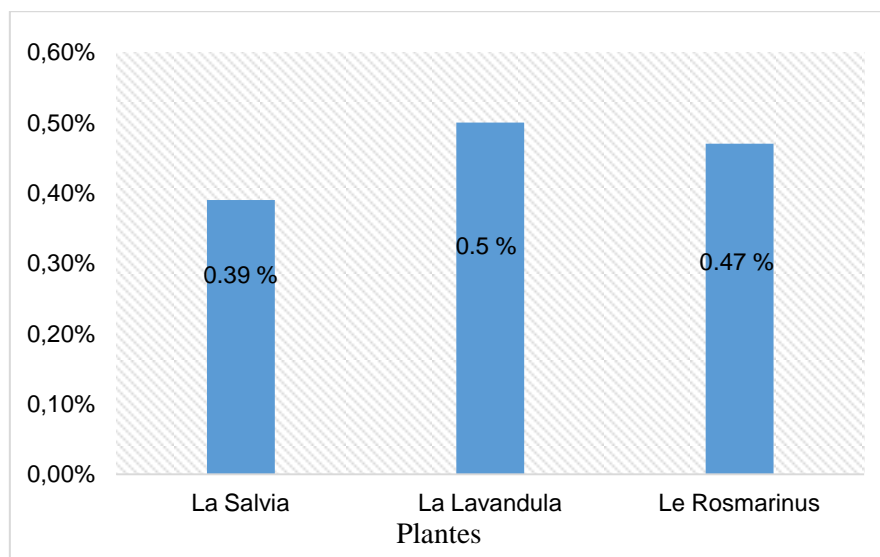


Figure 27 : Histogramme comparatif des rendements des trois plantes aromatiques *Salvia* sp., *Lavandula* sp., et *Rosmarinus* sp.,

Les résultats de toxicité des huiles essentielles de *Lavandula* sp., d'*Origanum* sp., de *Rosmarinus* sp., de *Salvia* sp. et de *Thymus* sp. sur les larves de la chenilles processionnaire du pin d'Alep sont représentés en annexes. Ils montrent les variations des mortalités cumulées et des mortalités corrigées en fonction du temps et des doses comparativement aux témoins

II.2. Évaluation de l'efficacité de l'HE d'*Origanum* sp. sur la chenille processionnaire

Figure 28 : Effet des différentes concentrations de l'HE d'*Origanum* sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep

Figure 29 : Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE d'*Origanum* sp.

II. 3. Évaluation de l'efficacité de l'HE de *Salvia* sp. sur la chenille processionnaire

Figure 30 : Effet des différentes concentrations de l'HE de *Salvia* sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep

Figure 31 : Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de *Salvia* sp.

II. 4. Évaluation de l'efficacité de l'HE de *Lavandula* sp. sur la chenille processionnaire

Figure 32 : Effet des différentes concentrations de l'HE de *Lavandula* sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep

Figure 33 : Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de *Lavandula* sp.

II.5. Évaluation de l'efficacité de l'HE de *Thymus* sp. sur la chenille processionnaire

Figure 34 : Effet des différentes concentrations de l'HE de *Thymus* sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep

Figure 35 : Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de *Thymus* sp.

II. 6. Évaluation de l'efficacité de l'HE de *Rosmarinus* sp. sur la chenille processionnaire

Figure 36 : Effet des différentes concentrations de l'HE de *Rosmarinus* sp. sur la mortalité des larves de la chenille processionnaire du pin d'Alep

Figure 37 : Mortalité corrigée des larves de la chenille processionnaire traitées par l'HE de *Rosmarinus* sp.

Conclusion

Conclusion

Le contexte général de cette présente étude, vise la recherche d'une stratégie de lutte biologique envers la chenille processionnaire du pin d'Alep, par l'utilisation des huiles essentielles de cinq Lamiacées (*Lavandula* sp., *Origanum* sp., *Rosmarinus* sp., *Salvia* sp. et *Thymus* sp.)

Lors de cette étude, nous avons procédé à l'extraction des HEs de ces cinq plantes aromatique par entraînement à la vapeur, afin d'évaluer leur potentiel larvicide sur la chenille processionnaire.

À partir de cette expérimentation nous pouvons dégager les résultats suivants :

En matière d'activité biocide, les cinq huiles essentielles testées se sont montrées très efficaces. Une élimination totale de tous les individus a été obtenue pour toutes les doses testées au terme des essais.

En outre, les taux de mortalité augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la dose et le temps d'exposition.

Les HEs d'*Origanum* sp., de *Thymus* sp. et de *Salvia* sp. se sont montrées plus efficaces que les HEs de *Lavandula* sp. et de *Rosmarinus* sp.. Cette étude apporte des résultats encourageantes sur l'emploi des HEs extraites des plantes aromatiques comme bio-insecticide.

À l'avenir, il est important d'identifier les molécules actives de ces substances naturelles pour la formulation et la fabrication des produits phytosanitaires propres sans effets secondaires. Nous envisageons de poursuivre ce travail afin de préciser la nature des composés responsables de cette activité larvicide par un fractionnement mené en parallèle avec les tests biologiques en utilisant des petites doses. Les essais au champ seront essentiels pour garantir l'intérêt pratique de ces résultats dans l'élaboration d'un pesticide naturel contre ce ravageur.

Références bibliographiques

- Abbad,S . et Abbad,Z. , 2015.** Evaluation de l'activité larvicide des extraits d'*Origanum vulgare* L sur la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera , Gelchiidae) , mémoire de master II , Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis .
- Aberkane S.,1977 :** Le cycle biologique de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff), Mémoire d'ing. Ins. Nat. Agro. Alger : 47 p.
- Ammari Y., Sghaier T., Khaldi A. et Garchi S., 2001 :** Productivité du pin d'Alep en Tunisie : Table de Production. *Annales de L'INGREF* N° Spécial. Pp : 239-246.
- Auger J., Dugravot S., Naudin A., Abo-ghalia A., Pierre D. et Thibout E., 2002.** Utilisation des composés allelochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides, *Use of pheromones and other semiochemicals in integrated production IOBC wprs Bulletin* Vo :25.
- Battisti A., 1988:** Host-plant relationships and population-dynamics of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermuller). *Journal of Applied Entomology-Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie* 105, 393-402.
- Benayad N (2008)** Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : Moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées, p :22-23.
- Benazzeddine,S., 2010.** Effet insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) et *Tribolium confusum* (Coleoptera, Tenebrionidae) , Mémoire d'Ingénieur en agronomie , Alger : Ecole nationale supérieure agronomique .
- Beniston, 1984.** Fleurs d'Algérie « *Rosmarinus officinalis* ».E.N.L.Alger. p 47.
- Bentouati A., 2006 :** Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinushalepensis* Mill.) du massif de OuledYagoub (Kenchela-Aurès). Mémoire Doctorat. AGRO BATNA. 116 p.
- Boudy P., 1950 :** Economie forestière Nord-africaine, monographie Tome II, Ed. Larose : 248-249 p.
- Boudy P.,1952 :** Guide du forestier de l'Afrique du Nord. Ed. Maison rustique. Paris : 505 p.
- Bouguenna S., 2011 :** Diagnostic écologique, mise en valeur et conservation des pineraies de *Pinushalepensis* de la région de Djerma (Nord-est du parc national de Belezma, Batna).
- Brahmi F., 1976 :** Contribution à l'étude biologique de la processionnaire du pin et sa destruction dans la région de Médéa. Thèse. Ing .I.N.A. Alger :38-40 p.
- Brochiero F., Chandiox O., Ripert C. et Vennetier M., 1999. :** Autoécologie et croissance du pin d'Alep à provence calcaire. Rev. For. Med. TXX. N+2 : 83-93.
- Bruneton, J. 1993.** Pharmacognosie. Phytochimie des plantes médicinales. 2^{ème} édition. Technique et Documentation Lavoisier. Paris. 915 p.
- Bruneton,J ., 1987.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition, Paris : TEC et DOC.
- Chakroun M.L., 1986. :** Le pin d'Alep en Tunisie. *Options Méditerranéennes*. Série Etude CIHEAM 86/1, 25-27.
- Couhert B. et Duplat P., 1993 :** Le pin d'Alep. Rencontres forestiers-chercheurs en forêt méditerranéenne. La Grande-Motte (34), 6-7 octobre 1993. Ed. INRA, Paris 1993. (*Les colloques n° 63*), 125-147.

- Dajoz R., 1998** : Les insectes et la forêt : rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier. Ed. Tec et Doc. Paris : 269-272 p.
- Demolin G. et Millet A., 1981** : Essais des insecticides contre la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera-thaumetopoeidae). Action comparative des différentes spécialités commerciales, *Bactospeine, Dipel, Thuricide et Dimilin*. *Ann. Sci. For.*, 38(3), : 389-404 p.
- Demolin G., 1962** : Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Comptes rendu hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. N225 : 2838-2839.
- Demolin G., 1975** : Journée de phytiatrie et de phytopharmacie ciirucum Méditerranéen ; Montpellier : 457-460 p.
- Demolin, G. et Rive´ J. L., 1968** : La processionnaire du pin en Tunisie Les Annales de l'INRF Tunisie, 1(1), 1–19.
- Djerroumi A et Nacef M. (2004)** : *100 plantes médicinales d'Algérie*. Edition Palais du livre P135-131.
- Dulaurent A., 2010** : Effet de la diversité des essences forestières sur les niveaux de population de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), à différentes échelles spatiales, dans la forêt des Landes de Gascogne. Mémoire doctorat, Sciences et environnement, Bordeaux. 17p.
- Emberger, (1960)** Traité botanique fascicule II. Masson. p335.
- G.Tiako Fotso , P. Amvam Zollo , C. Menut., 2009.** Activité larvicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13(1), 77-84.
- Ghani,A., (2011)** - Contribution à l'utilisation potentiel de molécules naturelles a fort potentiel bioactif : évaluation de l'action antifongique de *salvia officinalis* et essai d'optimisation de sa culture par la production de plants. Mémoire d'ingénieur, Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis, 66p.
- Girardet P., 1985** : Guide de botanique forestière. 3ème Ed. Nancy. E.N.E.F.: 241p.
- Hódar, J.A., Zamora, R., Cayuela, L. 2012.** Climatic change and the incidence of a forest pest in Mediterranean ecosystems: can the North Atlantic Oscillation be used as a predictor? *Clim. Change* **113** (3–4), 699–711.
- Jaquot A., 1955** : Atlas d'anatomie des bois des conifères, centre technique du bios. (241) : 318 p.
- Kadik B., 1987** : Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie. Ecologie, dendrométrie, Morphologie. O.P.U. Alger : 50-145 p.
- Kadik B., 1987** : Les espèces ligneuses à usage multiple de la zone méditerranéenne, Rapport de mission, Saragosse, Espagne : 41p.
- Kéita SM1, Vincent C, Schmit J, Arnason JT, Bélanger A, 2001.** Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab). and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.) [Coleoptera: Bruchidae]. article (PDF Available) in *Journal of Stored Products Research* 37(4):339-349 · November 2001 with 881 Reads.

- Lamontagne. E. 2004.** Caractérisation de nouvelles souches de *Bacillus thuringiensis* d'intérêt pour la production des bio pesticides et d'enzyme par fermentation de boues d'épuration municipale. Mémoire de maîtrise en science de l'eau. Université du Québec INRSETE. 122p.
- Leblond, A., Martin, J.C., Napoléone, C., Geniaux, G., Robinet, C., Provendier, D., et Gutleben, C. 2010.** La processionnaire du pin vue par ses gestionnaires. Une enquête auprès des communes françaises donne un nouveau regard sur ce ravageur. *Phytoma*, **633**, 18.23.
- Lequet A., 2010 :** Les pages entomologiques d'André Lequet. Mise à jour le 05 Décembre 2010 [<http://www.insectes-net.fr/>].
- Bigou. et Corona P., 2013:** Impacts of climate change on European forests and options for adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development, November 2008.
- Maire R., 1962 :** Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Avec notice Alger : 78 p.
- Makhloufi L. et Sadi S., 2002 :** Impact de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) sur la croissance du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans la région de Ain-Abessa (Sétif). Mémoire d'ing. Biologie Sétif. 24p.
- Martin J.C., 2005 :** La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. Synthèse des recherches bibliographiques et des connaissances, INRA Avignon.
- Martin J.C., 2007 :** La chenille processionnaire du pin. In : *Dossier : la chenille processionnaire du pin*. [[Http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/zoologie-1/d/la-chenille-processionnaire-du-pin_700/c3/221/p3/](http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/zoologie-1/d/la-chenille-processionnaire-du-pin_700/c3/221/p3/)].
- Roubaudi., 2006 :** Physiologie végétale. Tome II. Nutrition et métabolisme. Ed. Hermann. Paris : 348p.
- Meddour H., 1982 :** Contribution à l'étude de la croissance du *pinus halepensis* Mill. En relation avec les groupements végétaux dans la forêt de Bainem. I.N.A. Mémoire d'ing . Agro : 66 p.
- Mezali M., 2003 :** Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3ème session du forum des Nations Unis sur les forêts, 9 p.
- Montero G., Canellas I. & Ruis-Peinado R., 2001:** Growth and Yield models for *Pinushalepensis* Mill. *Invest.Agr.Sist. Recur. For.*, 10 (1), 24 p.
- Morales, R. (2002)** The history, botany and taxonomy of the genus *Thymus*. In: *Thymuse: the genus Thymus*. Ed. *Taylor et Francis, London*. pp. 1-43.
- Moro-Buronzo, A., 2008.** Grand guide des huiles essentielles. Paris : Hachette pratique.
- Nahal. I. (1962).** Le pin d'Alep. Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts*. **4**. 533.627.
- Nahal. I. (1962).** Le pin d'Alep. Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts*. **4**. 533.627.
- Nahel E., 1962 :** Le pin (*Pinus halepensis* Mill.). Etude taxonomique, phyto-écologie, écologie et sylvicole. *Ann. E.W.E.F. Tom XIX. Fasci 4*: 192-208.

- Painter R. H., 1951:** Insect resistance in crop plants: University of Kansas Press. 520 p.
- Pariante L. (2001)** Dictionnaire des sciences pharmaceutique et biologique. 2^{ème} Ed. Académie nationale de pharmacie. Paris 1643 p.
- Perrin H.,1985 :** Théorie et pratique des techniques sylvicoles. 2ème. Ed. : 35-37 p.
- Quezel et Santa, 1963 ,** Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales.
- Quezel P. et Barbero M., 1992 :** Le Pin d'Alep et les essences voisines : Répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France Méditerranéenne. Forêt Méditerranéenne, XIII (3), 158-170.
- Quezel., 1986 :** Les pins de groupes halepensis ; Ecologie, Végétation. Ecophysiologie. Ed. Gauthier villars. Paris : 822p.
- Rivière J., 2011 :** Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale. Thèse doctorat vétérinaire. La faculté de médecine de Créteil France.206 p.
- Robinet. C. 2006.** *Modélisation mathématique des phénomènes d'invasion en écologie : exemple de la chenille processionnaire du pin.* Thèse de doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, France, 188p.
- Rocheffort. S., Lalancette. R., Labbe. R. et Brodeur. J., 2006.** Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement. Rapport final, Projet PARDE, Volet Entomologie, Université Laval. Pp.10. 28.
- Schmidit., 1990.** Life cycle of *Thaumatococcus panyocampa* Schiff. *Symposium of Thaumatococcus panyocampa* Newsdals. Hanover Deutchland. Jill 1989: 95-99 p.
- Schultz J. C., 1988 –** Many factors influence the evolution of herbivore diets, but plant chemistry is central. *Ecology*, vol. 69, pp. 896-897.
- Seigue A., 1985 :** La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maison neuve et Larose. Paris. 502 p.
- Souleres G., 1969 :** Le pin d'Alep en Tunisie. Annales de l'Inst. Nat. Rech. Forest. Tunisie. Vol 2. Fasc. 126 p.
- Tchoumboungang F., P Mi. Jazet Dongmo, M L. Sameza, E.Gaby Nkouaya Mbanjo,**
- Teuscher E., Anton R., et Lobstein A., 2005.** Plantes Aromatiques (épices, aromates, condiments et huiles essentielles). Edition Tec et Doc. Paris. Edition. E.M. inter. Allemagne. P: 266.
- Vega J. et al., 2011:** Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in adult population. *Contact Dermat.* 64, 220-228
- Vega H. 2015.** Valorisation officinale des huiles essentielles autorisées dans les phytomédicaments [thèse]. Université Angers,

Annexe 01 : Aire de répartition du pin d'Alep au bassin méditerranéen

| Pays | Superficies (ha) | Source |
|---------|-------------------|--------------------------------|
| Algérie | 852.000 | Mezali (2003) |
| Tunisie | 170.000 à 370.000 | Chakroun (1986), Ammari (2001) |
| France | 202.000 | Couhert et Duplat (1993) |
| Espagne | 1.046.978 | Montero (2001) |
| Italie | 20.000 | Seigue (1985) |
| Grèce | 330.000 | Seigue (1985) |

Annexe 02 : Répartition des zones infestées par la chenille processionnaire du pin d'Alep dans la wilaya de Mostaganem (D.G.F, 2022)

| code terrain infestée | code wilaya | Non wilaya | Code Commune | Commune | Forêt ou lieu dit | superficie totale (ha) | Espèce d'arbre infestée | Artificiel | Naturel | Age (an) | Hauteur moyenne (m) | Superficie infestée (ha) | Faible (10-25%) | Moyen (25-50%) | Fort (> 50%) | | | |
|-----------------------|-------------|------------|--------------|---------------|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|----------|---------------------|--------------------------|-----------------|----------------|--------------|---|---|---|
| TIN 01 | 27000 | Mostaganem | 2706 | Hassi Mameche | Arabia | 6 | Pin d'Alep | x | - | 12 | 3 | 6 | - | - | x | | | |
| TIN 02 | | | | | | 100 | | x | - | 40 | 3 | 100 | - | - | - | x | | |
| TIN 03 | | | | | | 2727 | | Mazagan | 260 | x | - | 72 | 4 | 20 | - | - | x | |
| TIN 04 | | | | | | 2704 | | Sidia | 210 | x | - | 65 | 3 | 5 | x | - | - | |
| TIN 05 | | | | | | 2702 | | Sayada | Forest de l'Est | 96 | x | - | 73 | 5 | 20 | x | - | - |
| TIN 06 | | | | | | | | | | 90 | x | - | 73 | 5 | 3 | x | - | - |
| TIN 07 | | | | | | | | | | 100 | x | - | 20 | 2,5 | 5 | - | - | - |
| TIN 08 | | | | | | 2701 | | Mostaganem | Djbel Diss | 35 | x | - | 28 | 4 | 10 | x | - | - |
| TIN 09 | | | | | | | | | | 426 | x | - | 60 | 5,6 | 3 | x | - | - |
| TIN 10 | | | | | | 2730 | | Safsaf | Goufir | 687 | x | - | 80 | 4,6 | 2 | x | - | - |
| TIN 11 | | | | | | | | | | 619 | x | - | 65 | 5,7 | 4 | x | - | - |
| TIN 12 | | | | | | | | | | 912 | x | - | 45 | 6 | 6 | x | - | - |
| TIN 13 | | | | | | | | | | 130 | x | - | 20 | 3,4 | 7 | - | - | x |
| TIN 14 | | | | | | 2724 | | Souffia | Ennaro | 702 | x | - | 65 | 3,4 | 2 | - | x | - |
| TIN 15 | | | | | | | | | | 290 | x | - | +70 | 4,5 | 2 | - | x | - |
| TIN 16 | | | | | | 2712 | | Sidi Ali | Sidi youcef | 60 | x | - | +50 | +4,5 | 1 | - | x | - |
| TIN 17 | | | | | | | | | | 100 | x | - | +30 | +4,5 | 1,5 | - | x | - |
| TIN 18 | | | | | | | | | | 350 | x | - | +50 | +4,5 | 3 | - | x | - |
| TIN 19 | | | | | | 2716 | | Sidi Iakhar | Bouachina | 258 | x | - | -80 | 5 | 2,5 | - | x | - |
| TIN 20 | | | | | | | | | | 1216 | x | - | +80 | 5 | 2 | - | x | - |
| TIN 21 | | | | | | 2729 | | Tazgar | Lakaf | 40 | x | - | +50 | 4 | 1 | - | x | - |
| TIN 22 | | | | | | | | | | 260 | x | - | +50 | 4 | 1,5 | - | x | - |
| TIN 23 | | | | | | 2713 | | Ben Abdelmalek Ramadan | Cap ivi | 318 | x | - | +80 | 5 | 1,5 | - | x | - |
| TIN 24 | | | | | | | | | | 319 | x | - | +80 | 5 | 1,5 | - | x | - |
| TIN 25 | | | | | | | | | | 150 | x | - | +80 | 4 | 2 | - | x | - |
| TIN 26 | | | | | | 2712 | | Oued moulah | Sidi m'barek | 160 | x | - | +50 | 5 | 1,5 | - | x | - |
| TIN 27 | | | | | | 2717 | | Achsacha | Sidi charif | 500 | x | - | +50 | 5 | 2 | - | x | - |

TIN: TERRAIN INFESTEE