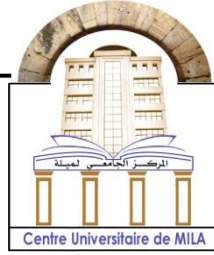


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf- Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

- Filière : Ecologie et environnement
- Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Thème :

Etude comparative de l'abondance des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa Schiff*) entre deux pinèdes de la wilaya de Mila

Présenté par :

- BOUKETTA Imane
- BOUKHECHE Aya

Devant le jury :

Présidente :	BOUDRAA Wahiba	MCB	Centre universitaire Mila
Examinatrice :	BENMIRA Selma Elbatoul	MCB	Centre universitaire Mila
Promotrice :	BOUDJAHM Ibtissam	MCB	Centre universitaire Mila

Année Universitaire : 2022/2023



Remerciements

*En premier lieu, nous tenons à remercier **Allah**, notre créateur pour nous avoir
donné la*

*Force pour accomplir ce travail pour mener à terme ma formation de
Master*

Nous tenons dans un premier temps à remercier vivement

Mlle : BOUDJAHM Ibtissem

*Pour son encadrement, pour ses conseils, ses orientations sages, et sa
contribution au succès de ce travail.*

*Nous lui sommes très reconnaissantes pour sa bienveillance, ses précieux
conseils, sa patience et sa disponibilité.*

Nous espérons qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nos très vifs remerciements vont aussi à

Mme ; BOUDRAA Wahiba

pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Nous remercions également

Mme ; BENMIRA Selma Elbatoul

pour avoir accepté de juger ce travail.

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



Dédicace

Je dédie ce travail à mes plus chers

A tous celui qui a sacrifié pour m'offrir les conditions propices.

*À ma chère mère **Rabia** et mon cher père **Saïd***

Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études Puisse dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

À celui qui attendait mon succès, mais la mort a été précédée par mon cher grand-père

***BEN CHELLI Sasi** que dieu ait son âme.*

À mes adorables sœurs : Manar, Aicha, Douaa, Salsabil, Sadja

À mon Frères: Mounib

À ma chère tante : Fatima et son honorable famille

À tout les amies, surtout : Dounia, Imane, yousra

À ma chère binôme : Aya

Qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide

*À tous mes enseignants, surtout Mlle: **BOUDJAHM Ibtissem***

À tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi.

Merci à tous de m'aider à devenir meilleur

*À mon âme qui était patient, enceinte et endurée, j'ai trébuché et me suis relevée, et grâce a **Allah**, je suis arrivé*

IMANE



Dédicace

Je dédie ce modeste travail particulièrement à mes chers parents, qui ont consacré leur existence à bâtir la mienne, pour leur soutien, patience et soucis de tendresse et d'affection pour tout ce qu'ils ont fait pour que je puisse arriver à ce stade.

A ma mère "FARIDA", qui m'a encouragé durant toutes mes études, et qui sans elle, ma réussite n'aurait pas eu lieu. Qu'elle trouve ici mon amour et mon affection.

A mon père "SADDEK", qui est toujours disponible pour nous, et prêt à nous aider, je lui confirme mon attachement et mon profond respect.

A mes chères frères: Mon grand frère "OUSSAMA":

Mon petit frère "ALA EDDINE":

Qui m'ont toujours soutenu dans toutes mes décisions surtout dans ce domaine.

A mes chères sœurs: "SARA", "AHLEM", "DOUNYA", "LINA", et à ma petite sœur "DJOUMANA" Qui m'est très chère, Que Dieu les protège pour moi.

A mes belles sœurs: "HOUDA" ET "ROUMAÏSSA":

A mes chers neveux: "LOUAI" ainsi que les autres "MARIYA", "BASSEM", "LAYTH", "TAYM ALAH", "TESNIM" et "SOUNDOUS":

A ma chère tante "FAHIMA" que Dieu ait son âme.

A toute ma famille.

A mes amis intimes "AMINA", "OMAIMA", "RADJA" un profond respect et un remerciement particulier pour les moments les plus beaux et les plus durs que vous avez passé avec moi.

A ma chère binôme "IMANE":

A tous mes êtres chers, à qui je les connaîtrai dans un futur proche ou lointain.

Je dédie mes meilleures salutations.

AYA

Table des matières

Remercîments	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
I- Introduction	1
II- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
II-1- Présentation de la chenille processionnaire du pin	4
II-1-1- Histoire et taxonomie des espèces du genre <i>Thaumetopoea</i>	4
II-1-2- Chenille processionnaire de pin d'Alep <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	4
II-1-3- La position systématique	5
II-2- Cycle de vie de la chenille processionnaire	5
II-2-1- Comportement biologique	5
II-2-1-1- Phase aérienne	6
II-2-1-1-1- Emergences	6
II-2-1-1-2- Ponte	7
II-2-1-1-3- Développement larvaire	8
II-2-1-1-4- Phase ambulatoire	8
II-2-1-1-5- Propriétés urticantes	8
II-2-1-1-6- Le nid d'hiver	9
II-2-1-1-7- Les processions et leur évolution	9
II-2-1-2- Phase souterraine	10

II-2-1-2-1- Nymphose.....	10
II-2-1-2-2- Diapause	10
II-3- Distribution géographique de la chenille processionnaire	10
II-3-1- Dans le monde	10
II-3-2- En Algérie	12
II-4- Principales essences hôtes de l'insecte et stratégie du choix	13
II-5- Facteurs influençant le développement de la processionnaire	14
II-5-1- Facteurs abiotiques	14
II-5-1-1- Ensoleillement et photopériode	14
II-5-1-2- Température	14
II-5-1-3- Altitude et latitude	15
II-5-2- Facteurs biotiques.....	16
II-5-2-1- Prédateurs et parasitoïde.....	16
II-5-2-2- Microorganismes	18
II-6- Biogéographie et répartition.....	19
II-7- Dégâts causés par la chenille processionnaire.....	19
II-7-1- Dégâts sur la plante hôte	19
II-7-2- Les dégâts sur l'homme et les animaux	20
II-8- Les symptômes liés aux chenilles processionnaires.....	21
II-8-1- Contact avec la peau.....	21
II-8-2- Contact avec les yeux	21
II-8-3- Cas de contact par inhalation	22
II-8-4- Contact par ingestion.....	22
II-9- Conséquences environnementales et dégâts forestiers.....	22
II-9-1- Conséquences écologiques	22
II-9-2- Conséquences économiques	23

II-10- Moyens de lutte contre la chenille processionnaire	23
II-10-1- Lutte mécanique	24
II-10-2- Lutte biologique	26
II-10-3- Lutte microbiologique	26
II-10-4- Lutte avec des pièges à phéromone sexuels	27
II-11- Généralité sur le pin d'Alep	27
II-11-1- Description du pin d'Alep	27
II-11-2- Systématique	28
II-12- Caractéristiques botaniques du <i>Pinus halepensis</i>	29
II-13- Exigences climatique, édaphique et écologiques	31
II-13-1- Altitude	31
II-13-2- Exigences climatiques	32
II-13-3- Exigences édaphiques	32
III- MATERIEL ET METHODES.....	33
III-1- Site d'Échantillonnage	33
III-1-1- Présentation de la région de Mila.....	33
III-1-1-1- Situation géographique et morphologique	33
III-1-1-2- Situation démographique	34
III-1-1-3- Le cadre climatique	34
III-2- Étude de l'abondance des nids de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	37
III-2-1- La Forêt de « Fardwa »	37
III-2-2- La Forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila.....	38
III-2-3- Comparaison des caractéristiques spécifiques des deux Forêts	39
III-3- Dénombrement des nids.....	40
III-4- Indices écologiques pour la présence d'un ravageur dans une forêt.....	40
III-5- Traitements statistiques.....	41

IV- RESULTATS	42
IV-1- Indices écologiques de la présence des nids d’hivers dans les sites étudiés.....	42
IV-1-1- Forêt de « fardwa » dans la région de Mila	42
IV-1-2- Forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila.....	43
IV-2- Comparaison des résultats des deux forêts	43
IV-3- Test de variance des paramètres étudiés pour chaque forêt.....	45
IV-3-1- La forêt de « Fardwa».....	45
IV-3-1-1- Nombre de nids/Hauteur des arbres.....	45
IV-3-1-2- Hauteur des arbres /Poids des nids	46
IV-3-1-3- Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids	46
IV-3-2- Forêt de « Ain Tin ».....	47
IV-3-2-1- Nombre de nids/ hauteur des arbres.....	47
IV-3-2-2- Hauteur des arbres/Poids des nids	47
IV-3-2-3- Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids des nids.....	48
V- DISCUSSION	49

VI- Conclusion

Références bibliographiques

Liste des abréviations

L1 : stade larvaire 1

L2 : stade larvaire 2

L3 : stade larvaire 3

L4 : stade larvaire 4

L5 : stade larvaire 5

P : Précipitation

T : Température

HR : Humidité Relative

V : Vent

% : pourcent

C° : degré Celsius

DGF : Direction Générale des Forêts

ADJ SS : Somme des carrés

ADJ DF : Degré de liberté

ADJ MS : régression

F-Value : Variance observée

P-Value : Niveau de signification

R² : Coefficient de détermination

Liste des figures

Figure 01 : les chenilles processionnaires	5
Figure 02 : Chronologie des écophases de développement de la processionnaire du pin <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	6
Figure 03 : Papillons mâle et femelle de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	7
Figure 04 : Ponte de la processionnaire sur pin d'Alep.	7
Figure 05 : Les stades larvaires de la processionnaire du pin	8
Figure 06 : Exemples de nids d'hiver sur le Pin d'Alep	9
Figure 07 : Lieu d'enfouissement des chenilles processionnaire du pin	9
Figure 08 : Chrysalide de la chenille processionnaire du pin	10
Figure 09 : Distribution géographique des clades de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	12
Figure 10 : Carte de la distribution de la chenille processionnaire du pin en Algérie.....	13
Figure 11 : Probabilité de survie et survie observée au laboratoire des larves de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en fonction du cumul des températures négatives	15
Figure 12 : Disparités géographiques du cycle de la processionnaire du pin	16
Figure 13 : Principaux auxiliaires de la chenille processionnaire du pin.....	17
Figure 14 : Distribution temporelle des espèces d'oiseaux prédateurs de la chenille processionnaire	18
Figure 15 : Défoliation des aiguilles du pin	20
Figure 16 : Dégâts causés par la chenille processionnaire du pin.....	20
Figure 17 : Troubles cutanés après contact les chenilles processionnaires.....	21
Figure 18 : Calendrier de lutte contre la chenille processionnaire.....	24
Figure 19 : Échenilloir à gauche (K3D Lyon Chenilles).	25
Figure 20 : Piégeage des chenilles lors de la nymphose	25
Figure 21 : Prédation par les mésanges	26
Figure 22 : Résultats expérimentaux des tests comparatifs des pièges à phéromones	27
Figure 23 : Arbre de pin d'Alep.....	28

Figure 24 : Ecorce du <i>Pinus halepensis</i>	29
Figure 25 : Les rameaux du <i>Pinus halepensis</i>	29
Figure 26 : Feuilles du <i>Pinus halepensis</i>	30
Figure 27 : Cônes du <i>Pinus halepensis</i>	30
Figure 28 : Le bois mort du <i>Pinus halepensis</i>	31
Figure 29 : Les graines du <i>Pinus halepensis</i>	31
Figure 30 : Situation géographique de la wilaya de Mila.	33
Figure 31 : Précipitations moyennes mensuelles de la région de Mila 2009-2018.....	35
Figure 32 : Température moyennes mensuelles de la région de Mila (période 2009-2018).	35
Figure 33 : Variation de l'humidité relative de l'air dans la région d'étude.....	36
Figure 34 : Vitesse de vent moyen mensuel de la zone d'étude (Période 2009- 2018).....	36
Figure 35 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussens de la wilaya de Mila (2009-2018).....	37
Figure 36 : Forêt de « Fardwa » dans la région de Mila	38
Figure 37 : Situation géographique de la forêt de « Fardwa » dans la région de Mila	38
Figure 38 : Forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila.....	39
Figure 39 : Situation géographique de la forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila	39
Figure 40 : Taux d'infestation par la chenille processionnaire du pin dans la forêt de « Fardwa » dans la région de Mila.....	42
Figure 41 : Taux d'infestation par la chenille processionnaire du pin dans la forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila.	43
Figure 42 : Taux d'infestation des arbres de pin par les nids de la chenille processionnaire du pin dans les différentes forêts étudiées.....	45

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les différentes phases d'un cycle de gradation de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	19
Tableau 02 : Comparaison des caractéristiques spécifiques des deux Forêts « Fardwa » et « Ain Tin ».	40
Tableau 03 : Indices écologique de la présence des nids de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> dans la forêt des « Fardwa » dans la région de Mila.	42
Tableau 04 : Indices écologique de la présence des nids de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> dans la forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila.	43
Tableau 05 : Comparaison des paramètres et des résultats des deux forêts étudiées.	44
Tableau 06 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs de Nombre de nids/Hauteur des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ».	45
Tableau 07 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs d'hauteur des arbres /Poids des nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ».	46
Tableau 08 : Test de la variance à plusieurs critères de classification des valeurs de Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ».	46
Tableau 09 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs de nombre des nids/ hauteur des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ».	47
Tableau 10 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs d'hauteur des arbres /Poids des nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ».	47
Tableau 11 : Test de la variance à plusieurs critères de classification des valeurs de Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ».	48

Résumé

La chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) est un insecte de la famille des Notodontidae. C'est un papillon nocturne à vie très brève dont les larves sont considérées comme le principal ravageur des forêts de pin et de cèdre dans le pourtour méditerranéen, et qui causent de graves dégâts naturels, écologiques, sanitaires et économiques dans les pinèdes et les cédraies de la région.

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est l'espèce la plus vulnérable aux attaques répétées de la chenille processionnaire du pin. En effet, pendant le stade larvaire, les chenilles se nourrissent des feuilles des arbres, ce qui commence à affaiblir les conifères, et provoque une défoliation généralisée des forêts.

Nous nous sommes intéressés dans notre travail à l'étude de l'abondance des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin dans les forêts de « Ain Tin » et de « Fardwa » dans la région de Mila. Des mesures de hauteur des arbres et de poids moyen des nids d'hiver au niveau de chaque arbre sont également estimées.

Nous avons enregistré une abondance totale de 172 nids dans la forêt de « Fardwa » et 122 nids au niveau de la forêt de « Ain Tin ». La hauteur moyenne des arbres de la forêt de « Ain Tin » est presque trois fois plus supérieure que celle des arbres de la forêt de « Fardwa ».

Le taux d'infestation est de 75% dans la forêt de « Fardwa » et de 49% dans la forêt de « Ain Tin ». Cela revient aux caractéristiques écologiques différentes des deux régions, ainsi qu'à l'âge et la qualité des feuilles variables entre les deux sites.

Mots clés : La processionnaire du pin, pin d'Alep, Fardwa, Ain Tin, abondance des nids d'hiver.

Abstract

The pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa schiff*) is an insect of the family Notodontidae. It is a very short-lived moth whose larvae are considered the main pest of pine and cedar forests around the Mediterranean and which cause serious natural, ecological, health and economic damage in pine forests and cedar forests. Of the region

The Aleppo pine (*Pinus halepensis*) is the most vulnerable species to repeated attacks by the pine processionary caterpillar. Indeed, during the larval stage, the caterpillars feed on the leaves of trees, which begins to weaken the conifers, and causes widespread defoliation of the forests.

We were interested in our work to study the abundance of winter nests of the pine processionary caterpillar in the forests of «Ain Tin» and «Fardwa» in the region of Mila. Measurement of tree height and average winter nest weight at each tree are also estimated.

We recorded a total abundance of 172 nests in «fardwa» forest and 122 nests in «Ain Tin» forest, the average height of trees in «Ain Tin» forest is almost three times that of trees in fardwa.

The infestation rate is 75 % in «Fardwa» forest and 49 % in «Ain Tin» forest; this comes down to the different ecological characteristic of the two regions, as well as the varying leaf age and quality between the two sites.

Keywords: pine processionary, Aleppo pine, Fardwa, Ain Tin, Abundance of winter nests.

ملخص

كاتربيلر موكب الصنوبر (*Thaumetopoea pityocampa schiff*) هو حشرة من عائلة الفراشات وهي آفة قصيرة العمر تعتبر يرقاتها الآفة الرئيسية لغابات الصنوبر والأرز حول البحر الأبيض المتوسط ، والتي تسبب أضرارًا طبيعية وبيئية وصحية واقتصادية خطيرة في غابات الصنوبر وغابات الأرز في المنطقة.

يعتبر الصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis*) أكثر الأنواع عرضة للهجمات المتكررة من قبل كاتربيلر موكب الصنوبر، في الواقع ، خلال مرحلة اليرقات ، تتغذى اليرقات على أوراق الأشجار ، مما يؤدي إلى إضعاف الصنوبريات ، ويسبب تساقط أوراق الغابات على نطاق واسع.

كنا مهتمين بعملنا لدراسة وفرة الأعشاش الشتوية ليرقة الصنوبر المسيرة في غابات « عين التين » و « فرضوة » في منطقة ميله ، كما تم تقدير قياسات ارتفاع الشجرة ومتوسط وزن العش الشتوي في كل شجرة.

وقد سجلنا وجود 172 عشًا في غابة « فرضوة » و 122 عشًا في غابة « عين التين » . يبلغ متوسط ارتفاع الأشجار في غابة « عين تين » ثلاثة أضعاف ارتفاع الأشجار في غابة « فرضوة ».

تبلغ نسبة الإصابة 75% في غابة « فرضوة » و 49% في غابة « عين التين »، يرجع ذلك إلى الخصائص البيئية المختلفة للمنطقتين، فضلاً عن اختلاف عمر الأوراق وجودتها بين الموقعين.

كلمات مفتاحية : موكب الصنوبر، الصنوبر الحلبي، فرضوة، عين التين، وفرة أعشاش الشتاء.

Introduction

I- Introduction

Les arbres forestiers sont les principaux éléments écologiques qui structurent un écosystème. Un changement dans leur composition ou leur abondance, affectera automatiquement l'ensemble, depuis la biodiversité du milieu naturel jusqu'aux facteurs abiotiques (**Bentouati, 2006**). En Algérie la forêt de pin d'Alep couvre plus de 850 000 (**Bentouati et Bariteau, 2005**), elle occupe une aire de répartition morcelée sur tout le pourtour méditerranéen (**Nahal, 1985; Coombes, 1993**).

Près de la moitié de la superficie occupée par la forêt méditerranéenne est dominée par la forêt à conifères et chênaies (**Ramade, 1997**). Dix espèces de conifères et trois espèces de chênes occupent seulement la superficie maghrébine (**White, 1986**), réparties sur les différents étages bioclimatiques (**Quézel et Médail, 2003**).

Le pin d'Alep *Pinus halepensis* est l'une des espèces dominantes par ses peuplements de grands massifs sur l'ensemble du Nord Algérien. Cette espèce localisée dans la majorité des variantes bioclimatiques méditerranéennes de l'Algérie, peuplant même les zones les plus hostiles en marge du Sahara et de la steppe. Il forme des forêts importantes dont les valeurs écologiques sont variables (**Quezel, 1986**) et qui couvrent environ 35% des surfaces boisées de l'Algérie du Nord, soit environ 800.000 ha (**Mezali, 2003**).

De part sa plasticité et ses faibles exigences, le pin d'Alep reste l'espèce la plus utilisée dans les reboisements et dans la reconstitution des zones dégradées. Il s'accommode à tous les sols, lorsque les conditions climatiques lui sont favorables (**Sigue, 1985 ; Bentouati et al, 2005**).

Comme toute forêt du bassin méditerranéen, celle de Pin d'Alep a subi depuis des siècles d'intenses pressions humaines (défrichements, coupes illicites, incendies, pâturages) causant ainsi la déforestation et la régression du couvert végétal (**Nahal, 1986 et Quezel, 1986**). A cela s'ajoutent divers problèmes sanitaires d'origine abiotique ou biotique (**Boutte et al, 2012**). La présence de la chenille processionnaire est l'une des principales causes de la dégradation des forêts du pin dans la région méditerranéenne.

La chenille processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa*, est le principal insecte défoliateur des Pins et du cèdre dans le pourtour méditerranéen (**Robinet et al, 2011**). En se nourrissant des aiguilles, les chenilles entraînent une défoliation de l'arbre, conduisant principalement à un affaiblissement du pouvoir photosynthétique et permettant à long terme,

l'installation d'autres ravageurs secondaires, particulièrement des xylophages (**Bouchou, 2015**).

Dès l'arrivée de la saison froide, la colonie des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* commence à construire le nid d'hiver qui va permettre la survie du groupe (**Demolin, 1967**). La structure du nid d'hiver est très complexe, elle comprend deux enveloppes superposées, une interne d'épaisseur importante et une externe plus lâche, qui a un rôle de superstructure. Aucun orifice de sortie n'est prévu, les chenilles doivent faire leur passage à travers les mailles du tissage. C'est un radiateur thermique captant les rayons du proche infrarouge émis par le soleil. On peut noter une élévation de température de 2°C par heure d'insolation dans le nid d'hiver (**Demoli, 1969**).

Il est connu que l'orientation cardinale des nids d'hiver, la hauteur et la composition phytochimique du pin vis-à-vis des attaques de la chenille processionnaire du pin est une démarche logique qui peut être révélatrice et peut influencer la distribution et l'abondance des nids d'hiver (**Ziouche et al, 2017**).

On rencontre ce ravageur dans tous les pays de la méditerranée occidentale (**Linares et al, 2014**), qui se répand actuellement dans les latitudes supérieures probablement en réponse au changement climatique avec des températures hivernales croissantes (**Huchon et Demolin 1971; Battisti et al, 2005**).

En effet, En construisant ces nids d'hiver sur l'extrémité des rameaux des arbres, les chenilles cherchent la position la mieux exposée à la lumière. Ce nid plus épais et mieux structuré, va leur permettre de passer l'hiver en jouant un rôle de radiateur solaire, en captant les rayons infra-rouges. On estime une température de 40°C à l'intérieur du nid contre 10°C à l'extérieur. Cette température favorable est conservée, ainsi, par le regroupement des chenilles en conglomérat (**Rivière, 2011**).

L'objectif de la présente étude est d'évaluer la dynamique des populations de la chenille processionnaire du pin dans leur milieu naturel. Pour cela, nous avons réalisé une étude de comptage des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* dans deux forêts de la région de Mila à savoir « La forêt de Ain tin » et la forêt de « Fardwa ». Nos données assemblées ont permis la détermination des taux d'abondance et de la structure de distribution de l'insecte dans les milieux prospectés et qui sont variables selon plusieurs paramètres écologiques.

Un comptage des nids d'arbre a été effectué sur 100 arbres dans chaque forêt, des valeurs d'hauteur moyenne d'arbre et du poids moyen des nids sur chaque arbre sont également estimées pour chaque forêt.

Ces variables permettent de contrôler la stratégie d'attaque en fonction de type de peuplement. Ce travail est divisé en trois parties, dans la première on s'intéresse à une synthèse bibliographique sur la processionnaire du pin, et le Pin d'Alep, qui est la principale plante hôte de ce ravageur. La présentation de la zone d'étude, et de la méthodologie adoptée dans le second volet de ce mémoire. La dernière partie est réservée à la présentation des résultats et leur interprétation et en fin on termine par une conclusion.

Étude bibliographique

II- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

II-1- Présentation de la chenille processionnaire du pin

II-1-1- Histoire et taxonomie des espèces du genre *Thaumetopoea*

En l'année 77, Dioscoride (in **Matthioli, 1562**) décrit dans son ouvrage « *De Materia medica* » le caractère urticant des larves appelées '*pityocampes*' vivant sur les essences de pins en Italie. Mais bien avant, entre 314 et 313 A.J., le botaniste grecque Théophraste de Erses propose dans son ouvrage intitulé « *Historia Plantarum* », une préparation à base d'une plante (l'inule), de vin et d'huile à utiliser contre les vipères, les tarentules, les larves de processionnaire de pin et autres reptiles (**Amigues, 2006**).

La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*, est un insecte de l'ordre des Lépidoptères qui s'alimente principalement des essences du genre *Pinus*. Elle fait partie de la famille des Notodontidae et de la sous-famille des Thaumetopoeinae. Elle a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1775. Une diversité composée de 12 espèces de processionnaires du Paléarctique et de la région Afro-tropicale compose la sous-famille des Thaumetopoeinae (**Agenjo 1941; Kiriakoff 1970 et Schintlmeister 2013**). Elles peuvent être réunies en groupes, selon leur comportement éco-biologique de leur cycle : 1) les processionnaires d'été et 2) les processionnaires d'hiver (**Simonato et al, 2007**).

II-1-2- Chenille processionnaire de pin d'Alep *Thaumetopoea pityocampa*

La Chenille processionnaire du pin est un insecte de l'ordre des Lépidoptères, connues pour leur mode de déplacement en file indienne. Les larves se nourrissent des aiguilles de diverses espèces de pin, provoquant un affaiblissement important des arbres et des allergies aux personnes exposées aux soies des chenilles (**Robinet, 2006; Hodat et al, 2012**). Elle est le Principal ravageur défoliateur dans tout le bassin méditerranéen.

En Algérie, cet insecte ravageur est présent dans l'ensemble des forêts résineuses. Les attaques massives sont apparues après les grands efforts de reboisement dans le cadre du "Barrage vert". En effet la monoculture exclusive à base du pin d'Alep, a engendré une explosion démographique des populations de cette chenille par rapport à d'autres insectes ravageurs (**Kadik, in Khadoumi et al, 2014**). Plusieurs travaux ont été réalisés en Algérie portant sur plusieurs aspects à savoir la systématique, l'écologie, les dégâts et les moyens de lutte contre cet insecte. (**Zamoum, 1998 et Zamoum, 2002**).



Figure 01 : les chenilles processionnaires (**Anonyme 01**).

II-1-3- La position systématique

La systématique de la chenille processionnaire du pin établie par Denis et Schiffermüller en 1775, selon (**Riviere, 2011**).

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Super ordre : Endoptérygota

L'ordre : Lépidoptéra

Famille : Notodontidae

Sous famille : Thaumetopoeinae

Genre : *Thaumetopoea*

Espèce : *Thaumetopoea pityocampa*

II-2- Cycle de vie de la chenille processionnaire

II-2-1- Comportement biologique

La processionnaire du pin est une espèce univoltine, dont le cycle peut s'étaler, selon les conditions écologiques du milieu, sur plusieurs années. Le développement de la processionnaire du pin dépend fortement des conditions climatiques du milieu notamment la température et l'ensoleillement. De même, de fortes variations sont notées dans son cycle selon la latitude et l'altitude des sites.

Le cycle s'effectue en deux phases à deux strates différentes de l'écosystème : 1) une phase aérienne (ponte et évolution larvaire en cinq stades) et 2) une phase souterraine (pré-nymphose et nymphose) (**Martin et al, 2007**). Les différentes écophases sont synthétisées et illustrées par la **figure 02**.

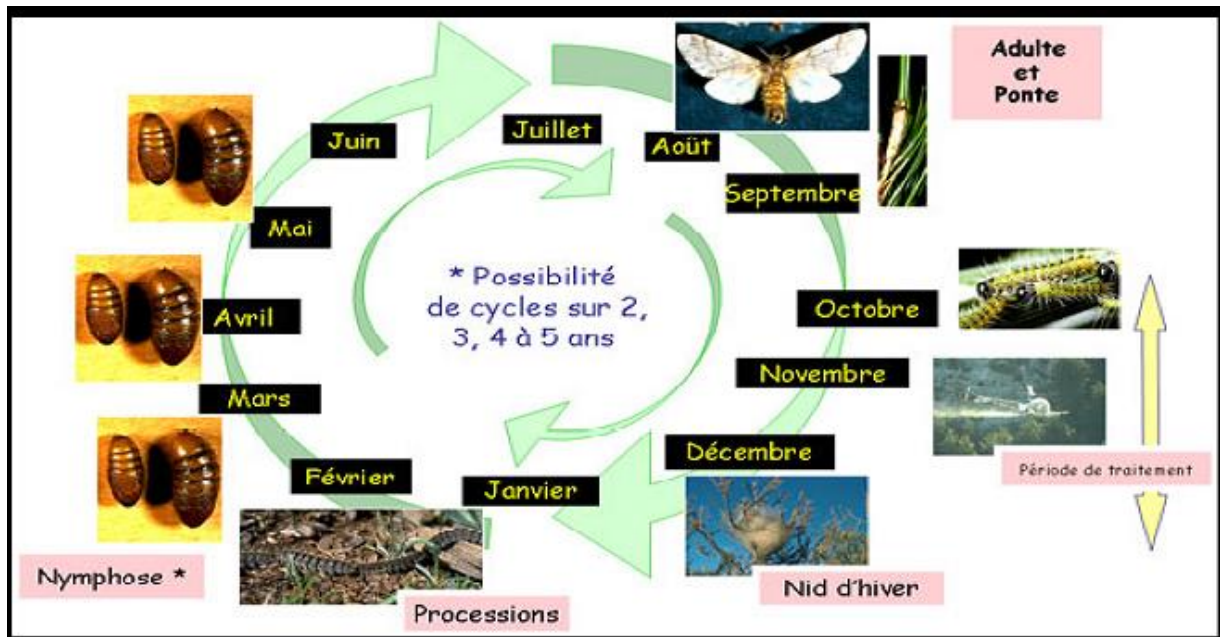


Figure 02 : Chronologie des écophases de développement de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocamp* (Martin et al, 2007).

II-2-1-1- Phase aérienne

La durée de phase aérienne varie de cinq à huit mois et s'effectue en plusieurs étapes de L'émergence des papillons jusqu'à l'enfouissement dans le sol des chenilles du dernier stade.

2-1-1-1- Emergences

Au cours de la période estivale, les adultes de la processionnaire du pin émergent du sol avec un maximum nombre d'individus noté vers la seconde décade de juillet. Ils se libèrent de leur cocon grâce à des crêtes sclérifiées, situées sur leur tête, qui leur permettent de découper l'enveloppe qui les entoure (Démolin, 1969).

Les adultes ont une longévité limitée de 24 à 48 heures. Dès leur sortie, les adultes sont actifs et peuvent parcourir plusieurs kilomètres voire même plusieurs dizaines de kilomètres pour les mâles à la recherche d'une partenaire.

Malgré le dimorphisme sexuel prononcé, les deux sexes se ressemblent notamment par leurs ailes de couleur gris-blanchâtre. L'envergure des adultes varie de 30 à 35 mm (Figure 03).

Les mâles ont tendance à sortir les premiers le soir au crépuscule et sont suivis, peu de temps après, par les femelles. Quelques heures après leur émergence, l'activité et la fécondité des

papillons débutent (**Guerrero et al, 1981**).

Après quelques heures de l'accouplement, le mâle meurt et la femelle se dirige au vol à la recherche d'un site idéal de ponte en relation avec les composés volatiles (**Paiva et al, 2011**).

La femelle effectue un choix sélectif à l'intérieur du peuplement végétal en comparant le diamètre et la structure des aiguilles (sur pin) ou des rameaux (sur cèdre) rencontrés (**Huchon et Démolin, 1970**)



Figure 03 : Papillons mâle et femelle de *Thaumetopoea pityocampa* (**Chakali, 2014**).

2-1-1-2- Ponte

Sur l'arbre de pin, la femelle rassemble deux aiguilles à l'extrémité d'un rameau pour déposer ses œufs en forme d'un manchon de 4 à 6 centimètres de longueur appelé ponte. Les œufs pondus sont recouverts au fur et à mesure par des écailles protectrices de couleur beige-claire.

Le nombre d'œufs pondus par femelle varie de 70 à 300 et l'embryogenèse dure de 30 à 45 jours (**Démolin, 1969**). Sur l'arbre de cèdre, la femelle agit différemment, elle dépose ses œufs sur des jeunes rameaux souvent sur leur partie inférieure (**Démolin, 1969**) (**Figure 04**).



Figure 04 : Ponte de la processionnaire sur pin d'Alep. (**Chakali, 2014**).

2-1-1-3- Développement larvaire

Le cycle d'évolution de la processionnaire est marqué par cinq stades larvaires. Deux périodes distinctes sont notées, à savoir : la période ambulatoire, allant de l'éclosion aux premiers froids, et la période du « nid d'hiver » durant laquelle les chenilles restent à un emplacement jusqu'au dernier stade et le départ en procession de nymphe à la recherche d'un site favorable à leur enfouissement (**Démolin, 1971**).

La durée des stades larvaires dépendant du climat. Plus l'hiver est long, plus la vitesse d'évolution est diminuée principalement au quatrième stade. Dans les cas les plus favorables, l'évolution larvaire s'effectue en général de 4 à 5 mois. En haute altitude, elle peut s'allonger jusqu'à 10 mois (**Démolin, 1969**).

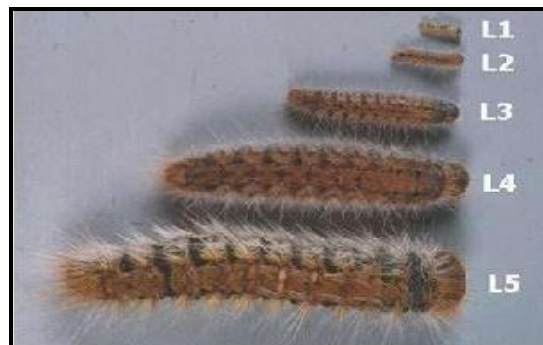


Figure 05 : Les stades larvaires de la processionnaire du pin (**Martin, 2005**).

2-1-1-4- Phase ambulatoire

Dès l'éclosion, les chenilles issues d'une même ponte forment une même colonie et vivent en groupe. La colonie change souvent d'emplacement en fonction de la disponibilité et de la proximité de leur aliment (les aiguilles) (**Huchon et Démolin, 1970**).

Dès la baisse des températures automnales, la colonie recherche l'endroit le plus favorable sur les rameaux pour construire le nid d'hiver qui agit comme un radiateur solaire permettant une évolution adéquate (**Huchon et Démolin, 1970**).

2-1-1-5- Propriétés urticantes

Au troisième stade larvaire, de petites poches particulières ou « miroirs » renfermant des poils urticants se développent sur la face dorsale des chenilles. Au moindre danger, les « miroirs » s'ouvrent et les poils, de taille microscopique, sont libérés assurant un barrage venimeux autour de la colonie pour leur protection. Transportés facilement par le plus faible courant d'air, ils envahissent toute la forêt lors des phases de gradation. Ils provoquent, chez

l'Homme et les animaux, de nombreux troubles histaminiques limités habituellement à des rougeurs et à des démangeaisons pénibles. L'action allergique des poils urticants peut se compliquer suite à la formation d'œdèmes doublés de troubles oculaires voire même d'accidents respiratoires et de vertiges (Huchon et Démolin, 1970).

2-1-1-6- Le nid d'hiver

Dès que les chenilles choisissent l'emplacement de la construction du nid, ce lieu reste l'endroit définitif à la colonie. Durant la nuit, les chenilles quittent provisoirement le nid pour s'alimenter à partir des aiguilles de pins avoisinantes. Les conditions dans le nid permettent aux chenilles le passage au quatrième puis au cinquième stade larvaire (Huchon et Démolin, 1970).



Figure 06 : Exemples de nids d'hiver sur le Pin d'Alep (photo personnelle).

2-1-1-7- Les processions et leur évolution

Entre la fin janvier et le mois de juin, les chenilles atteignent leur dernier stade et quittent le nid, formant une procession caractéristique de l'espèce jusqu'au lieu d'enfouissement dans le sol. Le climat particulièrement chaud pousse les chenilles à s'enterrer en bordure des clairières et même sous-bois (Huchon et Démolin, 1970) (Figure 07).



Figure 07 : Lieu d'enfouissement des chenilles processionnaire du pin (Chakali, 2014).

II-2-1-2- Phase souterraine

2-1-2-1- Nymphose

Après une quinzaine de jours, les chenilles enfouies entrent dans un état de vie ralentie appelé nymphose, marquée par la diapause des chenilles entourées par des chrysalides individuelles (**Huchon et Démolin, 1970**).



Figure 08 : Chrysalide de la chenille processionnaire du pin (**Martin, 2005**).

2-1-2-2- Diapause

La diapause est un arrêt incomplet du développement caractérisé par une diminution notable du métabolisme. La durée de la diapause est variable et est complémentaire, en termes de durée, à celle du développement larvaire afin que le cycle s'achève sur une année. En altitude, où les hivers sont particulièrement rigoureux, la durée d'évolution larvaire est plus longue, la diapause sera alors plus courte pour respecter le cycle annuel univoltine.

A la fin de la période de la diapause, l'activité métabolique intense dure environ un mois et aboutit à la constitution définitive de l'adulte qui est prêt à émerger (**Huchon et Démolin, 1970**).

II-3- Distribution géographique de la chenille processionnaire

II-3-1- 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**). Les principales processionnaires forestières se répartissent comme suit :

- *T. processionnea*, la processionnaire du chêne qui se localise en Europe et au Moyen Orient, sauf à l'extrême nord ;

- *T. pityocampa*, la processionnaire du pin, qui se localise en Europe, au Moyen Orient et en Afrique du Nord ;
- *T. wilkinsoni* au Moyen Orient, vit sur *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* et *Pinus canariensis* ;
- *T. pinivora* attaque *Pinus sylvestris* surtout dans le nord de l'Europe ;
- *T. bonjeani*, la processionnaire du cèdre, qui est endémique au Nord de l'Algérie et au Maroc.

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**).

Les études de la structure phylogéographique du complexe d'espèces du genre *Thaumetopoea* ont été conduites sur l'ensemble du pourtour méditerranéen afin de caractériser le degré de divergence entre certaines espèces, à savoir *T. pityocampa* et *T. wilkinsoni*, et de préciser les aires de leur distribution. De même, la caractérisation dans des zones de contact potentielles, a montré que les lignées maternelles sont fortement structurées dans l'espace (**Kerdelhué et al, 2009**).

Les auteurs précités ont mis en évidence trois principaux clades fortement différenciés sur l'ensemble des pays méditerranéens. Un clade présent en Europe (Est de la Grèce, la France, l'Italie et une partie des Balkans) et dans une partie du Maghreb (Maroc et sud de l'Algérie), il correspond à *T. pityocampa* ou clade *pityocampa*. Le second clade regroupe les populations de Chypre, Turquie, Liban, et pourrait correspondre à *T. wilkinsoni* ou clade *wilkinsoni*. Un troisième clade comprend les individus d'une partie de l'Algérie, de Tunisie et de Libye, et ne correspond à aucune entité taxonomique connue, c'est le clade ENA ou Eastern-North Africa.

Ces investigations ont mis en évidence également une très forte structuration spatiale au sein de chacun des trois clades majeurs. Le clade *pityocampa* est ainsi formé de 5 sous-clades (Sud Maroc, Nord Maroc, Corse, Péninsule Ibérique, et reste de l'Europe), le clade *wilkinsoni* contient 4 sous-clades (Crête, Chypre, Est-Turquie et Ouest-Turquie) et le clade ENA en contient 3 (Algérie, Tunisie et Libye) (**Kerdelhué et al, 2009**). L'aire de répartition des clades de la processionnaire est illustrée par la **figure 09**.

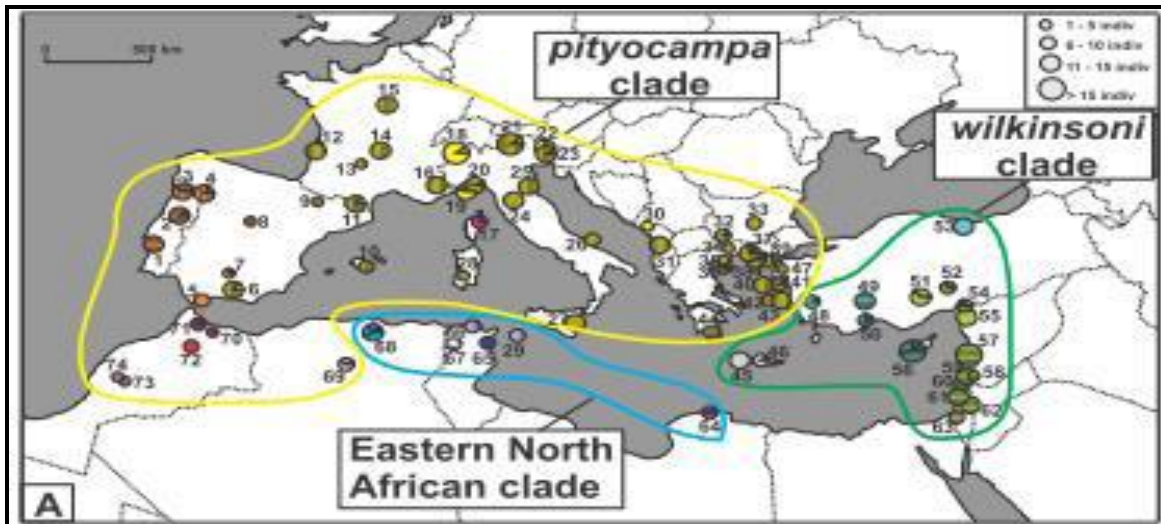


Figure 09 : Distribution géographique des clades de *Thaumetopoea pityocampa* (Kerdelhué *et al*, 2009).

Il est à noter que l'expansion de la processionnaire s'est accélérée, avec un déplacement moyen de 5,5 kms/an ces dernières années. La processionnaire a également progressé en altitude de 110 à 230 mètres dans les Alpes entre 1975 et 2004 (Battisti *et al*, 2005).

II-3-2- En Algérie

Les populations des chenilles processionnaires se retrouvent en Algérie dans l'aire de répartition de ses essences hôtes principalement dans les reboisements du projet du barrage vert jusqu'à sa limite sud (Bouchou et Chakali, 2014) et continuent de monter en altitude comme il a été reporté par Sebti et Chakali (2014).

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).

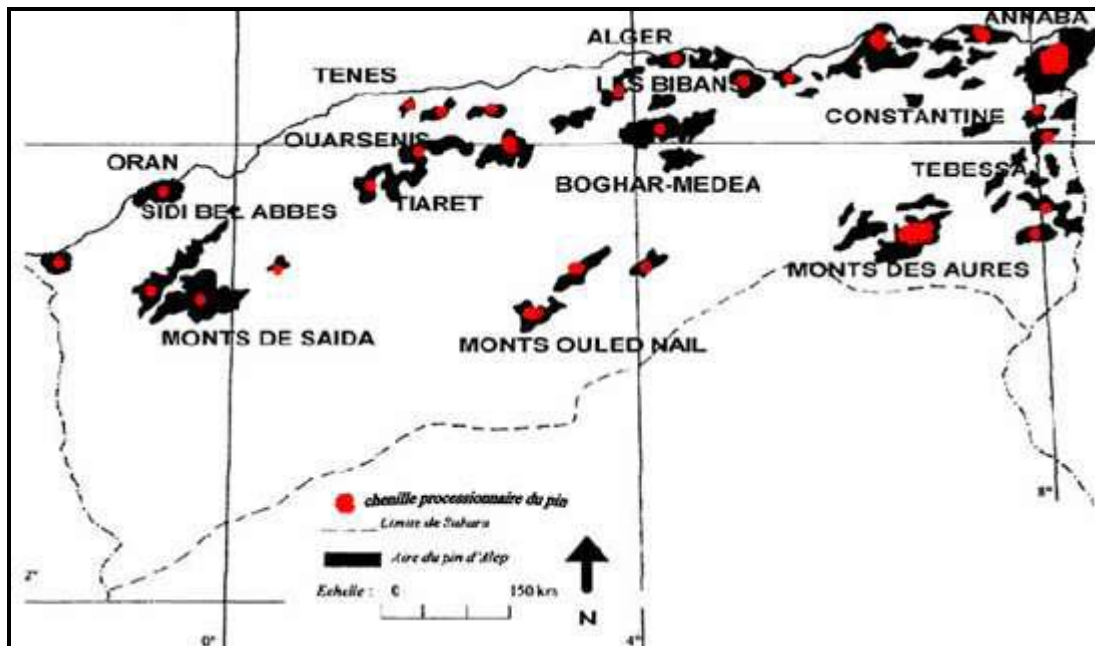


Figure 10 : Carte de la distribution de la chenille processionnaire du pin en Algérie.
(Zamoum, 1986).

II-4- Principales essences hôtes de l'insecte et stratégie du choix

La chenille processionnaire du pin se nourrit des aiguilles de diverses espèces de pins et de cèdre. **Martin (2005)** classent Les plantes hôtes, selon les préférences comme suit:

- Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *Nigricans* Host)
- Pin Laricio de Corse (*Pinus nigra* subsp. *laricio* Poiret)
- Pin Laricio Sulzmann (*Pinus nigra* subsp. *Clusiana* Clem.)
- Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.)
- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.)
- Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti),
- Cèdre du Liban (*Cedrus libani* Richard.)
- Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.)
- Sapin (*Abies concolor* Lindl).

Le choix de l'hôte est lié au critère relationnel entre la ponte de la femelle et le diamètre des aiguilles choisies (**Démolin, 1969**). Au cours de l'émission des œufs, la femelle peut

différencier entre les diverses espèces d'arbres ; les supports rugueux sont les plus prisés car ils offrent la possibilité d'une attache optimale des griffes de la femelle. Des études ont également montré que la stratégie du choix de l'arbre hôte dépend de la présence de substances volatiles émanant des tissus des aiguilles, comme le limonène (Tiberi *et al*, 1999).

De plus, des paramètres physico-chimiques (taux de nitrogène) de l'essence hôte peuvent influencer le développement des larves et même leur survie (Hodar *et al*, 2002). Le taux de survie des chenilles est supérieur sur *Pinus sylvestris* et *Pinus nigra* à celui du *Pinus pinaster* et *Pinus halepensis* (Montoya, 1984).

II-5- Facteurs influençant le développement de la processionnaire

II-5-1- Facteurs abiotiques

II-5-1-1- Ensoleillement et photopériode

Selon Huchon et Démolin (1970), la durée moyenne d'insolation annuelle nécessaire au développement des chenilles processionnaires est égale à 1800 heures, c'est la raison pour laquelle leur expansion se limite et ne dépasse pas le nord de la France. La photopériode joue également un rôle prépondérant dans le cycle de *Thaumetopoea pityocampa*, les chenilles processionnaires s'alimentent la nuit lorsque les températures sont basses, et se regroupent dans la journée pour digérer (Démolin, 1969).

II-5-1-2- Température

La température optimale pour le développement des chenilles processionnaires se situe entre 20 et 25°C ; lorsque la température moyenne dépasse 25°C, les individus se regroupent en masse afin de ralentir la montée thermique de chaque individu. De ce fait, les adultes émergeront plus tardivement pour assurer à leur descendance un optimum thermique vital. A l'inverse, plus l'été est doux, en altitude élevée ou latitude nordique, et plus les adultes émergent précocement (Démolin, 1969).

Les nids d'hiver permettent aux chenilles de compenser d'éventuelles variations climatiques trop brutales, les individus constituant la colonie peuvent ainsi résister à des températures de -10°C tandis que les individus isolés ne peuvent survivre en-dessous de -6°C (Démolin, 1969).

Le cumul des températures négatives (> 3500 heures) peut avoir un effet néfaste sur la survie des larves avec une probabilité inférieure à 50% (Figure 11)

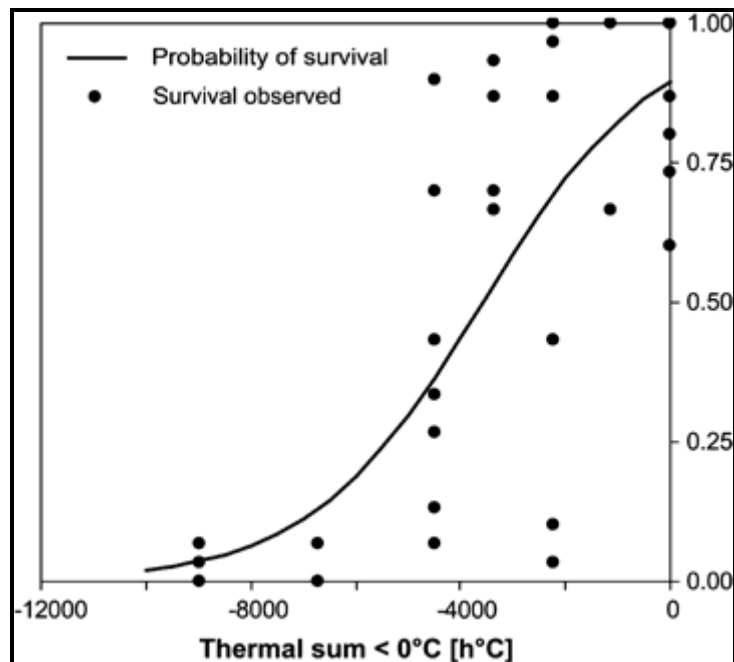


Figure 11 : Probabilité de survie et survie observée au laboratoire des larves de *Thaumetopoea pityocampa* en fonction du cumul des températures négatives (Hoch *et al*, 2009).

L'alimentation des chenilles dépend de la température ; une température supérieure à 9°C dans le nid durant le jour et une température de l'air supérieure à 0°C la nuit suivante constituent deux conditions indispensables pour stimuler les larves à chercher de la nourriture (Battisti *et al*, 2005). Si l'une de ces conditions n'est pas respectée, le taux de survie des chenilles diminue significativement (Buffo *et al*, 2007)

II-5-1-3- Altitude et latitude

Le développement larvaire est tributaire de trois principaux facteurs :

- 1) la température (l'amplitude thermique précisément),
- 2) la radiation globale,
- 3) la photopériode

Démolin (1969) propose un abaque représentant la date de déclenchement et la durée des différentes phases du cycle en fonction de la latitude ou de l'altitude (Figure 12). Cet abaque montre une corrélation négative entre l'altitude, et/ou la latitude nordique, et la température moyenne.

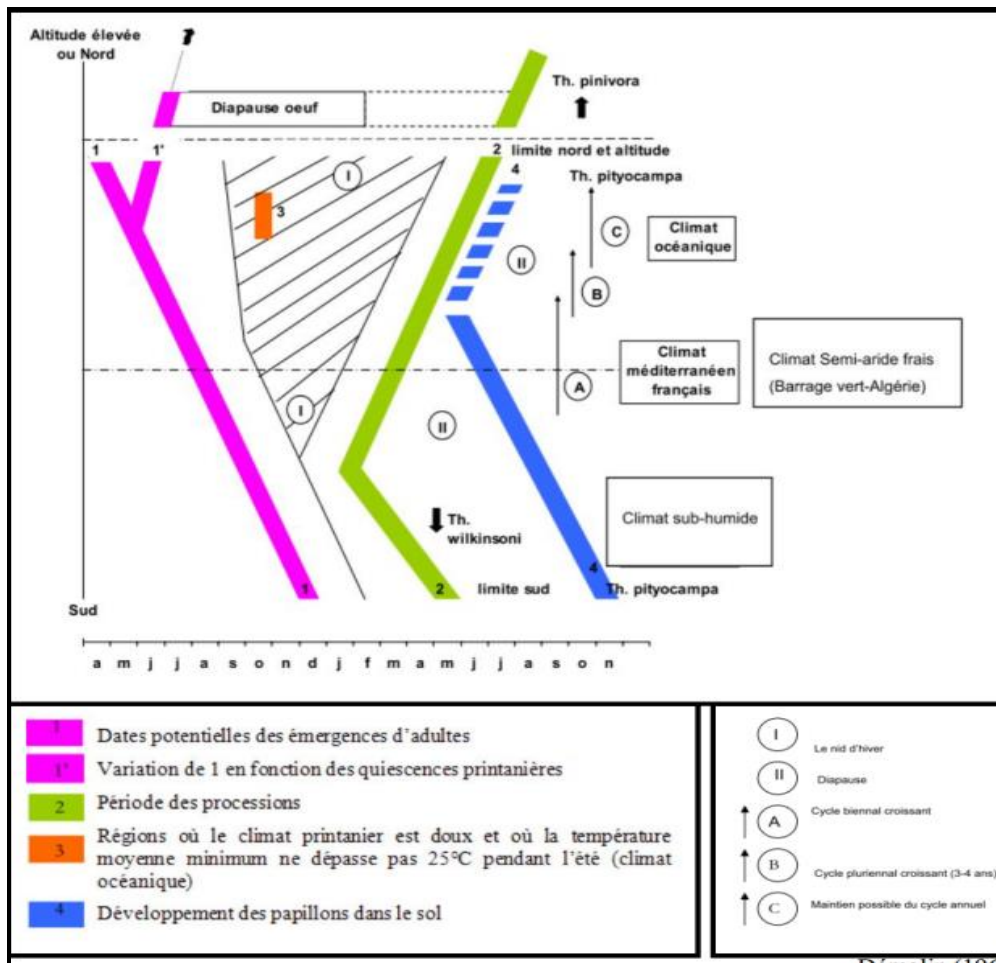


Figure 12 : Disparités géographiques du cycle de la processionnaire du pin Démolin (1969).

II-5-2- Facteurs biotiques

II-5-2-1- Prédateurs et parasitoïde

Biliotti (1958) est l'un des premiers auteurs à décrire les ennemis naturels de *T. Pityocampa*. Par la suite, d'autres auteurs ont réalisé des études autour de ses auxiliaires (Biliotti *et al*, 1965; Cadahia *et al*, 1967; Démolin et Delmas, 1967; Démolin, 1969 et Du merle, 1969).

En Algérie, des données intéressantes sur les parasitoïdes de la processionnaire du pin en zones semi- arides ont été présentées par Zamoum (1998). Tout au long des niches écologiques de développement de la processionnaire, de nombreux ennemis naturels font leur apparition. Il s'agit de prédateurs, de parasitoïdes, de champignons ou de bactéries (Figure 13).

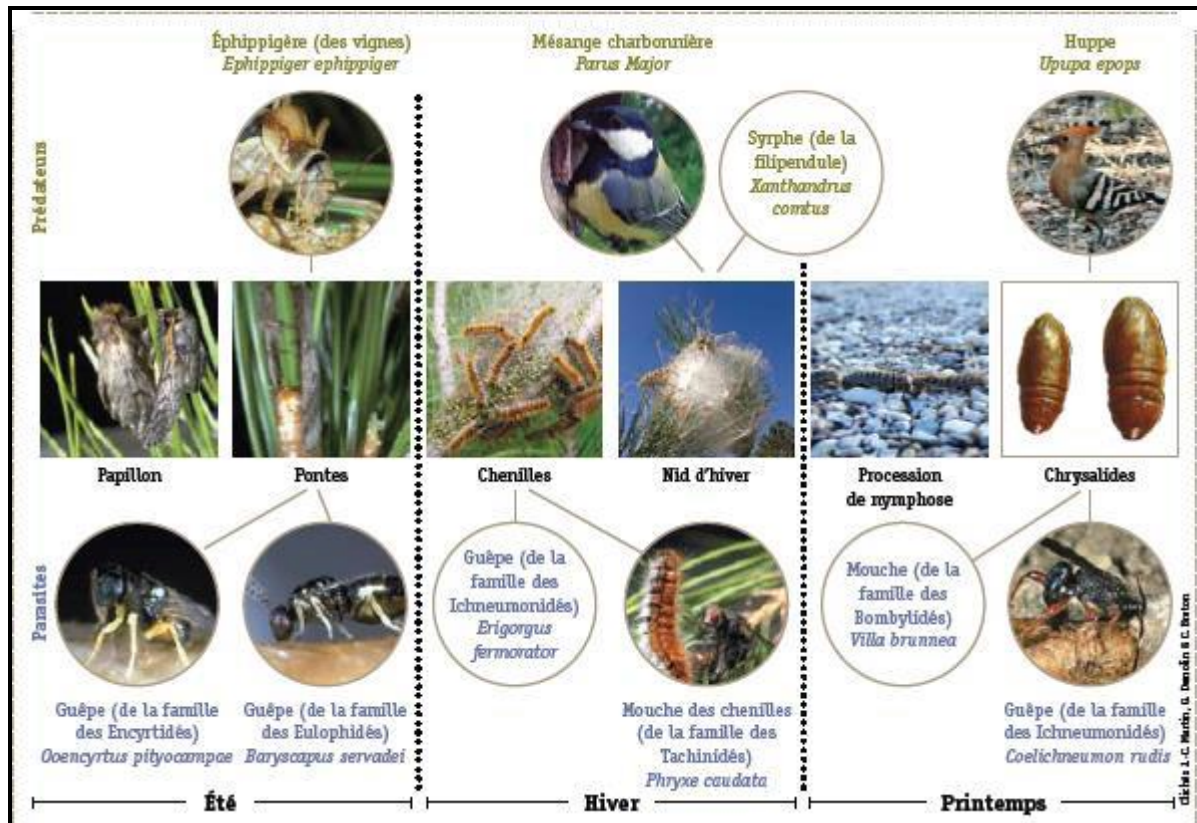


Figure 13 : Principaux auxiliaires de la chenille processionnaire du pin Bonnet et Martin (2008).

Les œufs sont principalement parasités par *Ooencyrtus pityocampae* et *Baryscapus servadeii* ; ce dernier est spécifique aux espèces du genre *Thaumetopoea* sur lesquelles il ne développe qu'une génération par an bien synchronisée avec la disponibilité des oeufs de l'hôte (Battisti, 1989).

O. pityocampae est polyphage à plusieurs générations par an sur des hôtes divers. Le niveau de parasitisme global peut atteindre localement jusqu'à 45 % (Tsankov *et al*, 2006). Les chenilles sont principalement attaquées par le grand calosome, un Coléoptère prédateur vivant ordinairement sur le sol ; sa larve fait la plus grosse consommation. Parfois, elle monte sur les arbres pour s'alimenter de ses proies Barbaro (2008).

La mésange bleue *Parus caeruleus* est un excellent prédateur des chenilles processionnaires dont elle consomme un grand nombre car n'étant pas sensible aux poils urticants (Gonzalez-Cano, 1981; Pimentel and Nilsson, 2007 et Barbaro et Battisti, 2011). Un autre oiseau, le coucou, s'attaque également aux chenilles jusqu'à dans leur nid. La figure 14 illustre les divers oiseaux prédateurs de la processionnaire.

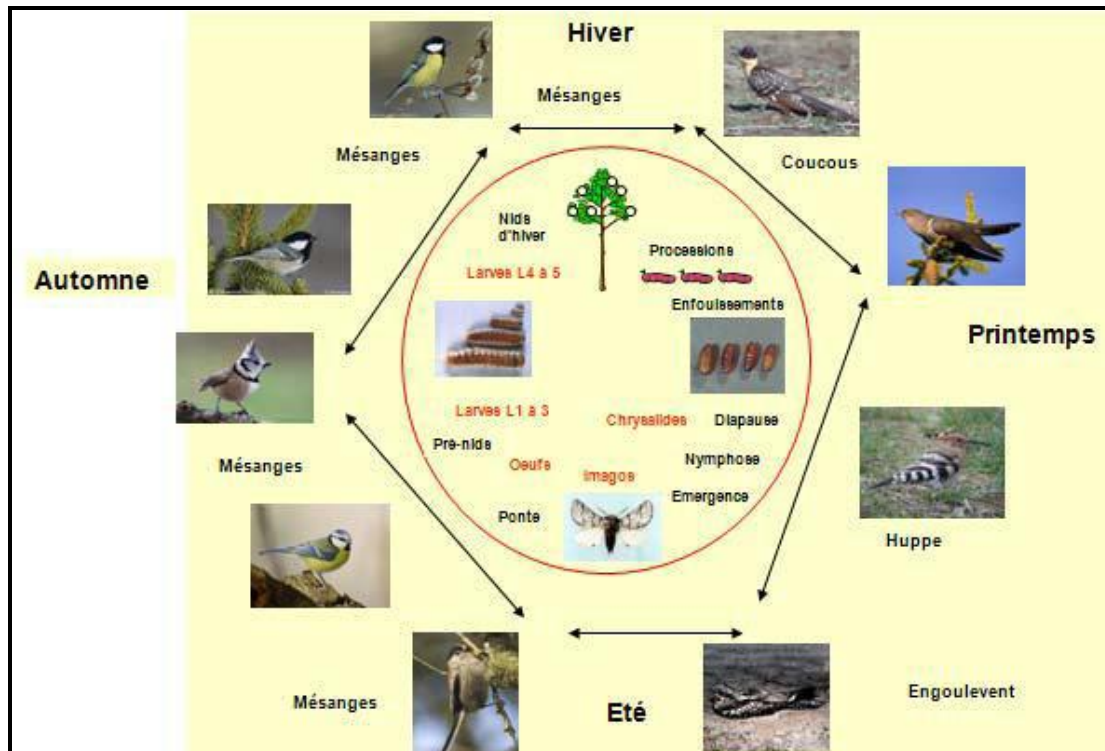


Figure 14 : Distribution temporelle des espèces d'oiseaux prédateurs de la chenille processionnaire (**Barbaro, 2008**).

Il est important de mentionner que les ennemis naturels des chenilles processionnaires ont un rôle de régulateur des niveaux de populations et ne sont en aucun cas utilisés pour les éradiquer définitivement (**Bouchou et Chakali, 2014**).

Face à la menace de ses ennemis, la processionnaire du pin a développé une stratégie de maintien grâce aux chrysalides qui peuvent rester plusieurs années dans le sol marquant une diapause prolongée (**Géri, 1983a et 1983b et Démolin, 1990**).

II-5-2-2- Microorganismes

Selon **Bonnet et Martin (2008)**, les microorganismes parasites de la processionnaire du pin sont au nombre de 2 espèces de champignons et 1 espèce de bactérie. L'espèce de champignon *Cordiceps militaris* s'attaque exclusivement aux chrysalides tandis que l'espèce *Beauveria bassiana* ne s'attaque qu'aux chenilles.

Selon **Démolin et al, (1993)**, la bactérie entomotoxique *Bacillus thuringiensis* est l'agent responsable des pathologies souvent observées sur les chenilles. Elle est utilisée comme moyen de lutte pendant plus de 30 ans (**Martin et Bonneaux, 2006**).

II-6- Biogéographie et répartition

Les facteurs écologiques déterminent des aires géographiques favorables à la présence et à l'évolution des chenilles. La présence d'auxiliaires ainsi que la quantité et la qualité des ressources alimentaires, définissent les niveaux des populations. Le **tableau 1** résume les phases des infestations au cours du temps.

Tableau 01 : Les différentes phases d'un cycle de gradation de *Thaumetopoea pityocampa* Bouhot-Delduc (2005); Khairallah (2010) in Rivière (2011).

Phase de « pro-gradation »	Augmentation des niveaux de populations de chenilles Processionnaires	Période de 1 à 3 ans au cours de laquelle les dégâts occasionnés par les chenilles sont importants et étendus géographiquement
Phase de « culmination »	Pullulation des chenilles à un niveau élevé	
Phase de « rétrogradation »	Diminution des niveaux de populations de chenilles processionnaires	Période de 5 à 8 ans au cours de laquelle les dégâts sont relativement limités
Phase de « latence »	Absence de chenilles ou présence à un faible niveau	

II-7- Dégâts causés par la chenille processionnaire

II-7-1- Dégâts sur la plante hôte

Les chenilles processionnaires du pin provoquent des dégâts forestiers notables et sont considérées comme nuisibles pour les végétaux depuis un arrêté ministériel du 31 juillet 2000. L'insecte est en effet l'un des principaux défoliateurs des peuplements résineux de la zone méditerranéenne (**Huchon et Demolin, 1970**).

En forêt, surtout celles issues des reboisements les jeunes peuplements de pins sont les plus touchés par les chenilles. Hors forêts, ce sont les alignements de pins de bord de route et les arbres isolés qui subissent les plus grosses défoliations. Dans les peuplements fermés, elle colonise essentiellement les lisières.

Tout ceci explique que les dégâts visibles sont souvent plus impressionnants que les dégâts réels. Dans les boisements morcelés ou les jeunes peuplements encore ouverts, la processionnaire trouve un milieu qui lui convient et se maintient plus aisément sur une grande partie du peuplement. Une défoliation même totale ne provoque pas la mortalité des arbres atteints (**Fredon, 2014**). Elle entraîne, juste, une perte de production. Les arbres récupèrent en quelques années, ils sont parfaitement capables de supporter cette attaque (**Micas, 2016**).



Figure 15 : Défoliation des aiguilles du pin (photo personnelle).

En Algérie, les défoliations de la processionnaire du pin concernent toutes les pinèdes, il se trouve que cet insecte provoque des dégâts souvent significatifs dans les forêts naturelles et très Conséquents dans les plantations reboisées en zones semi-arides (**Zamoum, 1998 Bouchuo, 2015**).



Figure 16 : Dégâts causés par la chenille processionnaire du pin (photo personnelle).

II-7-2- Les dégâts sur l'homme et les animaux

Les chenilles processionnaires du pin ont un impact sanitaire, lié aux poils urticants qui surviennent lorsque ces poils commencent à apparaître, dès le troisième stade larvaire. Les

poils urticants sont libérés dans l'air dès que la chenille est en danger. Les poils sont très présents dans les nids d'hiver, même après plusieurs années. (**Battisti et al, 2011**). De même que l'homme (**Figure 17**),

Les animaux domestiques peuvent avoir des allergies (démangeaisons, problèmes respiratoires, ophtalmologiques). Les chiens et les chevaux restent les animaux les plus exposés aux risques de la processionnaire du pin (**Bouchou, 2015**).



Figure 17 : Troubles cutanés après contact les chenilles processionnaires

(**Vega et al, 2011**).

II-8- Les symptômes liés aux chenilles processionnaires

Les symptômes observés lors de contact par les poils urticants, sont développés dans la plupart des cas lors d'un premier contact (**Grojean, 2006**).

II-8-1- Contact avec la peau

Au cours des premières heures après le contact on observe l'apparition d'une éruption douloureuse avec de sévères démangeaisons et de plaques rouges avec des démangeaisons sévères ou des sensations de brûlure (**Vega et al, 2004**). La réaction se fait sur les parties découvertes de la peau et entre autres les poignets, les avant-bras, les mains, le visage et le cou (**Gottschling, 2007**).

II-8-2- Contact avec les yeux

Après contact oculaire des poils urticants, on observe après 1 à 4 heures, le développement d'une conjonctivite (**Charmot, 1987**) (yeux rouges, douloureux et larmoyants). Quand un poil

urticant s'enfonce profondément dans les tissus oculaires, apparaissent des réactions inflammatoires sévères et provoquent des troubles et lésions oculaires (**Sengupta et al, 2010**).

II-8-3- Cas de contact par inhalation

Les poils urticants irritent les voies respiratoires. Cette irritation se manifeste par des étternuements, des maux de gorge, des difficultés à déglutir et éventuellement des difficultés respiratoires dues à un bronchospasme (rétrécissement des bronches comme dans l'asthme) (**Werno et al, 2002**).

II-8-4- Contact par ingestion

Il se produit une inflammation des muqueuses de la bouche et des intestins qui s'accompagne des symptômes tels que de l'hyper salivation, des vomissements et des douleurs abdominales (**Inal et al, 2006**).

II-9- Conséquences environnementales et dégâts forestiers

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

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

II-9-1- Conséquences écologiques

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

Les conséquences directes de la défoliation sont l'affaiblissement par diminution du pouvoir de photosynthèse et la perte de croissance des arbres tant en circonférence qu'en

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

II-9-2- Conséquences économiques

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

II-10- Moyens de lutte contre la chenille processionnaire

Il n'existe aucun moyen de se débarrasser définitivement des chenilles. Le traitement est à refaire chaque année.

En effet, même si on détruit toutes les chenilles existant sur un terrain donné, les arbres seront réinfectés l'année suivante par des papillons pouvant provenir de plusieurs kilomètres ou par des papillons ayant reporté d'une ou plusieurs années leur éclosion.

Le traitement annuel doit donc être maintenu tant que des nids, et donc des papillons, existent dans la région.

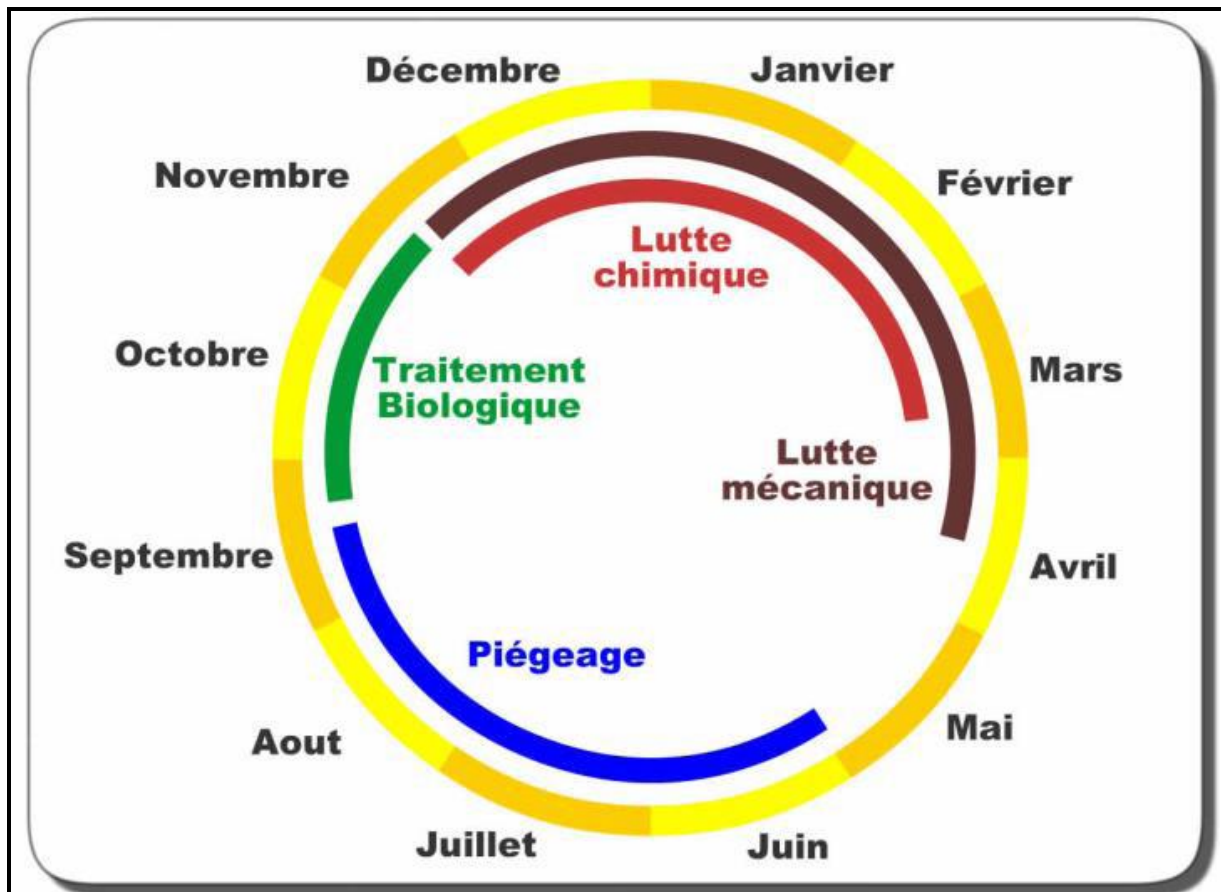


Figure 18 : Calendrier de lutte contre la chenille processionnaire (Martin, 2009).

II-10-1- Lutte mécanique

La lutte mécanique consiste à prélever et détruire manuellement les nids de processionnaires du pin dès leur apparition, cocons blancs et avant la période de procession des chenilles (**Figure 19**).

Les nids coupés doivent être détruits par incinération ou par trempage pendant 24 heures dans un bac contenant de l'eau et un mouillant (**Martin et Brinquin, 2016, 2017**).

Durant cette opération, il faut s'assurer que les chenilles soient réellement détruites car le tissage avec de la soie des nids est un moyen très efficace de le protéger de l'eau et du feu.



Figure 19 : Échenilloir à gauche (K3D Lyon Chenilles). (Martin et Brinquin, 2016).

Aussi, on peut considérer comme lutte mécanique la technique de piégeage des chenilles (Figure 20) qui consiste à disposer autour du tronc de l'arbre infesté une « gouttière » qui intercepte les chenilles partant en procession de nymphose, et qui les dirige vers un sachet rempli de terre où elles se nymphosent (Martin et Brinquin, 2016, 2017).

Une fois que toutes les chenilles ont été piégées dans le sachet, celui-ci peut être retiré. Afin de tuer les chenilles capturées.



Figure 20 : Piégeage des chenilles lors de la nymphose (Martin et Brinquin, 2016).

Il existe aussi une autre technique qui se base sur la pose de pièges. Il s'agit de pièges à phéromone de synthèse qui consiste à attirer les papillons mâles présents sur le secteur pendant l'ensemble de la période de vol, réduisant ainsi les accouplements et le nombre de pontes potentielles (Martin et Brinquin, 2016, 2017).

II-10-2- Lutte biologique

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

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

En effet, les mésanges sont des prédateurs naturels très répandus des chenilles processionnaires du pin.

L'installation, avant la période de nidification en automne, de nichoirs artificiels spécifiques, avec un orifice de 32 mm est bien adaptée à toutes les espèces de mésanges, dans des zones infestées par les chenilles favorise leur nidification et permet de réduire, via leur prédation, les populations de chenilles de processionnaires du pin (**Martin et Brinquin, 2016, 2017**)



Figure 21 : Prédation par les mésanges (**Martin et Pesme-Glemin, 2010**).

II-10-3- Lutte microbiologique

Les traitements insecticides microbiologiques à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki* (BTK) sont les plus employés contre la chenille qui ingère le produit présent à la surface des feuilles, ce qui provoque sa mort (**Martin et Brinquin, 2016, 2017**). L'application ce bio pesticide se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires. Ce traitement est respectueux de l'environnement puisqu'il ne persiste que très peu après application et il a une spécificité d'action étroite (Lépidoptères). Il a l'avantage de l'innocuité

vis-à-vis de la majorité des espèces non ciblées et une efficacité comparable à la lutte chimique (Martin et Brinquin, 2016, 2017).

II-10-4- Lutte avec des pièges à phéromone sexuels

Au cours de la période de reproduction, les femelles attirent les mâles en émettant une phéromone sexuelle appelée la pityolure. Ce pityolure recrée artificiellement est utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges pour un piégeage massif des mâles dans le but de capturer un maximum d'adultes mâles et ainsi d'éviter la rencontre avec les femelles (Martin et Brinquin, 2016, 2017). Les pièges (Figure 22) peuvent être suspendus sur n'importe quel support (feuillus, résineux). Cette méthode doit conduire progressivement, d'années en années, à la réduction du niveau de population de la processionnaire du pin (Martin et Brinquin, 2016, 2017).



Figure 22 : Résultats expérimentaux des tests comparatifs des pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008).

II-11- Généralité sur le pin d'Alep

II-11-1- Description du pin d'Alep

Le pin d'Alep est un arbre forestier résineux qui peut atteindre les 30 mètres de hauteur souvent penché et peu droit, à cime claire, écrasée et irrégulière (Beker *et al*, 1982; in Boutchiche et Boutrigue, 2016). C'est un arbre toujours vert (Rameau *et al*, 2008)



Figure 23 : Arbre de pin d'Alep (photo personnelle).

II-11-2- Systématique

Selon (Nahal, 1962 ; in Chibane et Sahnoune, 2018) le Pin d'Alep est l'essence caractéristique de l'étage bioclimatique méditerranéen semi- aride, il appartient à :

Embranchement : Phanérogames.

Sous embranchement : Gymnospermes.

Classe : Conifères.

Ordre : Coniféroles pinoidines.

Sous ordre : Abiétales.

Famille : Pinacées.

Genre : *Pinus*.

Sous genre : Eupinus.

Espèce : *Pinus halepensis*.

Nom scientifique : *Pinus halepensis*.

Nom commun : Pin d'Alep

Nom arabe : Sanaoubar al-halabi.

II-12- Caractéristiques botaniques du *Pinus halepensis*

Les principales caractéristiques du pin d'Alep sont

L'écorce : Riche en tannin, est d'abord lisse de couleur argentée (2), puis devient crevassée avec des écailles de couleur gris-brunâtre (**Kadik, 1987**).



Figure 24 : Ecorce du *Pinus halepensis* (photo personnelle).

Les Rameaux : Verts clair, puis gris clair, assez fins (**figure 25**). Il est polycyclique car cet arbre fait souvent une seconde pousse la même année. Les bourgeons sont non résineux, ovoïdes, aigus, bruns avec des écailles libres frangées de blanc (**Kadik, 1987**).



Figure 25 : Les rameaux du *Pinus halepensis* (**Talbi, 2019**).

Les feuilles ou les aiguilles : Qui sont de 6 à 10 cm de long avec une largeur de 1 mm, sont fines, molles, lisses et aigus, groupées par 2 en pinceaux à l'extrémité des rameaux (**Nahal, 1962**).



Figure 26 : Feuilles du *Pinus halepensis* (photo personnelle).

Les cônes : Gros avec une taille de 6 à 12 cm avec un pédoncule épais de 1 à 2 cm, souvent isolés et réfléchis. Ils sont pourpres puis brun lustré avec des écussons aplatis, persistant plusieurs années sur l'arbre. Les graines sont de petite taille de 05 à 07 mm à aile longue, brun gris sur une face et gris moucheté de noir sur l'autre (Kadik, 1987).



Figure 27 : Cônes du *Pinus halepensis* (photo personnelle).

Le bois : Utilisé en caisserie, pour la fabrication de pâte à papier et de poteaux, si sa forme le permet. C'est un bois parfait pour la construction de pilotis ou de bateaux (Venet, 1986).



Figure 28 : Le bois mort du *Pinus halepensis* (Talbi, 2019).

Les graines : L'arbre de pin d'Alep produit également une graine comestible, appelée «Zgougou», Destinée à la confection d'une crème largement utilisée en Tunisie (Dahman, 1986).



Figure 29 : Les graines du *Pinus halepensis* (Talbi, 2019).

La résine : L'arbre de pin d'Alep peut produire également de la résine grâce à une opération appelée gemmage. Cette opération consiste à « blesser » le tronc de l'arbre de pin d'Alep pour que ce dernier envoie de la résine afin de cicatriser cette blessure (Venet, 1986).

II-13- Exigences climatique, édaphique et écologiques

II-13-1- Altitude

Le pin d'Alep se développe essentiellement aux étages thermo et méso-méditerranéens c'est-à-dire entre 0 et 300-600 m en France et entre 0 et 1200-1400 m au Maroc et en Algérie (Quezel, 1980; Quezel et Medail, 2003).

Selon Kadik (2011), les essences forestières telles que le cèdre, le chêne vert, chêne liège et le pin d'Alep, ont tendance à occuper plusieurs étages altitudinaux de la végétation qui sont des ensembles climatiques :

- Etage infra-méditerranéen ;
- Etage thermo- méditerranéen ou méditerranéen inférieur ;
- Etage eu- méditerranéen ou méso- méditerranéen ;
- Etage supra-méditerranéen ou méso-méditerranéen ;
- Etage montagnard méditerranéen ;
- Etage oro- méditerranéen.

II-13-2- Exigences climatiques

a. Température

La température est l'un des facteurs climatiques majeurs limitant l'expansion du pin d'Alep. Il se développe à des températures moyennes annuelles de 11 à 19°C mais peut supporter des températures de -15 à -18°C (Nahal, 1962; Bedel, 1986)

b. Précipitations

La pluviométrie ne semble pas être un facteur déterminant de la répartition de l'espèce, même si c'est entre 350 et 700 mm de précipitation annuelle que son développement est optimal (Nahal, 1962; Quezel *et al*, 1987).

II-13-3- Exigences édaphiques

Le Pin d'Alep peut végéter sur des substrats extrêmement variés, mais il est possible de mettre en évidence certaines préférences (Quezel, 1986).

Il pousse essentiellement sur les substrats marneux et calcaro-marneux parce qu'ils sont des sols profonds et accessibles à son système racinaire (Braun-Blanquet, 1936). Mais il existe aussi sur les calcaires compacts fissurés et les substrats non calcaires comme les schistes et les micaschistes comme le cas dans le littoral Algérois (Quezel, 1986). En revanche il ne tolère pas les substrats sablonneux et limoneux (Quezel, 1986; Quezel et Medail, 2003).

Ses meilleurs peuplements sont situés sur des sols à réaction basique $7,5 < \text{pH} < 8,5$ mais on peut rencontrer des formations sur les sols acides, surtout en position sub-littoral (Molinier, 1954).

Matériel et méthodes

III- MATERIEL ET METHODES

III-1- Site d'Échantillonnage

III-1-1- Présentation de la région de Mila

III-1-1-1- Situation géographique et morphologique

La ville de Mila est située dans l'Est algérien, à environ 391 Km d'Alger au Nord-Est d'Alger, à 80 Km du Sud de Jijel et à 40 Km du Nord-Ouest de Constantine. Elle est construite sur un bassin qui fait partie du grand bassin néogène de Constantine, qui correspond à une dépression fermée intra- montagnard, ce bassin est limité au Nord par la chaîne Tellienne, et au sud par les hautes plaines.

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, par la wilaya de Jijel.
- Au Nord-Est, par la wilaya de Skikda.
- A l'Est, par la wilaya de Constantine.
- Au Sud-Est, par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- Au Sud, par la wilaya de Batna.
- A l'Ouest, par la wilaya de Sétif.

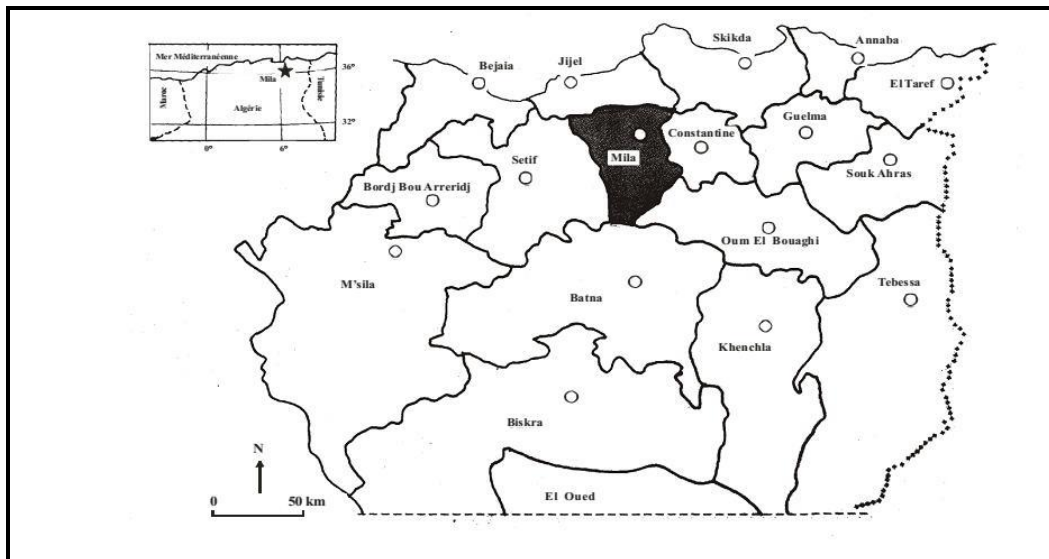


Figure 30 : Situation géographique de la wilaya de Mila.

La wilaya de Mila a été créée lors du dernier découpage administratif algérien de 1984, avec la ville de Mila comme chef lieu de la wilaya 43. Elle compte 13 Dairas divisées en 3 communes. Quant à la situation de Mila dans sa propre wilaya, elle est limitée par :

- Au Nord, par la commune de Grarem et Sidi-Merouane
- Au Sud, par les communes de Sidi-Khelifa.
- A l'Est, par les communes d'Ain-Tin.
- A l'Ouest, par les communes de Zeghaia, Ahmed Rachedi et Oued Endja.

III-1-1-2- Situation démographique

La wilaya de Mila compte une population de 7 80000 habitants. Avec une Superficie totale de 3480.54 km².

III-1-1-3- Le cadre climatique

Le climat de la commune de Mila est un climat typiquement méditerranéen. Il est caractérisé par un hiver doux et pluvieux et une période estivale longue chaude et sèche qui se prolonge du mois de Mai au mois d'Octobre avec une variation saisonnière et spatiale (**Soukehal, 2010**). Appartenant à l'étage de végétation subhumide, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : les précipitations et la température (**Boulbair et Soufane, 2011; Berkal et Elouaere, 2014**).

Précipitations

Les précipitations sont des facteurs climatiques essentiels en ce qui concerne le cycle écologique, le régime hydrographique et l'activité agricole (**Godard et al, 2002**). Le manque ou l'abondance des précipitations agissent sensiblement sur les réserves en eau ; les quantités mobilisées et les quantités exploitées (**Soukehal, 2010**).

D'après les données de la station météorologique de Mila, nous constatons que la pluviométrie est inégalement répartie à travers les mois de l'année et le mois de Février est le mois le plus abondant en pluie, il a connu un excédent de 88,10 mm. À l'inverse, le mois de juillet, a connu un déficit de 10,97 mm c'est le mois le plus sec et la moyenne annuelle des pluies pour la période 2009 -2018 est de 596,08 mm (**Figure 31**).

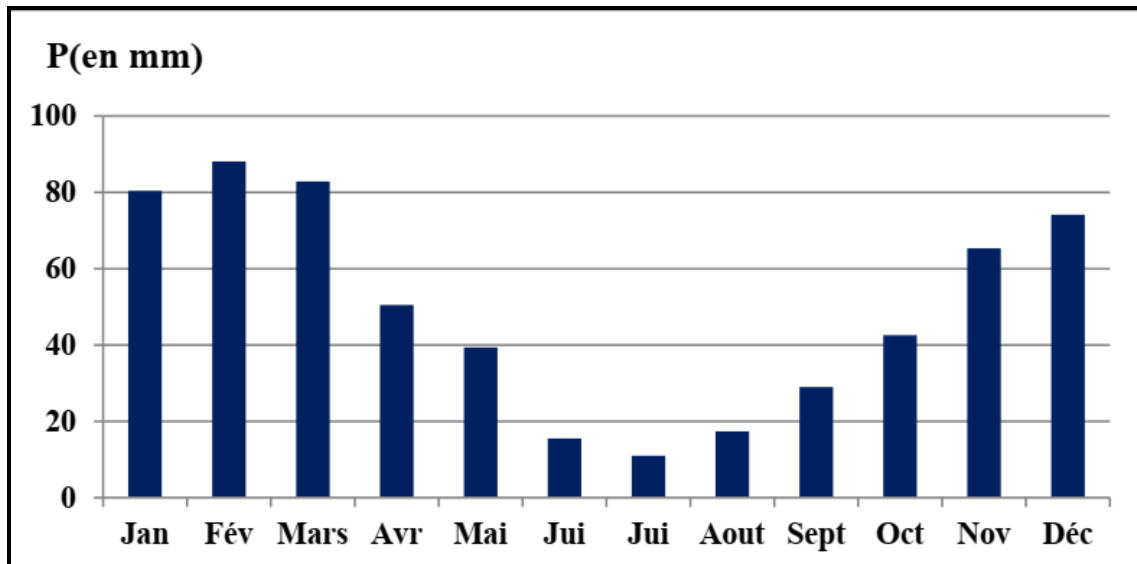


Figure 31 : Précipitations moyennes mensuelles de la région de Mila 2009-2018.

Température

La figure 32 illustre les variations des températures mensuelles moyennes dans la commune de Mila. Elle montre que la valeur maximale de ce paramètre est enregistrée durant le mois de Juillet où elle atteint 26,80°C. Alors que le mois de Janvier est marqué par des basses températures qui peuvent atteindre 8,39 °C (Figure 32).

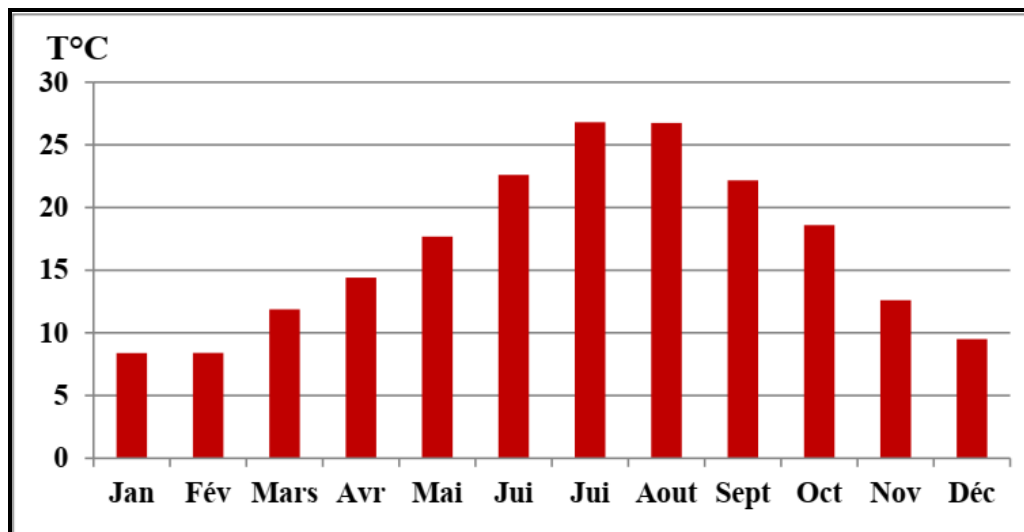


Figure 32 : Température moyennes mensuelles de la région de Mila (période 2009-2018).

Humidité relative de l'air

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). La figure 33 présente la variation de ce paramètre climatique dans la région d'étude. Elle montre que le

mois de Mars est le mois le plus humide (HR=80,6%), alors que le mois de Juillet est le mois le moins humide (HR= 44,5%)

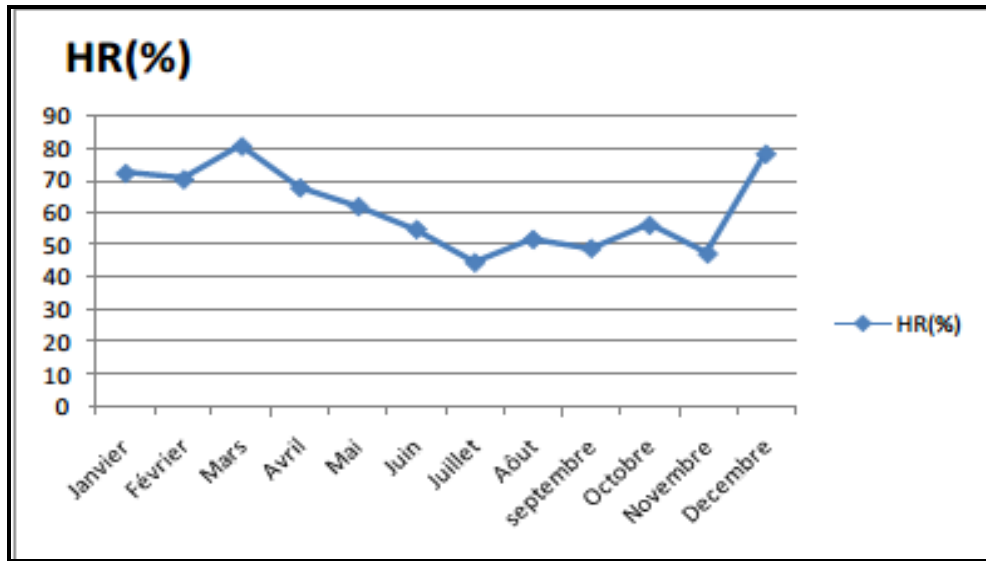


Figure 33 : Variation de l'humidité relative de l'air dans la région d'étude.

Le vent

La vitesse maximale des vents, qui y soufflent est enregistrée durant le mois de Novembre avec une valeur maximale de (3,18 m/s) et la vitesse minimale est affichée pendant le mois d'Août (1,86m/s) (Figure 34).

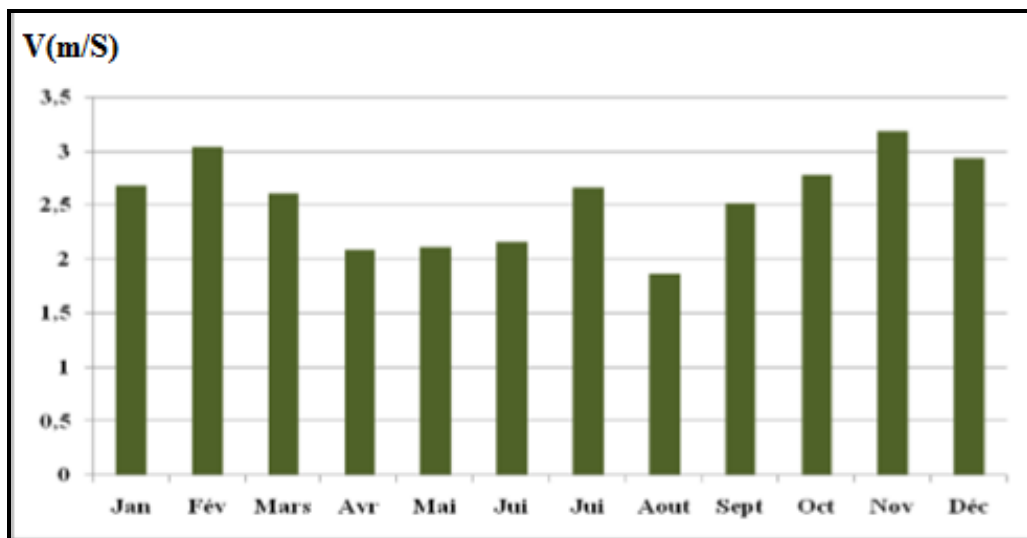


Figure 34 : Vitesse de vent moyen mensuel de la zone d'étude (Période 2009-2018).

Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (**Figure 35**) permet de mettre en Evidence la période sèche de la zone d'étude. Il est tracé avec deux axes d'ordonnées où les Valeurs de la pluviométrie sont portées à une échelle double de celle des températures (**Bagnouls et Gaussen, 1957**).

La **figure 35** montre que la zone d'étude est cicatrisée par une alternance de deux périodes, l'une humide s'étendant du début de Novembre jusqu'en Avril et l'autre sèche s'étendant d'Avril jusqu'au début de Novembre.

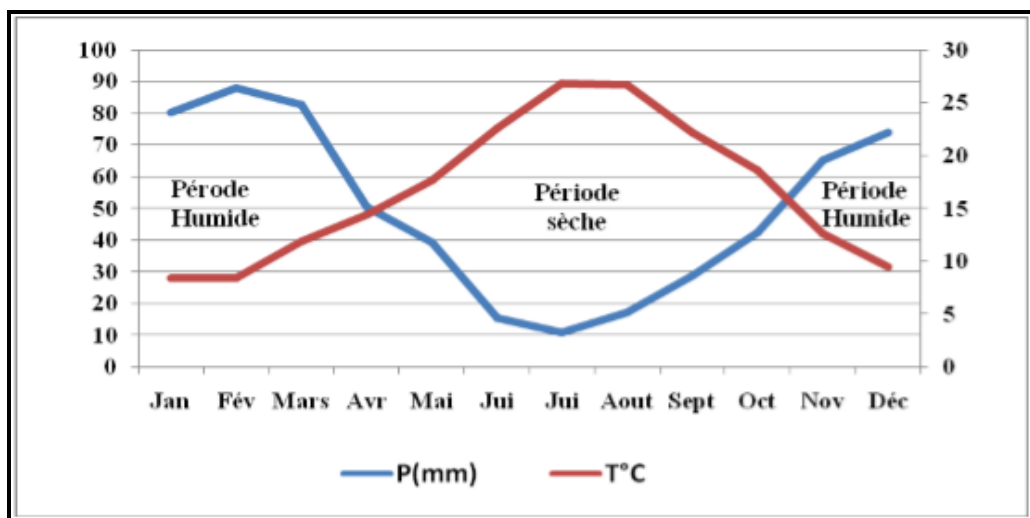


Figure 35 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la wilaya de Mila (2009-2018).

III-2- Étude de l'abondance des nids de *Thaumetopoea pityocampa*

L'étude consiste à estimer le taux d'infestation et l'abondance moyenne des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin, et leur emplacement sur les arbres de pin. Une comparaison de ces paramètres entre deux différentes régions en Algérie est réalisée. Il s'agit de :

III-2-1- La Forêt de « Fardwa »

La forêt de «Fardwa» se situe dans la wilaya de Mila. C'est un jeune reboisement de pin d'Alep qui date depuis 2006. La forêt est d'une superficie de 150 ha, la taille moyenne de ses arbres varie entre 2 à 5 mètres d'hauteur.



Figure 36 : Forêt de « Fardwa » dans la région de Mila (photo personnelle).

La pinède de « Fardwa» se situe sur la façade supérieure du barrage de « Beni Haroun » et a la proximité de la commune de « Sidi Merouane ». Elle est d'une altitude 215 à 228 mètres d'hauteur.



Figure 37 : Situation géographique de la forêt de « Fardwa » dans la région de Mila (Google earth).

III-2-2- La Forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila

La forêt de « Ain Tin » se situe dans la wilaya de Mila. C'est un reboisement de pin d'Alep qui date depuis 1967. La forêt est d'une superficie de 315.625 ha, et la taille moyenne de ses arbres varie entre 8 à 10 mètres d'hauteur.



Figure 38 : Forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila (photo personnelle).

La pinède de « Ain Tin» se situe sur Est de Mila située à la frontière avec la ville de Constantine. Elle est d'une altitude 508 à 558 mètre d'hauteur. La taille moyenne de ses arbres varie entre 3 et 4 m d'hauteur.



Figure 39 : Situation géographique de la forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila (Google earth).

III-2-3- Comparaison des caractéristiques spécifiques des deux Forêts

La hauteur de chaque arbre ainsi que le poids moyen des nids recensés sur chaque sujet sont également estimés. La moyenne de l'abondance des nids de la chenille processionnaire, le taux d'infestation par l'insecte et les différents indices écologiques sont estimés pour les deux forêts.

Tableau 02 : Comparaison des caractéristiques spécifiques des deux Forêts « Fardwa » et « Ain Tin ».

Critères	Forêt 01 fardwa	Forêt 02 Ain Tin
Exposition	Nord de Mila	Est de Mila
Forêt	Artificielle (Reboisement)	Artificielle(Reboisement)
Age	17 ans	56 ans
Superficie	150 ha	315.625 ha
Altitude	215 m à 228 m	508 à558 m
Climat	Humide	Subhumide
Sol	Argileux	Argileux
Hauteur des arbres	2-5m	8-10m

III-3- Dénombrement des nids

Nous avons dénombré l'ensemble des nids de la chenille processionnaire du pin sur les arbres de pin dans les deux forêts. Le choix des arbres recensés est aléatoire. L'abondance totale des nids de *Thaumetopoea pityocampa* est estimée pour 100 arbres dans chaque forêt.

III-4- Indices écologiques pour la présence d'un ravageur dans une forêt

Indices écologiques pour l'abondance d'une espèce dans une forêt.

Abondance totale : c'est le nombre total d'individu de la même espèce sur tous les relevés de l'échantillon.

Abondance moyenne : c'est le nombre moyen des individus au niveau de chaque relevé.

Équitabilité : c'est une mesure de la distribution des individus au sein d'une espèce ; autrement dit, c'est la façon dont l'abondance se répartit au sein des espèces.

Dominance : est fournie par l'évaluation de la surface couverte par l'ensemble des individus de l'espèce.

Taux d'infestation : c'est le pourcentage des relevés touchés sur le nombre total des relevés étudiés (Soudant et Belin, 2011).

III-5- Traitements statistiques

Des mesures de nombre moyen des nids par arbre, d'hauteur moyenne des arbres et de poids moyen des nids par arbre sont estimées par « Minitab 2017 ». Des tests de variance à un et à plusieurs critères de classification sont également réalisés sur « Minitab 2017 », afin d'évaluer la corrélation entre les différents facteurs étudiés.

Résultats

IV- RESULTATS

IV-1- Indices écologiques de la présence des nids d'hivers dans les sites étudiés

IV-1-1- Forêt de « fardwa » dans la région de Mila

L'abondance totale de la chenille processionnaire du pin dans la forêt de « fardwa » dans la région de Mila est très importante. Nous avons enregistré un nombre total de 172 nids et une abondance moyenne égale à 1,72 nids par arbre (**Tableau 03**).

Tableau 03 : Indices écologique de la présence des nids de *Thaumetopoea pityocampa* dans la forêt des « Fardwa » dans la région de Mila.

Indices écologiques	Abondance totale	Abondance moyenne	Dominance	Équitabilité	Taux d'infestation
Fardwa	172	1,72	0,01782	0,9691	75%

Les différents indices écologiques estimés dans la forêt de « Fardwa » sont les suivantes : une dominance égale à 0,01782, une équitabilité égale à 0,9691. Le taux d'infestation a atteint une valeur égale à 75 % (**Tableau 03**).

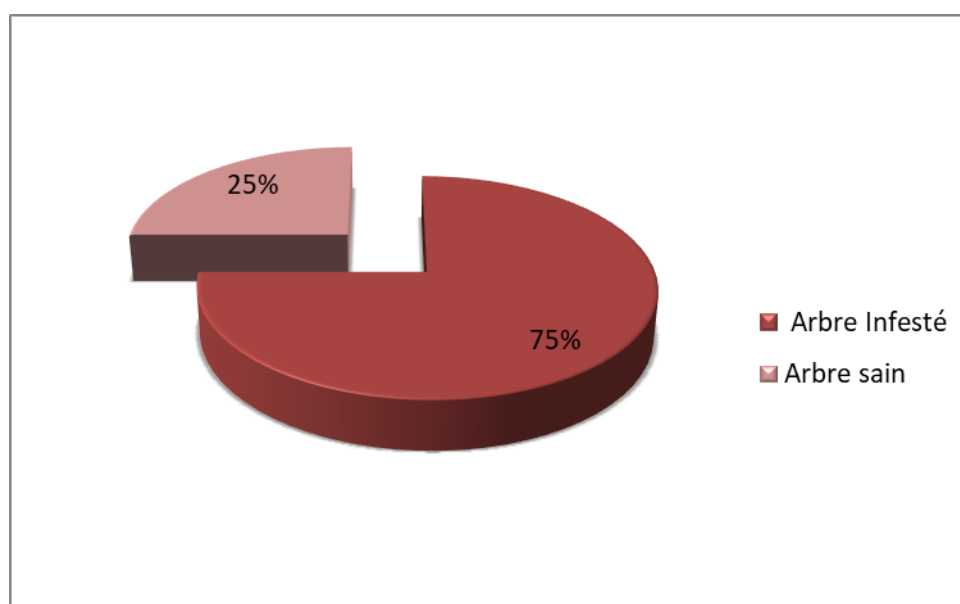


Figure 40 : Taux d'infestation par la chenille processionnaire du pin dans la forêt de « Fardwa » dans la région de Mila.

IV-1-2- Forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila

Le nombre total des nids d’hivers de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* repéré dans la forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila est de 122 nids. Cette abondance est d’une moyenne de 1,22 nids par arbre. Les indices écologiques estimés pour l’espèce ont enregistré des valeurs de dominance égale à 0,02634, et d’équitabilité égale à 0,9648 (Tableau 04).

Tableau 04 : Indices écologique de la présence des nids de *Thaumetopoea pityocampa* dans la forêt de« Ain Tin » dans la région de Mila.

Indices écologiques	Abondance totale	Abondance moyenne	Dominance	Équitabilité	Taux d'infestation
Ain Tin	122	1,22	0,02634	0, 9648	49%

Le taux d’infestation par la chenille dans la forêt de« Ain Tin » au niveau de la région de Mila a atteint une valeur égale à 49% de la population du Pin de la région (Tableau 04).

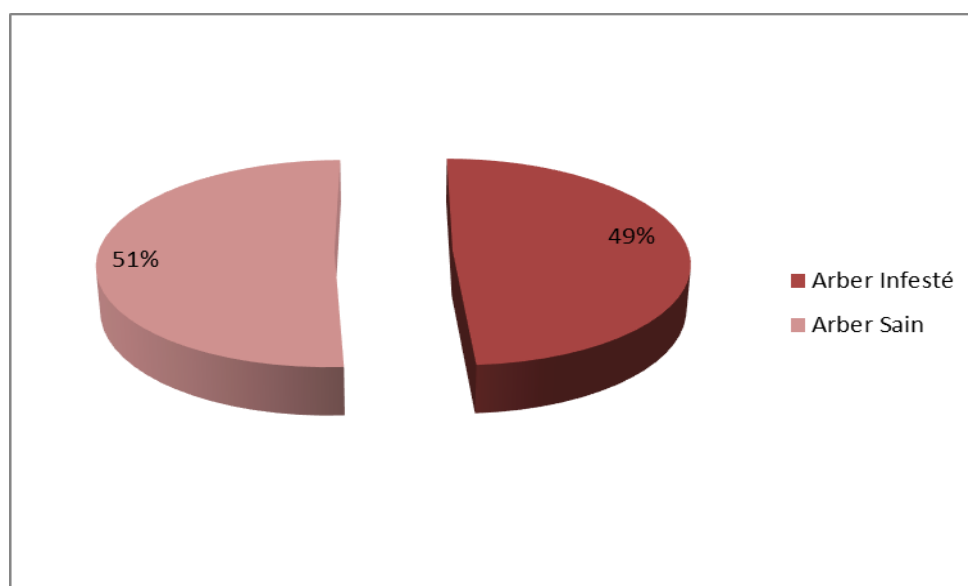


Figure 41 : Taux d’infestation par la chenille processionnaire du pin dans la forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila.

IV-2- Comparaison des résultats des deux forêts

Le nombre total des nids d’hiver de *Thaumetopoea pityocampa* est celui enregistré au niveau de la forêt de « Fardwa » dans la région de Mila 172 nids, avec une moyenne de 1,72 nids par

arbre. Concernant la forêt de « Ain tin », le nombre des nids d’hiver recensé sur les 100 arbres est de 122 nids, distribué à une moyenne de 1,22 nids par arbre.

Tableau 05 : Comparaison des paramètres et des résultats des deux forêts étudiées.

	Forêt de « Fardwa »	Forêt de « Ain tin »
Nombre d’arbre observé	100	100
Nombre total des nids d’hiver	172	122
Nombre moyen des nids d’hiver	1,72	1,22
Altitude moyenne des arbres	2,97	8,57
Poids moyen des nids	33,76	33,22
Taux d’infestation	75%	49%

L’altitude moyenne des arbres varie d’une forêt à l’autre. Le **Tableau 05** montre que la forêt de « fardwa » affiche une altitude de 2.97 m. Concernant les arbres du pin d’Alep dans la forêt de « Ain Tin », ce dernier présente une hauteur moyenne des arbres plus élevée (8,57 m).

En ce qui concerne les valeurs du Poids moyen des nids, nous avons enregistré les valeurs moyennes des poids des nids égales à 33.76 g pour la forêt de « Fardwa », et 33,22 g pour la forêt de « Ain Tin ». Le taux d’infestation dans la forêt de « Fardwa » est égal à 75%, celui enregistré dans la forêt de « Ain Tin » est de 49% (**Figure 42**).

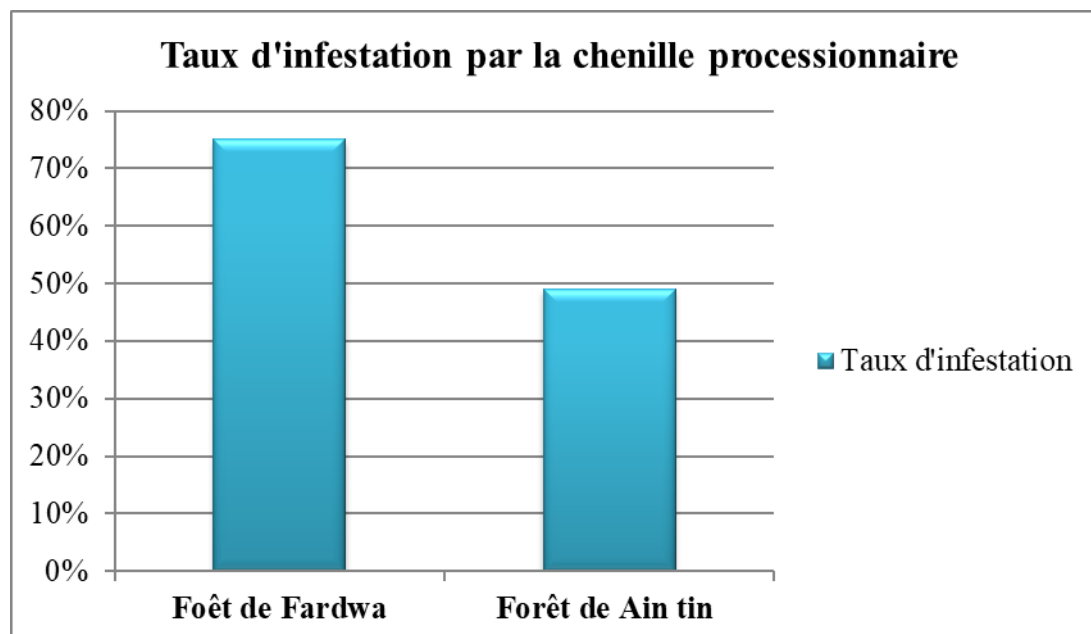


Figure 42 : Taux d’infestation des arbres de pin par les nids de la chenille processionnaire du pin dans les différentes forêts étudiées.

IV-3- Test de variance des paramètres étudiés pour chaque forêt

IV-3-1- La forêt de « Fardwa »

IV-3-1-1- Nombre de nids/Hauteur des arbres

Les données du tableau ont fait l’objet d’une analyse de la variance à un critère de classification des valeurs des facteurs (Nombre de nids/Hauteur) des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ». Les résultats indiquent des différences très hautement significatives est une bonne corrélation entre les paramètres étudiés. La valeur de F est égale à 47.01, la valeur de R^2 est de 18.78% et la valeur de $p \leq 0,001$ (**Tableau 06**).

Tableau 06 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs de Nombre de nids/Hauteur des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	1	78.13	78.125	47.01	0.000	18.78
Error	198	329.07	1.662			
Total	199	409.20				

IV-3-1-2- Hauteur des arbres /Poids des nids

Les résultats du **tableau 07** ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification des valeurs de (Hauteur des arbres /Poids). Les données révèlent des différences très hautement significatives entre l'hauteur des arbres et le poids des nids et une bonne corrélation entre ces paramètres dans la forêt de « Fardwa ». La valeur de F est égale à 115.31, la valeur de R² est de 36.48 %, la valeur de p ≤ 0,001 (**Tableau 07**).

Tableau 07 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs d'hauteur des arbres /Poids des nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	1	45361	45360.7	115.31	0.000	36.48
Error	198	77891	393.4			
Total	199	123252				

IV-3-1-3- Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids

Nos résultats ont fait l'objet d'une analyse de la variance à plusieurs critères de classification des valeurs de (Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids) des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ». Le test indique des différences très hautement significatives et une bonne corrélation entre les 3 paramètres étudiés. La valeur de F est égale à 119.95, la valeur de R² est de 44.31 %, et la valeur de p ≤ 0,001 (**Tableau 08**).

Tableau 08 : Test de la variance à plusieurs critères de classification des valeurs de Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Fardwa ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	2	63095	31547.6	119.95	0.000	44.31
Error	297	78113	263.0			
Total	299	141208				

IV-3-2- Forêt de « Ain Tin »

IV-3-2-1- Nombre de nids/ hauteur des arbres

Les données du tableau ont fait l’objet d’une analyse de la variance à un critère de classification des valeurs de (Nombre de nids/Hauteur des arbres) infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ». Les résultats indiquent des différences très hautement significatives et une bonne corrélation entre les paramètres étudiés. La valeur de F est égale à 284,53, la valeur de R² est de 58.76 %, et la valeur de $p \leq 0,001$ (**Tableau 09**).

Tableau 09 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs de nombre des nids/ hauteur des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	1	2701	2701.13	284.53	0.000	58.76
Error	198	1880	9.49			
Total	199	4581				

IV-3-2-2- Hauteur des arbres/Poids des nids

Les données du **tableau 10** ont fait l’objet d’une analyse de la variance à un critère de classification des valeurs de (Hauteur des arbres /Poids des nids des arbres) infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ». Les données indiquent des différences très hautement significatives et une bonne corrélation entre les paramètres étudiés. La valeur de F est égale à 89.13, la valeur de R² est de 30.69 %, et la valeur de $p \leq 0,001$ (**Tableau 10**).

Tableau 10 : Test de la variance à un critère de classification des valeurs d’hauteur des arbres /Poids des nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R ²
Factor	1	30381	30381.1	89.13	0.000	30.69
Error	198	67492	340.9			
Total	199	97873				

IV-3-2-3- Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids des nids

Les données du **tableau 11**, ont fait l'objet d'une analyse de la variance à plusieurs critères de classification des valeurs du (Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids des arbres) infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ». Le test indique des différences très hautement significatives avec une bonne corrélation entre les 3 paramètres étudiés. La valeur de F est égale à 123.19, la valeur de R² est de 44.97 % et la valeur de p ≤ 0,001 (**Tableau 11**).

Tableau 11 : Test de la variance à plusieurs critères de classification des valeurs de Nombre de nids/Hauteur des arbres/Poids de nids des arbres infectés par la chenille processionnaire du pin dans forêt de « Ain Tin ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	R²
Factor	2	56188	28094.1	123.19	0.000	44.97
Error	297	67735	228.1			
Total	299	123923				

Discussion

V- DISCUSSION

Les écosystèmes forestiers sont extrêmement utiles et précieux à l'échelle planétaire et pour l'humanité toute entière car ils jouent un rôle essentiel, et bien connu, grâce aux nombreux services écosystémiques qu'ils procurent tels que la production de bois et des produits forestiers non ligneux, la conservation de la biodiversité, le stockage du carbone, l'atténuation des effets des changements climatiques, la protection de l'eau et des sols, les services culturels et culturels (**Hounkpèvi et al , 2011**).

L'utilisation durable de ces importants services écosystémiques forestiers passent par un aménagement et une gestion durable des forêts. La connaissance approfondie des caractéristiques structurales et écologiques des forêts est indispensable à cette fin. La densité, la structure en diamètre, en hauteur et la répartition spatiale d'une population sont des paramètres importants pour caractériser la démographie de la population (**Herrero-Jáuregui et al ,2012**).

De nos jours, nous avons besoin de données et d'informations plus précises sur les ressources forestières, y compris la biodiversité, la typologie, la cartographie, l'environnement, la fertilité des stations, les stocks de carbones forestiers ainsi que des informations socioéconomiques et sur d'autre facteurs liés à la gouvernance des forêts. Elles permettront aux décideurs d'élaborer des politiques et plans adaptés pour une gestion plus durable des forêts (**Soltani, 2016**).

A l'heure actuelle, on ne peut pas gérer de façon raisonnée et durable une forêt sans connaître parfaitement ses conditions de croissance. C'est précisément l'objet des études de typologie des stations forestières que d'appréhender ces facteurs. A partir de l'analyse de la trilogie climat-sol-végétation d'un massif forestier ou d'une région naturelle, on aboutit à l'établissement d'un outil pratique de diagnostic. La description d'une station permet de préciser les facteurs qui, pour cette dernière, vont conditionner leur croissance (**Adedire, 2002; Orthmann, 2005; Parmentier, 2005**).

La forêt algérienne couvre une superficie globale estimée à 4,7 millions d'ha soit un taux de boisement de 11% pour le Nord de l'Algérie y compris la zone steppique (**DGF, 2008**).Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est une espèce qui pousse naturellement dans toute la région méditerranéenne (**Quézel et Médailds, 2003**). En raison de son immensité, il s'adapte à différents types de sols et d'altitudes (**Nahal, 1962**). En région méditerranéenne, le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) couvre 3,5 millions d'hectares et est géographiquement

réparti principalement en Méditerranée occidentale (Algérie, Tunisie, Espagne, Italie) (Quézel et Médail, 2003).

En milieu forestier, les insectes sont très sensibles aux changements des conditions environnementales affectant leur distribution, certaines espèces se partagent l'espace et le temps dans le peuplement et leur dispersion est essentiellement dépendante de la variabilité et des changements climatiques (Bouchou, 2015).

Le pin d'Alep est exposé à un ennemi biologique agressif, en l'occurrence la chenille processionnaire (CP, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Lépidoptéra, Notodontidae), qui en est le principal ravageur. Son aire de répartition est en synchronisation avec l'évolution du climat (Rousselet, 2011). En raison de leur voracité alimentaire des aiguilles les chenilles provoquent souvent une défoliation complète des arbres, ce qui affaiblit le peuplement et permet ainsi la colonisation d'autres ravageurs secondaires, particulièrement des xylophages. Par conséquent, des mesures régulières de surveillance et de lutte des ravageurs sont nécessaires pour assurer le développement de la détection et de l'atténuation des risques potentiels pour les forêts et la santé publique (Hoch et al, 2009)

Thaumetopoea Pityocampa est un lépidoptère de la famille des Notontidea. L'insecte est un papillon nocturne à vie très brève, dont les larves sont appelées chenilles processionnaires du pin (Soltani et al, 1988). Le cycle de vie de l'espèce est annuel, il commence par la ponte et se termine par le stade adulte, en passant par cinq stades larvaires et la nymphose.

La chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* est l'un des principaux ravageurs des forêts du pin et du cèdre sur tous les pays du pourtour de la méditerranée (Martin et Bonnet 2008). Se nourrissant d'aiguilles des feuilles, la chenille au stade larvaire provoque un ralentissement de la croissance, et donc une vulnérabilité de ces arbres face aux attaques d'autres ravageurs, aboutissant dans certains cas à la mort totale de l'arbre après plusieurs années (Elie, 2009).

La chenille processionnaire du pin, est décrite pour la première fois par Schiffer Muller en 1776, connue par le genre Bombyx (Rivière, 2011). En Algérie, elle est signalée dans plusieurs régions du nord du pays à savoir la wilaya de Batna, Guelma, Biskra, Djelfa, Blida... (DGF, 2004). Sa présence est également confirmée à la suite d'investigations dans plusieurs autres pinèdes et cédraies du pays (Kerris, 2002).

La processionnaire du pin s'attaque à toutes les espèces de pin et de cèdre. Son comportement alimentaire lui permet de développer des préférences alimentaires pour une espèce au dépend d'une autre (**Elie, 2009**).

Depuis son apparence dans le monde, l'insecte a enregistré des préférences pour le Pin laricio (*Pinus nigra*), et surtout la sous espèces du pin noir d'Autriche, ensuite le pin maritime (*Pinus pinaster*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), et enfin les espèces de cèdre : le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) et le cèdre du Liban (*Cedrus libani*) (**Huchon et Demolin 1970**). La biologie de *Thaumetopoea pityocampa* SCHIFF est bien connue et citer dans de multiples travaux menés par de nombreux chercheurs, que ce soit en Afrique du Nord ou en Europe. L'insecte a fait l'objet de plusieurs études biologiques et écologiques concernant son cycle de vie, son comportement alimentaire, son éthologie et sa distribution dans les grandes forêts mondiales. Parmi ces études, on peut citer les travaux d'**Huchon et Demolin, (1970), Dajoz (1980), Zamoum, (1986), Bertella (1987), Graf et M'Zibri, (1994), Sbabdji, (1997) et Morsli, (2005)**.

La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff est l'un des plus grands défoliateurs des forêts résineux 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; Hódar et al, 2012**).

Les larves de la chenille processionnaire 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 (**Demolin et Rive, 1968; Laurent-Hervouet, 1986 et Jacquet et al, 2012, 2013**).

Auparavant cantonnée à quelques pays méditerranéens et aux zones rurales et forestières, elle étend progressivement son aire de répartition depuis les années 1980 en altitude et latitude et colonise peu à peu les zones périurbaines et urbaines, où elle constitue actuellement une nouvelle menace sanitaire (**Rivière, 2011**). Plusieurs études ont démontré que pas mal de facteurs tels que le réchauffement climatique, agissant sur la densité et l'exposition de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff tout au long de son cycle biologique et qui dominant largement en automne et en hiver (**Lindner et al, 2008**). Selon (**Battisti et al, 2006**), un changement rapide et récent de la distribution de la *Thaumetopoea Pityocampa* à des altitudes plus élevées. Les chenilles sont capables de s'adapter afin de compenser d'éventuelles

variations climatiques, comme l'illustre la construction et l'orientation du nid d'hiver, permettant d'allier l'effet de masse (atténuation de fortes variations de température par regroupement de nombreux individus) et insolation maximale (**Hoch et al, 2009**).

Durant son cycle biologique, les papillons émergent durant l'été et les chenilles issus des pontes se développent durant la période allant du début de l'automne jusqu'au début du printemps, selon cinq stades larvaires. Le cycle larvaire se termine par les processions de nymphose et la transformation des chenilles en chrysalide sous terre. Les chrysalides dans le sol sont en mesure de rester en diapause une ou plusieurs années (**Demolin, 1986 ; Zamoum, 2005**).

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

En hiver, ces chenilles tissent leurs nids soyeux, aux extrémités des branches hautes, qu'elles quittent au printemps. En procession, elles gagnent alors le sol et démarrent, ensuite, leurs transformations en papillon. En été, ces papillons de nuit vont sortir du sol pour s'accoupler puis pondre sur les aiguilles des pins. Lorsque les températures hivernales sont douces, il n'est pas rare de voir des processions dès le mois de mars. De plus, la douceur automnale et le changement climatique expliquent pourquoi les populations sont plus fortes et le nombre de nid est important sur les arbres (**Sbabdji, 2011**).

Le nid d'hiver est une phase importante pour les larves de la processionnaire du pin dans les forêts de pins et de cèdres. La structuration hivernale du nid peut maximiser les chances de survie des larves et ainsi maintenir la population. Les infestations périodiques de *T. pityocampa* révèlent les phases successives de progression et de régression au niveau de la population (**Schvester, 1985**). Cette phase d'alternance est une stratégie biodémographique qui implique l'histoire de la vie des caractéristiques de l'insecte. L'abondance des nids d'hiver reflète le succès de l'éclosion des chenilles. On note une forte augmentation des niveaux de population durant l'hiver (2010-2011). Cette pro gradation est probablement liée aux conditions favorables du site et aux ressources alimentaires. En effet la disponibilité des ressources nécessite une mobilisation rapide de l'énergie et donc une forte augmentation

(Gillon, 1976). La flambée des niveaux de population a fortement augmenté pour culminer pendant l'hiver (2011-2012). La phase de régression est marquée à partir de l'hiver (2013-2014). De telles fluctuations sont relevées par plusieurs auteurs en région méditerranéenne (Questienne et miermont, 1978; Graf et M'zibri, 1994). Ces variations qui caractérisent la dynamique des infestations de processionnaires dans la cédraie de Chréa peuvent être liées à de nombreux facteurs. Selon Démolin (1969) les principaux facteurs responsables des fluctuations de population sont le climat, la nourriture et les prédateurs. La décroissance de la population après culmination est consécutive à des effets de compétition intraspécifique qui réduit le potentiel dynamique de la population. Battisti (1988) souligne qu'après une défoliation sévère, la composition chimique des aiguilles est significativement affectée. Selon l'auteur, ce phénomène pourrait entraîner une mortalité élevée parmi la population larvaire.

L'emplacement des nids d'hiver est le résultat de l'envol des adultes pour la ponte, la femelle sélectionne son endroit avant de déposer les œufs autour des aiguilles qui se transforment vers la fin de la saison chaude et le début de la saison froide à un nid d'hiver protégeant les chenilles pendant le stade larvaire des conditions naturelles défavorables.

Nous nous sommes intéressés dans notre travail à l'étude de l'abondance des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin sur les arbres de pin dans deux différentes régions en Algérie. Il s'agit de la forêt de « Fardwa », et la forêt de « Ain Tin » au niveau de la région de Mila. Les deux régions sont caractérisées par des conditions spatiales, climatiques, biologiques et écologiques variables.

Notre choix sur les sites d'échantillonnage s'est basé sur la qualité écologique différente des deux régions, la hauteur des arbres et l'exposition à la lumière variables d'une forêt à l'autre.

L'étude de la distribution des nids d'hivers de la chenille processionnaire a enregistré des valeurs d'abondance totale et moyenne variables entre les deux forêts. L'abondance la plus élevée est enregistré dans la forêt de « Fardwa », la moins élevée est celle enregistré au niveau de la forêt de « Ain Tin ».

Le taux d'infestation par la chenille processionnaire du pin a atteint 75% avec un ensemble de 172 nids sur 100 arbres recensés dans la forêt de « Fardwa », alors que seulement 49% des arbres de la forêt de « Ain Tin » sont infestés par la chenille processionnaire avec un ensemble de 122 nids sur tous les arbres dénombrés.

Beaucoup d'investigation ont eu l'objectif d'estimer l'abondance des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin dans des forêts de pin et de cadre en Algérie, parmi lesquelles, on peut citer les travaux réalisés dans les forêts semi-arides de « Djelfa », où le nombre moyen de nids évalué par **Zamoum (1998)** est de 2,8 nids/arbre. Une autre étude de la localisation des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin à « Borj bou arreridj » suggère que les taux d'infestation, enregistrés dans les différents sites étudiés sont de l'ordre de (1,7), (1,6) et (1,5) nids/arbre (**Ziouche et al, 2017**). **Sahnoune et Chibane (2018)**, se sont intéressés à évaluer la répartition hivernale des nids de la processionnaire du pin dans la région de « Sour –El –Ghozlane », où ils ont enregistré des moyennes de 1,39 nids/arbre et 1,41 nids/arbre dans les deux sites localisés. Par ailleurs, une étude diagnostique du taux d'infestation des processionnaires du pin à « M'Sila » a montré des valeurs de densité de 1,98 nids/arbre et 0,95 nids/arbre (**Kherifi et Mansour 2021**).

Le taux d'infestation par la chenille processionnaire du pin est plus important dans la forêt de « Fardwa », cela peut être lié à la nature de la région de la commune de « Sidi Merouane » et son exposition à une importante densité lumineuse comparant à la région de « Ain Tin » caractérisée par une forêt dense avec des arbres d'hauteur importante, ce qui peut empêcher la lumière d'atteindre la grande surface de la forêt interne.

L'exposition de la forêt de « Fardwa » au barrage de « Beni Haroun », peut aussi être l'origine de la grande densité de la chenille processionnaire du pin. En effet le microclimat doux et humide de la région, favorise la présence et le développement de l'insecte à travers les différentes phases de son cycle de vie.

D'après nos résultats, l'équitabilité qui indique l'homogénéité de la distribution des nids d'hiver dans une forêt est proche à valeur 1 pour les deux sites (0,9691 pour la forêt de « Fardwa », et 0,9648 pour la forêt de « Ain Tin », cela montre que presque tous les arbres dans les deux forêts sont attaqués par la chenille et le nombre des nids est également proche entre les arbres dans chaque forêt.

L'âge des arbres de la forêt indique la nature de la qualité de ses feuilles, et par conséquence, l'attractivité ou la non attractivité de l'insecte à l'arbre hôte. Notre expérimentation est réalisée sur deux forêts de longévité variables. En effet la forêt de « Ain Tin » qui a enregistré le plus faible taux d'infestation est d'une longévité plus importante que celle de « Fardwa ».

Nos résultats de corrélation entre la hauteur des arbres et le nombre moyen des nids par arbre montrent que l'altitude des arbres n'est pas corrélée positivement aux résultats d'abondance. Cela indique que plus l'arbre est d'hauteur importante plus le nombre enregistré des nids d'hiver est moins important.

Cela est déjà confirmé par les travaux de **Sebti et Chakali en 2014** qui ont déduit que le nombre et l'abondance des nids diminuent en augmentant dans l'altitude dans le parc de Batna.

Dans une étude pareille, Le nombre de nids d'hiver semble ne pas avoir été affecté par l'effet de l'altitude et la hauteur des arbres. D'après **Ziouch et al, (2017)**, Les chenilles installent leurs nids d'hiver sur les rameaux à orientation Sud et Ouest, sur les arbres situés à une altitude comprise entre 698m à 928 m, au-delà de cette altitude les nids sont déposés sur les orientations Est et Nord.

Par contre **Khoudja (1997)** a trouvé que la fréquence et l'intensité d'attaque sont étroitement liées à la hauteur des arbres de pin d'Alep. **Demolin en 1969**, a également montré qu'au niveau du même peuplement de pin, la taille des arbres joue un rôle prépondérant dans l'attraction de l'insecte lors de la ponte.

Les résultats de **Sahnoune et Chibane en 2017**, indiquent aussi que les stations situées en basse altitude renferment plus de nids, que celle localisée en haute altitude. Les sites d'exposition Sud sont les plus infestées et les effectifs les plus importants de nids d'hiver ont été dénombrés sur la partie orientée Sud de l'arbre. Les parties médianes des arbres sont les plus recherchées par la chenille processionnaire du pin pour l'installation de ses nids d'hiver. Le nombre de nids d'hiver augmente avec la hauteur des arbres. Et la chenille processionnaire sélectionne les arbres dont la hauteur est proche de la moyenne des arbres du site. La classification des variables liées au nombre de nids révèle que le nombre de nids dans les stations dépend beaucoup plus de la hauteur des arbres en premier lieu et de l'exposition en deuxième lieu puis de l'altitude (**Sahnoune et Chibane 2017**).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la distribution des nids de la chenille processionnaire du pin dans les forêts naturelles ou le reboisement du pin. Mais les indices climatiques (Température et précipitations) et l'exposition à la lumière restent les facteurs qui affectent la dynamique des populations de la chenille processionnaire du pin dans le pourtour méditerranéen.

Conclusion

VI- Conclusion

L'étude portant sur l'abondance des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin dans deux pinèdes de la région de Mila. La chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa Schiff*) est le principal ravageur défoliateur des forêts de pin d'Alep des régions du bassin méditerranéen. En Algérie, cet insecte ravageur est présent dans l'ensemble des forêts résineuses.

Notre étude est une comparaison de l'abondance des populations de la processionnaire du pin entre deux forêts de pin d'Alep, à savoir la forêt de « Fardwa » et la forêt de « Ain Tin » dans la région de Mila.

Le nombre des nids d'hiver varie d'une forêt à une autre, le site de « Fardwa » affiche un nombre de nids de 172 et le site de « Ain Tin » présente un nombre de nids de 122.

Le taux d'infestation dans la forêt de « Fardwa » est égal à 75%, celui enregistré dans la forêt de « Ain Tin » est de 49%.

Le taux d'infestation de la forêt de « Fardwa » est le plus important, cela peut être le résultat de l'ensemble des paramètres écologiques de la région et qui indiquent une bonne exposition de la région à la lumière naturelle ainsi qu'au barrage de « Beni Haroun » qui participe à fournir le microclimat doux et humide nécessaire pour le développement de l'insecte.

Les conditions climatiques et l'âge de l'arbre (la qualité des aiguilles) peuvent être parmi les facteurs les plus influents dans la propagation des nids en forêt. La nature des aiguilles de pin et leur parfum attirent les papillons adultes pendant la saison de reproduction et assurent une ponte et une émergence importante de la population. La dégradation de la qualité des feuilles peut être la cause du déclin des populations de l'insecte.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- **Adedire, MO., (2002).** Environmental implications of tropical deforestation. *J. Sustain. Dev. World Ecol*, 9: 33-40.
- **Agenjo, J., (1941).** Monographie de la Familial Thaumetopoeinae (LEP.). EOS, Revisita Espanola d'Entomologie, 17, 69–130.
- **Amigues, S., (Ed. & Trans.). (2006).** Théophraste, Recherches sur les plantes. Paris : Les Belles Lettres, 397 p.
- **Anonyme01:** https://www.researchgate.net/figure/extracteur-deSoxhlet_fig_40315842186
- **Arnaldo. P.S., Chacim. S., et Lopes. D., (2010)** Facts of defoliation by the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* on biomass growth of young stands of *Pinus pinaster* in northern Portugal. *Forest. Biogeosciences and Forester*, 3:159.162.

B

- **Bagnouls et Gaussen (1957).** Les climats biologiques et leur classification, in : Annales de Géographie T 66 N°355,1957.pp.193-220.
- **Barbaro, L., (2008).** Les oiseaux insectivores prédateurs de la processionnaire du pin. In : *Colloque Insectes et Changement Climatique*. En ligne : Micro polis, Aveyron (FRA), 15 nov. 2008. (www.inra.fr/projet_urticlim/reunions/micropolis).
- **Barbaro, L., and Battisti, A., (2011).** Birds as predators of the pine processionary moth (Lépidoptéra: Notodontidae). *Biological Control*, 56, 107–114.
- **Battisti A., Holm G., Fagrell B., Larsson S. (2011)** Urinating hairs in arthropods: their nature and medical significance. *Anne. Rev. Entomologie.*, 56, 203-220.
- **Battisti A., Stasny M., Buffo E., Larsson S. 2006: A rapid altitudinal range expansion in the processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly.***Glob. Change Biol.*, 12: 662-671.
- **Bertella, N., (1987).**Bio-écologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) dans quelques régions d'Algérie. - Thèse magister Sci. Agr., Inst. Nat. Agro. El - Harrach - Algérie, 110p.

- **Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., and Larsson S., (2005).** Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15, 2084-2096.
- **Battisti, A., (1989).** Field studies on the behavior of 2 egg parasitoids of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga*, 34, 29–38.
- **Bedel, J., (1986).** Aménagement et gestion des peuplements de *Pinus halepensis* dans la zone méditerranéenne française. *Options méditerranéennes. Série d'étude CIHEAM 86/1*. 127-156.
- **Beker M., Picard J.F et Timbal J., (1982).** Larousse des arbres et arbustes de l'Europe occidentale Librairie Larousse, Paris, 330 p.
- **Bentouati A., Oudjehih B et Alatou D., (2005).** Croissance en hauteur dominante et classes de fertilité du pin d'Alep dans le massif d'Ouled Yakoub et des Ben Oudjana (Khenchela Aurès). *Sci. Tech.* 23: 57-62.
- **Bentouati A, (2006).** Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du massif d'Ouled Yagoub (Kenchela-Aurès). Mémoire Doctorat. AGRO BATNA. 116 p.
- **Bentouati A, Bariteau M. (2006).** Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* m.) du massif d'Ouled Yagoub (Khenchela-Aurès), Université El Hadj Lakhdar de Batna 1.
- **Bentouati, A. ; Bariteau, M. (2005).** Réflexions sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne. Fore.medit.*, 4, 317-322
- **Berkal, k et Elouaere, F., (2014).** Inventaire et écologie des oiseaux d'eau au niveau du barrage Beni Haroun (Wilaya de Mila) : saison d'hivernage 2013/2014.
- **Biliotti, E., (1958).** Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lépidoptéra). *Entomophage*, 3(1), 23–24.
- **Biliotti, E., Démolin, G., Du Merle, P., (1965).** Parasitisme de la processionnaire du pin par *Villa quinquefasciata* Wied. Apud Meig. (Diptère, Bombyciliidae). Importance du comportement de ponte du parasite. *Annales des Epiphyties*, 16, 279-288.
- **Bonnet, C., et Martin, J. C., (2008).** Processionnaire du pin. Quand un ravageur forestier devient un problème sanitaire. *Noise Parasite. Inf.*, 54, 23-25.

- **Bouchou L., and Chakali G., (2014).** Egg mass analysis of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeinae) in Aleppo pine forests in Semi-arid area (Djelfa- Algeria). *International Journal of Agricultural Science and Research* **4** (6), 43-52.
- **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 (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat, ENSA El-Harrach-Alger-Alegria).
- **Bouchou, M. L. (2015).** "Les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff et leur importance dans quelques peuplements de pin et de cèdre du Nord de l'Algérie."
- **Bouhot-Delduc, L., (2005).** Dynamique des populations de la processionnaire du pin et extension de son aire de colonisation de 1981 à 2004 en France. In Les Cahier du DSF 1–2005, La santé des forêts (France) en 2003 et 2004, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, Paris, 6 p.
- **Boulbair N.E, Soufane, A., (2011).** Evaluation du risque de contamination par les métaux lourds dans l'eau, les sédiments et les poissons du barrage de béni Haroun de la wilaya de Mila. Mémoire de Master. Université de Jijel. 89 p.
- **Boutchiche F., Boutrigue S., (2016).** Caractérisation morpho métrique de la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) et de son hôte au niveau de la wilaya de Tlemcen. Mémoire de fin d'étude en Sciences biologiques : Université de Tlemcen 79p.
- **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.
- **Braun-Blanquet J (1936).** Lande à Romarin et Bruyère (*Rosmaririo Ericion*) en Langue doc. Comme .S.I.G.M.A. n O 48, Montpellier.
- **Buffo, E., Battisti, A., Stastny, M., & Larsson, S., (2007).** Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agricultural and Forest Entomologie*, **9**, 65–72.

C

- **Cadahia, D., Démolin, G., and Biliotti, E., (1967).** Météores versicolore var. décolorâtes, nouveau parasite de *Thaumetopoea pityocampa*. Entomophaga, 12,355-36.
- **Chakali G. (2014).** Recessionary moths and climate Change. *Alain Roques editor an Update* 42p.
- **Charmot P. (1987).** *La chenille processionnaire du pin Thaumetopoea pityocampa Schiff, et son importance médicale.* Thèse Méd. Vét., Lyon, N°020, 132p.
- **Chibane M., Sahnoune F.S., (2018).** La distribution des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin d'Alep *Thaumetopoea pityocampa* dans la région de Sour El Ghozlane. Mémoire de fin d'étude en Science biologiques. Université Akli Mohand Oulhadj Bouira 64 p.
- **Coombes A.J. (1993).** Les arbres. Ed. Bordas. Paris. 360 p.

D

- **Dahman M., (1986).** Les produits du pin d'Alep en Tunisie .option 86/1CIHEAM.
- **Dajoz, R., (1980).** Les insectes prédateurs et leurs role dans le milieu forestier, actualite d'écologie forestière. Ed. GANTHIER – VILLARS, 517p.
- **Demoli, (1969).** Bioecologia de la processionnaire de pin, *Thaumetopoea pityocampa Schiff*, Incidence de los factor climat cos. *Biol. Serv.Plagas Forest*, 123 : pp 9-24.
- **Démolin G., Delmas J.C., (1967).** Les éphippigères, orthoptères tettigonidae, prédateurs Occasionnels mais importants de *Thaumetopoea pityocampa Schiff*. Entomophaga, n", pp. 399-401.
- **Demolin, (1967).** Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa Schiff*. Nid d'hiver - activité de tissage. C. R. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux. Pp 69-77
- **Demolin, G. & Rive´J. L., (1968).**La processionnaire du pin en Tunisie Les Annales de l'INRF Tunisie, 1(1), 1–19.
- **Démolin, G., (1969).** Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa Schiff*. Dispersion spatiale, importance écologique. Annales des Sciences Forestières, 26, 89–102.

- **Démolin, G., (1971).** Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lépidoptéra) pendant la période des processions de nymphose. Répercussion sur l'efficacité des parasites. Annales de Zoologie, Ecologie Animale (Spécial issue 'La lutte biologique en forêt- colloque de Ponta ` Mousson- 12–14 Novembre 1969), 33–56.
- **Démolin, G., (1990).** Réflexions générales sur la diapause et les diapauses renforcées chez la Processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. In Les Colloques de l'INRA 52- Cycles saisonniers chez les invertébrés, Dourdan, France, 20–22 February 1990 (Oral communication, unpublished).
- **Démolin, G., Martin, J. C., et Lavanceau, P., (1993).** Lutte contre la processionnaire du pin. L'évolution des insecticides à base de *Bacillus thuringiensis*. Phytoma, 452, 13–16.
- **Demolin., (1969) :** Bioecologia de la processionaria del pino, *Thaumetopaea pityocampa Schiff*, Incedencia de los factor climaticos. *Biol. Serv.Plagas Forest*, 123 : pp 9-24.
- **Denis et Schiffermüller, (1775).** Etude de (Lépidoptéra Thaumetopoeinae) dans les pinaies semi arides. *An.Rech.For. Algérie*, 12, 30-42.
- **DGF., (2004).** Secteur de la direction générale des forêts algérienne.
- **DGF., (2008).** Direction Générale des Forêts, (2004), Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification. DGF, Alger.
- **Du merle, P., (1969).** Le complexe parasitaire hypogé de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lépidoptéra). Bolet in des Services de Plagas Forest ales, 13, 131-132.

E

- **Elie F., (2009).** Chenilles processionnaires. mai 2004, mars 2006, mars 2009, pp : 2-8.
- **Fredon, (2014).** Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles en France.

G

- **Gachi, (1996).** La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Conférence Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S Jijel. 17 pp.

- **Géri, C., (1983a).** Répartition et évolution des populations de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, (Lep., Thaumetopoeidae) dans les montagnes corses. I. Régimes d'apparition de l'insecte et dynamique des populations. *Acta Oecologia, Oecologia Appli cata*, 4, 247–268.
- **Géri, C., (1983b).** Dynamique de la processionnaire du pin dans la vallée de Niolo en Corse au cours des cycles 1965–1966, 1967–1968, 1969–1970. Rôle de certains caractères du milieu forestier. *Annales of Forest Sciences*, 40, 123–156.
- **Gillon, Y. (1976).** Stratégies démographiques chez les Insectes, leurs processus biologiques. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 1976, 101 (4), p. 653-670.
- **Godard A., Tabeaud, M., (2002).** Les climats, mécanismes et répartition ; Edi. Coursus, Armand Colin, Paris ; France. 76 pp.
- **Goetz P., Busser C. (2007)** La Phytocosmétologie Thérapeutique. Springer-Verlag France, Paris. p53-54
- **Gonzalez-Cano, J. M., (1981).** Prédation de processionnaire de pin en le zona de Mora de Rubie los (Teruel). *Bolet in de la Stadion Central de Écologie*, 10, 53–77.
- **Graf,P. et Mzibri , M., (1994).** L'infestation du cèdre d'Atlas (*Cedrus AtlanticaManetti*) par la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa Schiff.*) Au Maroc et son impact sur la productivité. *Ann. Rech. For. Maroc*, (1994), T(27), 613-624.
- **Grojean A.L., de Baudouin C., Flamant S. (2006)** Incidences environnementales et sanitaires des chenilles processionnaires et de leurs traitements en France. *In : Ingénieurs du Génie Sanitaire, Atelier Santé-Environnement, promotion 2005-2006* [en-ligne]. Rennes : ENSP.
- **Guerrero, A., Camps, F., Coll, J., Riba, M., Einhorn, J., Descoins, C., and Lallemand, J. Y., (1981).** Identification of a potentiel sexe phéromone of the processionary mots, *Thaumetopoea pityocampa* (Lépidoptéra, Notodontidae). *Tetrahedron Lettres*, 22, 2013–2016.

H

- **Herrero-Jáuregui, C., García-Fernández,C., Sist, PL., Casado, MA., (2012).** Recruitment dynamics of two low-density neotropical multiple-use tree species. *Plant Ecology*, 212(9): 1501-1512.

- **Hoch, G., Toffolo, E. P., Netherer, S., Battisti, A., and Schopf, A., (2009).**Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, 11(3), 313-320.
- **Hoch,G.,Toffolo, E.P., Netherer, S., Battisti, A., &Schopf, A., (2009).**Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, 11, 313-320
- **Hodar, J. A., Zamora, R., and Castro, J., (2002).**Host utilization by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three Pinus species. *Ecological Entomology*, 27, 292–301.
- **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.
- **Hodat, 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.
- **Hounkpèvi, A., Yévidé, A.S.I., Ganglo.G.C.,Devineau, J.-L, Azontonde, A. H., Adjakidje V., E. K.A`gbossou, De Foucault B., (2011).** Structure et écologie de la forêt à *Diospyros mespiliformis* Hochst.ex A.DC.et à *Dialium guineense* Willd.de la réserve de Massi (La Lama), Bénin
- **Huchon et Demolin, (1970).** La bio-écologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle - Dispersion actuelle. *Rev. For. Fr.* n° "La lutte biologique en forêt",220-234.
- **Huchon et Demolin (1971).** La bio écologie de la processionnaire du pin dispersion potentielle dispersion actuelle. F; F; XXII. Spécial *la lutte biologique en forêt* : 220-234 p
- **Huchon, H and Demolin, G., (1970).**La Bioécologie de la processionnaire du Pin. Dispersion potentielle. Dispersionactuelle. *Revue forestière française*, vol. XXII, n° spécial» La lutte biologique en forêt », pp. 220-234.

I

- **Inal A., Altintas DU., Güvenmez HK., Yilmaz M., Kendirli SG. (2006).** Life-threatening facial edema due to pine caterpillar mimicking an allergic event. *Allergol.*

Immunopathol. [On-line] 34(4), 171-173.
[<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03010546>] (Consulté le 05 Janvier 2011)

- **Jacquet JS, Bosc A, O’Grady AP, Jactel H., (2013).** Pine growth response to processionary moth defoliation across a 40- year chronosequence. *Forest Ecology and Management* 293: 29–38
- **Jacquet JS, Orazio C, Jactel H., (2012).** Defoliation by processionary moth significantly reduces tree growth: a quantitative review. *Annals of Forest Science* 69(8): 857-866 [8]

K

- **Kadik, (1987).** Contribution à l’étude du pin d’Alep (*Pinus halepensis Mill*) en Algérie : Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. *Office des publications universitaires* (Alger). 585p.
- **Kerdelhué, C., Zane, L., Simonato, M., Salvato, P., Rousselet, J., Roques, A., and Battisti, A., (2009).** Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC evolutionary biology*, 9(1), 220.
- **Kerris T., (2002).** La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermuller. La chenille processionnaire du pin. Hacharate.
- **Khadoumia, Nedjimib, Daoudib., (2014).** Sensibilité a la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) Chez deux espèces de pins (*Pinus halepensis mill.* et *Pinus brutia*) : cas du reboisement de senelba chergui (Djelfa). université de Djelfa, faculté des sciences de la nature et de la vie, 17000 Djelfa, Algérie, vol 04, n°1.25p. Algérien journal of aride Environment.
- **Khairallah F. (2010).** Comment lutter contre la prolifération massive de la chenille processionnaire du pin, néfaste pour la santé de l'homme, de l'animal et de la forêt, tout en respectant l'écosystème. Mémoire. Tours : Institut National de Médecine Agricole, 115 p.
- **Kherifi, S.; Mansour, K. (2021).** Diagnostic du taux d’infestation de la chenille processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (*Lepidoptera* : Denis & Schiffermüller, 1775) dans la région d’El-Haourane (Wilaya de M’Sila). Mémoire de Master. Université Med Boudiaf-M’sila. p 36.

- **Khouja M.L. (1997)** - Variabilité géographique du Pin d'Alep en Tunisie: perspectives d'amélioration de la productivité et de la qualité physique du bois. Université Catholique de Louvain-la-Neuve (Belgique), Thèse de doctorat, 181 p.
- **Kiriakoff. (1970)**. Lépidoptéra Familial Thaumetopoeinae. In P.Wytsman (Ed.), Genera insectum (pp. 1–54). Anvers: SPRL Mercurial.

L

- **Laurent-Hervouet, N. &, (1986)**. Mesure des pertes de croissance radiale sur quelques espèces de Pinus dues à deux défoliateurs forestiers. I. Cas de la processionnaire du pin en région méditerranéenne. *Ann.Sci.For* -43(2):239-262.
- **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.
- **Linares, J.C., Senhadji, K., Herrero, A., Hódar, J.A, (2014)**. Growth patterns at the southern range edge of Scots pine: disentangling the effects of drought and defoliation by the pine processionary caterpillar. *For. Ecol. Manage.* 315: 129–137
- **Lindner M., Garcia-Gonzalo J., Kolstro'm M., Green T., Reguera R., Maroschek M., Seidl R., Lexer M.J., Netherer S., Schopf A., Kremer A., Delzon S., Barbati A., Marchetti M. & Corona P., (2008)**. 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.

M

- **Markalas. S. (1998)** . Biomass production of *Pinus pinaster* after defoliation by the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), in Population dynamics, impacts, and integrated management of forest defoliating insects (ed. Mc Manus, M.L. and Liebhold, A.M.).
- **Martin J.C and Bonnet C., (2008)**. Les moyens de lutte disponibles et à venir en milieu forestier et urbain. In : Colloque Insectes et changement climatique. Micropolis , Aveyron. France.

- **Martin J.C. (2009).** La chenille processionnaire du pin : vers un contrôle écologique et raisonné. Conférence de la communauté des communes. France. 67p
- **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. [Enligne] [<http://www.prodinra.inra.fr/prodinra/pinra/index.xsp>] (Consulté le 23 Novembre 2010).
- **Martin J.C., (2005).** La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Biologie et protection des forêts. Institut national de recherches agronomiques INRA, France. 61p.
- **Martin J.C., Brinquin A.S. (2017)** . Les clés pour lutter contre la processionnaire du pin.
- **Martin J.C., Pesme-Glemin A. (2010).** Protéger la forêt contre la chenille processionnaire du pin en préservant la biodiversité. [en-ligne] 1p. [<http://www.prodinra.inra.fr>] (consulté le 05 Mars 2011)
- **Martin, J. C., et Bonneaux, X., (2006).** *Bacillus thuringiensis* 30 ans de lutte contre les chenilles défoliatrices en forêt. *Phytoma*, 590, 4–7.
- **Martin, J.C.,(2007).** La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. Synthèse des recherches Bibliographiques et des connaissances, INRA Avignon. [Enligne]
- **Matthioli, P. A., (1562).** *Medici Senensis Commentaire*, in *Libres sex Pedacii Dioscoridis Anazarbei, de Materia Medica, Adjectis qua in plurimis plantarum & animalium imaginibus, eodem authore.* Vincenzo Valgrisi, Venezia, Italy and Gabriel Coterius, Lyon, France, 707 p. In : A. Roques Ed. *Processionary moths and climate change: an update.* Quae-Springer, Dordrecht, pp 35-38.
- **Mezali, (2003).** Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3ème session du forum des Nations Unis sur les forêts, 9 p.
- **Micas L., (2016).** La chenille processionnaire du pin une présence cyclique : Office National des Forêts, correspondant du Département Santé des Forêts pour le 4.2p.
- **Molinier, R. (1954).** Sur la nature et la signification de divers bois de pins dans le sud-est de la France. Rapport à la Section 13 du 8° Congrès international de botanique. Paris, 1954, p. 35-38.

- **Montoya, R., (1984).** Description of a new type of trap to catch males of pine processionary. *Boletín de la Station Central de Ecología*, 13, 99-103.
- **Morel. E. (2008).** La chenille processionnaire du pin et ses parasites omophages. Vers un moyen de lutte biologique? *In. Collaborations scientifiques, un stage. Les parasites omophages de la processionnaire.* [En. Ligne] Master Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité, Montpellier, 66p.
- **Morsli, S., (2005).** Ecologie des pontes et des nids de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* SCHIFF (Lep, Thaumetopoidae) dans le cédre du parc national de Chérea, et dans la pinède de la région de Djelfa, p 63.

N

- **Nahal I, (1986).** Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. *CIHEAM-Options Méditerranéennes*. N° 1, P 1-9.69
- **Nahal I, (1985).** Evaluation des Expériences sur les Eucalyptus au Proche-Orient et en Afrique du Nord. *Research Journal of Aleppo University*, n° 7, pp. 9-25 (en Arabe).
- **Nahal, I., (1962).** Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Ann. Ecole Nat. Eaux Forêts, Nancy*, 19, 473–686.
- **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.

O

- **Orthmann, B., (2005).** Vegetation ecology of a woodlandsavanna mosaic in central Benin (WestAfrica), Ecosystem analysis with a focus on the impact of selective logging Dissertation. University of Rostock, p. 148.

P

- **Paiva, M. R., Mateus, E., Santos, M. H., & Branco, M. R., (2011).** Pine volatiles mediate host selection for oviposition by *Thaumetopoea pityocampa* (Lep, Notodontidae). *Journal of Applied Entomologie*, 135, 195–203

- **Parmentier, I, Stevart, T, Hardy, OJ., (2005).**The inselberg flora of Atlantic Central Africa.I. Determinants of species assemblages.Journal of Biogeography, 32: 685-696.
- **Pimentel, C., & Nilsson, J.-Å., (2007).** Response of great tits *Parus major* to an eruption of a pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* population with a shifted phenology. *Ardea*,95,191–199.
- **Pimentel, C., et Nilsson, J.-Å., (2007).** Response of great tits *Paris major* to an eruption of a pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* population with a shifted phonology. *Arden*, 95, 191–199.

Q

- **Questienne P. et Miermont Y., (1979):** Contribution à la connaissance de *Thaumetopoea pityocampa* (Schiff). Etude de la chenille processionnaire du pin et du cedre au Maroc, *Ann. Rech. Forest. Maroc*, T. 19, pp. 80-147.
- **Quézel P et Médail F, (2003).** Ecologie et biogéographie des forêts du Bassin méditerranéen, Lavoisier, Paris, 2003
- **Quézel P et Médail F, (2003).** Ecologie et biogéographie des forêts du Bassin méditerranéen, Lavoisier, Paris, 2003
- **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.
- **Quezel, P. (1986).**"Les pins du groupe «Halepensis»: écologie, végétation, écophysiologie." *Options méditerranéennes*: 11-24.
- **Quézel, P. et Médail, F., (2003).** Ecologie et biogéographie des forêts du Bassin méditerranéen, Lavoisier, Paris.

R

- **Ramade F, (1997).** La conservation des écosystèmes méditerranéens, aménagement et nature 121: 24-32.
- **Rameau, J.C., Mansion, D., et Dumé, G., (2008).** Flore forestière française: région méditerranéenne (Vol.3). Forêt privée française. 2432P.

- **Rivier J., (2011).** Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale: thèse pour le doctorat vétérinaire présenté et soutenue publiquement devant la faculté de médecine de Créteil : école nationale vétérinaire d'alfort
- **Rivière M., (2011).** Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale. Thèse doctorat vétérinaire, faculté de médecine de Créteil (France).57.
- **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.
- **Robinet, C., Imbert, C.-E., Rousselet, J., Sauvard, D., Garcia, J., Goussard, F., & Roques, A. (2011).** Human-mediated long-distance jumps of *the pine processionary moth* in Europe. *Biological Invasions*, 1-13.
- **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.
- **Rousselet, J., (2011).**La chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* ravageur forestier à la nuisance urbaine. Centre de recherché d'Orléans.INRA, 2p.
- **Rousselet. J. (2008).** La chenille processionnaire du pin et le réchauffement climatique. Vers de nouvelles méthodes de lutte contre un insecte forestier urticant qui s'invite en ville. *In. Colloque Insectes et changement climatique [enligne].* Micro polis, Aveyron (France), 15 novembre 2008.

S

- **Sahnoune F.S et Chibane M. (2017).** La distribution des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin d'Alep *Thaumetopoea pityocampa* dans la région de Sour El Ghozlane. Université Akli Mohand oulhadj. Bouira, pp 86.
- **Sbajji, M., (1997)-** Contribution à l'étude de la perte de croissance de (*Cedrus Atlantica*) Manetti suite aux attaques de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa Schiff*). Thèse école national d'agronomie INA, Alger, p 122.

- **Sbaddji, M., (2011).** Étude des infestations de la cédraie de Chréa par la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa Schiff*: description spatiotemporelle et interaction arbredéfoliateur. Thèse de doctorat, ENSA, El Harrach, Alger.
- **Scheiner. P. (2003).** Les chenilles processionnaires chez le chien. Thèse Méd. Vêt., Lyon, N°136, 122p.
- **Schintlmeister, A., (2013).** Notodontidae & Oenosandridae (Lepidoptera). World catalogue of Insects, 11, (608 pp.). Leiden: Brill.
- **Schvester, D. (1985)-** Les insectes et la forêt française. *Rev.For.Fr.*37, n°spécial, pp.45-64.
- **Sebti, S.,and Chakali G., (2014).** Distribution and importance of the pine processionaire moth winter nests *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermüller) (Lepidoptera: Notodontidae) in the forests cedar of the national park of Chréa (Algeria). *International Journal of Agriculture Science and Research*, 5 (4), 77-84.
- **Sengupta D., Kannan M., and Reddy A.R. (2010) .** A root proteomics-based insight reveals dynamic regulation of root proteins under progressive drought stress and recovery in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Planta*, **233**: 1111–1127
- **Sigue, (1985).** La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris. pp. 82 – 91.
- **Simonato, M, Mendel, Z., Kerdelhué, C., Rousselet, J., Magnoux, E., Salvato, P., Roques, A., Battisti, A. and Zane, L., (2007).**Phylogéographique of the pine recessionary moth *Thaumetopoea wilkinsoni* in the Near East. *Molecular Ecology*, 16(11), 2273-2283.
- **Soltani N., Aribi N and RizK G., (1988):** Etude de *Thaumetopoea pityocampa Schiff* (Lepidoptera, Notodontidae) et effets de *Bacillus thuringiensis Berliner*. *Annals Soc.ent.Fr. (NS)* 24(4): 377-500
- **Soltani, A., (2016).** Typologie et Fertilité des stations de pin d'Alep de la forêt de Benjloud, Saida, 1p.
- **Soudant, D., & Belin, C., (2011).** Note sur l'approche statistique de la diversité en écologie. Application à l'indice composition pour le phytoplancton-Convention 2010-Action 1.
- **Soukehal B., (2010).** La wilaya de Mila: villes, villages et problématique de l'alimentation en eau potable. Thèse de Doctorat. Université Montouri Constantine, Algérie, (pp23-303).

T

- **Talbi, S. (2019).** Contribution à l'étude du dépérissement du pin d'Alep *Pinus halpensis* Mill. (Symptôme, cause et traitement) cas de la forêt de Draa El-Aoud à Mecheria (Wilaya de Naâma). Mémoire de Master 2 : Ecologie. Université de Tlemcen, 8-9p.
- **Tiberi,R., Niccoli, A., Curini, M., Epifano, F., Marcotullio, M. C., & Rosati, O., (1999).** The role of the monoterpene composition in *Pinus* spp. needles, in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica*, 27, 263–272.
- **Tsankov, G., Mirchev, P., and Matova, M., (2006).** Egg parasitoids, rate of parasitism and structure of egg batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) (Lep, Thaumetopoeinae) from the region of Orchid (Republic of Macedonia). *Silva Balcanica*, 7, 77–87.15 nov. 2008. (www.inra.fr/projet_urticlim/reunions/micropolis).
- **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. Vêt. Nantes, N°097, 182p.

V

- **Vega J.M., Moneo I., Armentia A., Caballero M.L., et Miranda A., (2004).** Occupational immunologic contact urticaria from pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*): experience in 30 cases. *Contact Dermat.* 50(2), pp : 60-64.
- **Vega J.M., Moneo I., Ortiz J.C.G., Palla P.S., Sanchis M.E. & Vega J. et al., (2011).** Prevalence of coetaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in adult population. *Contact Dermat.* 64, 220-228
- **Venet J., (1986).** Identification des outils et méthodes utilisées à Dynafor concernant la Dendrochronologie.
- **Villemeuve O (1974).** Glossaire de météorologie et de climatologie. Les presses de L'Univ de Laval. Canada, 560 p.

W

- **Werno J., Lesthelle S., Doerman F., et Vincendeau P., (2002).** Envenimations par les lépidoptères. Rev. Fr. Lab. (342), pp : 35-39
- **White F., (1986).** La Végétation de L'Afrique (The Végétation of Africa). Ed. IRD, 384p.

Z

- **Zahiri, R., Lafontaine, D., Schmidt, C., Holloway, J. D., Kitching, I. J., Mutanen, M., and Wahlberg, N., (2013).** Relationships among the basal lineages of Noctuoidea (Lepidoptera, Noctuoidea) based on eight gene regions. Zoologique Script a, 42, 488–507.
- **Zamoum M., (1986).** Instruction technique, réseau d avertissement contre la processionnaire du pin juin 1986. INRF Doc. Interne 14 pp.
- **Zamoum M., (1998).** Données sur la bio-écologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocompa* Denis et Schiffermüller. (LEP., Thaumetopoeinae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie). Thèse de Doctorat, Université des Sciences de Rennes I, 247 p.
- **Zamoum M., (2002).** Quelques éléments pour la préservation de la santé des forêts en Algérie. Revue de la forêt algérienne, 4: 4-7.
- **Zamoum M., (2005).** Techniques de suivi de la biologie de la chenille processionnaire du pin avant et après le traitement insecticide prévu pour la campagne 2005. Doc. Tech. INRF, 12p. phenologiques et de production su béro -ligneuse dans les forêts de chêne liège de Provence Cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse Doct.Univ. Aix-Marseille.367 p
- **Zamoum., (1986).**Instruction technique, réseau d'avertissement contre la processionnaire du pin juin. INRF, pp14.
- **Zamoum., (1998) :** Données sur la bio écologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des population de *thaumetopoea pityocompa* DENIS & SCHIFFERMULLER (lep ; Thaumetopoeinae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie) .Thés de doctorat de l'université de RENNES I,247pp .

- **Ziouche, F. Baali, D. Moutassem, Z.-E. Djazouli, (2017).** Straté'gis de choix de l'emplacement des nids d'hiver de *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffer Muller, 1775) au niveau de trois pine`des dans la région de Bordj Bou Arreridj (Algérie), *Rev. Agrobiologie*. 7 (2) (2017) 412–426.
- **Ziouche, F. Baali, D. Moutassem, Z.-E. Djazouli., (2017) :** Straté'gis de choix de l'emplacement des nids d'hiver de *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermu"lier, 1775) au niveau de trois pine`des dans la région de Bordj Bou Arreridj (Algie´rie), *Rev. Agroville*. 7 (2) (2017) 412–426.