République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Dr. Yahia Farès de Médéa
Faculté des Sciences



Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En Sciences de la nature et de la vie

Spécialité :Ecologie

Par:

Melle BAHOUS Asma
Et Melle SAIFI Amina.

Thème

Bioecologie de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller (Lep, Thaumetopoeidae) dans quelques peuplements forestiers de la région de *MEDEA*.

Soutenu publiquement le : 26 / 06/ 2024 devant le jury composé de :

Devant le jury composé de :

Mme . **KHELLAF N**	MCA	UYFM	Promotrice
Mme . **NABI F.**	MCA	UYFM	Présidente
Mr . **AIT MOUHEB H**	MCB	UYFM	Examinateur

2023/2024


بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

C’est avec un très grand honneur que nous dédions ce travail de recherche aux personnes qui nous sont les plus chères au monde, nos chers parents qui nous ont permis de continuer nos études dans les meilleures conditions, en faisantbeaucoup de sacrifices, et qui nous ont appris à ne jamais baisser les bras.

Nos dédicaces vont aussi à tous nos frères et Sœurs (particulièrement IBRAHIM, MOHAMMED, BILAL et NAOUEL KHADIDJA) époux (HASSEN) et ma fille(ANFEL) , à nos amis et à tous ceux qui nous ont aidés pour réaliser ce travail de recherche, merci à tous.

Je dédie ce travail à l'âme pure de ma mère Dieu repose son âme.

BAHOUS ASMA

Dédicace

À travers ce travail humble, je remercie, apprécie et respecte :

Papa et maman

Pour tous les sacrifices et le soutien moral et matériel qu'il m'a apporté pour mon succès.

Comme je l'ai offert à tous mes frères, à l'épouse de mon frère et au plus jeune de la famille Ellin, je n'ai pas oublié toutes mes amies.

Bref, à toutes mes familles, mes amis sans exception, et à tous mes chers amis

SAIFI AMINA.

Remerciements

Au *terme de ce travail, il nous est agréable de remerciertoutes personnes qui ont participé de prés ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.*

On *remercie tout d'abord* ***«Dieu»*** *Tout puissant qui m'a donnée le courage, la patience et les capacités afin d'achever ce travail.*

On *'exprime d'abord mes profonds remerciements à notre encadreur* ***M^{me}: KHELLAF.N*** *pour la confiance qu'elle nous'a prodigué tout au long de ce travail et d'attention constante durant la réalisation de ce travail.*

Nos *remerciements vont également et aux* ***«Membres du jury»***

Dr. AITMOUHEB. H et Dr. NABI F. *pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce modeste travail.*

On *exprime aussi nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à* ***nos familles*** *pour leurs encouragements et leurs compréhensions.*

On *exprime aussi nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à* ***M^{elle} Houda ALC.*** *Pour le temps précieux et l'attention qu'elle m'a consacrée en dépit de ses nombreuses tâches, qui nous a permis de bien mener ce travail.*

On *remercie également tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'évaluation de ce travail.*

RESUME

Notre étude explore la distribution des nids d'hiver de la processionnaire *Pinus halepensis* L en fonction de l'exposition et de la position sur l'arbre dans plusieurs stations de la région d'Ain Boucif en Algérie. En utilisant une méthodologie rigoureuse, comprenant un dénombrement systématique des nids sur 50 arbres répartis dans différentes stations, Nous avons collecté des données précises. L'analyse statistique des données a révélé des tendances significatives dans la répartition des nids, notamment une préférence des *Thaumetopoea pityocampa* pour certains niveaux de la canopée en fonction de l'orientation des arbres.Les résultats montrent des variations marquées dans la distribution des nids entre les différentes stations, ce qui suggère une influence significative des caractéristiques environnementales locales. Par exemple, certaines stations ont montré une préférence pour des orientations spécifiques, tandis que d'autres présentaient une distribution plus uniforme. De plus, l'analyse fréquentielle du nombre de nids par arbre a révélé des schémas distincts de densité denidification dans chaque station, mettant en lumière la diversité des stratégies de nidification des oiseaux dans des environnements variés. Ces résultats offrent des insights précieux sur la dynamique de nidification des chenilles processionnaires et soulignent l'importance de considérer les facteurs environnementaux locaux dans les études sur la biodiversité aviaire. Ilsfournissent également des informations utiles pour orienter les décisions de gestion forestière et les efforts de conservation, en aidant à identifier les zones prioritaires pour la surveillance et le contrôle des infestations de chenilles processionnaires du pin. En intégrant ces résultats avec d'autres études sur la chenille processionnaire du pin, il est possible d'améliorer notre compréhension globale de cette interaction et de contribuer à des initiatives de conservation plus efficaces.

Mots clés: *Pinus halepensis* L., *Thaumetopoea pityocampa,* distribution des nids, Défoliation, altitude des arbres

ABSTRACT

Our study explores the distribution of winter nests of the processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* on *Pinus halepensis* L. trees, considering the exposure and position on the tree in several stations in the Ain Boucif region of Algeria. Using a rigorous methodology, including systematic nest counting on 50 trees across different stations, we collected precise data. Statistical analysis of the data revealed significant trends in nest distribution, notably a preference of *Thaumetopoea pityocampa* for certain canopy levels based on tree orientation. The results show marked variations in nest distribution between different stations, suggesting a significant influence of local environmental characteristics. For instance, some stations showed a preference for specific orientations, while others exhibited a more uniform distribution. Furthermore, the frequency analysis of the number of nests per tree revealed distinct nesting density patterns in each station, highlighting the diversity of nesting strategies in varied environments. These findings provide valuable insights into the nesting dynamics of processionary moths and emphasize the importance of considering local environmental factors in avian biodiversity studies. They also offer useful information for guiding forest management and conservation efforts, helping to identify priority areas for monitoring and controlling pine processionary moth infestations. By integrating these results with other studies on the pine processionary moth, it is possible to enhance our overall understanding of this interaction and contribute to more effective conservation initiatives.

Keywords: *Pinus halepensis* L., *Thaumetopoea pityocampa*, nest distribution, Defoliation, tree altitude

الملخص :

دراستنا تستكشف توزيع أعشاش الشتاء لليرقة الصنوبرية في أشجار **Pinus halepensis L** بناءً على التعرض والموقع على الشجرة في عدة محطات بمنطقة عين بوسيف في الجزائر. باستخدام منهجية دقيقة، تتضمن إحصاءً منهجيًا للأعشاش على 50 شجرة موزعة في محطات مختلفة، جمعنا بيانات دقيقة. كشفت التحليل الإحصائي للبيانات عن اتجاهات كبيرة في توزيع الأعشاش، بما في ذلك تفضيل **Thaumetopoea pityocampa** لمستويات معينة من المظلة بناءً على اتجاه الأشجار.

أظهرت النتائج تفاوتًا ملحوظًا في توزيع الأعشاش بين المحطات المختلفة، مما يشير إلى تأثير كبير للخصائص البيئية المحلية. على سبيل المثال، أظهرت بعض المحطات تفضيلًا لاتجاهات محددة، في حين أظهرت محطات أخرى توزيعًا أكثر انتظامًا. علاوة على ذلك، كشفت التحليل التكراري لعدد الأعشاش لكل شجرة عن أنماط مميزة لكثافة التعشيش في كل محطة، مسلطًا الضوء على تنوع استراتيجيات التعشيش في بيئات متنوعة.

توفر هذه النتائج رؤى قيمة حول ديناميات التعشيش لليرقات الصنوبرية، وتؤكد على أهمية أخذ العوامل البيئية المحلية في الحسبان عند دراسة التنوع البيولوجي للطيور. كما تقدم معلومات مفيدة لتوجيه قرارات إدارة الغابات وجهود الحفظ، من خلال المساعدة في تحديد المناطق ذات الأولوية لمراقبة والسيطرة على إصابات اليرقات الصنوبرية. من خلال دمج هذه النتائج مع دراسات أخرى حول اليرقة الصنوبرية، يمكن تحسين فهمنا الشامل لهذه التفاعل والمساهمة في مبادرات حفظ أكثر فعالية.

الكلمات المفتاحية:. Pinus halepensis L ، Thaumetopoea pityocampa، توزيع الأعشاش، تساقط الأوراق، إرتفاع الاشجار

LISTE DES FIGURES

Figure 01:	Foret de pin d'Alep (Photo original 2024).
Figure 02 :	Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Kadik, 1987 et Bentouati, 2006).
Figure 03 :	Répartition de pin d'Alep dans la région méditerranéenne **(**Fady et al., 2003).
Figure 04 :	**Arbre et écorce de *Pinus halepensis*.** https://fr.wikipedia.org/wiki/Pinus_halepensis https://www.jardinerie-chantalat.com/e-shop-plantes/les-conif%C3%A8res-arbres-rampants-et-nains/
Figure 05:	Rameaux et feuille (aiguille) du pin d'Alep (photo originale 2024).
Figure 06 :	les bourgeons de pin d'Alep (photo originale2024).
Figure 07 :	**les chatons males de *Pinus halepensis*.** ABLOUL, D., & Ismahane, L. A. D. J. A. L. (2020). Les propriétés de Pinus Halepensis Mill (Doctoral dissertation).
Figure 08 :	Cônes du pin d'Alep (photo originale 2024).
Figure 08 :	La chenille processionnaire du pin d'Alep (photo originale 2024).
Figure 09:	Distribution géographique de *Thaumetopoea pityocampa* (Kerdelhué *et al*, 2009).
Figure 10 :	**(A) Papillon male et (B) papillon femelle *Thaumetopea pityocampa*.** https://slideplayer.fr/slide/90680/
Figure 11 :	**La ponte de la *Thaumetopea pityocampa* sur pin d'Alep.** https://www.afg-nuisibles.fr/la-processionnaire-du-pin
Figure 12 :	**Les différents stades larvaires de *Thaumetopea pityocampa.*** https://ar.pinterest.com/pin/514043744982254238/
Figure 13 :	Le nid d'hiver de *Thaumetopea pityocampa* (Photo original 2024).
Figure 14 :	**Procession au sol en file indienne.** https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/2021-06-22/chenille-processionnaire-tigre-du-platane-pourquoi-ces-insectes-envahissent-ils-nos-regions-a48f0d28-f50f-44a2-9e9e-2b1ae9ca849a
Figure 15:	**Chrysalide male(A) et chrysalide femelle(B) de *Thaumetopea pityocampa.*** Kerdelhue, C. (2019). Différentiation allochronique chez la processionnaire du pin Thaumetopoea pityocampa: passé, présent et futur d'une population atypique.
Figure 16 :	**Trouble cutané causé par contacte avec chenille processionnaire.** https://ar.yabiladi.com/articles/details/9339/دود-غريب-يأتي-على-الأخضر.html
Figure 17 :	Forêt défoliée par *Thaumetopea pityocampa* (photo originale 2024).
Figure18 :	Les limites géographiques de la région de Médéa **(Google earth2024)**.
Figure 19:	Carte des communes de la wilaya de Médéa.

Figure 20:	Station Kef El Masker (photo original 2024).
Figure 21 :	Station El Gharbia (photo original 2024).
Figure 22 :	Station Ain El Barda (photo original).
Figure 23 :	Station Matheu (photo original 2024).
Figure 24 :	Station Sidi El Mahdjoub (photo original 2024).
Figure 25 :	Comparaison des moyennes des nids en fonction de l'altitude des stations d'étude.
Figure 26 :	résultats du Test deNewman-Keuls de comparaison des moyennes des nids en fonction de l'altitude des stations d'étude.
Figure 27 :	Nombre de nids en fonction de l'exposition et de la position sur l'arbre.

Figure 28:	Comparaison des moyennes des nids en fonction de leur position sur l'arbre.
Figure 29:	Comparaison des moyennes des nids en fonction de l'orientation.
Figure 30:	Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Ain Barda.
Figure 31:	Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Si El Mahdjoub.
Figure 32:	Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Kaf Maeskar.
Figure 33:	Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station El Gharbia.
Figure 34:	Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Mathou.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I :	Noms vernaculaires du *Pinus halepensis*
Tableau II:	Noms communs de *Thaumetopoea pityocampa.*
Tableau III :	Température mensuelle moyenne (°C) station de Médéa de (1994 à 2013).
Tableau IV :	Moyenne mensuelle des vitesses de vent (m/s). (Office national météorologique d'Alger 2016).
Tableau V:	Evaporation moyenne mensuelle (mm)
Tableau VI :	Humidité relative mensuelle moyenne (%) Office national météorologique d'Alger 2016).
Tableau VII :	Nombre des nids d'hiver en fonctions de l'altitude de la station d'étude.
Tableau VIII:	Résultats du Test de Newman-Keuls sur les hauteurs des arbres au niveau des trois stations.
Tableau IX:	Nombre des nids en fonctions de l'exposition et de la position sur l'arbre.

TABLE DE MATIERES

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Liste Des Tableaux

Liste Des Figures

Introduction Générale……..... 01

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Première partie : Monographie du Pinus halepensis L.

I.1..1 Position systématique du Pin d'Alep 03

Biogéographie et répartition du Pin d'Alep..... 04

- En Algérie
- Dans le monde

Structure générale du Pin d'Alep 05

I.1.3.1.Description botanique de la plante 05

I.1.3. 2.Feuilles et Bourgeons..... 06

3.Appareils reproducteurs 07

Exigences climatiques 08

Pluviométrie…… 08

Altitude et température 08

Le sol…… 08

DES TABLEAUX

Intérêt et l'utilisation de pin d'Alep 09

Intérêt écologique.....09

Intérêt économique.....09

II. Deuxième partie : Données sur la processionnaire du pin d'Alep

Bioecologie de la *Thaumetopoea pityocampa*.....10

Taxonomie du *Thaumetopoea pityocampa* 11
1.2.3.Biogéographie du *Thaumetopoea pityocampa* 12
Cycle biologique et chronologie de développement du *Thaumetopoea pityocampa* . 13
Description des adultes 13
Description des larves 14
Ecophases du *Thaumetopoea pityocampa* 14
La phase aérienne 14
La phase adulte 14

La ponte……15
La phase larvaire.....16
Période ambulatoire.....17
Le nid d'hiver.....18
Les processions.....19
La phase souterraine.....20
La nymphose.....20
La diapause.....20
Calage du cycle.....21
les risques sanitaires.....22
Méthodes de luttes et Facteurs de régulation populations de la processionnaire du pin
……..... 23

- Lutte chimique
- La lutte sylvicole
- La prédation par les mésanges
- La lutte microbiologique
- Lutte par l'utilisation des phéromones sexuelles

CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE

II. Matériel et méthodes

Etude de site d'échantillonnage.....27
II.1 .1. Présentation de la zone d'étude.....27
.1.1. Présentation de la zone d'Ain Boucif.....28

- Localisation géographique détaillée
- Superficie et population

II.1 .1.2. Les reliefs de la zone d'Ain Boucif.....29
II.1.1.3. Sol d'Ain Boucif.....29
II.1 .1.4. Faune d'Ain Boucif.....30
II.1 .1.5. Couvert végétal d'Ain Boucif.....31

Climat ……..31

Températures 31

Vitesse du vent.....32

Evaporation.....32

Humidité de l'air 34

II..2. les stations d'études 34

Description des stations choisis pour cette étude 34

- Station Kef El Masker
- Station El Gharbia
- Station Ain El Barda
- Station Matheu
- Station Sidi El Mahdjoub

Axes principaux de notre étude…… .....…38

Méthodologie Adoptée 39

Dénombrement des Nids d'Hiver.....39

Méthodes d'Analyse Statistique 39

Analyse Descriptive.....40

Distribution Fréquentielle.....40

Analyse de la Variance (ANOVA).....40

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III .Résultats et discussion

Exploitation des résultats des dénombrements des nids d'hiver de la *Thaumetopoea pityocampa* en fonction de l'altitude

Description et Objectif de l'étude 40

Méthodologie 40

Calcul de l'écart-type 40

Formules 41

Résultats 41

Résultats des écarts-types calculés 41

Analyse des résultats et Comparaison des moyennes 41

Répartitions des nids d'hiver en fonction de l'exposition et de leur position sur l'arbre

Description et Objectif de l'étude 46

Résultats 46

Analyse des résultats et Comparaison des moyennes 47

Analyse fréquentielle des nombres des nids aux niveaux des stations prospectées

III.2.4.1.Station Ain Barda 52

Station Si El Mahdjoub 52

Station Kaf Maeskar 53

Station El Gharbia 55

Station Mathou 56

CONCLUSION 58

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Introduction générale

Introduction générale

En région méditerranéenne l'écosystème forestier comporte une large gamme de diversité structurelle dont le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*.) recouvre 3.5 millionsd'hectares et présente une répartition geographique principalement centrée en Méditerranée occidentale (Algérie, Tunisie, Espagne, Italie)

En Algérie le patrimoine forestier couvre une superficie de 4,7 millions d'hectares, soit un taux de boisement de 11% du nord de l'Algérie (DGF, 2007) où la vraie forêt représente 1,3 millions hectare (DGF, 2004) et le pin d'Alep représente un intérêt exceptionnel dont il occupe plus de 881.000 hectares, Cette espèce qui est présente dans tous les étages bioclimatiques, depuis le littoral jusqu'à l'Atlas saharien, trouve son optimum de croissance essentiellement en zone semi-aride. Sa grande plasticité et son tempérament robuste ont fait d'elle une essence pionnière des grands reboisements (Mezali, 2003).

Depuis l'indépendance, l'accroissement des reboisements en *Pinus halepensis L*., a entraîné une prolifération de la chenille processionnaire du pin, mettant en danger les jeunes reboisements. En effet, la monoculture exclusive à base du pin d'Alep a engendré uneexplosion démographique des populations de cette chenille par rapport à d'autres insectes ravageurs qui est un des plus grands défoliateur des forêts résineux dans le sud de l'Europe et le Nord de l'Afrique (Fraval, 2007). Les larves se nourrissent des aiguilles de pin pendant l'automne et l'hiver. Cela diminue considérablement la croissance des arbres à court terme, même à faibles niveau de défoliation. Cependant, les arbres semblent pouvoir se restituer à long-terme si la défoliation n'est pas fréquente (Mecellem, 2014).

Les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* 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 une atténuation de fortes variations de température par regroupement de nombreux individus et insolation maximale; Et leurs propriétés urticantes posent de nombreux problèmes sanitaires pour les humains tous comme pour les animaux (Battisti*et al.,* 2017). Le présent travail porte sur deux parties essentielles :

La première est théorique consacrée l'étude bibliographique sur la processionnaire du pin, et le Pin d'Alep, principale plante hôte de ce ravageur.

Le deuxième aspect est d'ordre présentatif de méthodologie, résultats et leur interprétation et en fin on termine par une conclusion.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, dont l'objectif est d'analyser la distribution des nids d’hiver de la processionnaire Thaumetopoea pityocampa en fonction de l’altitude. En particulier, l'étude cherche à déterminer comment le nombre de nids par arbre varie dans cinq zones situées à différentes altitudes : El Gharbia (810 m), Ain El Barda (1090 m), et Kaf Maaskar (1200 m), Si El Mahdjoub 900 Matheu 950m.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. 1.Monographie du *Pinus halepensis* L.

Décrit pour la première fois par Duhamel en 1755 sous le nom de *Pinushierosolimitana* (Duham, 1755). En 1768, Miller le nom *Pinus halepensis*. Mais le nom retenu par les botanistes est celui de *Pinus halepensis* Mill, une plante qui prospère notamment à Alep, au nord de la Syrie.

En 1962, une étude exhaustive des pins d'Alep dans le bassin méditerranéen, affirme que les pins décrits par Miller doivent être d'origine artificielle : les graines provenaient très probablement des pays voisins (Liban, Jordanie, Palestine).



Figure 01 : Foret de pin d'Alep **(Photo original 2024)**.

Il porte aussi plusieurs noms vernaculaires, ces derniers sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau I : Noms vernaculaires du *Pinus halepensis*

Pin d'Alep, pin blanc	France**.**
Aleppo pine	Angleterre.
Pino carrasso	Espagne.
Pino di Gerusalemme	Italie.
Aleppo Kiefer	Allemagne.
Sanaoubar al-halabi	Arabe.

Position systématique du Pin d'Alep

C'est un arbre dioïque dicotylédone Gymnospermes, appartenant à la famille des Pinacées, du genre *Pinus* et de l'espèce *Pinus halepensis* L.

Sa position systématique était donnée selon Nahal, 1962 ; In Chibane et Sahnoune, 2018,, comme suit :

Règne..... Plantae.

Sous-règne..... Viridiplantae.

Division .....Pinophyta.

Classe .....pinoopsida.

Ordre.....Pinales.

Famille..... Pinaceae.

Sous famille.....*Pinoideae.*

Genre .....*Pinus.*

Espèce..... *halepensis.*

- **Classification phylogénétique APG II** (Dobignard et Chatelain ,2012).

Règne Plantae.

Embranchement..... Spermatophyte.

Sous embranchement..... Gymnospermes.

Ordre..... Pinales.

Famille..... Pinacées.

Genre .....*Pinus.*

Espèce..... *halepensis* Mill.

- **Classification phylogénétique APG III**

Règne..... Archéplastides.

Clade..... Gymnospermes.

Ordre..... Pinales.

Famille..... Pinacées.

Genre .....*Pinus.*

Espèce..... *halepensis.*

Biogéographie et répartition du Pin d'Alep.

- **En Algérie**

Le pin d'Alep est fréquent dans la surface forestière de l'Algérie, avec 35% de couverture (Letreuch, 1991).il se trouve essentiellement en Oranie (Sidi-Bel-Abbès, Saida, Tlemcen, Ouarsenis (figure 02), sur le Tell algérois (Médéa, Bidans) et sur l'Atlas saharien (Amont de Ouled Nails) où occupe une surface de 200.000 ha (Alaoui et *al*, 2011).



Figure 02 : Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie **(Kadik, 1987 et Bentouati, 2006).**

- **Dans le monde**

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est l'un des arbres les plus répandus à l'état spontané dans le bassin méditerranéen occidental surtout l'Afrique du Nord sauf en Egypte, ou plus exactement l'Algérie et la Tunisie (Nahal, 1962). Le pin d'Alep s'étend del'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie et Libye) et du MoyenOrient (Syrie, Liban, Jordanie, Palestine et Turquie), jusqu'à l'Europe méridionale méditerranée (Grèce orientale, Croatie, Italie du Nord, Est de la France et Espagne orientale) (Djerrad et al., 2015). couvrant environ 3,5 millions d'hectares (Vennetier et *al*., 2011) et possédant le plus grand paysage écologique (Sghaier, Amari, 2012).



Figure 03 : Répartition de pin d'Alep dans la région méditerranéenne **(Fady et al., 2003).**

Structure générale du Pin d'Alep

Description botanique de la plante : L'arbre du Pin d'Alep est toujours vert, de hauteur totale allant de 25 à 27m, et d'une longévité qui ne dépasse pas 150 ans. Au tronc tortueux, irrégulier et branchu. (Seigue, 1985). L'écorce des arbres jeunes est lisse et d'un gris argenté ; chez les adultes, elle forme un rhytidome plus ou moins gerçuré en écailles minces, larges et aplaties de couleur rougeâtre. (Nahal, 1962).



Figure 04 : Arbre et écorce de *Pinus halepensis*.

I.1.3. 2.Feuilles et Bourgeons

Les feuilles ont une formes d'aiguilles très fines (< 1 mm) ; mesurent 5 à 10 cm de long ; réunies par deux, rarement par trois dans une gaine ; groupées en pinceaux à l'extrémitédes rameaux ; de couleur verte jaunâtre. (Nahal, 1962), Ces pseudophylles sont persistantes (Maire ,1952). Tandis que le bourgeon est cylindro-coniques (7-8 mm) non résineux (Maire, 1952).



Figure 05: Rameaux et feuille (aiguille) du pin d'Alep (photo originale 2024).



Figure 06 : les bourgeons de pin d'Alep (photo originale 2024).

3.Appareils reproducteurs

Les cônes mâles : mesurent entre 6 à 7 cm rassemblant à des chatons dressés, produisent une grande quantité de pollen jaune orangé dispersé par le vent (Nahal ,1986).



Figure 07 : les chatons males de *Pinus halepensis*.

Les cônes femelles : Contrairement aux cônes males ils ligneux ovoïdes coniques à écailles dures, mesurent environ 6 à 12 cm de long, pédonculés, isolés ou par paires, Ils murissent au cours de la deuxième année et laissent le plus souvent échapper leurs graines au cours de la troisième année. Le cône doit avoir subi de forte chaleur qui détruit les joints de résine entre les écailles pour pouvoir s'ouvrir. Ce dernier renferme des graines mates d'environ 7 mm de taille (Bellahouel, 2012), de couleur brun gris sur une face et gris moucheté de noir sur l'autre(Kadik, 1987). Munie d'une aile allongée 4 fois plus longue qu'elle, qui facilite leur dissémination rapide (Nahal, 1962).



Figure 08 : Cônes du pin d'Alep (photo originale 2024).

Exigences climatiques

L'écologie du pin d'Alep est fortement influencée par les facteurs climatiques. La température et l'amplitude des précipitations sont les facteurs déterminants de sa répartition dans tout son habitat.

Pluviométrie

En termes de pluviométrie, les conditions idéales de croissance du pin d'Alep se trouvent dans les zones où les précipitations annuelles varient de 300 à 700 mm. Comme l'indique (KADIK, 1987), le pin d'Alep prospère lorsque les précipitations mensuelles totalisent entre 4 et 10 mm, avec une période sèche de 4 à 5 mois survenant de juin à octobre.

Altitude et température

L'altitude influence la croissance et la distribution des pins d'Alep de plusieurs manières, Le pin d'Alep pousse généralement à des altitudes allant de 0 à environ 1 200 mètres. Au-delà de cette altitude, les conditions environnementales deviennent moins favorables à sa croissance. D'après (BOUDY, 1952), le pin d'Alep aurait un tempérament fort et très malléable. Il peut parfois s'adapter à des conditions écologiques très difficiles.

Selon (MEDDOUR, 1982), le pin d'Alep est thermophile et peut résister à de fortes amplitudes thermiques continentales et à des températures très élevées supérieures à 32°C. La température moyenne optimale pour la croissance du pin d'Alep est de 14°C, il a des besoins élevés en lumière et en chaleur, est sensible au gel et tolère rarement des changements de température de 2,8 à 7,7°C pendant les mois les plus froids (PERRIN, 1985).

Le sol

Du point de vue du sol, c'est une espèce très tolérante et peut s'adapter aussi bien aux sols calcaires qu'acides. La plupart des sols meubles d'Alep sont des loams sableux avec une faible teneur en argile ne dépassant pas 10 % (ABBANE, 1985). Il ne tolère pas les substrats sableux car les zones élevées sont plus sèches en été (ABBAS, 1985). Lourd et mal aéré et manquant de substrat ou Les aquifères permanents provoquent l'étouffement de leurs racines.

Le pin d'Alep préfère les substrats marneux et marneux calcaires essentiellement dans toute son aire de répartition, notamment dans les sols profonds où ses racines sont facilement accessibles. On le rencontre également sur des substrats calcaires, mais principalement sur des schistes et des micaschistes.

Intérêt et l'utilisation de pin d'Alep

Intérêt écologique

Ecologiquement, *Pinus halepensis* est l'espèce forestière la plus importante dans de nombreux pays méditerranéens. Il est utilisé généralement dans des programmes de reboisement des sols dégradés, cas de la « ceinture verte » dans le sud de l'Algérie, Où 1 million de hectares ont été plantés de pins d'Alep il y a plus de 20 ans (Lahouati, 2000 ; Maestre et Cortina, 2004).

Intérêt économique

Concernant le bois de *Pinus halepensis* du pin est utilisé en construction, industrie, menuiserie, bois et pâte à papier, pour l'étayage des mains, la construction navale et la charpenterie (Maestre et Cortina, 2004).

Il est aussi utilisé aussi dans le domaine cosmétique grâce à sa richesse en acide gras, vitamine E, polyphénols et antioxydants naturelles. Tandis que les grains de pin sont utilisés dans le domaine agroalimentaire (la pâtisserie) (Cheikh – Rouhou et al, 2006).

Le pin d'Alep donne environ 3 kg de résine par arbre et par an ; la gemme pure contient 20 à 24 % d'essence de térébenthine et 75 à 80% de cellophane, elle a aussi des usages médicinaux (Kadik, 1987).

Données sur la processionnaire du pin d'Alep

Bioecologie de la *Thaumetopoea pityocampa*

Les processionnaires *Thaumetopoea pityocampa* a été mentionnée depuis plus de deux cents ans et décrite pour la première fois par DENIS & SHIFFERMULLER en 1776, présentes dans le bassin méditerranéen respectivement avec la présence du pain d'Alep, sont des insectes redoutables qui défolient les arbres résineux et feuillus. Leur cycle de vie est bref,avec des adultes qui ne vivent que peu de temps c'est pour ca qu'on parle de vie éphémère.

Les chenilles adultes se déplacent en rang serré (en file indienne) et sont dotées de poils urticants, ce qui pose des problèmes de santé (Seigue, 1985 ; Fraval, 2007 ; Moneo et al.,2015). Ce sont des insectes sub-sociaux, qui ont la particularité d'avoir un comportement grégaire et arboricoles qui construisent des nids de soie leur servant de refuge collectif durant toute leur vie (DÉMOLIN, 1965).

Ces papillons sont parmi les principaux ravageurs des forêts du sud de l'Europe et des pays méditerranéens. Leur activité affaiblit les arbres, les rendant plus vulnérables aux insectes xylophages (Bonnet et al., 2008 ; Claessens, 2016).



Figure 08 : La chenille processionnaire du pin d'Alep (photo originale 2024).

Taxonomie du *Thaumetopoea pityocampa*

La processionnaire du pin, aussi connue sous le nom scientifique de *Thaumetopoea pityocampa*, est réputée comme l'un des plus importants ravageurs des forêts. Sa présence est documentée depuis plus de deux siècles, ayant été initialement décrite pour la première fois par DENIS & SHIFFERMULLER en 1776 sous le genre Bombyx. En 1822, HUBNER a créé le genre Thaumetopoea pour regrouper toutes les espèces appartenant aujourd'hui à la famille des Thaumetopoeidae compte neuf espèces au total dont huit espèces sont réparties en Eurasie et en Afrique (Agenjo, 1941 ; Pimentel 2004 ;Fraval, 2007) et l'a reclassée dans ce dernier.

En 1928, Stephens a transféré toutes les espèces du genre Thaumetopoea vers le genre Cnethocampa, qu'il a classé dans la famille des Notodontidae.

En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (campa = chenille, pityo = pin) et Thaumetopoea signifie « qui vénère la verdure » (thaumeto = vénérer, poea = herbe).

Selon DAJOZ, 2002. La chenille processionnaire du pin, Thaumetopoea pityocampa, fait partie de :

- **Règne .....Animalia.**
- **Embranchement .....arthropodae.**
- **Classe .....Insectes.**
- **Ordre .....Lépidoptères.**
- **Famille .....Notodontidae.**
- **Sous-famille ..... Thaumetopoeinae.**
- **Genre ..... Thaumetopoea.**
- **Espèce .....*T. pityocampa*.**

Tableau II : Noms communs de *Thaumetopoea pityocampa.*

Processionnaire du pin	Français.
Pine processionary	Anglais.
Procesionaria del pino	Espagnol.

Biogéographie du *Thaumetopoea pityocampa*

Les populations de la processionnaire du pin connaissent des variations considérables, largement influencées par divers facteurs, en particulier la température. Selon Dajoz (2007), ce paramètre demeure le plus déterminant quant à la distribution et à la santé des peuplements forestiers. L'auteur souligne également les exigences thermiques qui régissent la répartition de ce ravageur.

La température létale supérieure est estimée à 32°C, tandis que la température létale inférieure est de -6°C pour les chenilles isolées, et de -10°C pour celles regroupées en colonie, trouvant refuge dans le nid d'hiver.

La processionnaire du pin a été toujours considérée comme le principal ravageur des massifs forestiers du pin d'Alep dans bassin méditerranéen ; du sud de l'Europe et du nord de l'Afrique (FAO, 2010).

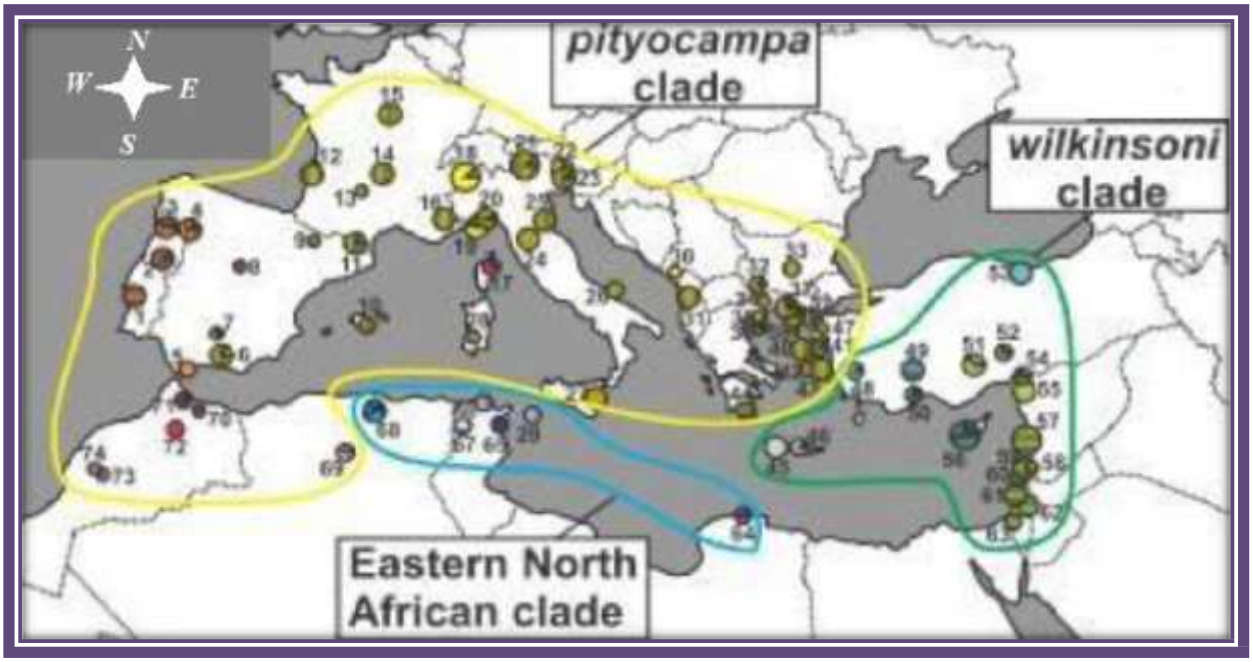


Figure 09: Distribution géographique de *Thaumetopoea pityocampa* (Kerdelhué *et al*, 2009).

Les pins sont souvent la cible de spectaculaires attaques de chenilles processionnaires du pin, comme le soulignent Huchon et Demolin (1970). En Algérie, jusqu'en 1982, seule une espèce était mentionnée, *T. Pityocampa*. Cependant, à partir de juin 1982, une nouvelle espèce de processionnaire, causant des dégâts considérables, a été signalée : *T. bonjeani*, repérée a Belezma (Batna). Entre 1982 et 1983, environ 500 hectares ont été touchés (Gachi, 1994).

Cycle biologique et chronologie de développement du *Thaumetopoea pityocampa*

Thaumetopoea pityocampa est une espèce monovoltine dont le cycle vital s'étend généralement sur une année, bien que dans certains cas, il puisse se prolonger sur plusieurs années en fonction des conditions environnementales (Demolin, 1974 ; Préau et Beaune, 2016).

Ce cycle est particulièrement sensible à la température et à l'insolation. Il se divise en deux phases distinctes : **une phase aérienne**, où les larves évoluent sur les arbres, et **une phase souterraine**, comprenant la prénymphose et la nymphose

Les papillons émergent généralement pendant l'été, entre juin et septembre, en fonction du climat. Après l'accouplement, les mâles décèdent généralement un à deux jours plus tard, tandis que les femelles pondent en moyenne de 100 à 300 œufs sur les aiguilles de pin, avant de mourir à leur tour. Environ 30 à 45 jours après la ponte, les chenilles éclosent et commencent à se nourrir des aiguilles de l'arbre. Au fil de leur croissance, elles changent de couleur et se couvrent de plus en plus de poils.

À l'automne, les chenilles construisent un abri en soie sur l'arbre pour passer l'hiver. Elles ne sortent que la nuit pour entretenir leur nid et se nourrir. Au printemps, la colonie quitte l'abri et se dirige vers le sol, formant une procession de nymphose. Les chenilles se tiennent les unes aux autres et se déplacent en longue file indienne pouvant compter plus d'une centaine d'individus. La nymphose a lieu à environ 10 cm de profondeur, et la nymphe entre en diapause environ un mois avant l'émergence des adultes. (Demolin et al, 1994 ; Jactelet al., 2015).

Description des adultes

Les adultes de Thaumetopoea pityocampa sont des papillons nocturnes présentant un dimorphisme sexuel distinct. Les femelles sont généralement plus grandes que les mâles et ont un abdomen de couleur jaune-beige, tandis que les mâles arborent une teinte grise sur le dessus de leurs ailes (HERBULOT, 1958 ; ZAMOUM, 1998). Les femelles déposent leurs œufs en petits manchons autour des aiguilles, généralement en groupes de deux, sur les espèces de pins (DÉMOLIN, 1986).

Description des larves

Les chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* passent par cinq stades larvaires au cours de leur développement. Elles sont grégaires et maintiennent la cohésion de la colonie par communication tactile (ZAMOUM, 1998). Après la deuxième mue, les chenilles adoptent leur apparence définitive : elles sont de couleur brun-roux avec des soies latérales blanches (DÉMOLIN, 1969b ; ZAMOUM, 1998).

Ecophases du *Thaumetopoea pityocampa*

La phase aérienne

I.2.4.3.1.1. La phase adulte

Les papillons de la processionnaire du pin (*Thaumetopea pityocampa*) sont des insectes crépusculaires dont la période de vol, telle que rapportée par Démolin en 1969, s'étend de la fin juin à la fin août. Les femelles déposent leurs œufs sous la forme d'un manchon recouvert d'écailles argentées, autour de deux aiguilles de pin situées à l'extrémité d'un rameau (Grison et al., 1959).

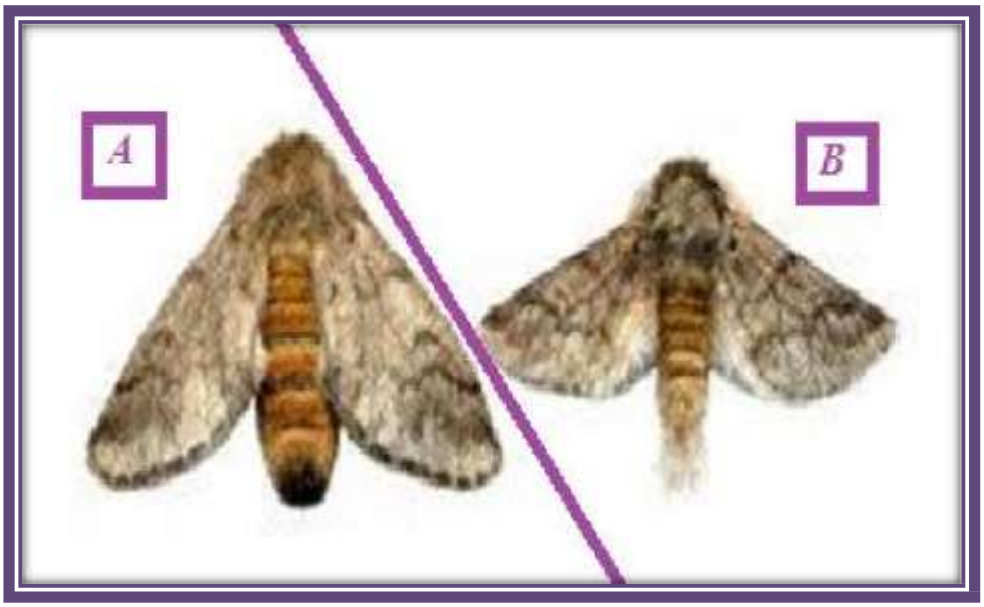


Figure 10 : (A) Papillon male et (B) papillon femelle *Thaumetopea pityocampa*.

Après un vol de quelques heures, les mâles, attirés par les phéromones sexuelles, recherchent leurs partenaires pour s'accoupler. Une fois l'accouplement effectué, les femelles, jusqu'alors inactives, volent en direction des arbres dont les silhouettes se découpent distinctement, manifestant une nette préférence pour les arbres isolés ou situés en crête. La femelle gravide sélectionne les arbres hôtes en fonction du diamètre et de la structure des aiguilles ou des rameaux, préférant principalement les aiguilles du pin noir. Ce n'est qu'en cas d'indisponibilité de ce dernier qu'elle se tourne vers d'autres espèces (Démolin, 1963).

À la recherche du site de ponte le plus propice, la femelle peut parcourir plusieurs kilomètres, ne déposant ses œufs sur d'autres essences que le pin qu'en ultime recours. Cela implique que, dans les plantations mélangées ou dispersées, les foyers d'infestation sont réduits, alors que les foyers de ponte sont significativement plus nombreux dans les peuplements homogènes de pins (Démolin, 1968).

La ponte

Habituellement, les papillons adultes de la processionnaire du pin, nocturnes, émergent au cours de l'été. Les femelles peuvent parcourir plusieurs kilomètres à la recherche d'un hôte approprié (DSF, 2011).

La femelle dépose tous ses œufs en une seule fois, formant un manchon autour de deux ou plusieurs aiguilles de pin, et plus rarement sur des rameaux du pin d'Alep. Les œufs sont immédiatement recouverts d'écailles beige-clair, conférant à la ponte une remarquable homochromie avec les bourgeons du pin (Démolin, 1968).



Figure 11 : La ponte de la *Thaumetopea pityocampa* sur pin d'Alep.

Le nombre d'œufs par ponte est indicatif des réserves accumulées durant l'évolution larvaire : de 70 dans le cas d'une population éprouvée, il peut atteindre environ 300 lorsque la dynamique de la population est particulièrement élevée (Démolin, 1968 ; Dajoz, 2000).

La phase larvaire

Les jeunes chenilles de la processionnaire du pin éclosent environ un mois après la ponte. Elles commencent par consommer l'épiderme des jeunes aiguilles proches du site de ponte, avant d'étendre leur activité à des bouquets d'aiguilles plus éloignés (Grison et al., 1959). Le développement larvaire de la processionnaire suit cinq stades, désignés par les sigles L1, L2, L3, L4 et L5 (Huchon et Démolin, 1970). Chaque stade est séparé par une mue, où les chenilles changent de peau.

Les jeunes colonies peuvent occuper jusqu'à cinq ou six emplacements différents, identifiables par le feuillage roussi. Durant ces stades, les chenilles ne construisent pas de nid dense mais sont protégées par un tissage lâche de fils de soie. À partir du troisième stade larvaire, le nid devient plus épais (Grison et al., 1959).

La durée moyenne de chaque stade larvaire est la suivante : 8 à 12 jours pour le stade ***L1***, 12 à 18 jours pour le stade ***L2***, 30 à 60 jours pour le stade ***L3***, et 30 à 60 jours pour les stades L4 et L5, selon les conditions climatiques. Les stades ***L4*** et ***L5*** peuvent montrer une grande variation dans leur durée de développement (Démolin, 1969 ; Montoya, 1981).

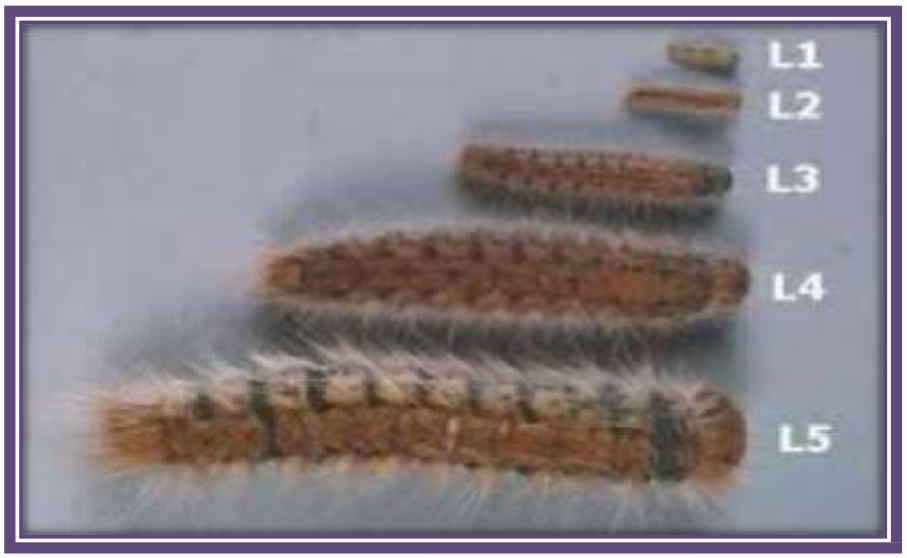


Figure 12 : Les différents stades larvaires de *Thaumetopea pityocampa.*

La durée des stades larvaires est fortement influencée par le climat, un hiver prolongé ralentissant particulièrement le développement au quatrième stade (Huchon et Démolin, 1970).

En Algérie, la durée du développement larvaire varie selon l'altitude. Pour les populations situées en altitude, cette période s'étend sur environ 10 mois, de août-septembre à avril-mai, tandis que pour les populations littorales, elle dure environ 6 mois, de octobre-novembre à fin janvier-début mars (Khemici et al., 1988).

D'un point de vue éthologique, le cycle de vie de la processionnaire se divise en deux périodes distinctes : la période ambulatoire, de l'éclosion aux premiers froids, et la période du nid d'hiver, pendant laquelle la colonie reste fixe jusqu'à la maturité des chenilles (Huchon et Démolin, 1970).

Période ambulatoire

Environ 30 à 45 jours après la ponte, généralement en septembre, les jeunes chenilles de stade L1 éclosent et tissent un léger réseau de soie sur les écailles du manchon. À ce stade, elles développent une forte attraction mutuelle, maintenue par des échanges tactiles répétés jusqu'à la période pré-nymphale (Huchon et Démolin, 1970).

Dès l'éclosion, les chenilles d'une même colonie restent ensemble en permanence. Tant que la température extérieure est suffisamment élevée (environ 20 °C en moyenne), la colonie change fréquemment d'emplacement, dévorant les aiguilles autour des lieux de rassemblement. Le signal des migrations successives, initialement déclenché par le manque de nourriture, devient progressivement lié à la baisse des températures automnales.

Les déplacements se font alors en direction du soleil, la colonie cherchant le meilleur emplacement pour construire le nid d'hiver, permettant de continuer leur développement à un rythme accéléré. Les chenilles laissent des traces de leurs tentatives infructueuses sous forme de légers tissages ou pré-nids, jusqu'à ce qu'elles choisissent l'emplacement définitif (Huchon et Démolin, 1970).

Le nid d'hiver

À l'arrivée des premiers froids, la colonie de chenilles de la processionnaire entreprend la construction d'un nid d'hiver pour se protéger des basses températures (Démolin, 1965). Une fois l'emplacement définitif du nid choisi, les chenilles coopèrent pour son architecture etson entretien régulier. La colonie ne quitte le nid que la nuit si la température dépasse 0 °C, afin de se nourrir et de participer au tissage. Elle profite ainsi de l'ensoleillement quotidien pour digérer sa récolte nocturne de manière optimale (Huchon et Démolin, 1970).

Le nid joue un rôle crucial en agissant comme un radiateur, absorbant les rayons du soleil pour augmenter sa température interne. Lorsque la température nocturne dépasse 0°C, les chenilles sortent du nid pour se nourrir (Hoch et al., 2009).



Figure 13 : Le nid d'hiver de *Thaumetopea pityocampa* (Photo original 2024).

Même en hiver, où l'ensoleillement compense la baisse de température diurne, les chenilles continuent presque inlassablement leurs prises alimentaires. Elles consacrent une grande partie de leur énergie à la sécrétion continue de soie pour l'entretien du nid, ainsi qu'à la constitution des réserves nécessaires pour les prochaines mues (Huchon et Démolin, 1970).

Ainsi, grâce à l'action combinée du soleil et du nid, les chenilles parviennent à passer au quatrième puis au cinquième stade larvaire, ne subissant que de légères interruptions de développement lors des périodes d'ensoleillement insuffisant ou de froid extrême (Huchon et Démolin, 1970).

Les processions

Si l'arrière-saison est suffisamment chaude et ensoleillée, il est possible que les chenilles achevent leur développement larvaire dès le début de l'hiver. Cependant, en règle générale, c'est généralement entre fin janvier et juin, en fonction des périodes d'émergence desadultes et de l'intensité de l'hiver, que les chenilles atteignent leur maturité.

À ce stade, elles quittent le nid pour entreprendre une procession au sol en file indienne, un comportement complexe dicté par une série de mécanismes sociaux. Cette migration entraîne toute la colonie vers les zones les plus exposées du biotope où elles s'enfouiront pour la phase de nymphose (Démolin et al., 1996).

Les déplacements au sol ne se produisent que lorsque la température est comprise entre 10 et 20 °C. En dessous de 10 °C, les chenilles restent en surface en formant des agrégations. Au-dessus de 20 à 22 °C, elles s'enterrent, et plus la température est élevée, plus elles creusent en profondeur. Si les températures lors des processions sont particulièrement élevées, les chenilles peuvent s'entererrer en périphérie des clairières voire même dans les sous-bois (Démolin et al., 1996).



Figure 14 : Procession au sol en file indienne.

La phase souterraine

I.2.4.3.2.1. La nymphose

Après s'être enfouie dans le sol, la chenille de la processionnaire du pin commence à tisser un cocon de nymphose autour d'elle-même, entamant ainsi sa transformation en chrysalide (Démolin, 1974).

La phase de nymphose débute environ quinze jours après l'enfouissement. Quelques jours plus tard, la chrysalide est entièrement formée, et son développement subit alors un arrêt presque complet, connu sous le nom de diapause, qui est largement indépendant des facteurs environnementaux (Huchon et Démolin, 1970).



Figure 15: Chrysalide male(A) et chrysalide femelle(B) de *Thaumetopea pityocampa.*

La diapause

La durée de la diapause est variable et correspond précisément à la durée totale nécessaire pour maintenir le rythme annuel de la processionnaire du pin. Ainsi, dans les régions où l'évolution larvaire est rapide, notamment en climats aux hivers chauds, la diapause est généralement plus longue, et vice versa (Démolin, 1969a).

Habituellement, la diapause dure environ 4 mois, mais elle peut se prolonger en cas de conditions environnementales défavorables (Démolin, 1974).

À la fin de la période de diapause, une intense activité métabolique reprend, marquant le début de la formation de l'adulte. Un mois plus tard, l'adulte est prêt à émerger du sol. Toutefois, il peut arriver que la température soit insuffisante (ou trop élevée) pour permettre cette reprise métabolique. Dans ce cas, la chrysalide entre en quiescence. Cela peut retarder la sortie de l'adulte, voire replonger l'organisme en diapause pour une durée d'une ou plusieurs années (Démolin, 1969a).

Calage du cycle

Par une adaptation progressive à l'échelle de toute une population, la date d'émergence des adultes de la processionnaire tend à coïncider avec la période la plus propice à la survie de leur descendance. Cette synchronisation est maintenue par la diapause, qui régule précisément le rythme annuel. La date de reprise du développement après la diapause, appelée date de calage du cycle, reflète donc le climat moyen des années précédentes et devrait théoriquementrester stable (Huchon et Démolin, 1970).

Cependant, d'une année à l'autre, le climat varie autour de cette moyenne. En cas de fluctuations importantes, la processionnaire peut ajuster les dates de calage dans les conditions les plus favorables en jouant sur le processus régulateur de la diapause, assurant ainsi la stabilité cyclique. En cas de prolongement anormal de l'hiver, l'évolution larvaire peut être tellement ralentie qu'il devient impossible pour les adultes d'émerger à la date prévue, même si la diapause est de durée nulle (Huchon et Démolin, 1970).

Les risques sanitaires

La Chenille processionnaire, dès son 3ème stade de développement, arbore des microstructures nommées "miroirs", abritant des poils urticants microscopiques, dissimulés dans sa peau. Lorsqu'elle perçoit une menace, elle projette ces poils dans l'air, qui peuvent être également dispersés sur de courtes distances par le vent (DÉMOLIN, 1964).

Chez l'homme, un contact direct avec les chenilles ou indirect avec leurs poils urticants véhiculés par le vent peut déclencher des démangeaisons plus ou moins sévères selon la sensibilité individuelle. Quatre modes d'exposition sont identifiés : le contact cutané, le contact oculaire, l'inhalation et l'ingestion. Quel que soit le mode d'exposition, ces poils urticants peuvent s'infiltrer dans l'épiderme ou les muqueuses pour libérer leur substance irritante.

La gravité des symptômes varie en fonction de l'intensité de l'exposition, de la voie d'entrée et de la sensibilité individuelle. Les manifestations cliniques peuvent se traduire par des irritations cutanées sur les mains, les bras, le visage ou le cou, des affections oculaires comme la conjonctivite, des troubles respiratoires tels que des éternuements et des maux de gorge, ainsi que des troubles digestifs avec une inflammation des muqueuses de la bouche et des intestins (DÉMOLIN, 1964).



Figure 16 : Trouble cutané causé par contacte avec chenille processionnaire.

Méthodes de luttes et Facteurs de régulation populations de la processionnaire dupin

La stratégie de lutte contre la Chenille processionnaire du pin ne vise pas à éradiquer entièrement l'infestation, mais plutôt à protéger les jeunes peuplements tout en maintenant les populations de ravageurs à un niveau compatible avec les activités humaines. Cette stratégie se déploie à travers quatre approches principales : la lutte biologique, mécanique, chimique et sylvicole, sélectionnées en fonction de l'étendue de l'infestation et des stades de développement visés.



Figure 17 : Forêt défoliée par *Thaumetopea pityocampa* (photo originale 2024).

Diverses techniques sont ainsi déployées pour réguler les populations de la Chenille processionnaire du pin :

- **Lutte mécanique**

Bien que son utilisation soit peu répandue en termes de surface traitée, la méthode de récolte des pontes est largement adoptée pour les arbres isolés, les parcs ou les jardins où les densités de chenilles sont faibles. Cette intervention consiste à collecter les pontes en été, avant l'éclosion des œufs. Ces derniers sont reconnaissables grâce à leur chaton gris caractéristique à l'extrémité des rameaux, souvent situés sur les branches basses de l'arbre. L'opération implique la coupe des branches infectées, suivie de leur incinération.

À la fin de l'été, lorsque les pré-nids apparaissent et que la construction des nids d'hiver débute, la même méthode peut être appliquée en coupant les branches infectées avec un sécateur et en les brûlant. Cette approche s'avère très efficace car elle permet la destruction complète des nids. Cependant, sa mise en œuvre peut être délicate, surtout pour les nids situésà des hauteurs importantes sur les grands arbres.

- **Lutte chimique**

Actuellement, son utilisation se réduit à des interventions de petite envergure ou de correction. L'insecticide souvent utilisé dans ces situations est généralement formulé à base de Diflubenzuron, un régulateur de croissance qui perturbe le processus de mue des larves.

- **La lutte sylvicole**

L'adoption de pratiques sylvicoles consistant à introduire des variétés d'arbres insensibles à l'insecte ciblé représente une stratégie efficace pour lutter contre la processionnaire du pin. En favorisant la diversité des espèces dans les forêts, cette méthode renforce la résilience de l'écosystème et réduit sa vulnérabilité aux attaques de ravageurs tels que la processionnaire du pin.

Les peuplements forestiers diversifiés, où différentes espèces d'arbres cohabitent, sont généralement moins affectés par les ravageurs que les peuplements monospécifiques, car ils créent un environnement moins propice à la prolifération d'une seule espèce d'insecte nuisible. De plus, cette diversification favorise la présence naturelle d'un cortège parasitaire, constitué de prédateurs ou de parasites des insectes nuisibles, ce qui contribue à réguler leurs populations de manière naturelle.

Cette approche s'inscrit dans une gestion forestière durable et respectueuse de l'environnement, en limitant ou en évitant le recours aux pesticides ou à d'autres méthodes de lutte plus invasives. Elle met en avant le rôle crucial de la biodiversité dans le maintien de la santé des écosystèmes forestiers.

- **La prédation par les mésanges**

L'utilisation des mésanges pour contrôler les populations de processionnaires du pin est une méthode de lutte biologique efficace et respectueuse de l'environnement. Les mésanges se

nourrissent volontiers des chenilles processionnaires, contribuant ainsi à réduire leur nombre sans recourir à des produits chimiques.

En fournissant des nichoirs adaptés, on peut encourager les mésanges à s'installer dans les zones où les processionnaires du pin sont un problème. Ces nichoirs offrent aux oiseaux un habitat sûr pour nicher et élever leurs jeunes, ce qui augmente leur présence dans la région.

Cette approche présente de nombreux avantages, notamment la réduction de l'utilisation de pesticides, la préservation de l'équilibre écologique et la promotion de la biodiversité. Elle illustre également comment les interactions entre différentes espèces peuvent être utilisées de manière constructive pour résoudre des problèmes environnementaux.

- **La lutte microbiologique**

L'emploi d'insecticides biologiques à base de Bacillus thuringiensis est aujourd'hui largement répandu dans la lutte contre la processionnaire du pin, couvrant presque la totalité des surfaces traitées.

Cette bactérie, Gram positif, synthétise des toxines insecticides principalement durant sa phase de sporulation. Ces toxines, ingérées par les chenilles au contact du feuillage traité, entraînent leur mortalité. Bien que traditionnellement utilisé pour cibler les premiers stades larvaires, des recherches suggèrent son efficacité contre les stades ultérieurs.

Les applications aériennes de ce traitement se réalisent de préférence avant la formation des processions, entre décembre et février. Respectueuse de l'environnement, cette méthode se distingue par son impact résiduel limité et sa spécificité d'action.

- **Lutte par l’utilisation des phéromones sexuelles**

La phéromone est un outil crucial dans la lutte contre la processionnaire du pin. Elle est utilisée en la diffusant à l’intérieur de pièges pour capturer massivement les mâles de cette espèce, permettant ainsi de contrôler leur population.

De plus, elle est également employée pour surveiller l'évolution des populations de manière précise. Une autre méthode consiste à diffuser la phéromone sans piège afin de perturber la communication sexuelle des insectes.

Cette stratégie de confusion sexuelle réduit les chances de reconnaissance de la femelle par le mâle, entraînant ainsi une diminution des femelles fécondées et, par conséquent, une réduction significative de la descendance de la processionnaire du pin.

PARTIE EXPERIMRNTALE

II. Matériel et méthodes

Etude de site d'échantillonnage

II.1 .1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Médéa, située au centre-nord de l'Algérie, est entourée par les wilayas de Blida, Bouira, Djelfa, Tissemsilt et Aïn Defla. Elle couvre une superficie d'environ 8 700 km². Le climat de Médéa est méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, avec des chutes de neige possibles sur les hauteurs en hiver. Médéa bénéficie d'une riche couverture forestière, comprenant des forêts de chênes-lièges, de chênes verts et de pins d'Alep. Ces forêts jouent un rôle crucial dans la protection de l'environnement et la préservation de la biodiversité.



Figure18 : Les limites géographiques de la région de Médéa.

Présentation de la zone d'Ain Boucif

La commune d'Ain Boucif est située dans l'extrême nord des hautes plaines centrales de l'Algérie, précisément au piémont sud de l'Atlas tellien, dans la région des monts de Titteri. Cette localisation stratégique offre une vue panoramique sur les montagnes environnantes, contribuant ainsi à la beauté naturelle de la région. Ain Boucif se trouve à environ 154 km au sud d'Alger, la capitale de l'Algérie, et à 80 km au sud-est de Médéa, chef-lieu de la wilaya du même nom.

- **Localisation géographique détaillée :**

- **Au Nord** : La commune est bordée par Souagui et Roubia, deux communes voisines qui partagent des interactions sociales et économiques avec Ain Boucif.
- **Au Sud** : Elle est délimitée par la commune de Birine, une région connue pour ses activités agricoles et ses paysages ruraux.
- **À l'Ouest** : Ain Boucif est voisine de la commune de Ksar El Bokhari, une zone avec une riche histoire et un patrimoine culturel significatif.
- **À l'Est** : La commune est limitée par Charel et El Adhaoura, une région caractérisée par ses reliefs variés et sa biodiversité.

- **Superficie et population :**

- **Superficie** : La commune s'étend sur une vaste superficie de 83 541 hectares, englobant divers paysages, des terres agricoles aux zones résidentielles et commerciales.
- **Population** : Selon les données de 2014, Ain Boucif compte une population de 48 927 habitants. Cette population est répartie entre les différents quartiers et villages de la commune, constituant une communauté diverse et dynamique.

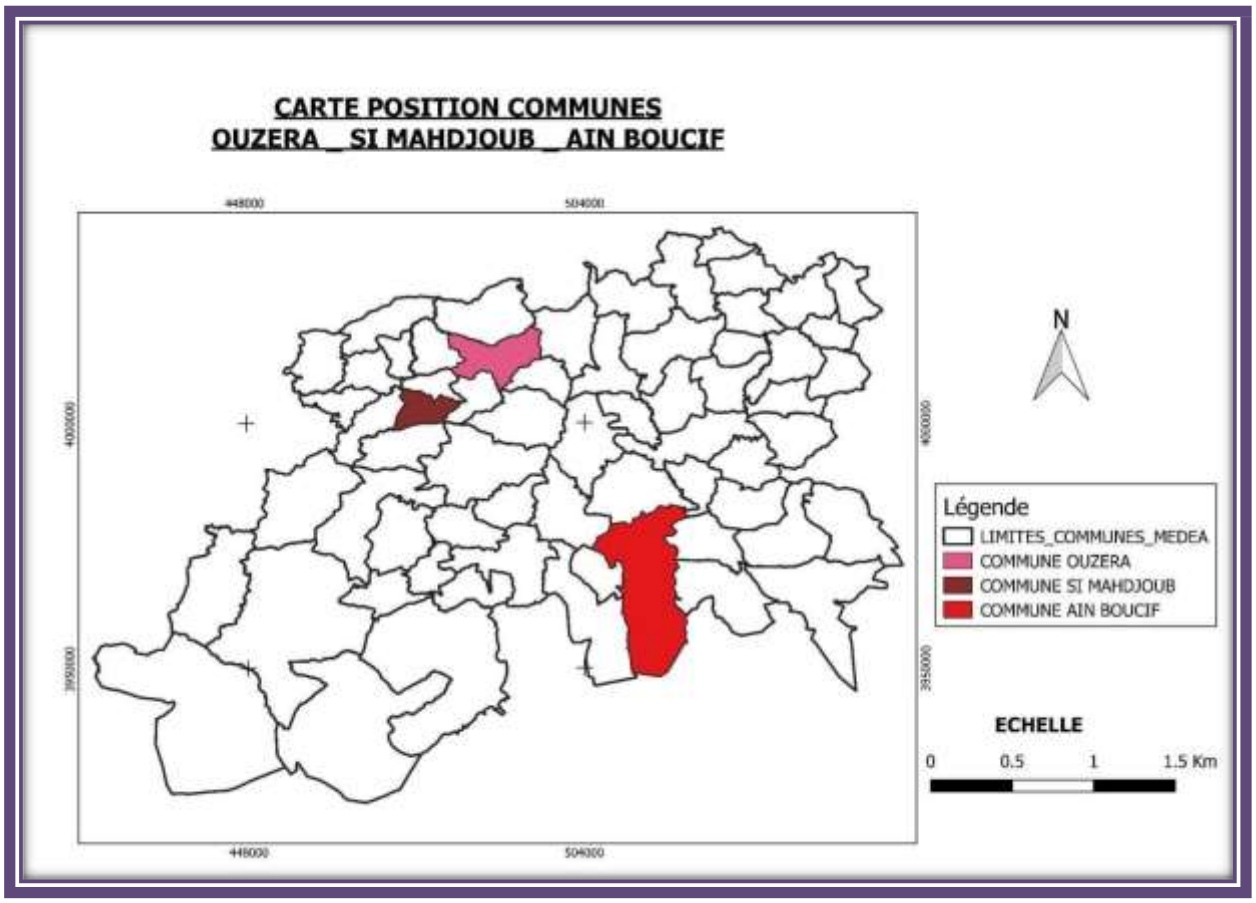


Figure 19 : carte des communes de la wilaya de Médéa.

Les reliefs de la zone d'Ain Boucif

La région d'Ain Boucif présente un relief diversifié, marqué par deux ensembles topographiques distincts qui contribuent à la richesse géographique de la région :

- **Relief au Nord**

- Cette zone est très accidentée, caractérisée par la présence de plusieurs horizons rocheux à fortes inclinaisons.
- Les altitudes varient considérablement, allant de 1000 mètres à plus de 1381 mètres, avec des points culminants comme Kaf Lakhdar atteignant jusqu'à 1467 mètres.
- Au cœur de cet ensemble physique, on trouve deux vallées dont les altitudes sont inférieures à 1000 mètres, offrant des paysages contrastés et pittoresques.

- **Relief au Sud**

- Au contraire du Nord, cette partie de la région présente un relief vaste et relativement homogène.
- Les altitudes sont plus modérées, oscillant entre 750 mètres et 900 mètres, avec des pentes douces qui diminuent progressivement en direction du Sud.
- Le terrain se compose d'une assise géologique variée : des grès et des marnes dans la partie Nord, tandis que la partie Sud est constituée de marnes, de grès et d'alluvions marno-calcaires.

- **Contexte géologique**

La diversité géologique de la région d'Ain Boucif contribue à sa richesse naturelle et à la variété des paysages qu'elle offre. Les formations rocheuses, les vallées, et les reliefs montagneux offrent des habitats variés pour la flore et la faune locale. De plus, ces caractéristiques géologiques influent sur les activités humaines de la région, notamment l'agriculture, en déterminant la fertilité des sols et les techniques culturales adaptées.

En somme, le relief varié de la région d'Ain Boucif offre un spectacle naturel remarquable, alliant des panoramas montagneux spectaculaires au Nord à des paysages plus doux et étendus au Sud, le tout façonné par des millions d'années d'activité géologique.

Sol d'Ain Boucif

Le sol d'Ain Boucif constitue un milieu de culture essentiel, composé d'humus et de matières minérales favorisant le développement d'une multitude de micro-organismes indispensables à la vie de la flore et de la faune locales (Cazalas et Dellattre, 1994).

- **Partie Nord** : Principalement composée de conglomérats et de marnes, avec quelques traces d'argiles et de schistes. Ce type de sol offre des caractéristiques spécifiques qui influent sur les activités agricoles et sur la biodiversité de la région.
- **Partie Sud** : On y trouve principalement des alluvions et du sable, avec une croute calcaire. Cette composition géologique différente présente des défis distincts en termes d'utilisation des terres et de conservation de l'environnement.

Faune d'Ain Boucif

La région d'Ain Boucif abrite une diversité remarquable d'espèces animales, dont :

- **Mammifères** : On y trouve des espèces telles que le loup d'Europe, l'hérisson, le lièvre, et le lapin de garenne, entre autres. Ces animaux jouent un rôle crucial dans l'équilibre écologique de la région.
- **Oiseaux** : La région est également le foyer de diverses espèces aviaires, notamment la mésange charbonnière, la mésange bleue, et la cigogne blanche, qui trouvent refuge dans les habitats naturels variés de la région.
- **Autres animaux** : En plus des mammifères et des oiseaux, on trouve également divers reptiles, batraciens, et mollusques qui contribuent à la richesse de la faune locale.

Couvert végétal d'Ain Boucif

La région d'Ain Boucif est confrontée à des risques de désertification, en particulier dans sa partie sud. Cette zone steppique dégradée abrite cependant une variété de formations végétales, comprenant notamment :

- **Pin d'Alep** : Cette espèce arbustive est prédominante dans la région, jouant un rôle crucial dans la stabilisation des sols et la préservation de l'écosystème.
- **Chêne vert, cyprès, genévrier** : Ces espèces contribuent à la biodiversité locale en fournissant habitats et nourriture à de nombreuses espèces animales.
- **Végétation basse** : Les sous-bois sont caractérisés par des espèces telles que Stipa tenacissima, Asphodèle, Atriplex, Medicago, qui constituent une source importante de fourrage pour le bétail et de refuge pour la faune locale.

En résumé, le sol, la faune, et le couvert végétal d'Ain Boucif présentent une diversité remarquable, témoignant de l'importance de préserver cet écosystème fragile et de promouvoir des pratiques durables de gestion des ressources naturelles.

Climat

Le climat de Médéa se démarque grâce à divers éléments, tels que :

- Son altitude qui atteint 1240 mètres au-dessus du niveau de la mer (sommet de Benchicao).

-Son emplacement sur les montagnes de l'Atlas tellien.

- Sa sensibilité aux vents et aux vagues provenant de l'Ouest.

Températures

La région se caractérise par un climat avec des étés chauds et des hivers froids. Les températures varient de 7 °C en janvier, le mois le plus froid, à 27 °C en juillet, le mois le plus chaud, avec une température moyenne annuelle de 20 °C. Ces données, enregistrées par la station de Médéa entre 1994 et 2013, illustrent bien les fluctuations saisonnières typiques de la région.

Vitesse du vent

Les vents à Médéa présentent des variations de vitesse selon les saisons. Durant les mois de septembre, octobre, mai, juin, juillet et août, les vitesses des vents fluctuent entre 1,4 m/s et 1,6 m/s. En revanche, de décembre à avril, la vitesse moyenne des vents augmente légèrement pour atteindre 1,8 m/s. Ces variations saisonnières des vitesses de vent ont des implications significatives sur le climat local et les activités humaines. Par exemple, les périodes de vents plus faibles, généralement observées en été et au début de l'automne, peuvent entraîner une accumulation de chaleur, augmentant ainsi la température ressentie et potentiellement exacerbant les périodes de sécheresse. En contraste, les vents plus forts durantles mois d'hiver et du début du printemps contribuent à une plus grande dispersion de l'air froid, ce qui peut influencer les microclimats locaux et les conditions de culture.

De plus, la connaissance de ces variations est essentielle pour divers secteurs, notamment l'agriculture, où les vitesses de vent affectent la pollinisation des cultures et l'évapotranspiration. Elle est également cruciale pour les infrastructures, car les vitesses de vent influencent la conception des bâtiments et des systèmes de transport.Selon l'Office National de la Météorologie d'Alger (2016), une compréhension détaillée de ces dynamiques éoliennes permet d'optimiser la planification environnementale et de renforcer la résilience des communautés locales face aux variations climatiques.

Evaporation

L'évaporation, un processus essentiel pour maintenir l'équilibre hydrique au niveau local, est mesurée en millimètres par mois. Les taux d'évaporation présentent des variations saisonnières significatives, atteignant leur maximum en juin et juillet, avec des valeurs

mensuelles respectives de 226,1 mm et 226,17 mm. Sur l'ensemble de l'année, l'évaporation totale s'élève à 1271,2 mm. Ces données sont cruciales pour la gestion des ressources en eau et la planification environnementale, permettant aux autorités et aux gestionnaires de l'eau de prendre des décisions éclairées sur l'utilisation et la conservation de l'eau. Selon une étude de l'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA), ces variations d'évaporation sont influencées par des facteurs climatiques tels que la température, l'humidité relative et la vitesse du vent, qui doivent être pris en compte dans la gestion des bassins versants et des systèmes d'irrigation (IRSTEA, 2023).

Humidité de l'air

L'humidité relative constitue un autre facteur essentiel pour la compréhension du climat de Médéa. Les données révèlent que l'humidité relative moyenne annuelle est de 68 %, avec des variations mensuelles significatives. En hiver, l'humidité est généralement plus élevée, atteignant un pic de 83 % en décembre, tandis qu'en été, elle baisse considérablement, atteignant un minimum de 47 % en juillet. Ces informations sont cruciales pour l'étude des conditions de croissance des plantes et les dynamiques des écosystèmes locaux. Selon un rapport de l'Office National de la Météorologie d'Alger (2016), ces variations saisonnières de l'humidité relative jouent un rôle déterminant dans le développement et la résilience des végétations locales ainsi que dans la gestion des écosystèmes naturels et agricoles.

les stations d'études

Description des stations choisis pour cette étude

L'histoire et la diversité de la végétation d'Ain Boucif remontent à plusieurs millénaires, façonnées par des facteurs climatiques, géologiques, le résultat d'une histoire complexe d'interaction entre l'homme et la nature, Pour fournir une description détaillée des différentes stations d'Ain Boucif, il est essentiel de préciser leur situation géographique, leurs caractéristiques bioclimatiques, leurs altitudes, leurs superficies, et leurs coordonnées géographiques. Voici les informations demandées pour chacune des stations :

- **Station Kef El Masker**

- **Exposition** : Principalement orientée vers le nord-est.
- **Étage bioclimatique** : Semi-aride avec une tendance à l'aridité vers les altitudes plus élevées.
- **Altitude** : Environ 1 200 mètres.
- **Superficie** : Environ 1 800 hectares.
- **Coordonnées** : Longitude 3.2°E, Latitude 36.0°N.



Figure 20: Station Kef El Masker (photo original 2024).

➢ **Station El Gharbia**

- **Exposition** : Généralement exposée au nord-ouest.
- **Étage bioclimatique** : Semi-aride, avec des influences méditerranéennes.
- **Altitude** : Environ 850 mètres.
- **Superficie** : Environ 2 500 hectares.
- **Coordonnées** : Longitude 3.1°E, Latitude 36.1°N.



Figure 21 : Station El Gharbia (photo original 2024).

➢ **Station Ain El Barda**

- **Exposition** : Généralement orientée au sud-ouest.
- **Étage bioclimatique** : Semi-aride, avec des zones localisées plus humides.
- **Altitude** : Environ 750 mètres.
- **Superficie** : Environ 2 200 hectares.
- **Coordonnées** : Longitude 3.4°E, Latitude 35.8°N.



Figure 22 : Station Ain El Barda (photo original).

- **Station Matheu**

- **Exposition** : Principalement orientée au nord-ouest.
- **Étage bioclimatique** : Semi-aride, avec des influences méditerranéennes plus prononcées.
- **Altitude** : Environ 950 mètres.
- **Superficie** : Environ 2 700 hectares.
- **Coordonnées** : Longitude 3.5°E, Latitude 35.7°N.



Figure 23 : Station Matheu (photo original 2024).

- **Station Si El Mahdjoub**

- **Exposition** : Orientée au sud-est.
- **Étage bioclimatique** : Aride à semi-aride, influencé par l'altitude.
- **Altitude** : Environ 900 mètres.
- **Superficie** : Environ 3 000 hectares.
- **Coordonnées** : Longitude 3.3°E, Latitude 35.9°N.



Figure 24 : Station Si El Mahdjoub (photo original 2024).

Les stations présentent des variations significatives en termes de bioclimat, d'altitude, et de superficie. Elles sont situées à des altitudes plus élevées comme Kef El Masker tendent à être plus arides, tandis que celles à des altitudes moyennes, comme El Gharbia et Si El Mahdjoub, présentent un climat semi-aride. Les expositions variées influencent également les conditions locales de chaque station, avec des orientations nord-ouest favorisant des conditions légèrement plus humides en raison des influences méditerranéennes d'ou le choix de ces dernières.

II.2.2 Axes principaux de notre étude

L'étude vise à estimer le taux d'infestation et l'abondance moyenne des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopea pityocampa*) ainsi que leur répartition sur les arbres de *Pinus halepensis*. La recherche a été menée dans plusieurs stations situées à Médéa, notamment à Ain Boucif. Les principaux objectifs de cette étude incluent :

a) Exploitation des données : Les résultats des dénombrements des nids d'hiver ont été analysés en fonction de l'altitude des stations :

- Station El Gharbia : 810 m.
- Station Ain El Barda : 1090 m.
- Station Kaf El Masker: 1200 m.

b) Répartition des nids : La distribution des nids d'hiver a été étudiée en fonction de l'exposition et de leur position sur les arbres, dans les stations suivantes :

- Station El Gharbia
- Station Kef El Masker
- Station Ain El Barda
- Station Si El Mahdjoub
- Station Matheu

c) Analyse fréquentielle : Une analyse fréquentielle des nombres de nids a été réalisée pour chaque station prospectée, permettant d'identifier des tendances et des variations dans la densité des nids en fonction des caractéristiques des stations.

Cette approche permet de déterminer des patterns écologiques et d'évaluer les facteurs environnementaux influençant l'infestation par la chenille processionnaire du pin.

Méthodologie Adoptée

II.3.1.Dénombrement des Nids d'Hiver

La quantification des nids de la processionnaire du pin (*Thaumetopea pityocampa*) a été réalisée en avril (du 01jusqu'au 18), période durant laquelle les nids sont pleinement développés et bien structurés.

Nous avons adopté une méthode d'échantillonnage systématique, couramment utilisée dans les inventaires forestiers. Cette méthode consiste à sélectionner au hasard le premier élément d'une série d'unités d'échantillonnage, puis à prélever systématiquement les éléments suivants selon un intervalle constant (Tahri, 2013).

Dans notre étude, nous avons considéré un arbre sur deux, pour un total de 50 arbres.. Des fiches de station spécifiques ont été utilisées pour cette opération.

Un comptage précis des nids a été effectué à chaque niveau de l'arbre, selon leur exposition:

-Niveau 1 : la partie basale de l'arbre.

-Niveau 2 : la partie médiane de l'arbre.

-Niveau 3: la partie apicale de l'arbre.

Méthodes d'Analyse Statistique

Plusieurs méthodes d'analyse biométrique ont été employées pour obtenir des informations sur la stratégie de distribution des nids d'hiver.

Analyse Descriptive

L'analyse descriptive comprend un ensemble de méthodes destinées à décrire les unités statistiques composant une population. Son objectif principal est de fournir des informations quantitatives et qualitatives pour faciliter la comparaison et la présentation des données observées. Cette analyse repose sur des calculs effectués pour chaque variable, notamment les moyennes, les écarts-types et les coefficients de variation. Les analyses ont été réalisées à l'aide des logiciels Excel et Statistica.

Distribution Fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode pratique pour décrire une population ou un échantillon en procédant à une distribution de fréquence. Elle vise à caractériser les populations globalement et à présenter les données sous une forme synthétique, sans perdre l'essentiel de l'information. Les données sont triées et regroupées en un nombre limité de classes. La distribution doit idéalement suivre une loi normale pour garantir la fiabilité des résultats.

Analyse de la Variance (ANOVA)

L'ANOVA a pour but de tester les différences significatives entre les moyennes de plusieurs groupes. Des analyses à un facteur ont été effectuées pour examiner l'effet d'un facteur contrôlé, avec différentes modalités, sur les moyennes d'une variable quantitative (Dagnelie, 2007).

RESULTATS ET DISCUSSION

III .Résultats et discussion

Exploitation des résultats des dénombrements des nids d'hiver de la *Thaumetopoea pityocampa* en fonction de l'altitude

Description et Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est d'analyser la distribution des nids d'hiver de la processionnaire Thaumetopoea pityocampa en fonction de l'altitude. En particulier, l'étude cherche à déterminer comment le nombre de nids par arbre varie dans trois zones situées à différentes altitudes : El Gharbia (810 m), Ain El Barda (1090 m), et Kaf Maaskar (1200 m).

Méthodologie

1. **Dénombrement des nids** : Les nids d'hiver ont été comptés sur 50 arbres dans chacune des trois zones d'étude.
2. **Calcul des statistiques** : Les statistiques descriptives telles que la somme, la moyenne, le minimum, le maximum et l'écart-type du nombre de nids par arbre ont été calculées pour chaque zone.
3. **Analyse comparative** : Les résultats ont été comparés entre les différentes altitudes pour identifier des tendances ou des variations significatives.

Calcul de l'écart-type

Pour calculer l'écart-type (σ\sigmaσ), nous suivons les étapes suivantes :

1. Calculer la moyenne.
2. Soustraire la moyenne de chaque point de données pour obtenir la déviation de chaque point par rapport à la moyenne.
3. Élever chaque déviation au carré.
4. Calculer la moyenne de ces carrés des déviations pour obtenir la variance.
5. Prendre la racine carrée de la variance pour obtenir l'écart-type.

Formules

1. Variance (σ2\sigma^2σ2) = 1N∑(xi−μ)2\frac{1}{N} \sum (x_i - \mu)^2 N1∑(xi−μ)2
2. Écart-type (σ\sigmaσ) = σ2\sqrt{\sigma^2}σ2

Où :

- NNN est le nombre de données (Effectif d'arbres).
- xix_ixi est chaque point de données.
- μ\muμ est la moyenne.

Résultats

Tableau VII : Nombre des nids d'hiver en fonctions de l'altitude de la station d'étude.

Variables	**ElGharbia 810 m**	**Ain El Barda 1090 m**	**Kaf El Masker 1200 m**
Effectif d'arbres	50	50	50
Somme	337	413	140
Moyenne	6.74	8.26	3.00
Minimum	1	5	1
Maximum	13	12	6
Écart-type	1.14	0.88	1.04

Résultats des écarts-types calculés

Voici les écarts-types calculés pour chaque site d'étude :

- ElGharbia (810 m) : σ ≈ 1,14
- Ain El Barda (1090 m) : σ ≈ 0,88
- Kaf El Masker (1200 m) : σ ≈ 1,04

Et voici les moyennes de densité de nids par arbre pour chaque site, accompagnées de leurs écarts-types respectifs :

- ElGharbia (810 m) : Moyenne de 6,74 nids par arbre avec un écart-type de 1,14.
- Ain El Barda (1090 m) : Moyenne de 8,26 nids par arbre avec un écart-type de 0,88.
- Kaf El Masker (1200 m) : Moyenne de 3,00 nids par arbre avec un écart-type de 1,04.

Analyse des résultats et Comparaison des moyennes

Les résultats montrent que l'altitude a une influence notable sur la densité des nids d'hiver. Ain El Barda (1090 m) présente le plus grand nombre moyen de nids par arbre, ce qui suggère que cette altitude offre des conditions optimales pour la construction des nids. En revanche, Kaf El Masker (1200 m) présente le nombre moyen de nids le plus bas, indiquant des conditions moins favorables.

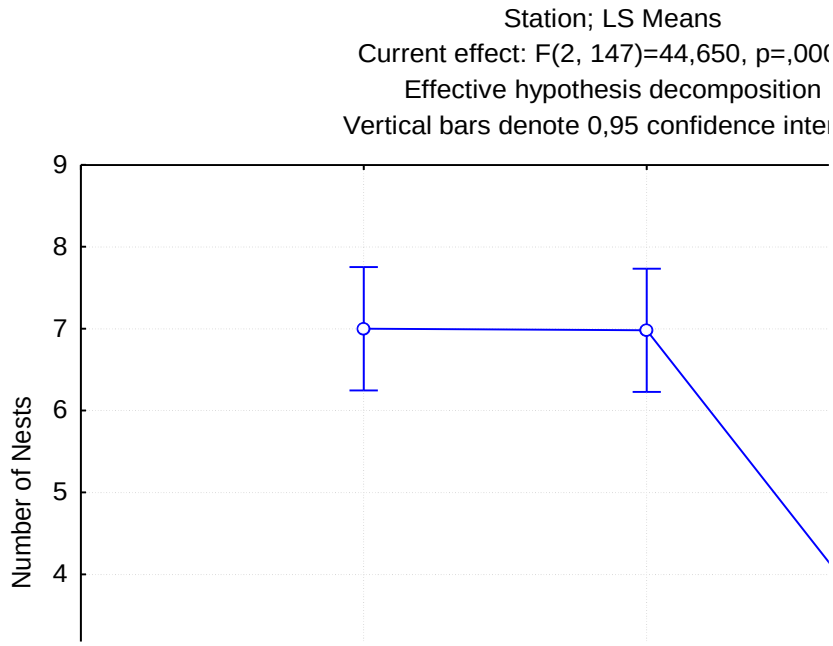


Figure 23 : Comparaison des moyennes des nids en fonction de l'altitude des stations d'étude.

Le graphique présenté met en évidence une corrélation significative entre l'altitude et le nombre de nids observés, avec une valeur de p très faible (p = 0,00000), ce qui indique une relation statistiquement significative. Cette corrélation suggère que l'altitude joue un rôle déterminant dans la distribution ou le nombre de nids présents pendant la saison hivernale.

En d'autres termes, il semble que plus l'altitude est élevée, plus il y a une tendance à observer un nombre plus élevé de nids. Cette observation pourrait avoir des implications importantes pour la compréhension des facteurs qui influent sur la nidification des espèces en hiver.

La densité moyenne des nids par arbre varie significativement selon l'altitude des sites étudiés. Ain El Barda (1090 m) affiche la plus haute densité avec 8,26 nids par arbre, indiquant des conditions potentiellement optimales pour la nidification de *Thaumetopoea pityocampa.* À ElGharbia (810 m), la densité moyenne est légèrement inférieure à celle d'Ain El Barda, atteignant 6,74 nids par arbre. En revanche, Kaf El Masker (1200 m) présente la densité moyenne la plus basse, seulement 3,00 nids par arbre. L'écart-type des densités de nids, reflétant la dispersion des données autour de la moyenne, révèle une variabilité modérée à élevée dans chaque région. À Ain El Barda, l'écart-type est de 0,88, suggérant une distribution relativement concentrée des nids autour de la moyenne.

À ElGharbia, l'écart-type est de 1,14, indiquant une variabilité modérée, tandis qu'à Kaf Lakhdar, malgré une moyenne plus basse, l'écart-type est de 1,04, témoignant d'une certaine dispersion des données. La corrélation entre l'altitude et la densité des nids est notable. Ain El Barda, situé à 1090 mètres, présente la densité la plus élevée, suggérant une altitude favorable à la nidification. ElGharbia (810 m) affiche une densité modérée, suggérant une propension similaire, bien que légèrement moindre que celle d'Ain El Barda. Kaf El Masker (1200 m) présente la densité la plus basse, suggérant une altitude moins favorablepour la nidification.

Nos résultats corroborent les conclusions des recherches antérieures. Par exemple, l'étude menée par Battisti et al. (2000) a souligné l'importance critique des altitudes intermédiaires dans le processus de nidification de Thaumetopoea pityocampa. Leurs résultats ont mis en lumière la propension de cette espèce à privilégier des altitudes spécifiques pour la construction de ses nids. De même, les travaux de Roques et al. (2006) ont mis en évidence l'influence significative de l'altitude sur la densité des populations de processionnaires. Leur recherche a démontré que les variations altitudinales peuvent avoir un impact considérable sur la distribution spatiale de ces insectes.

Notre étude confirme la prédominance de l'altitude dans la densité des nids d'hiver de Thaumetopoea pityocampa. Les observations mettent en évidence la propension de cette espèce à sélectionner des altitudes intermédiaires, telles que celles observées à Ain El Barda, pour la nidification. Ce choix écologique peut être lié à des conditions climatiques et environnementales spécifiques qui favorisent la survie et la reproduction de l'espèce. En outre, la convergence de nos résultats avec les recherches antérieures renforce l'idée d'une corrélation intrinsèque entre l'altitude et l'écologie de *Thaumetopoea pityocampa*.

Ces constatations revêtent une importance capitale pour la gestion et la préservation des écosystèmes forestiers affectés par la processionnaire du pin. Comprendre les préférences écologiques de cette espèce en termes d'altitude permet de mieux anticiper ses impacts et de développer des stratégies de gestion plus efficaces. En intégrant ces connaissances dans les politiques de conservation, il est possible de mieux protéger les écosystèmes forestiers et de minimiser les dommages causés par cette espèce nuisible.

- ✓ **Test de Newman-Keuls**

Tableau VIII: Résultats du Test de Newman-Keuls sur les hauteurs des arbres au niveau des trois stations.

Newman-Keuls test; variable Number of Nests Approximate Probabilities for PostHoc Tests Error:Between MS=7,2596,df=147,00			
Station	**{1}**	**{2}**	**{3}**
El Gharbia 810m **{1}**		0,970397	0,000022
Ain Barda 1090m **{2}**	0,970397		0,000009
Kaf Masker 1200m**{3}**	0,000022	0,000009	

L'étude a été menée pour évaluer la hauteur des arbres dans trois stations différentes, à savoir El Gharbia (altitude de 810 mètres), Ain Barda (altitude de 1090 mètres) et Kaf Masker (altitude de 1200 mètres). Des mesures de la hauteur des arbres ont été prises dans chaque station. Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour comparer les moyennes de hauteur des arbres entre les trois stations.

La comparaison des moyennes par ANOVA a révélé une différence significative dans la hauteur des arbres parmi les trois stations étudiées. Le test de Newman-Keuls a permis de situer cette variabilité entre les stations, indiquant une différence notable entre elles. Cette variabilité peut être expliquée par les différences d'âge des plantations. Pour les stations 1 et 2, on note une proximité de l'âge des deux peuplements.

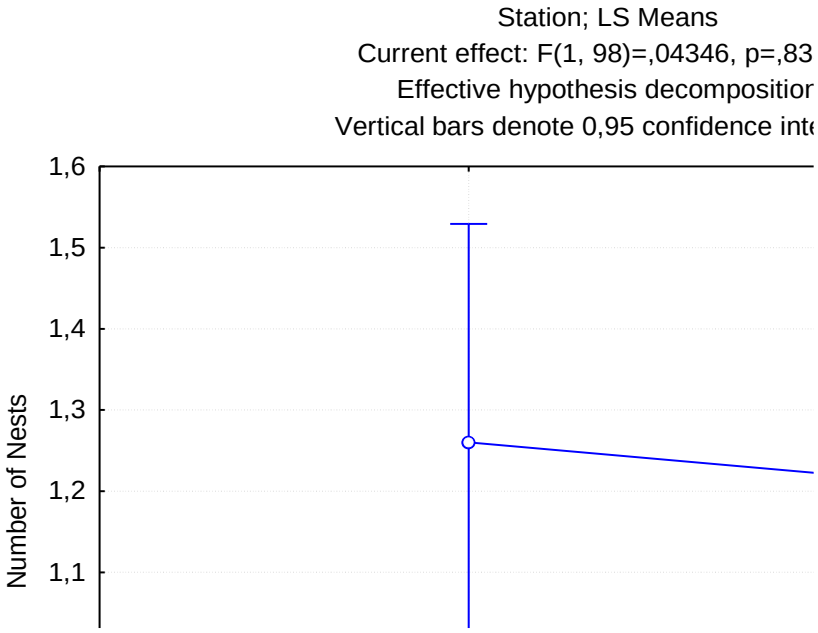


Figure 24 : résultats du Test de Newman-Keuls de comparaison des moyennes des nids en fonction de l'altitude des stations d'étude.

Le graphique présenté dépeint la relation entre l'altitude et le nombre de nids observés. Les résultats de l'analyse statistique révèlent l'absence de différence significative (p = 0,83530) entre les stations d'El Mahjoub et de Matheu, selon le test de comparaison de moyennes approprié. Cette constatation indique que la densité de nids demeure constante indépendamment de l'élévation. En d'autres termes, il n'y a pas de variation statistiquement significative du nombre de nids en fonction de l'altitude.

Ces résultats suggèrent que l'altitude n'a pas d'impact notable sur la répartition ou la quantité des nids pendant la période hivernale dans les stations d'El Mahjoub et de Mathu. Cette observation pourrait indiquer que d'autres facteurs environnementaux ou écologiques, tels que la disponibilité des ressources alimentaires ou la présence de prédateurs, peuvent jouer un rôle plus prépondérant dans la sélection des sites de nidification pour les espèces aviaires étudiées.

Dans le cadre de l'analyse statistique, la valeur de p élevée (p = 0,83530) souligne le manque de différence significative entre les moyennes des deux stations, ce qui renforce la robustesse des conclusions tirées de cette étude.

En conclusion L'étude a révélé que la densité moyenne des nids d'hiver de la processionnaire Thaumetopoea pityocampa varie selon l'altitude, avec Ain El Barda (1090 m) affichant la densité la plus élevée à 8,26 nids par arbre (écart-type de 0,88), suivie d'El Gharbia (810 m) avec 6,74 nids par arbre (écart-type de 1,14), et enfin Kaf El Masker (1200 m) avec seulement 3,00 nids par arbre (écart-type de 1,04). Cette tendance indique que l'altitude intermédiaire à Ain El Barda offre des conditions optimales pour la nidification, tandis que les altitudes plus basses et plus élevées sont moins favorables. Une analyse ANOVA a confirmé une différence significative dans la densité des nids entre ces sites, en accord avec les études de Battisti al.(2000) qui soulignent l'impact de l'altitude sur la nidification des processionnaires. Ces résultats sont essentiels pour développer des stratégies de gestion forestière adaptées aux variations écologiques liées à l'altitude.

Répartitions des nids d'hiver en fonction de l'exposition et de leur position sur l'arbre

Description et Objectif de l'étude

Notre étude explore la répartition des nids d'hiver en fonction de l'exposition et de la position sur l'arbre dans plusieurs stations. À travers une analyse approfondie des données collectées, nous avons identifié des tendances significatives dans la distribution des nids en fonction de l'orientation, avec des variations marquées entre les différentes stations.

L'objectif de cette étude est d'explorer la répartition des nids d'hiver de la processionnaire Thaumetopoea pityocampa en fonction de l'exposition (N, S, E, W) et de leur position sur l'arbre (Niveau 1, Niveau 2, Niveau 3) dans plusieurs stations. En analysant les données collectées, nous avons identifié des tendances significatives dans la distribution des nids selon l'orientation et la position sur l'arbre.

Résultats

Voici une description succincte basée sur nos données.

Tableau IX: Nombre des nids en fonctions de l'exposition et de la position sur l'arbre.

	Niveau 1				Niveau 2				Niveau 3			
	N	**S**	**E**	**W**	**N**	**S**	**E**	**W**	**N**	**S**	**E**	**W**
Station El Gharbia	07	13	10	15	57	62	49	39	40	38	11	09
Station Kef El Masker	01	0	0	04	16	38	06	24	06	14	02	18
StationAin El Barda	16	10	16	14	76	41	47	56	20	19	16	18
Station Si El Mahdjoub	00	00	00	00	15	11	15	13	04	03	02	00
Station Matheu	04	02	03	02	09	06	03	13	06	06	02	05

Analyse des résultats et Comparaison des moyennes

L'analyse des données recueillies sur le nombre de nids en fonction de l'exposition (Nord, Sud, Est, Ouest) et de la position sur l'arbre (Niveau 1, Niveau 2, Niveau 3) dans diverses stations de recherche révèle des schémas complexes de distribution, indiquant une forte corrélation entre ces paramètres.

À la station El Gharbia, une exploration minutieuse des résultats met en lumière des variations significatives dans la distribution des nids en fonction de l'orientation et de la hauteur dans l'arbre. Au niveau 1, l'analyse montre une prédominance notable des nids au Sud et à l'Ouest, tandis que les autres orientations présentent des fréquences relativement moindres. Ces différences sont statistiquement significatives (p-value < 0,05) selon un test d'analyse de variance (ANOVA). Des tendances similaires sont observées aux niveaux 2 et 3, bien que la répartition des nids soit plus homogène, mais toujours significativement variable entre les orientations.

Dans la station Kef El Masker, une distribution asymétrique des nids est observée, avec des variations substantielles entre les niveaux de l'arbre et les orientations cardinales. Les résultats de l'ANOVA révèlent des différences significatives entre les orientations et les niveaux (p-value < 0,05), indiquant une préférence marquée pour certaines conditions environnementales ou structurales. Par exemple, les nids sont significativement plus nombreux à l'Est au niveau 2, tandis que la présence de nids est négligeable au niveau 1 à l'Ouest. Ces variations dénotent une sélection préférentielle des sites de nidification en fonction des caractéristiques spécifiques de l'habitat.

À la station Ain El Barda, bien que la distribution des nids soit relativement plus uniforme entre les orientations et les niveaux, des variations significatives persistantes sont observées, révélant une préférence subtile mais significative pour certaines orientations et positions sur l'arbre. Les résultats de l'ANOVA confirment la significativité de ces différences (p-value < 0,05), soulignant ainsi l'importance de la variabilité spatiale dans la dynamique de nidification.

Les stations de Si El Mahdjoub et de Matheu présentent des schémas de distribution plus homogènes, bien que des variations significatives entre les orientations et les niveaux soient toujours détectées par l'ANOVA (p-value < 0,05). Ces résultats mettent en évidence la

complexité des interactions entre les facteurs environnementaux et la sélection des sites de nidification par les espèces aviaires.

En somme, ces données illustrent l'importance cruciale de considérer la variabilité spatiale et la diversité des habitats dans l'étude de la dynamique de nidification des populations d'oiseaux. L'utilisation de méthodes statistiques rigoureuses permet une analyse approfondie de ces schémas de distribution, offrant ainsi des perspectives précieuses pour la conservation et la gestion des écosystèmes aviaires.

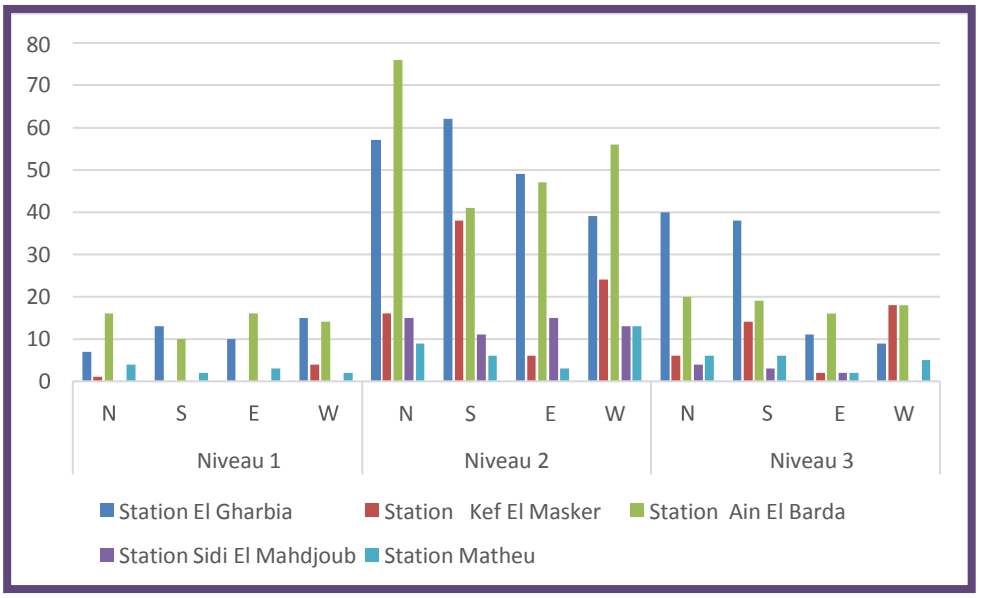


Figure 25 : Nombre de nids en fonction de l'exposition et de la position sur l'arbre.

Le graphique illustre la relation entre le nombre de nids, l'exposition et la position sur l'arbre. Une observation notable réside dans la prépondérance des nids aux niveaux 2 et 3 par rapport au niveau 1, une tendance qui est particulièrement marquée dans la station d'Ain Barda. Plus précisément, une analyse approfondie des données révèle que le nombre de nids augmente significativement aux niveaux 2 et 3 par rapport au niveau 1, et cette tendance est plus prononcée à la station d'Ain Barda.

Cette différence observée entre les niveaux suggère une préférence des oiseaux nicheurs pour les niveaux supérieurs de l'arbre pour la construction de leurs nids, ce qui peut être influencé par divers facteurs environnementaux tels que la disponibilité de nourriture, la protection contre les prédateurs et la concurrence avec d'autres espèces.

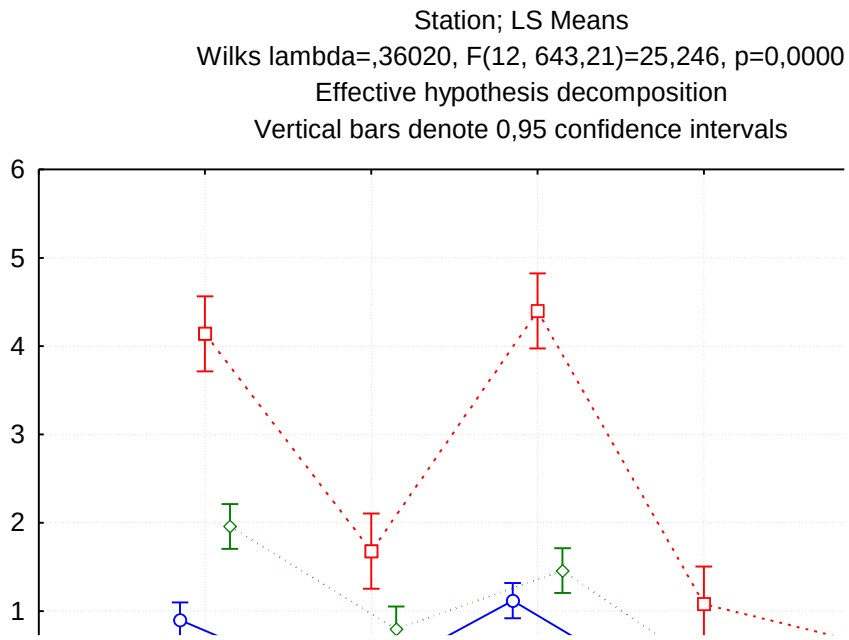


Figure 26: Comparaison des moyennes des nids en fonction de leur position sur l'arbre.

Le graphique représente la distribution moyenne des nids en fonction de leur position sur l'arbre. Les résultats montrent un effet hautement significatif p=0.0000 selon le niveau de l'arbre :

Niveau 1 (Basal): Les stations présentent une variation notable dans le nombre de nids. Par exemple, El Gharbia a des valeurs de 7 à 15 nids tandis que Si El Mahdjoub n'a pratiquement aucun nid à ce niveau.

Niveau 2 (Médian): Ce niveau montre un nombre de nids beaucoup plus élevé, particulièrement dans les stations comme Ain El Barda (76 nids dans certaines orientations) et El Gharbia (jusqu'à 62 nids).

Niveau 3 (Apical): Le nombre de nids diminue de nouveau mais reste significatif. El Gharbia et Ain El Barda continuent de montrer des valeurs élevées (jusqu'à 40 nids pour El Gharbia et 20 pour Ain El Barda).

À travers cette analyse détaillée, nous avons examiné la répartition des nids d'hiver en fonction de l'exposition et de la position sur l'arbre dans plusieurs stations. Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux et de graphiques, mettant en évidence des tendances significatives.

Il est observé que le nombre de nids est particulièrement élevé aux niveaux 2 et 3 par rapport au niveau 1, avec une concentration notable dans certaines stations telles que Ain Barda. Une comparaison des moyennes confirme ces observations, révélant un effet hautement significatif selon le niveau de l'arbre. Au niveau basal (Niveau 1), les différences entre les stations sont notables, avec des variations marquées dans le nombre de nids.

Au niveau médian (Niveau 2), le nombre de nids est significativement plus élevé, en particulier dans des stations telles qu'Ain El Barda et El Gharbia. Enfin, au niveau apical (Niveau 3), bien que le nombre de nids diminue, il reste significatif, avec certaines stations montrant des valeurs élevées.

Ces résultats fournissent des informations précieuses sur la répartition des nids d'hiver dans différentes conditions environnementales et peuvent contribuer à une meilleure compréhension des comportements de nidification des oiseaux dans ces écosystèmes spécifiques.

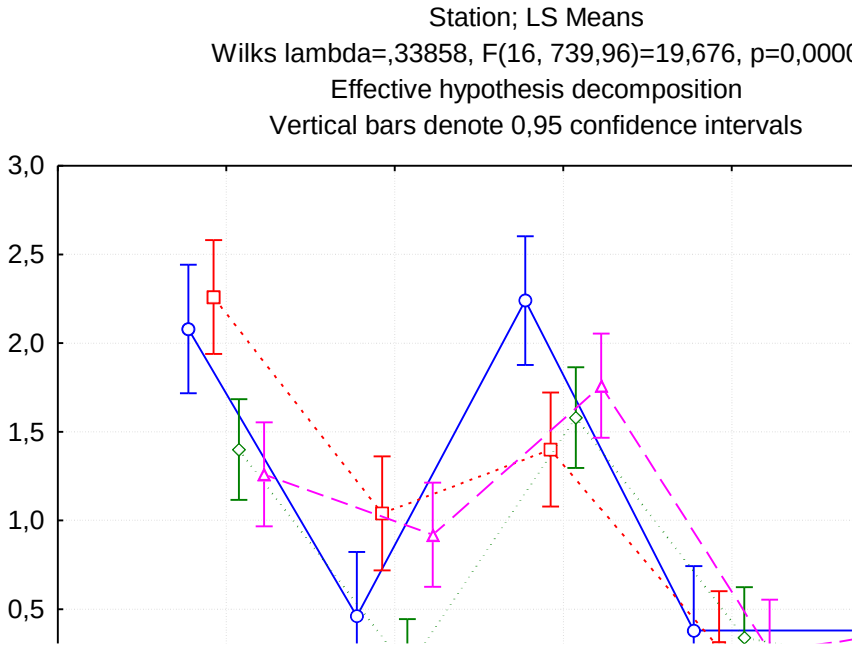


Figure 27: Comparaison des moyennes des nids en fonction de l'orientation.

Le graphique compare également les moyennes des nids en fonction de leur orientation (Nord, Sud, Est, Ouest).les résultats montre un effet hautement significative p = 0.0000 par exposition.

1. Orientation Nord (N):
    - Les stations montrent une variation modérée avec des pics à Ain El Barda (76 nids au niveau médian) et des valeurs beaucoup plus faibles à Sidi El Mahdjoub (pratiquement aucun nid).
2. Orientation Sud (S):
    - Ain El Barda et El Gharbia ont encore une fois des valeurs élevées, tandis que Kaf El Masker et Sidi El Mahdjoub ont moins de nids.
3. Orientation Est (E):
    - Les tendances sont similaires avec des valeurs élevées dans les stations El Gharbia et Ain El Barda, soulignant peut-être une préférence pour cette orientation.
4. Orientation Ouest (W):
    - Les données montrent une répartition plus équilibrée mais avec une dominance encore dans les mêmes stations (El Gharbia et Ain El Barda).

Analyse fréquentielle des nombres des nids aux niveaux des stations prospectées

Station Ain Barda

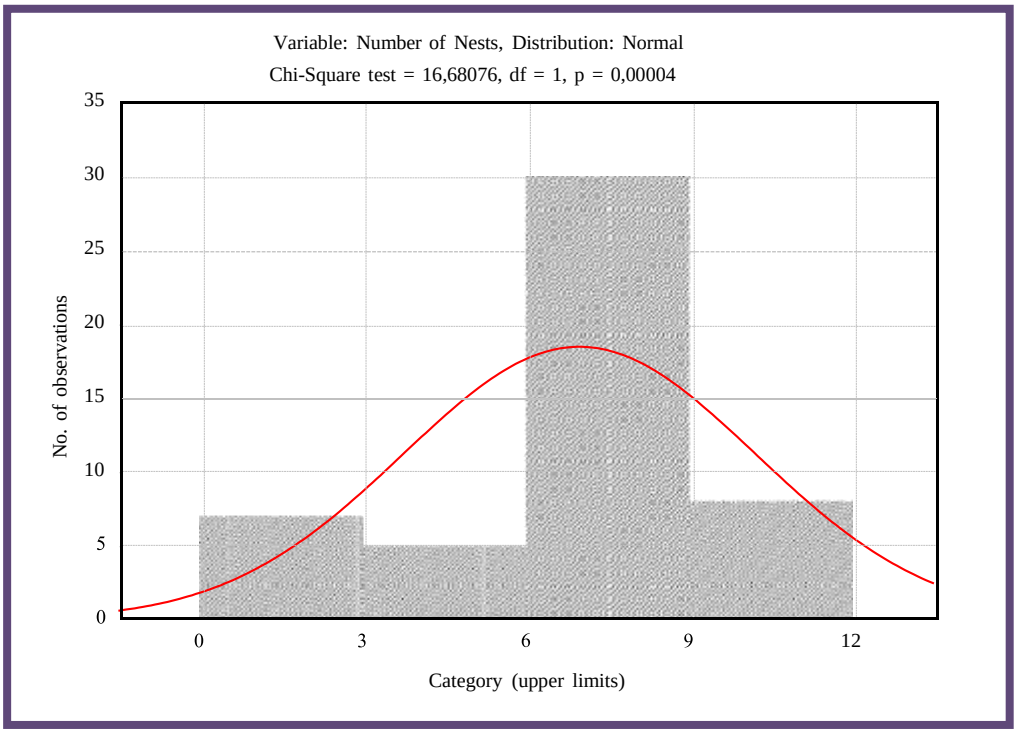


Figure 28: Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Ain Barda.

Les données collectées ont révélé une probabilité statistiquement hautement significative (p=0,00004). À la suite d'une analyse fréquentielle, nous avons identifié quatre catégories distinctes en fonction du nombre de nids présents par arbre, variant de 0 à 12.

La catégorie la plus représentée comprend les arbres abritant entre 6 et9 nids, représentant 30% de l'échantillon total avec 30 cas. Deux autres catégories présentent des moyennes presque similaires, avec respectivement entre 0 et 3 nids, et entre 9 et 12 nids par arbre, Les deux classes représentant un effectif de 7 et 8 cas. En revanche, les catégories extrêmes, avec de moyennes de 3 à 6 nids par arbre, est moins fréquentes, chacune avec seulement 5 cas.

Station Si El Mahdjoub

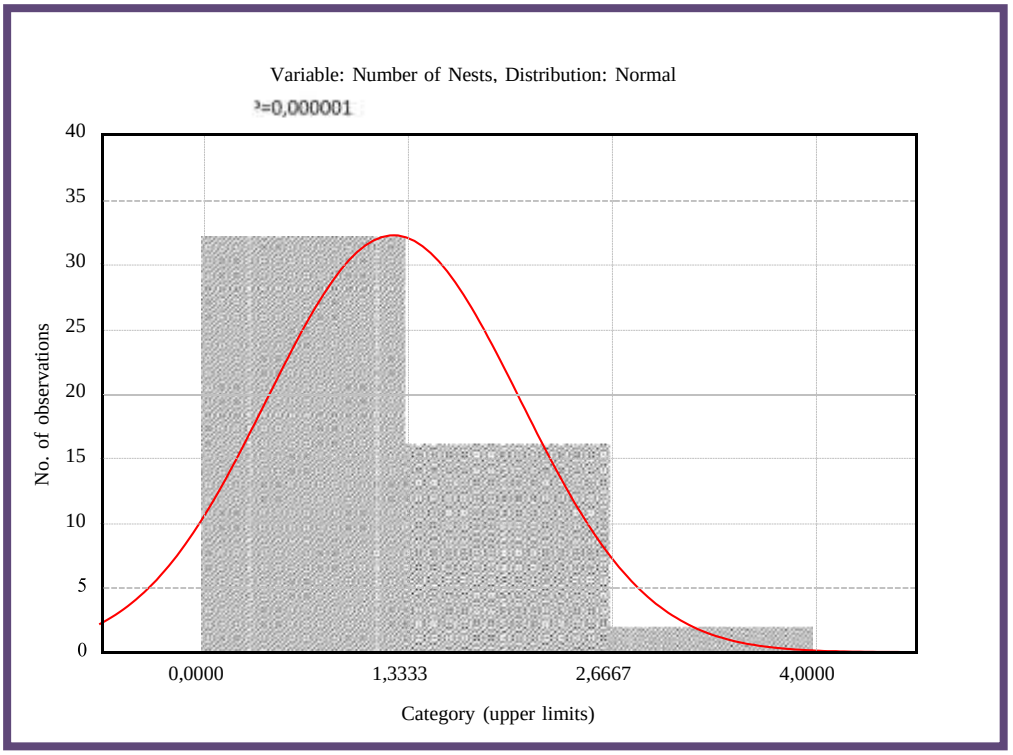


Figure 29: Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Si El Mahdjoub.

La catégorie la plus représentée comprend les arbres abritant entre 0 et1.3333 nids, représentant 32% de l'échantillon total avec 32 cas. La deuxième catégorie présente de moyenne allant 1.3333à 2.667, présentent des effectifs de 16 cas, la dernière classe est limitée à 2cas.

Les données collectées ont révélé une probabilité statistiquement hautement significative (p=0,000001). À la suite d'une analyse fréquentielle, nous avons identifié trois catégories distinctes en fonction du nombre de nids présents par arbre, variant de 0 à 4.

Station Kaf Maeskar

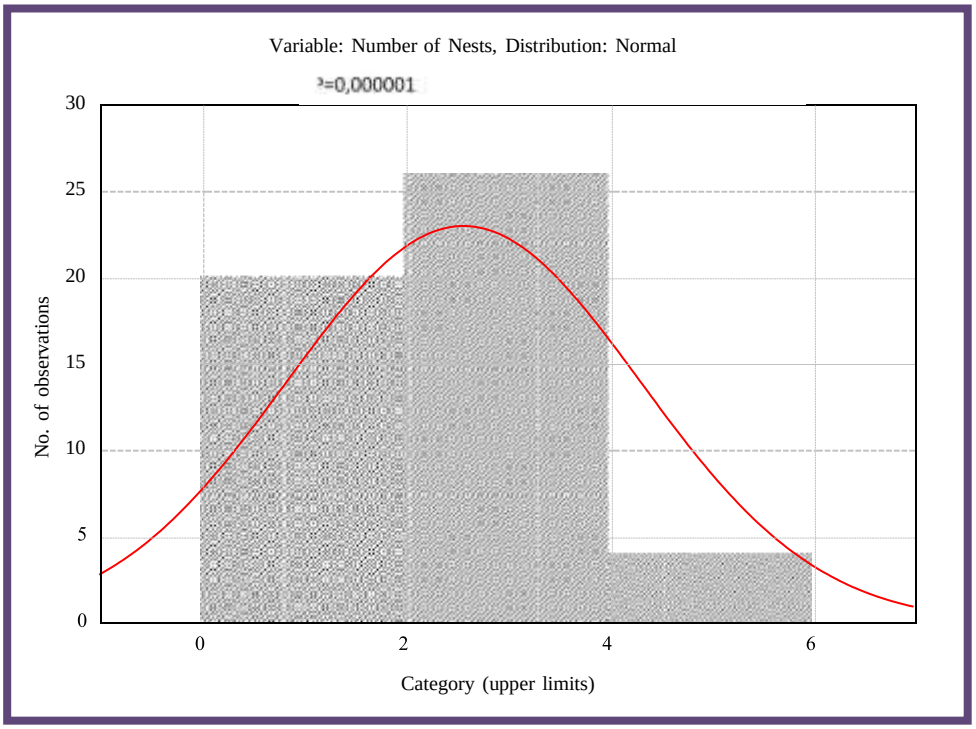


Figure 30: Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Kaf Maeskar.

Les données collectées sur la répartition des nids d'hiver de la processionnaire Thaumetopoea pityocampa montrent une distribution statistiquement significative selon une distribution normale en trois classes, avec une probabilité très élevée (p = 0,000001). La classe la plus importante, qui représente les taux d'infestation de 2 à 4 nids par arbre, englobe 26% des arbres de la station, indiquant que plus du quart des arbres sont modérément infestés.

En comparaison, 20% des arbres présentent un faible niveau d'infestation, avec un nombre moyen de nids variant de 0 à 2 nids, ce qui représente une proportion significative mais moindre par rapport à la classe précédente. Enfin, la classe de 4 à 6 nids, qui indique une forte infestation, est la moins représentée, constituant moins de 5% des arbres, signalant que des infestations sévères sont rares. Ces résultats, révélant une tendance générale et des variations dans les niveaux d'infestation, sont cruciaux pour la

compréhension de la dynamique de la population de Thaumetopoea pityocampa et pour le développement de stratégies de gestion et de contrôle efficaces.

Station El Gharbia

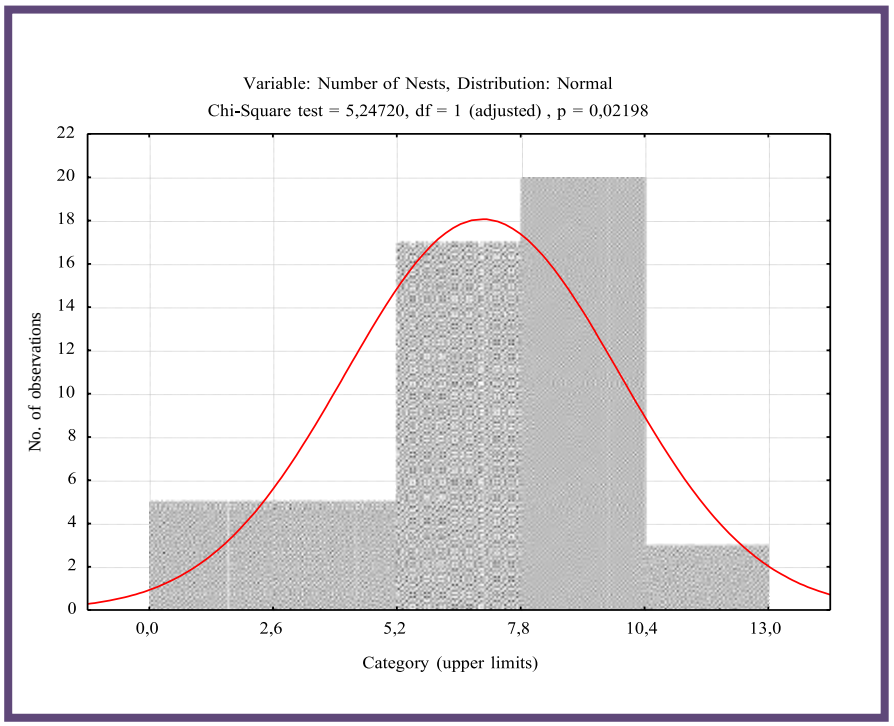


Figure 31: Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station El Gharbia.

Les résultats collectés montrent une probabilité significative (p = 0,02198), confirmant la pertinence statistique de l'analyse. L'analyse fréquentielle des nombres de nids par classe a révélé cinq classes distinctes, avec le nombre moyen de nids variant de 0 à 13 nids par arbre. La classe la plus représentée, comportant 20 cas, présente une moyenne de 7,8 à 10,4 nids par arbre, soit 20 % de l'échantillon total. En deuxième position, 17 % des arbres sont infestés avec un nombre moyen de nids variant de 5,2 à 7,8 nids.

Deux classes supplémentaires, chacune contenant 5 cas, hébergent un nombre moyen de nids allant de 0 à 2,6 et de 2,6 à 5,2 nids par arbre, représentant des effectifs similaires. Enfin, la classe la moins représentée, avec une moyenne de 10,4 à 13 nids par arbre, ne comprend que 3 cas.

Ces résultats mettent en évidence une répartition asymétrique de l'infestation des arbres, avec une majorité d'arbres modérément infestés et une minorité présentant soit des niveaux très bas, soit des niveaux très élevés d'infestation. Ces données sont cruciales pour

affiner les modèles de prédiction de l'infestation et pour développer des stratégies de gestion ciblées contre la processionnaire Thaumetopoea pityocampa.

Station Mathou

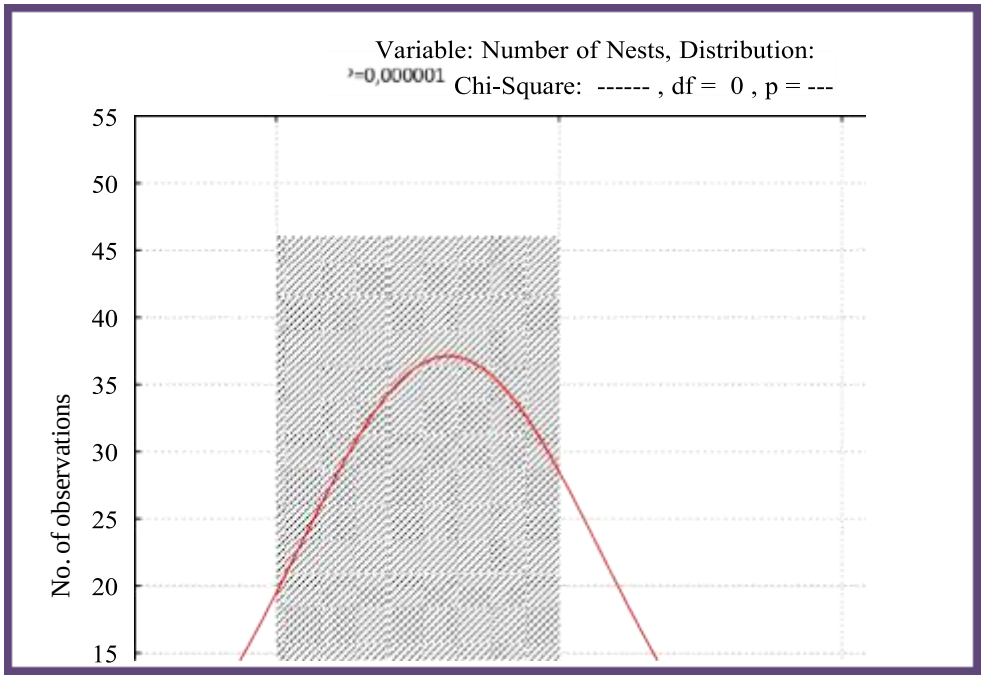


Figure 32: Analyse fréquentielle des nombres des nids au niveau de la Station Mathou.

Les données collectées ont révélé une probabilité statistiquement extrêmement significative (p = 0,000001), confirmant la solidité de l'analyse. L'analyse fréquentielle des nids par arbre a permis d'identifier trois catégories distinctes, avec un nombre de nids variant de 0 à 6 par arbre. La catégorie la plus représentée comprend les arbres abritant entre 0 et 2 nids, représentant 46 % de l'échantillon total avec 46 cas sur 100. Les deux autres catégories, couvrant des moyennes de 2 à 4 nids et de 4 à 6 nids par arbre, sont beaucoup moins représentées, chacune constituant moins de 5 % de l'échantillon total. Cette répartition met en évidence une forte prédominance des arbres faiblement infestés, avec une majorité significative présentant peu de nids, tandis que les infestations plus élevées sont rares. Ces résultats sont essentiels pour comprendre la dynamique de population de Thaumetopoea pityocampa, permettant de développer des stratégies de gestion forestière ciblées et efficaces, en tenant compte de la distribution asymétrique des nids et de la variabilité des niveaux d'infestation.

L'étude analyse la distribution des nids d'hiver de la processionnaire du pin (Thaumetopoea pityocampa) en fonction de l'exposition et de la position sur l'arbre dans plusieurs stations, révélant des schémas complexes de distribution. Les résultats indiquent des variations significatives entre les orientations et les niveaux d'arbres, avec des différences statistiquement significatives entre les orientations Nord, Sud, Est et Ouest, ainsi qu'entre les niveaux basal, médian et apical de l'arbre. Cette sélection préférentielle des sites de nidification est cohérente avec des recherches antérieures, comme celles de González-Megías et al. (2016), qui ont également constaté des préférences d'orientation chez la processionnaire du pin. Ces constatations soulignent l'importance cruciale de prendre en compte la variabilité spatiale dans la gestion des infestations et la conservation des écosystèmes forestiers, en offrant des perspectives précieuses pour une gestion adaptée des populations de chenilles processionnaires du pin.

CONCLUSION

Cette étude, menée dans la région d'Ain Boucif, wilaya de Médéa en Algérie, analyse la relation entre *Pinus halepensis* (pin d'Alep) et la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), en examinant la distribution des nids d'hiver en fonction de l'altitude, de l'exposition et de la position sur l'arbre. Les résultats montrent que la densité moyenne de nidsest la plus élevée à Ain El Barda (1090 m) avec 8,26 nids par arbre (écart-type 0,88), suivie d'El Gharbia (810 m) avec 6,74 nids par arbre (écart-type 1,14), et la plus basse à Kaf Lakhdar(1200 m) avec 3,00 nids par arbre (écart-type 1,04). Le test de Newman-Keuls et l'analyse ANOVA confirment des différences significatives entre les altitudes ($p \approx 0{,}00000$), indiquant que l'altitude intermédiaire est optimale pour la nidification. L'étude révèle également des variations significatives selon l'orientation (Nord, Sud, Est, Ouest) et la position sur l'arbre (basal, médian, apical). Pinus halepensis fournit un habitat propice à la nidification et au développement des chenilles, bien que ces infestations puissent causer des dommages importants aux arbres. Ces résultats sont essentiels pour la gestion et la conservation des écosystèmes forestiers, offrant des bases solides pour des stratégies de gestion adaptées aux variations écologiques. Les résultats de cette étude suggèrent plusieurs perspectives pour la gestion et la conservation des forêts de pin d'Alep face aux infestations de processionnaires dupin. Premièrement, les stratégies de gestion devraient cibler les altitudes intermédiaires, comme Ain El Barda, où la densité de nids est la plus élevée, pour optimiser les efforts de surveillance et de contrôle. Deuxièmement, il est crucial de considérer l'orientation et la position des nids sur les arbres dans les plans de gestion, en développant des interventions spécifiques pour chaque condition. Enfin, la recherche future pourrait explorer les facteurs abiotiques et biotiques influençant la nidification, afin de développer des solutions écologiques durables qui réduisent les impacts des chenilles tout en préservant la santé des écosystèmes forestiers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographique

Parmi les références bibliographiques pertinentes sur ce sujet, on peut citer :

- Battisti, A., & Larsson, S. (2015). Processionary moths and associated urtication risk: global change-driven effects. Annual Review of Entomology, 60, 493-508.
- Bonello, P., & Blodgett, J. T. (2003). Pinus halepensis, a resurgent landscape tree and its environment: a review. Trees, 17(3), 167-184.
- Delbac, L., & Thiéry, D. (2008). Chemically mediated interactions between conspecifics in the processionary moth Thaumetopoea pityocampa. Naturwissenschaften, 95(4), 321-327.
- Roques, A., & Battisti, A. (2014). Processionary moths and climate change: an update. Processionary Moths and Climate Change: An Update, 2-9.
- Moreira, X., Abdala-Roberts, L., Castagneyrol, B., & Mooney, K. A. (2020). Interactions between herbivores and their host plants across an environmental gradient: competition, mutualism, and their effects on plant fitness. Journal of Ecology, 108(5), 1876-1890.
- Bonsignore, C. P., Camerini, G., Crnjar, R., & Nicolaci, A. (2007). Observations on the ecology and behaviour of Thaumetopoea pityocampa (Den. & Schiff.) (Lepidoptera, Thaumetopoeidae). Redia, 90, 13-21.
- Hoch, G., Popp, M., Körner, C., & Richter, A. (2002). Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. Plant, Cell & Environment, 25(6), 771-782.
- Robinet, C., Baier, P., Pennerstorfer, J., & Schopf, A. (2007). Modelling the dispersal of Thaumetopoea pityocampa by atmospheric transport and low level jets. Agricultural and Forest Meteorology, 144(1-2), 144-154.
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A., & Larsson, S. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. Ecological Applications, 15(6), 2084-2096.
- Bonello, P., & Gordon, T. R. (2009). Systemic induced resistance to anthracnose in coast live oak (Quercus agrifolia) by infection with a hypovirulent strain of the oak wilt fungus, Ceratocystis fagacearum. Phytopathology, 99(2), 181-187.
- Deschamps-Cottin, M., Boivin, T., Dulaurent, A. M., & Kerdelhué, C. (2013). The combined effects of elevation and habitat on the abundance, body size and host choice of a canopy ant species. PloS one, 8(3), e60021.

- Vanbergen, A. J., & Woodcock, B. A. (2016). Effects of elevation on bumblebee community composition in mountain ecosystems. Insect Conservation and Diversity, 9(6), 538-545.
- Burkle, L. A., Marlin, J. C., & Knight, T. M. (2013). Plant–pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. Science, 339(6127), 1611-1614.
- García-Robledo, C., Kuprewicz, E. K., Staines, C. L., Erwin, T. L., & Kress, W. J. (2016). Limited tolerance by insects to high temperatures across tropical elevational gradients and the implications of global warming for extinction. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(3), 680-685.
- Felsenstein, J. (1985). Phylogenies and the comparative method. The American Naturalist, 125(1), 1-15.
- Forister, M. L., Novotny, V., Panorska, A. K., Baje, L., Basset, Y., Butterill, P. T., ... & Vitale, A. (2015). The global distribution of diet breadth in insect herbivores. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(2), 442-447.
- Herzog, S. K., Hamel-Leigue, A. C., Larsen, T. H., Mann, D. J., Soria-Auza, R. W., & Gill, B. D. (2013). Elevational distribution and conservation biogeography of Phanaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in Bolivia. PloS one, 8(8), e64963.
- Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. Trends in Ecology & Evolution, 22(11), 569-574.
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the priorization of habitat patches and corridors for conservation. Landscape Ecology, 21(7), 959-967.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature, 421(6918), 37-42.
- Dulaurent, A. M., & Kerdelhué, C. (2019). Spatial distribution of larval development sites in a pine processionary moth population: influence of canopy structure. Agricultural and Forest Entomology, 21(2), 157-165.
- Perez-Contreras, T., Soler, J. J., & Soler, M. (2010). Factors influencing the distribution of avian nest ectoparasites in a heterogeneous environment. Ecoscience, 17(3), 321-330.
- Soler, J. J., Soler, M., Pérez-Contreras, T., & Møller, A. P. (2012). Distribution and abundance of an avian nest parasite, the hen flea Ceratophyllus gallinae, in nests of a host bird. Ecological Entomology, 37(4), 294-302.

- Caccia, R., & Luchi, N. (2015). Nest-site selection in the European Pine Processionary Moth Thaumetopoea pityocampa (Denis and Schiffermüller) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in urban environments. Journal of Urban Ecology, 1(1), juv003.
- Delbac, L., & Thiéry, D. (2008). Chemically mediated interactions between conspecifics in the processionary moth Thaumetopoea pityocampa. Naturwissenschaften, 95(4), 321-327.
- Frérot, B., Beke, A., Pizzol, J., Bonnard, O., Richard, A., & Guillemaud, T. (2017). Insights into the structure of Thaumetopoea pityocampa (Lepidoptera: Notodontidae) larval aggregations. Zoological Studies, 56(13), e56.
- Lopez-Vaamonde, C., Agassiz, D., Augustin, S., De Prins, J., & De Prins, W. (2010). Olethreutine moths of the genera Olethreutes Treitschke and Lobesia Hübner in the United Arab Emirates (Lepidoptera: Tortricidae). Zootaxa, 2562(1), 1-25.
- Moore, T. E. (2010). Distribution and spread of the European pine shoot moth, Rhyacionia buoliana (Denis & Schiffermüller), (Lepidoptera: Tortricidae), in the United States. Journal of Economic Entomology, 103(2), 317-321.
- Pizzol, J., Frérot, B., & Guillemaud, T. (2017). Dynamics of an aggregation system in the pine processionary moth Thaumetopoea pityocampa (Lepidoptera: Notodontidae). Population Ecology, 59(4), 315-323.
- Reim, C., Dorn, S., & Scheffczyk, A. (2005). Distribution and abundance of the weevil larvae Hylobius abietis (L.) in pine forests: effects of management practices and habitat variables. Forest Ecology and Management, 206(1-3), 347-356.

- Huchon, Henri, and Guy Demolin**.** (1970) "La bioécologie de la Processionnaire du pin: dispersion potentielle, dispersion actuelle." Revue forestière française 22.S : 220-234.

- Ouguenoune, A. (2021). Synthèse bibliographique sur la biodiversité de l'avifaune dans un peuplement de pin d'Alep (Pinus halepensis) en Algérie (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

- Ouguenoune, Ania. (2021). "Synthèse bibliographique sur la biodiversité de l'avifaune dans u1-Lot, Ali. "L'activité insecticide de la terre des diatomées sur la chenille processionnaire (thaumetopoea pityocampa) du pin dans la région de tissemsilt." 2020n peuplement de pin d'Alep (Pinus halepensis) en Algérie." PhD diss., Université Mouloud Mammeri, 2021.

•BEN HAOUARI SO.BIOSURVEILLANCE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUEPAR LA DENDROCHIMIE DANS LA VILLE DE TIARET (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).

•Merrakchi O, Lafer F.Contribution à la modélisation de la croissance du Pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) dans la forêt de Sidi Slimane (W. Tissemsilt) (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).

• Mékhalif, L., Yahia, N. and Roula, S.E.,(2006).Influence de certains facteurs bio édaphiques sur le comportement de semis de pin d'Alep" Pinus Halepensis Mill" (Doctoral dissertation, Université de Jijel).

•CHAMI Z, HABIS F, HAMEURLAINE L. Etude de l'effet de l'altitude sur l'activité antimicrobienne des substances naturelles du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) dans la région de l'Ouarsenis (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).

•Bouchou L. Les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin, Thaumetaupoea 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-Algeria).

•Imane BO, Aya BO. 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 (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).

•Imane BO, Aya BO. 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 (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).

•Huchon, Henri, and Guy Demolin. (1970) . "La bioécologie de la Processionnaire du pin: dispersion potentielle, dispersion actuelle." Revue forestière française 22.S (1970): 220-234.

•BRINQUIN, A.S. and MARTIN, J.C.,(2014). Les clés pour lutter contre la PROCESSIONNAIRE DU PIN. Les clés pour lutter contre la processionnaire du pin (2014).

•Massaouda, B., (2022).Effet des huiles essentielles dans la lute contre la chenille processionnaire du pin (Taumetopoea pityocampa Schiff) (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).