

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires

Département des Sciences Agronomiques

MEMOIRE DE MAGISTER

en Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des plantes et environnement

CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES DE LA
PROCESSIONNAIRE, *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* SCHIFF
(*LEPIDOPTERA : THAUMETOPOEIDAE*)

SUR LE CEDRE DE L'ATLAS *CEDRUS ATLANTICA* MANETTI
DANS LE PARC NATIONAL DE CHREA

Par

Safia SEBTI

Devant le jury composé de:

S.A. SNOUSSI	Professeur, U.S.D. Blida	Président
G. CHAKALI	MCA, E.N.S.A. El Harrach	Promoteur
A. GUENDOUZ - BENRIMA	Professeur, U.S.D. Blida	Examinatrice
L. ALLAL- BENFEKIH	MCA, U.S.D. Blida	Examinatrice

Blida, Novembre 2011

RESUME

La processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) s'attaque au cèdre et à toutes les espèces de pin. Ses populations sont caractérisées par des phases de culminations périodiques. Ces dernières années, une augmentation des niveaux de population de ce ravageur est constatée dans la cédraie de Chréa. La gradation de l'insecte entraîne des attaques répétées qui se manifestent par des défoliations massives.

L'étude conduite porte sur la dynamique et la caractérisation des populations de la processionnaire du pin dans la cédraie de Chréa. L'émergence des adultes se situe entre la fin juin le début du mois de septembre. La distribution des papillons présente des variations significatives selon le plan altitudinale. Les pontes sont rares dans les peuplements mixtes, par contre leur nombre est très élevé dans la cédraie pure en haute altitude. Les mensurations effectuées sur les adultes mâles issus des trois altitudes prospectées montrent des différences significatives entre les populations de la processionnaire.

Le nombre moyen d'œufs par ponte est de 231. Le taux des éclosions des œufs est de 89,64 %/. Le pourcentage des œufs parasités est faible ne dépassant pas 4,19%. Trois espèces parasites oophages sont présents au stade embryonnaire de *Thaumetopoea pityocampa* sur cèdre de l'Atlas à Chréa : *Trichogramma embryophagum*, *Baryscapus servadei* et *Ooencyrtus pityocampae*.

Le dénombrement des nids effectué en fonction de la hauteur totale des arbres, de l'altitude et de l'exposition des nids d'hiver a permis de noter que les expositions Sud et Est restent les sites de prédilection à la construction des nids. Le nombre important des nids en haute altitude renseigne sur la migration et la progression de l'insecte en altitude.

Mots clés : Processionnaire, cèdre, dynamique, population, ponte, altitude nids.

ABSTRACT

BIOLOGY AND ECOLOGY CHARACTERISTICS OF PROCESSIONNERY, *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* SCHIFF (LEPIDOPTERA: *THAUMETOPOEIDAE*) ON THE ATLAS CEDAR *CEDRUS ATLANTICA* MANETTI IN CHREA NATIONAL PARK

Pine processionary (*Thaumetopoea pityocampa*) attacks the cedar and pine species. The populations are characterized by periodic culminations phases. Recently, an increase in the pest population levels is found in the cedar forest of Chrea. The gradation of this insect leads to repeated attacks by important defoliation.

This study is conducted on the dynamics and characterization of the pine processionary populations in the cedar forest of Chréa. The emergence of the adult is located between the fourth week of June and the first week of September. The distribution of adults presents significant changes with altitude. The eggs-masses are rare in mixed stands; however their number is very high in the cedar forest at high altitude. Measurements made on three altitudes from male adult show significant differences in the healthy population.

The mean number of eggs per egg-mass is 231. The hatched eggs is 89,64 %. The percentage of parasitized eggs is low not exceeding 4.19%. Three parasites are present in the eggs-masses of *Thaumetopoea pityocampa* on Cedar to Chréa: *Trichogramma embryophagum*, *Baryscapus servadei* and *Ooencyrtus pityocampae*.

The enumeration of nests made to the total height of trees, the altitude and exposure enables to see South and East remain sites of predilection for weaving nests of winter. The number of nests high altitude indicates the large distribution of the insect in altitude.

Key words: processionary, cedar, dynamic, population, egg-mass, altitude, nest.

الملخص

دراسة بيولوجيا و اكلوجيا الجادوب *Thaumetopoea pityocampa* الأرز الأطلسي و جميع أنواع الصنوبر.

SCHIFF (LEPIDOPTERA: THAUMETOPOEIDAE)

على الأرز الأطلسي *CEDRUS ATLANTICA* في الحظيرة الوطنية للشريعة

يهاجم جادوب الصنوبر *Thaumetopoea pityocampa* الأرز الأطلسي و جميع أنواع الصنوبر. تتميز مجتمعاته بمراحل الذروة الدورية. في السنوات الأخيرة لوحظ ارتفاع في مستويات مجتمع هذه الحشرة في غابة الأرز بالشريعة. يؤدي تدرج الحشرة إلى هجمات متكررة تظهر على شكل تعرية كثيفة. تهتم هذه الدراسة بديناميكية ووصف مجتمعات جادوب الصنوبر في غابة الأرز بالشريعة. إن انبثاق الحشرات الكاملة يكون بين الأسبوع الرابع من شهر جوان و الأسبوع الأول من سبتمبر. توزيع الفراشات يظهر اختلافات هامة حسب الارتفاع. التبييض نادر في الغابات المختلطة, بينما يكون مرتفع في غابة الأرز الموجودة في المرتفعات العالية. القياسات التي خضع إليها الذكور الآتية من الارتفاعات الثلاث المستكشفة تبين, وجود اختلافات هامة وسط المجتمعات. متوسط عدد البيوض يبلغ 231. نسبة البيوض المفقوسة هو % 89.64. نسبة البيوض الملتهممة % 4.19. ثلاث طفيليات تم العثور عليها في بيوض على شجرة الأرز و هي

Trichogramma embryophagum, Baryscapus servadei et Ooencyrtus pityocampae.

حساب أعداد الأعشاش وفق الطول الكلي للأشجار و الارتفاع و اتجاه الأعشاش الشتوية, بين إن الاتجاهات الجنوبية و الشرقية تمثل المواقع المفضلة لبناء الأعشاش الشتوية. عدد هذه الأعشاش مرتفع في المستويات العالية مما يدل على تقدم الحشرة نحو المناطق المرتفعة.

الكلمات الرئيسية : الجادوب , الأرز , الديناميكية , المجتمعات , التبييض , الارتفاع , الأعشاش .

REMERCIEMENTS

*En premier lieu, je tiens à remercier chaleureusement mon promoteur, Monsieur **CHAKALI GAHDAB**, Maitre de conférences à l'Ecole Nationale Agronomique d'El Harrach, d'avoir accepté de diriger ce travail avec beaucoup d'attention et de soin. Je tiens à le remercier pour ses orientations, ses conseils pertinents, et pour la confiance qu'il m'a accordé pour réaliser ce modeste travail.*

*J'adresse également mes remerciements à Monsieur **SENOUSSI**, Professeur à l'Université Saad Dahlab de Blida, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider mon jury.*

*Que Madame **GUENDOUZ - BENRIMA**, Professeur à l'Université Saad Dahlab de Blida, trouve ici l'expression de mes sincères remerciements pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail et d'avoir prêté un intérêt constant au sujet du mémoire.*

*Mes sincères remerciements vont également à Madame **ALLEL BEN FEKIH**, Maitre de conférences à l'Université Saad Dahlab de Blida, d'avoir accepté de faire partie du jury.*

*Ma gratitude est destinée à Mr. **ZAHRADDINE DJAZOULI**, Maitre de conférences à l'Université Saad Dahlab de Blida qui m'a fait profiter de ses précieuses orientations.*

*Je remercie cordialement Monsieur **R.DAHAL** Directeur du Parc National de Chréa pour son aide et sa contribution.*

*Je tiens à remercier amplement tous les forestiers de la conservation des forêts de Blida et plus particulièrement Mr. **MOHAMED SELIMI**, APF des forêts, qui m'a accompagné tout de long de mon travail sur terrain. Mr. **BOUDJMAA BERGOUG**, Brigadier chef des forêts, qui m'a beaucoup aidé dans le suivi des émergences et des éclosions au niveau de la station expérimentale à Chréa, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.*

*Grand merci à Mr. **ABDARAHMEN BENHORA** informaticien pour sa disponibilité. Il m'a bien aimablement aidé à finaliser mon travail.*

Je remercie également toute personne ayant contribué de loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail.

Enfin, une affectueuse pensée à ma famille, en particulier mon mari pour son soutien et son dévouement.

TABLE DES MATIERES

RESUME

ABSTRACT

ملخص

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION	14
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE DE RECHERCHE ET REFLEXION SUR LA PROCESSIONNAIRE DITE DU PIN ; <i>THAUMETOPOEA PITYOCAMPA</i>	
1. 1 Réflexion biosystématique sur le genre <i>Thaumetopoea</i>	18
1.2 Diagnose des adultes du genre <i>Thaumetopoea</i>	22
1.2.1 Variation de la forme des écailles anales des femelles	22
1.2.2 Genitalia mâle	23
1.3 Position Systématique et aire de répartition de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	23
1 .4 Bioécologie de la processionnaire du Pin <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	24
1.4.1 Cycle biologique de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	25
1.4.2 Caractéristiques des écophases	26
1.4.2.1 Le stade adulte	26
1.4.2.2 Les pontes	26
1.4.2.3 Les stades larvaires	27
1.4.2.4. Le nid d'hiver.....	28
1.4.2.5 La procession de nymphose	29
1.4.2.6 Phase souterraine	29
1.5 Influence des facteurs climatiques sur le développement de la processionnaire du pin.....	30
1.6 Influence des changements climatiques sur l'extension de la processionnaire <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	31

1.7 Influence des facteurs biotiques sur la chenille processionnaire	33
1 .7.1 Les plantes hôtes	33
1.7.2 Les parasites et les prédateurs de la chenille processionnaire	34
1.8 Dégâts et nuisances	35
1 .8.1 Dommages sylvicoles	35
1 .8 .2 Impact sur la santé	37
1.9 Facteurs de régulation des populations de la processionnaire du pin.....	37

CHAPITRE 2 : SYNTHÈSE DES DONNÉES SUR LE CÈDRE DE L'ATLAS, CEDRUS ATLANTICA

2.1 Position taxonomique	40
2.2 Aire de Répartition	41
2.3 Caractères botaniques et dendrométriques	42
2.4 Régénération du cèdre	44
2.5 Ecologie du cèdre de l'Atlas.....	45
2.6 Importance économique du Cèdre	46
2.7 Ennemis du cèdre de l'Atlas	47

CHAPITRE 3 : MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 Présentation de la zone d'étude	49
3.1.1 Le Parc National de Chréa	49
3.1.2 La végétation du Parc National de Chréa.....	49
3.1.3 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude.....	50
3.1.3.1 Les températures	51
3.1.3.2 Les précipitations.....	52
3.1.4 Synthèse climatique de la zone d'étude	54
3.1.4 .1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen	54
3.1.4 .2 Le climagramme d'Emberger	55
3.2 Méthodologie d'étude	56
3.2.1 Objectifs.....	56

3.2.2 Piégeage sexuel et émergence des adultes.....	57
3.2.3 Récolte des pontes.....	60
3.2.4 Examen des écailles maternelles	61
3.2.5 Examen et quantification des catégories d'œufs.....	61
3.2.6 Biométrie des stades larvaires et du stade nymphal.....	63
3.2.7 Chronologique des écophases de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	64
3.2.8 Dénombrement des nids d'hiver.....	65
3.3 Méthodes d'analyse statistique.....	66
3.3.1 Analyse descriptive.....	66
3.3.2 Distribution fréquentielle.....	66
3.3.3 Analyse de la variance (Anova).....	66
3.3.4 Régression linéaire.....	67
3.3.5 L'analyse en composantes principales (ACP)	67
3.3.6 Classification hiérarchique des variables	67

CHAPITRE 4 : RESULTATS

4.1 Piégeage sexuel et émergence des adultes.....	68
4.2 Période d'émergence des adultes	68
4.3 Biométrie des papillons mâles.....	69
4.3.1 Analyse fréquentielle des longueurs des papillons mâles.....	71
4.3.2 Analyse fréquentielle des envergures des papillons mâles.....	71
4.4 Analyse des pontes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	72
4.4.1 Dénombrement des œufs par ponte.....	72
4.4.2 Analyse fréquentielle des effectifs des œufs de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	73
4.4.3 Biométrie des pontes et relation avec le nombre d'œufs.....	74
4.4.4 Eclosions des pontes.....	75
4.4.5 Dénombrement des catégories d'œufs.....	77
4.4.6 L'examen des catégories d'œufs.....	78
4.5 Caractérisation des manchons et des écailles maternelles.....	78
4.6 Complexe des parasites - prédateurs	80

4.6.1 Les parasites oophages	80
4.6.2 Les prédateurs de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	82
4.7 Biométrie des stades larvaires et du stade nymphal.....	83
4.7.1 Biométrie des stades larvaires.....	83
4.7.2 Analyse fréquentielle des mensurations des stades larvaires	85
4.7.2.1 Premier stade	85
4.7.2.2 Deuxième stade	86
4.7.2.3 Troisième stade	87
4.7.2.4 Quatrième stade	88
4.7.2.5 Cinquième stade	89
4.7.3 Biométrie des chrysalides et sex-ratio.....	90
4.7.3.1 Analyse fréquentielle des mensurations des chrysalides mâles... ..	92
4.7.3.2 Analyse fréquentielle des mensurations des chrysalides Femelle.....	93
4.7.3.3 Sex-ratio de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	94
4.8 Chronologie des écophases	94
4.9 Dénombrement et répartition des nids de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	95
4.9.1 Relation entre la hauteur totale des arbres et le nombre de nids	96
4.9.2 Comparaison des moyennes de nids et de hauteur totale des arbres dans les deux classes d'altitude	96
4.9.3 Répartition des nids en fonction de leurs expositions	97
4.9.4 Analyse multivariée entre les variables considérées.....	98

CHAPITRE 5 : DISCUSSION

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1: Aire de répartition de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> et <i>Thaumetopoea wilkinsoni</i> en relation avec leurs plantes hôtes [39].....	20
Figure 1.2: Distribution géographique des clades de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> / <i>Thaumetopoea wilkinsoni</i> [39].....	21
Figure 1.3: Variation de la forme et de la dimension des écailles maternelles de quatre espèces du genre <i>Thaumetopoea</i> inféodées aux résineux (<i>T.bonjeani</i> , <i>T.pinivora</i> , <i>T.wilkinsoni</i> , <i>T.pityocampa</i>) [40].....	22
Figure 1.4: Genitalia de la processionnaire du pin (France) <i>Thaumetopoea pityocampa</i> [40].....	23
Figure 1.5 : Architecture du nid d'hiver de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Chréa.....	29
Figure 1.6: Dégâts caractéristiques des chenilles sur le cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Chréa.....	36
Figure 2.1: Localisation de <i>Cedrus atlantica</i> en Algérie [98]	42
Figure 2.2: Le cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Chréa	43
Figure 3.1: Variations mensuelles des températures moyennes de 1995 à 2010 dans le parc National de Chréa.....	52
Figure 3.2: Variations des précipitations mensuelles de 1995 à 2010 dans le Parc National de Chréa.....	53
Figure 3.3: Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Chréa (1995-2010).....	54
Figure 3.4 : Projection de la cédraie de Chréa dans le climagramme d'Emberger	55
Figure 3.5: Les stations de piégeage des papillons de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	58
Figure 3.6: Localisation des stations prospectées.....	59
Figure 3.7: Le piège à phéromone contre la processionnaire du pin.....	59
Figure 3.8: Les papillons mâles piégés par la phéromone.....	60
Figure 3.9: les pontes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	60
Figure 3.10: Conditionnement des pontes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	61

Figure 3.11: Mensuration des pontes.....	62
Figure 3.12: Ecllosion des pontes de la processionnaire.....	62
Figure 3.13: Tubes contenant des manchons parasités.....	63
Figure 3.14: Mensuration des larves de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	64
Figure 3.15: Les nymphes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	64
Figure 3.16: Le clinomètre Suunto Tandem.....	65
Figure 4.1: Courbe cumulative des émergences des papillons	69
Figure 4.2: Comparaison des moyennes de longueur des papillons en provenance des trois stations.....	70
Figure 4.3: Comparaison des moyennes d'envergure des papillons en provenance des trois stations.....	70
Figure 4.4: Analyse fréquentielle des longueurs des papillons mâles.....	71
Figure 4.5: Analyse fréquentielle des envergures des papillons mâles.....	72
Figure 4.6: Analyse fréquentielle des effectifs des œufs.....	73
Figure 4.7: Relation entre le nombre d'œufs et la longueur de la ponte	74
Figure 4.8: Relation entre le nombre d'œufs et le diamètre de la ponte.....	75
Figure 4.9: Courbe cumulative des éclosions de pontes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	76
Figure 4.10: Fréquence journalière d'éclosion de pontes datées en fonction des températures moyennes journalières.....	76
Figure 4.11: Pourcentages des catégories d'œufs de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> dans la cédraie de Chréa.....	77
Figure 4.12: les catégories d'œufs de la processionnaire du pin.....	78
Figure 4.13: Manchons et écailles de pontes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	79
Figure 4.14: Types d'écailles de pontes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	79
Figure 4.15: Les pontes de la processionnaire.....	80
Figure 4.16: Les parasitoïdes oophages de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> identifiés sur le cèdre de l'Atlas à Chréa.....	81
Figure 4.17: <i>Ephippiger</i> prédateur des pontes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	82
Figure 4.18: Nid mort prédaté par la mésange	83

Figure 4.19: Les colonies des premiers stades larvaires de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	84
Figure 4.20: Les processions aux premiers stades de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	84
Figure 4.21: Analyse fréquentielle des longueurs des et des largeurs des capsules céphaliques des chenilles du premier stade	86
Figure 4.22: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques des chenilles du deuxième stade.....	87
Figure 4.23: Analyse fréquentielle des longueurs des et des largeurs des capsules céphaliques du troisième stade	88
Figure 4.24: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques du quatrième stade.....	88
Figure 4.25: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques du cinquième stade.....	90
Figure 4.26: Les chrysalides de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> extraites de leur cocon.....	91
Figure 4.27: Comparaison des moyennes des longueurs des chrysalides Mâles et femelles.....	91
Figure 4.28: Comparaison des moyennes des largeurs des chrysalides mâles et femelles.....	92
Figure 4.29: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des chrysalides mâles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	92
Figure 4.30: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des chrysalides femelles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	93
Figure 4.31: Comparaison des moyennes des nids par arbre dans les stations prospectées.....	95
Figure 4.32: Relation entre la hauteur totale des arbres et le nombre de nids.....	96
Figure 4.33: Comparaison des moyennes des nids et des hauteurs d'arbres dans les deux tranches altitudinales.....	97
Figure 4.34: Répartition des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre	98
Figure 4.35: Classification ascendante hiérarchique des différentes expositions des nids d'hiver (calculé par le biais des distances	

euclidiennes).....	99
Figure 4.36: Projection des expositions des nids d'hiver en fonction de l'altitude sur les deux axes de l'analyse en composantes principales (ACP).....	100
Figure 5.1: Cycle biologique de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> dans la cédraie de Chréa	106
Tableau 1.1: Les ennemis naturels de la processionnaire du pin	35
Tableau 3.1: Températures moyennes mensuelles corrigées pour la période 1995-2010	51
Tableau 3.2: Moyennes mensuelles des précipitations corrigées pour la période 1995-2010.....	53
Tableau 4.1: Analyse descriptives des captures des papillons mâles par station.....	68
Tableau 4.2: Analyse descriptive des mensurations des papillons	69
Tableau 4.3: Analyse descriptive du nombre des œufs	72
Tableau 4.4: Analyse descriptive des pontes de la processionnaire du pin.....	74
Tableau 4.5: Analyse descriptive des catégories d'œufs examinés	77
Tableau 4.6: Les espèces oophages de la processionnaire du pin et leur importance.....	80
Tableau 4.7: Analyse descriptive des stades larvaires de <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	83
Tableau 4.8: Analyse descriptive des longueurs et des largeurs des chrysalides	90
Tableau 4.9: Evolution chronologique de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> dans la cédraie de Chréa.....	94
Tableau 4.10: Analyse descriptive des nids dénombrés	95

INTRODUCTION

Divers rôles sont attribués aux forêts dans leur large gamme de diversité structurelle. Elles restent un maillon central dans les équilibres naturels en conservant les sols, protégeant les agro-systèmes, régulant le climat et conservant les ressources hydriques. En Algérie le patrimoine forestier couvre une superficie de 4,15 millions d'hectares, soit un taux de boisement de 11% pour le Nord de l'Algérie. La forêt représente 1,3 millions d'hectares et le reste constitue les maquis, les garrigues et les terres improductives aux potentialités forestières. Les principales essences qui structurent la strate arborescente sont le pin d'Alep, le pin maritime, le cèdre et les feuillues à base de Chêne vert, de chêne-liège, de chêne zeen et de chêne afares [1].

Le cèdre est sans doute l'essence forestière la plus emblématique du paysage de Nord-Africain. En Algérie les cédraies suscitent un intérêt exceptionnel qui s'oriente vers la sauvegarde et l'extension. Elles sont localisées dans des aires protégées et offrent une grande diversité de biotopes d'une grande richesse biologique. De nombreux travaux ont été consacrés aux aspects biologiques, écologiques et économiques de cette essence qui présente le pivot dans le maintien des écosystèmes montagnards. Ainsi M'HIRIT [2], [3], [4], TOTH [5], [6], [7] ; ROQUES [8] ; FERRANDES [9] et RIPERT *et al* [10] ont signalé que le cèdre de l'Atlas est devenu hors de son aire naturelle, l'essence de base pour la revalorisation et la reconstitution des forêts improductives ou dégradées et la restauration des montagnes dénudées. Il est d'ailleurs considéré comme l'espèce la plus importante écologiquement et économiquement de la montagne méditerranéenne [11] ; [4] ; [12].

Malgré la faculté d'adaptation du cèdre dans des conditions difficiles, sa résistance aux incendies, sa faible inflammabilité, son bois de bonne qualité et de longue longévité [7], il est confronté aux méfaits de la désertification, le pâturage, les coupes illicites, les incendies, les maladies, et à des conditions climatiques sévères avec des phases de sécheresse prolongée influant défavorablement sur la croissance des arbres et sur la régénération naturelle. C'est ainsi que plusieurs chercheurs ont signalé la présence des signes de dépérissement dans certaines cédraies algériennes notamment celle des Aurès [13]; [14].

En effet, la région méditerranéenne a été identifiée comme étant l'un des points critiques du changement climatique global. Les prévisions indiquent que la sécheresse et les vagues de chaleur vont s'accroître. Les premiers signes de ce changement sont déjà ressentis au niveau des fonctions des écosystèmes des forêts méditerranéennes. Les observations récentes tendent à montrer que les populations d'insectes forestiers méditerranéens commencent déjà à répondre aux changements climatiques [15]. La diversité entomologique des peuplements de cèdre est très riche et renferme une multitude d'espèces d'insectes ravageurs dont les plus redoutables actuellement sont les processionnaires [16]. Les effets des insectes défoliateurs sur la croissance et la production des essences forestières ont été soulignés depuis longtemps par de nombreux auteurs [17]; [18]; [19]; [20]; [21]; [22]; [23]; [24]; [25]; [26]; [27]; [28]; [29]; [30].

Les auteurs précités notent que la défoliation provoque des pertes d'accroissement des arbres fortement défeuillés, et occasionne des dégâts importants aux jeunes plantations et à la régénération. En 1979, la processionnaire du pin a attaqué 54000 hectares de cèdre au Maroc dont, 20000 hectares ont été défeuillés à plus de 50% et 4000 hectares ont été totalement défeuillés [16].

Les processionnaires sont considérées comme de véritables ravageurs de forêts du fait de leur mode de vie grégaire et de leur voracité sans égal. Un arbre habité de chenilles processionnaires peut en effet subir, sur plusieurs saisons de graves défoliations et finir par dépérir. En Algérie deux espèces *Thaumetopea bonjeani* Powel et *Thaumetopoea pytiocampa* Schiff sont responsables de la défoliation du cèdre [31]; [32]. Si la première est peu abondante et spécifique, la deuxième par contre est très cosmopolite et entraîne des dégâts conséquents aux pins et au cèdre de l'Atlas de la région méditerranéenne.

La processionnaire dite du pin présente des culminations de population périodiques dans la cédraie de Chréa ce qui fragilise la forêt davantage et facilite l'installation des autres ravageurs secondaires. A certains stades, ces chenilles sont dotées de poils urticants, de taille minuscule, qui peuvent provoquer des réactions allergiques très graves chez les populations sensibles.

La processionnaire du pin a fait l'objet d'un effort considérable de recherche afin de réguler ses populations. DEMOLIN [33], [34] ; BERTELLA [31] ; ZAMOUM [35] se sont penchés sur l'étude des facteurs de fluctuation d'abondance et de variation de cycle, sur le complexe d'ennemis naturels et sur les essais de lutte biologique dans les cédraies de l'Algérie. Ces études poursuivies depuis plusieurs années ont permis d'accumuler une somme considérable de renseignements sur ce déprédateur. Cependant sa présence dans des sites protégés limite les possibilités d'interventions qui ballottent entre le devoir de sauvegarder le patrimoine et la nécessité de maintenir la diversité biologique du milieu protégé.

L'objectif principal de cette recherche est de fournir un maximum de données sur la processionnaire dite du pin qui sévit dans les peuplements de cèdre dans le Parc National de Chréa, afin de développer des méthodes d'intervention qui permettent de réduire l'intensité et la fréquence des pullulations de ces insectes, tout en étant économiquement rentables et sans effets secondaires sur le milieu. Cette étude se fixe comme but d'approcher en détail la biologie de cette espèce dans son milieu naturel pour renforcer et compléter les recherches scientifiques qui sont les seules capables de prédire l'évolution démographique de ce défoliateur. Le manque de données sur les populations de la processionnaire dans la région de l'Atlas Blideen, les fréquentes infestations enregistrées dans les formations de cèdre à Chréa et le recours aux traitements ponctuels en absence des renseignements de terrain nous ont incités à entreprendre cette étude afin de contribuer à répondre à certaines questions qui sont essentiels à l'échelle de la décision des programmes forestiers.

La première partie de ce travail est consacrée à une synthèse de réflexion sur la processionnaire dite du pin. La seconde partie traite les données relatives à la bioécologie de cèdre de l'Atlas. Dans la troisième partie, nous présentons le site de l'étude, le matériel utilisé et les méthodes adoptées. Le quatrième chapitre concerne les résultats et les discussions font l'objet du dernier chapitre.

L'intérêt de cette étude est de suivre l'évolution des populations de la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* sur le cèdre de l'Atlas, de caractériser ses différents stades de développement, de suivre la dynamique de

l'insecte au cours de sa gradation actuelle (2010-2011) dans la région de l'Atlas Blideen, et de tirer les renseignements sur le complexe des axillaires parasites.

CHAPITRE 1

SYNTHESE DE RECHERCHE ET REFLEXION SUR LA PROCESSIONNAIRE DITE DU PIN ; *Thaumetopoea pityocampa*

1. 1 Réflexion biosystématique sur le genre *Thaumetopoea*

La famille de *Thaumetopoeidae* est constituée d'un seul genre *Thaumetopoea*, auquel on connaît actuellement 9 espèces de processionnaires [36] qui vivent dans la région méditerranéenne, *T. pityocampa* (Schiff), *T. solitaria* (Freyer), *T. processionea* (Linneo), *T. bonjeani* (Powell), *T. pinivora* (Treitschke), *T. herculeana* (Rambur), *T. jordana* (Staudinger), *T. wilkinsoni* (Tams) ,et *T. cheela* (Moore) qui est décrite en Inde [37].

Parmi ces processionnaires, cinq espèces sont citées actuellement dans la littérature comme pouvant s'attaquer aux cèdres. Trois d'entre elles, *T. bonjeani* Powell, *T. libanotica* Kiriakoff et Talouk et *T. solitaria* Freyer appartiennent aux processionnaires d'été, elles effectuent leur développement larvaire durant le printemps jusqu'au début de l'été. Les deux autres, *T. pytiocampa* Schiff et *T. wilkinsoni* Tams qui s'attaquent aux genres *Pinus* et *Cedrus*, appartiennent aux processionnaires d'hiver, effectuent leur développement de la fin de l'été jusqu'au printemps suivant.

De nombreux chercheurs s'intéressent au statut taxonomique de certaines espèces, et soulignent qu'il existe une grande confusion entomologique entre les différentes races géographiques. En réalité plusieurs espèces du genre *Thaumetopoea* coexistent, ce qui rend leur identification très difficile. On peut toutefois noter quelques différences physiques, notamment au niveau de l'intensité de la couleur des ailes, plus ou moins foncée selon la région, mais surtout au niveau de la date d'éclosion [38].

Chez les insectes phytophages, les études de phylogéographie ont montré que dans l'immense majorité des cas, la spécialisation par plante-hôte est le

moteur principal de la différenciation des populations. Les individus se reproduisent très majoritairement avec leurs congénères ayant les mêmes préférences d'hôtes. Cela amène à des formations de races d'hôtes ou d'espèces cryptiques spécialisées au sein de ce qui était considéré comme une espèce polyphage. Une seconde cause de différenciation peut être un décalage accidentel du cycle biologique consécutif à une mutation, ou à une introgression après hybridation. Dans ce cas, certains adultes mutants montrent un décalage dans le temps de leur activité reproductive sans changement d'hôte, et les flux de gènes sont brutalement stoppés avec les individus ayant maintenu un cycle biologique normal. Les décalages phénologiques observés sont souvent consécutifs à un changement d'hôte et liés aux pressions de sélection imposées par ce nouvel hôte [39].

La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* fait partie d'un complexe d'espèces réparti sur l'ensemble du bassin méditerranéen jusqu'en façade atlantique. Depuis quelques années, cette espèce fait l'objet de plusieurs recherches fondamentales en écologie, et en génétique des populations. De nombreuses questions ont été abordées sur ce modèle biologique (évolution des traits adaptatifs, dynamique des populations, analyse de l'expansion en lien avec les changements globaux, interactions plante-insecte, modélisation des processus de dispersion). Plusieurs chercheurs discutent le statut taxonomique de *T.pityocampa* et *T. wilkinsoni* qui possèdent les mêmes traits biologiques ainsi certains auteurs considèrent que *T.wilkinsoni* est un écotype et non une espèce différente (Figure1.1) [40].

Une autre confusion existe depuis longtemps entre *T.pityocampa* Schiff et la processionnaire d'été *T. bonjeani* Powel du fait qu'elles peuvent toutes vivre sur le cèdre [40].

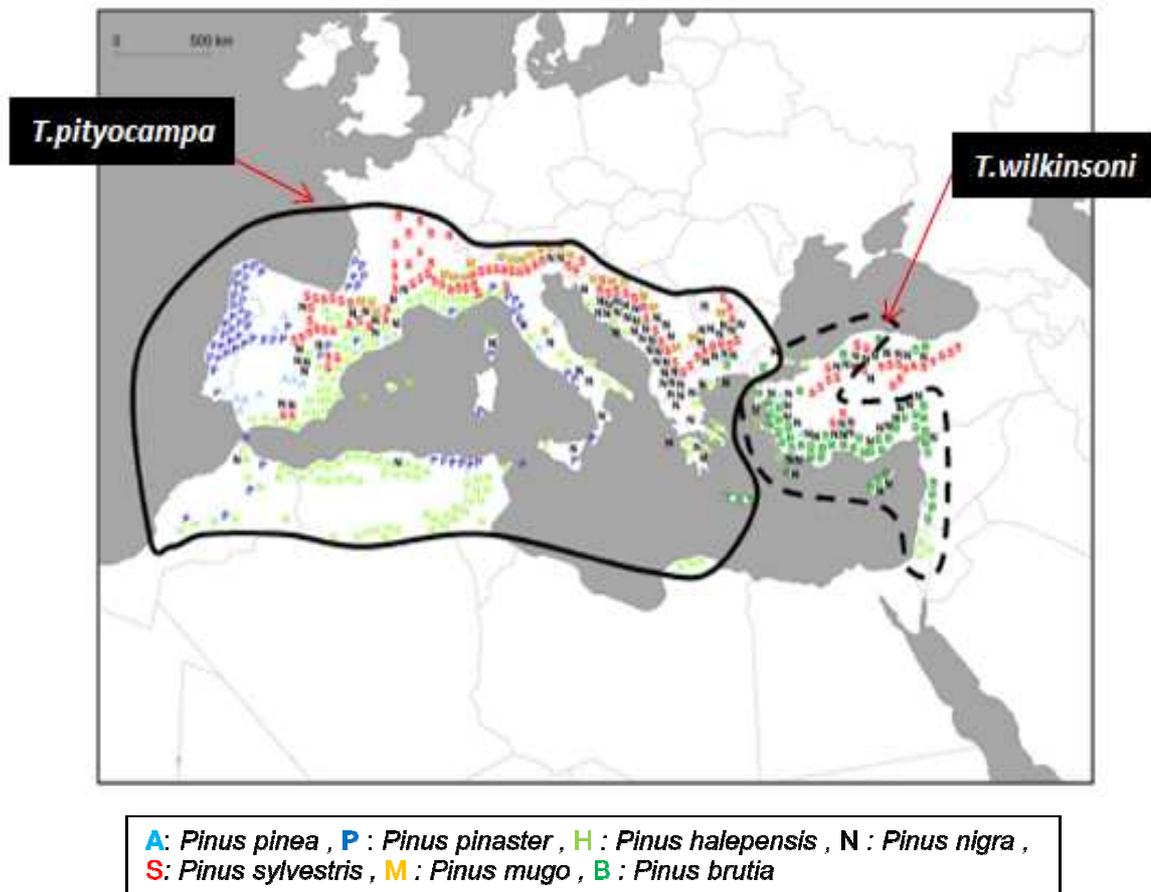


Figure 1.1: Aire de répartition de *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea wilkinsoni* en relation avec leurs plantes hôtes [39]

Les études de la structure phylogéographique du complexe d'espèces du genre *Thaumetopoea* sur l'ensemble du pourtour méditerranéen pour caractériser le degré de divergence entre certaines espèces, à savoir *T.pityocampa* et *T. wilkinsoni* et préciser les aires de leur distribution, ainsi que les zones de contact potentielles, ont montré que les lignées maternelles sont fortement structurées dans l'espace [39]. Trois clades majeurs fortement différenciés ont été déterminés sur l'ensemble de la Méditerranée, un clade présent en Europe (Est de la Grèce, la France, l'Italie et une partie des Balkans) et dans une partie du Maghreb (Maroc et sud de l'Algérie), ce qui pourrait correspondre à *T. pityocampa sensu stricto* ou clade *pityocampa*; un second clade regroupe les populations de Chypre, Turquie, Liban, et pourrait correspondre à *T. wilkinsoni* ou clade *wilkinsoni*. Un troisième clade comprend les individus d'une

partie de l'Algérie, de Tunisie et de Libye, et ne correspond à aucune entité taxonomique connue c'est le clade ENA ou Eastern-North -Africa.

Ces résultats ont montré également une très forte structuration spatiale au sein de chacun des trois clades majeurs. Le clade *pityocampa* est ainsi formé de 5 sous-clades (Sud Maroc, Nord Maroc, Corse, Péninsule Ibérique, et reste de l'Europe), le clade *wilkinsoni* contient 4 sous-clades (Crête, Chypre, Est-Turquie et Ouest-Turquie) et le clade ENA en contient 3 (Algérie, Tunisie et Libye) (Figure 1. 2).

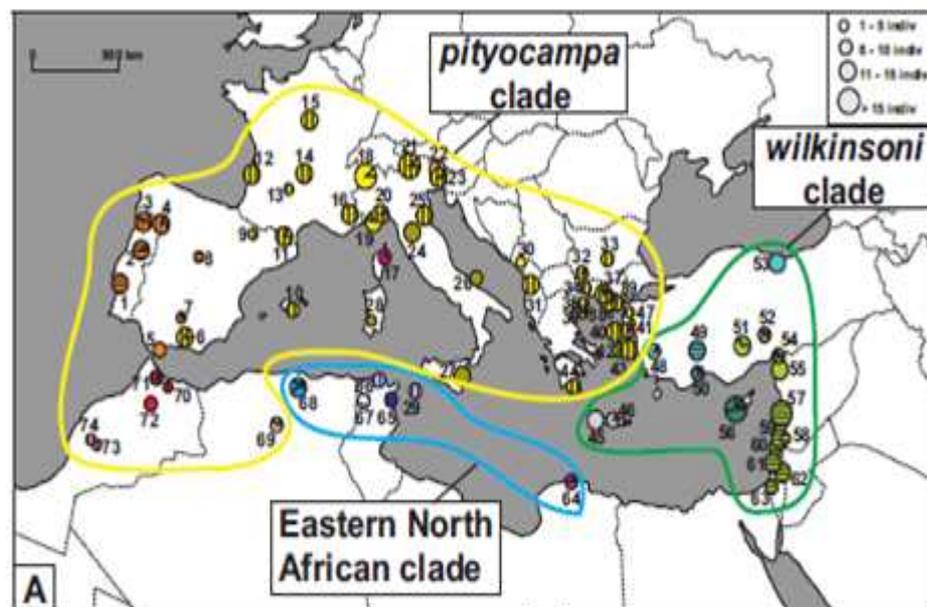


Figure 1.2: Distribution géographique des clades de *Thaumetopoea pityocampa* /*Thaumetopoea wilkinsoni* [39]

D'autre part, des études biosystématiques prenant en compte la biologie des espèces, les phéromones et les critères morphologiques et anatomiques, convergent toutes pour permettre de penser que les espèces *T.pinivora*, *T.bonjeani*, *T.libanotica*, vivant en cédraie turque (sous le nom de *T.solitaria*) seraient des races géographiques d'une même espèce. Les différences constatées seraient que l'expression d'une forte variabilité intraspécifique apparue à la suite d'isolements forcés de plusieurs populations, repliés en altitude, ou à une latitude plus nordique, à la suite d'un recul important des glaciations, les obligent de s'inféoder soit au cèdre (Afrique du nord) soit au pin (Europe) [40].

1.2 Diagnose des adultes du genre *Thaumetopoea*

1.2.1 Variation de la forme des écailles anales des femelles

L'étude de la forme et de la dimension des écailles maternelles que la femelle dépose sur ses œufs au moment de la ponte est une méthode d'approche pour déterminer les espèces du genre *Thaumetopoea* vivant sur les résineux [36]. La figure 1.3 montre les différents types d'écailles chez les espèces du genre *Thaumetopoea*. Ces écailles ont été prélevées dans la touffe abdominale de plusieurs centaines de femelles. L'écaille dessinée, par localité, correspond à la forme la plus répandue observée parmi les plus grandes.

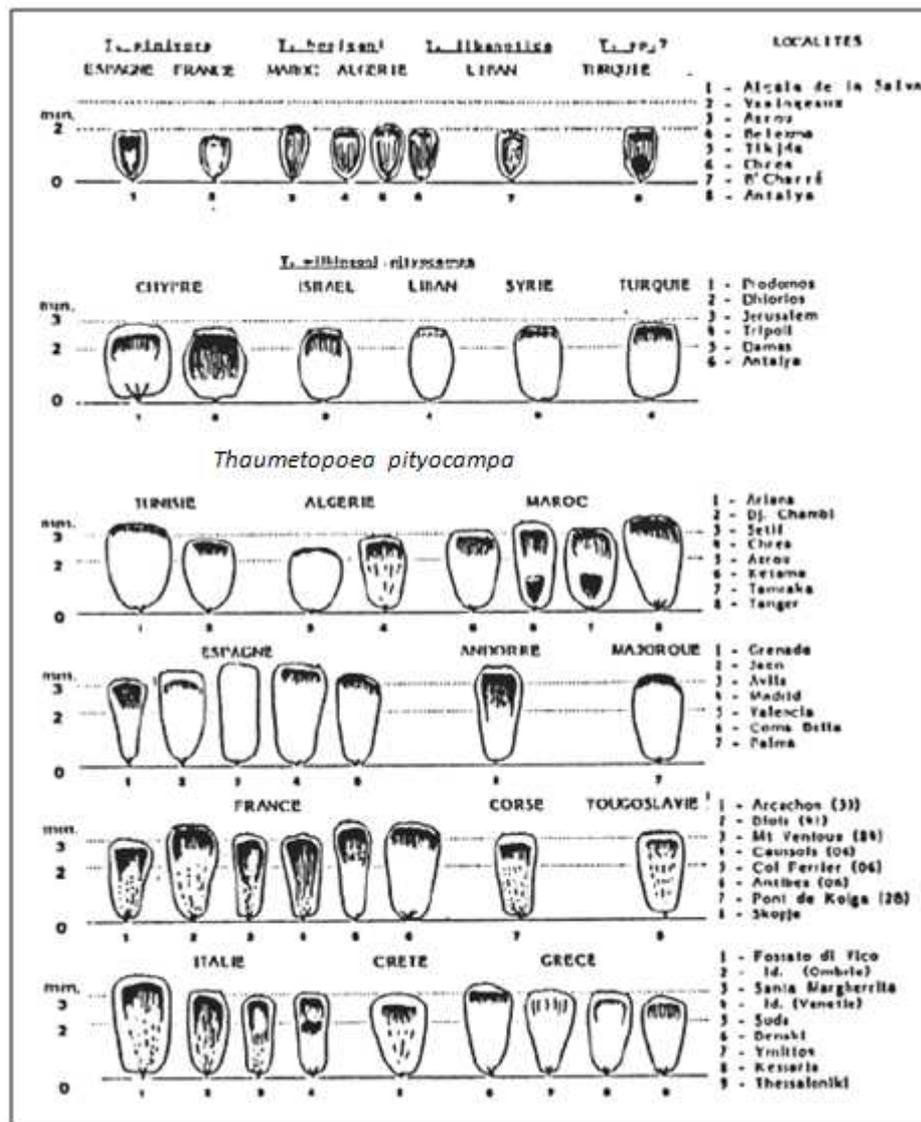


Figure 1.3 : Variation de la forme et de la dimension des écailles maternelles de quatre espèces du genre *Thaumetopoea* inféodées aux résineux (*T.bonjeani*, *T.pinivora*, *T.wilkinsoni*, *T.pityocampa*) [40].

1.2.2 Genitalia mâle

L'étude des genitalia a toujours été considérée comme élément fondamental d'une identification précise des espèces de Lépidoptères. Chez les espèces de genre *Thaumetopoea*, l'armature génitale mâle est constituée d'un uncus court, généralement arrondi, un gnathos large fabiforme ou même semicirculaire, des valves plus ou moins foliformes, avec un bref processus à la base de la côte, pouvant manquer un processus costal ou apical en crochet. L'edéage est à peu près aussi long que la valve, grêle, recourbé en faucille distalement, fulture inférieur en écusson, à bord proximal étiré aux angles. Saccus variable, typiquement assez allongé (Figure1.4).

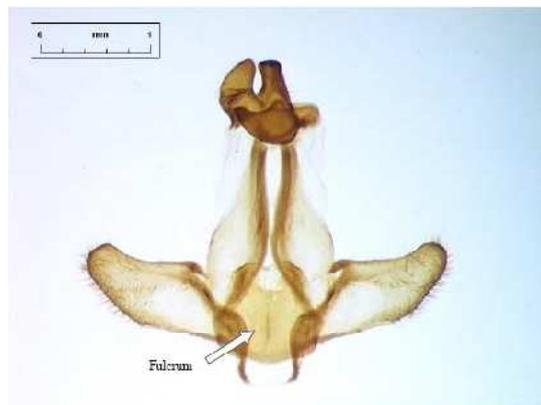


Figure 1.4 : Genitalia de la processionnaire du pin (France)
Thaumetopoea pityocampa [40]

1.3 Position Systématique et aire de répartition de *Thaumetopoea pityocampa*

La processionnaire du pin, ou *Thaumetopoea pityocampa*, est l'un des plus grands ravageurs forestiers. Elle a été mentionnée depuis plus de deux cents ans et décrite pour la première fois par DENIS & SHIFFERMULLER en 1776 dans le genre *Bombyx*. En 1822, HUBNER créa le genre *Thaumetopoea* pour toutes les espèces incluses aujourd'hui dans la famille des *Thaumetopoeidae*. Stephens, fit passer en 1928 toutes les espèces du genre *Thaumetopoea* dans le genre *Cnethocampa*, qu'il a placé dans la famille des *Notodontidae* [36].

La processionnaire fait partie de :

Classe : *Insecta*

Ordre : *Lepidoptera*
 Famille : *Thaumetopoeidae*
 Genre : *Thaumetopoea*
 Espèce : *pityocampa*
 Noms communs : Pine processionary (anglais)
 Procesionaria del pino (espagnol)
 Processionnaire du pin (français)

Son aire s'étend de l'Europe centrale et méridionale jusqu'en Afrique du nord et au Proche-Orient. Elle est présente dans l'ensemble du bassin méditerranéen, et s'observe dans les forêts résineuses de pin et de cèdre. Elle atteint, en France, la limite nord de son aire d'extension et en Algérie, le barrage vert est sa limite sud. Ses pullulations sont temporaires avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements [35] et [41]. La présence et l'intensité de ses dégâts sont étroitement dépendants des caractéristiques climatiques locales (température et ensoleillement). L'évolution réelle de l'aire de répartition entre 1969 et 1996 a été étudiée par DEMOLIN *et al.*, [42], qui montrent une progression de l'insecte vers le Nord de la France. Cette progression est due au réchauffement climatique global observé depuis le début des années 70 en Europe du Nord. Cette hypothèse est confirmée par GOUSSARD *et al.*, [43], et HODAR *et al.*, [44], qui constatent une progression en altitude de l'espèce.

1.4 Bioécologie de la processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa*

On désigne sous le nom de processionnaire, des chenilles grégaires et arboricoles qui construisent des nids de soie leur servant de refuge collectif, et qui se déplacent à la queue leu leu en procession de nymphe. Les chenilles processionnaires se reconnaissent à leurs huit paires de pattes (dont deux paires sont de fausses pattes abdominales). La conséquence du grégarisme est l'apparition d'un effet de groupe caractérisé par la coordination des activités individuelles en une activité collective qui se manifeste par la construction du nid. En outre, on observe le tissage de pistes de soie servant, au guidage des individus, aux déplacements collectifs en file indienne, et à la prise de nourriture en commun [45].

1.4.1 Cycle biologique de *Thaumetopoea pityocampa*

Thaumetopoea pityocampa est une espèce monovoltine. Son cycle est annuel mais parfois il peut s'étendre sur plusieurs années, selon les conditions environnementales. Celui-ci est, en effet, sensible à la température et à l'insolation. Il comprend deux phases : l'une aérienne sur l'arbre (évolution larvaire), l'autre souterraine (prénymphe et nymphe) [46]. La sortie des papillons s'effectue durant l'été entre les mois de juin et de septembre selon le climat. Les adultes mâle et femelle s'accouplent. Le mâle meurt un à deux jours après. La femelle s'envole et pond en moyenne 100 à 300 œufs sur des aiguilles de pin ou des branches de cèdre, puis elle meurt à son tour. Les chenilles éclosent 30 à 45 jours après la ponte. Elles se nourrissent des aiguilles de l'arbre. Au cours de leur croissance, les chenilles changent de couleur et se couvrent de plus en plus de poils. En automne, elles 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, il s'agit de la procession de nymphe. Toutes les chenilles se tiennent les unes aux autres et se déplacent en longue file qui peut compter plus d'une centaine de chenilles. La nymphe se déroule à environ 10 cm de profondeur, et la nymphe entre en diapause qui s'arrête toujours un mois avant la sortie des adultes. Certaines nymphes et parfois même la totalité des nymphes peuvent ne pas se transformer en adultes l'année de la nymphe, la nymphe s'étendant alors jusqu'à l'année suivante et parfois au de-là [47]. Deux semaines plus tard, dans le sol, les processionnaires tissent des cocons individuels et se transforment en chrysalides. Elles restent dans cet état pendant plusieurs mois ou parfois plusieurs années selon les régions [48]. Au bout de quelques mois, chaque chrysalide se métamorphose en papillon. En été, les papillons sortent de la terre et marquent le début d'un autre cycle.

1.4.2 Caractéristiques des écophases

1.4.2.1 Le stade adulte

Les dates d'émergence qui caractérisent le début du cycle varient en fonction de l'altitude, la latitude et des conditions climatiques. Elles tendront à se situer à l'époque la plus favorable pour qu'il ait survie de la descendance. Cette date est maintenue par la diapause qui assure un rythme annuel précis. La sortie des adultes a lieu au cours des mois de juillet et d'août, au coucher du soleil. L'heure exacte varie en fonction de la pression atmosphérique journalière. Les mâles émergent environ une demi-heure avant les femelles. Les imagos sortent du cocon grâce à la présence de crêtes sclérifiées (canthus) situées sur leurs têtes qui permettent de trouser l'enveloppe de la chrysalide [49]. Morphologiquement, les deux sexes se ressemblent. L'envergure alaire des femelles est de 36 à 49 mm, celle des mâles est de 31 à 39. Les antennes sont filiformes chez la femelle et pectinée chez le mâle. Les deux sexes ont un thorax poilu. L'abdomen des mâles est velu et pointu. Les ailes antérieures sont gris cendré terne et les ailes postérieures sont blanches, à franges grises, avec une tache noire caractéristique au niveau de la région anale. Les mâles se distinguent néanmoins des femelles par leur taille plus petite. Les papillons sont nocturnes et éphémère (un à deux jours). Le mâle peut voler jusqu'à 50 kilomètres et la femelle ne dépasse pas une distance de 3 à 4 kilomètres. A la sortie de terre, les papillons vont vers un lieu surélevé pour déployer leurs ailes pendant quelques minutes. A la tombée de la nuit, l'activité des papillons commence. Les femelles cherchent une zone de repos. Quelques heures après, elles se placent dans une position d'appel en émettant une phéromone spécifique [50], appelé la pitylure. Les papillons mâles attirés par la phéromone sexuelle s'envolent à la recherche des femelles. Après l'accouplement qui dure environ une heure, les deux papillons se séparent. Les mâles meurent un à deux jours plus tard. Les femelles fécondées s'envolent et choisissent un arbre pour pondre pendant une durée de trois ou quatre heures [49].

1.4.2.2 Les pontes

Après l'accouplement, la femelle pond sur des petites branches des arbres les plus proches. En l'absence de site favorable, elle pourra parcourir plusieurs

kilomètres en effectuant un vol à une vitesse de l'ordre de 10 à 15 Km/h pour conquérir d'autres territoires [51]. Elle n'abandonnera ses œufs sur d'autres essences que le pin, qu'en ultime recours [52]. La distance à parcourir entre le lieu d'accouplement et le lieu de ponte ne semble pas constituer une limite pour le choix de l'hôte. La femelle peut en effet parcourir des distances de plusieurs kilomètres, ce qui facilite l'extension rapide du foyer d'infestation [52]. Elle dépose tous ses œufs en une seule fois sous forme de manchon de 1 à 5 centimètres de longueur autour de deux ou plusieurs aiguilles de pin ou en plaque sur la partie basse de petits rameaux de cèdre. Les œufs pondus sont recouverts par des écailles beiges clairs ou brunes noirâtres qui proviennent de l'extrémité de l'abdomen de la femelle. Selon DEMOLIN [53], le premier critère de ponte de la femelle est le diamètre des aiguilles. Une étude plus récente attribue la préférence à la présence de substances volatiles émanant des tissus des aiguilles, comme le limonène [54]. Les pontes comptent en fonction du stade de gradation de la population et selon les conditions d'alimentation des chenilles de 70 à 300 œufs par femelle [49] et [51]. De nombreuses causes, notamment la densité et la qualité des aiguilles, peuvent intervenir et entraîner la malformation des pontes [53]. Les manchons de pontes sont de couleur gris argenté à brun jaunâtre, brillants. L'œuf a une forme sphérique, et de couleur blanche.

1.4.2.3 Les stades larvaires

L'éclosion des œufs s'effectue de la fin juillet à la fin septembre. Le développement larvaire s'effectue en cinq stades. Ethologiquement, on distingue une période ambulatoire allant de l'éclosion aux premiers froids et une période du nid d'hiver durant laquelle la colonie reste à emplacement fixe jusqu'à la maturité des chenilles. Après l'éclosion, les chenilles d'une même colonie restent groupées tout au long de leur évolution. Ce grégarisme étant essentiel à leur survie. Elles changent fréquemment d'emplacement à la recherche de la nourriture. Les cinq larves se distinguent par des différences dans les dimensions de la capsule céphalique, la taille de la chenille en longueur et en diamètre, et la quantité de soies (poils). La chenille du premier stade est de couleur vert pomme terne, longue de 3mm. Après la deuxième mue les chenilles prennent un aspect définitif. Elles atteignent au dernier stade près de 5cm de longueur et acquièrent une couleur brun roux avec des soies latérales blanches [49]. Les chenilles des trois

premiers stades édifient des pré-nids en soie sur les aiguilles [55] et se déplacent de branche en branche en étant reliées entre elles par des fils de soie. Dans ces pré-nids on trouve après une dizaine de jours les exuvies de du premier stade, 20 jours plus tard, les chenilles évoluent vers le second stade. Au troisième stade, les touffes de poiles urticants rougeâtres apparaissent par paire sur le coté dorsal de chaque segment de la chenille. Ces poiles sont libérés lors des déplacements ou bien quand les chenilles se sentent en danger. A la fin de l'automne, les chenilles tissent sur la partie la plus ensoleillée de l'arbre un nid d'hiver qui sert d'accumulateur de la chaleur pour les derniers stades. A chaque stade larvaire, les chenilles entrent dans une période de mue où elles cessent de s'alimenter. Au printemps, le cinquième stade forme des processions de nymphose, souvent guidées par une femelle. Toutes les chenilles d'une même ponte, descendent et s'enterrent pour se nymphoser dans un cocon en une chrysalide diaposante. La durée des stades larvaires dépend du climat. Plus l'hiver sera de longue durée, plus la vitesse d'évolution larvaire est diminuée principalement au quatrième stade [56].

1.4.2.4. Le nid d'hiver

Dès l'arrivée des premiers froids, les chenilles, tissent sur les extrémités des branches exposées au soleil, une bourse de soie volumineuse appelée le nid d'hiver [51]. Ce nid est plus ou moins piriforme, de 10 à 15 cm de diamètre, se prolongeant jusqu'à 30 cm vers le bas. Il comprend deux enveloppes superposées, une interne d'épaisseur importante et une externe plus lâche, qui a un rôle de superstructure, sans aucun orifice de sortie. Les chenilles se faufilent à travers les mailles du tissage pour entrer ou sortir. Elles ne sortent que la nuit pour s'alimenter en se déplaçant en procession suivant un fil de soie et réintègrent les bourses pendant la journée. Les crottes s'accumulent à la partie inférieure. Le nid représente un facteur essentiel de survie pour les colonies de chenilles, car il permet non seulement l'effet de masse mais une compensation thermique [57]: il peut y faire jusqu'à 20°C de plus qu'à l'extérieur (Figure 1. 5).



(Originales, 2010)

Figure 1.5 : Architecture du nid d'hiver de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Chréa

1.4.2.5 La procession de nymphose

La procession de nymphose, s'effectue entre les mois de février et mai, et peut durer jusqu'à six jours. Les processions peuvent se déplacer jusqu'à 40 mètres [56]. La colonie se dirige vers une zone   clair  e et lorsqu'elle parvient à un endroit où le terrain est à la fois ensoleillé et meuble, la procession cesse et l'ensemble des chenilles se regroupe et s'enfouissent selon une profondeur variant de 5 à 20 centimètres. L'enfouissement, n'est pas toujours définitif [55]. Si les conditions d'espace et de température ne sont pas réunies, les chenilles peuvent ressortir pour chercher une zone plus propice.

1.4.2.6 Phase souterraine

Après l'enfouissement, commence la phase souterraine, et se déroule de mars à juillet. Les chenilles se nymphosent en commun dans le sol dans des cocons individuels, serrés les uns contre les autres et arrêtent leur développement. Ces cocons soyeux de nymphose sont blanc-ocres, et ovales. La chrysalide compl  tement form  e, entre en diapause obligatoire (arrêt de développement de la nymphe et formation de l'adulte) qui dure jusqu'à un mois avant la date localement favorable pour l'émergence des adultes. Elle mesure jusqu'à 14 mm de long et 6 à 7 mm de large. Elle est de couleur brun rouge,

légèrement brillante. En cas de température trop basse ou trop élevée au moment de la morphogénèse, la diapause peut être prolongée et peut durer jusqu'à cinq ans [58]. Le taux de diapause prolongée est pratiquement nul en zone méditerranéenne et avoisine 100% dans les montagnes Corses [59]. Cette variabilité est un problème important pour l'organisation de la lutte contre la processionnaire du pin.

1.5 Influence des facteurs climatiques sur le développement de la processionnaire du pin

L'action primordiale des facteurs climatiques sur la biologie de la processionnaire du pin, et notamment celle des températures minimales du mois de janvier et de l'insolation annuelle, a été clairement établie par DEMOLIN, qui a suggéré dès les années 1960 que les gradations de ce ravageur étaient en priorité liées aux facteurs climatiques [49] et [34]. L'auteur précité note que les fortes ou basses températures peuvent provoquer des perturbations physiologiques importantes, pouvant aller jusqu'à l'arrêt de l'alimentation. L'alimentation étant nocturne, est conditionnée par la succession d'une température supérieure à 9 C° dans le nid durant le jour et d'une température de l'air supérieure à 0 C° la nuit suivante.

L'insolation et l'effet de masse interviennent pour compenser les baisses de températures et permettent à la processionnaire une évolution larvaire hivernale dans les régions à forte ensoleillement. La processionnaire présente deux seuils thermiques qui affectent directement la survie de ses populations. En effet les températures supérieures à 32 °C sont extrêmement néfastes pour les œufs en incubation ou pour les chenilles en cours d'évolution. Elles sont le plus souvent à l'origine des mortalités physiologiques. À des températures en dessous de -16°C les chenilles meurent. Quant aux processions, elles n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10°C et 22°C. Aux températures inférieures, les chenilles restent groupées à la surface du sol et s'enfouissent aux températures supérieures [49]. Dans les régions à été chaud ou la température moyenne des maximums mensuels dépasse 25C°, les adultes émergent tardivement afin d'assurer à leur descendance un optimum thermique vital. Pour

résister pendant l'hiver aux températures très basses, les chenilles doivent être suffisamment évoluées pour supporter, par effet de masse les minimums absolus dépassant -10 °C. Ce qui implique que les adultes doivent pondre très tôt [49]. En latitude nordique et en altitude, la durée du développement larvaire devient plus importante, et ceci au détriment de la diapause nymphale.

Dans le cas où l'hiver se prolonge, l'évolution larvaire peut être ralentie, ce qui ne permet pas aux adultes de sortir à la date requise même si la diapause est de durée nulle. Pendant toute leur évolution, les chenilles enregistrent ces ralentissements de développement, si ces derniers dépassent une certaine limite, il y a renforcement de la diapause et passage potentiel sur le rythme biennal. Si les ralentissements se poursuivent, il peut y avoir passage sur le rythme triennal et même quadriennal [49]. Dans le cas des excès thermiques, le principe est le même, sauf que les enchainements des cycles pluriennaux sont plus complexes mais moins fréquents. Les températures élevées jouent surtout par étalement des distributions autour des dates de calages du cycle annuel. Les chenilles pendant leur évolution ont donc la possibilité d'intervenir sur la diapause qui déterminera la date de la sortie de l'adulte et cela en fonction de l'intégration des facteurs défavorables à leur évolution optimale [49].

1.6 Influence des changements climatiques sur l'extension de la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa*

Le climat joue un rôle déterminant sur la distribution géographique, sur le nombre de générations annuelles ainsi que sur l'abondance des Arthropodes [60]. Chez ces espèces, du printemps à l'automne, la température détermine l'initiation des processus vitaux tel que la croissance, l'alimentation, la mobilité, la reproduction et le développement [61]. Le rapport établi en 2007 par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [62] a signalé que la terre s'est significativement réchauffée. Les variations climatiques, matérialisées par des alternances de périodes sèches et des périodes de fortes précipitations, avec des épisodes extrêmes : crues, canicule et sécheresse, entraîneront de même une déstabilisation des écosystèmes locaux. Les climatologues soulignent qu'une hausse des températures de deux degrés équivaut à une migration de 600

kilomètres vers le Nord et de 330 mètres en altitude chez les lépidoptères. Ce réchauffement se traduit donc, par de fortes extensions des aires potentielles pour les espèces de déprédateurs dont la survie hivernale est limitée par les basses températures [63] tel est le cas de la processionnaire du pin.

Cet insecte phytophage effectue son développement larvaire durant l'hiver, ce qui le rend très sensible à la modification de température hivernale. Plusieurs équipes de chercheurs ont observé une extension de l'aire de répartition de cette espèce. Elle oppose une réponse rapide aux altérations du climat, ce qui en fait un parfait modèle d'étude [64]. Originellement distribué sur l'ensemble du pourtour méditerranéen, la processionnaire du pin a connu récemment une expansion spectaculaire en altitude et en latitude [64]. Ainsi en France la processionnaire du pin a progressé de 87 Kilomètres vers le bassin Parisien entre 1972 et 2004 et de 110m à 230m en altitude entre 1975 et 2004 dans les Alpes italiennes [65]. Cette espèce opère depuis le début des années 90 un mouvement progressif et continu vers le nord qui concorde avec l'augmentation constatée des températures en hiver [66]. La disparition des températures défavorables au développement de la processionnaire a favorisé sa progression en latitude (vers le nord de la France) mais aussi en altitude (dans les Alpes, les Pyrénées et le Massif central). La vitesse de progression de l'insecte va dépendre de ses capacités naturelles à coloniser les zones à climats plus favorables et de son adaptation aux modifications créées par l'homme. En plus des changements de l'aire de distribution, il y a risque de changement d'hôtes (observation d'attaques sur sapin de Douglas dans le Massif Central avec lequel elle entre désormais en contact en altitude), et des décalages des phases du cycle de vie, comme au Portugal où des chenilles se développent en été [39].

1.7 Influence des facteurs biotiques sur la chenille processionnaire

1.7.1 Les plantes hôtes

Il est connu que la processionnaire du pin s'attaque à toutes les espèces de pins de la région méditerranéenne, ainsi qu'occasionnellement aux cèdres. Elle montre néanmoins des préférences, particulièrement lorsque la femelle est en présence de plusieurs essences. Son comportement alimentaire a permis l'établissement de ses préférences pour certaines essences dont l'ordre est le suivant [52] :

- Pin noir d'Autriche,
- Pin laricio de Corse,
- Pin laricio,
- Pin maritime,
- Pin sylvestre,
- Pin d'Alep,
- Cèdre de l'Atlas,
- Cèdre du Liban.

DEMOLIN [53], note que cet ordre s'explique par le fait que le premier critère de ponte de la femelle est le diamètre des aiguilles. La plante hôte influe sur le développement larvaire. La survie des chenilles est supérieure sur *le Pinus sylvestris* et le *Pinus nigra* que sur le *Pinus pinaster* et *Pinus halepensis* [67]. Dans des essais de plein champ dans le nord de la Grèce, les larves se sont développées plus rapidement sur *Pinus radiata* que sur *Pinus pinea* [68]. Néanmoins ces différences ne s'appliquent pas en dehors de la zone observée. Ainsi le *Pinus pinaster* n'est pas très attaqué dans le sud de la France et en Espagne mais il est attaqué significativement dans les Landes en France. *Cedrus atlantica* n'est pas ciblé en France, mais porte des grosses colonies en Afrique du nord [69].

1.7.2 Les parasites et les prédateurs de la chenille processionnaire

Les principaux prédateurs et parasitoïdes de *Thaumetopoea pityocampa* sont décrits par plusieurs auteurs : [70] ; [71] ; [72] ; [73] ; [49] ; [74]. Ils peuvent avoir un impact très important sur les populations. Quatre types sont signalés selon leur niche écologique : œufs, chenilles, chrysalides ou papillons. Parmi les prédateurs naturels on compte un bon nombre d'Hyménoptères, et de Diptères parasites. Le principal prédateur des chenilles est le grand calosome, un Coléoptère vivant ordinairement sur le sol. C'est la larve de calosome, qui en fait la plus grosse consommation. Elle monte parfois aux arbres pour chasser ses proies. La Mésange bleue, (*Parus caeruleus*), est considérée aussi comme grande consommatrice de chenilles (Tableau 1.1).

Les études réalisées sur les taux de parasitisme ou de prédation dans toute l'aire de répartition de la processionnaire du pin montrent que dans certaines régions notamment en France, le taux de pontes attaquées peut atteindre 100 %, alors que celui d'œufs détruits atteint 28 % [70]. SCHMIDT *et al.*, [75] ont constaté sur la péninsule ibérique un taux de parasitisme des pontes variant de 11,3 à 31,7 %, alors que WAY *et al.*, [76] ont observé dans le même temps une régulation naturelle des populations de processionnaires du pin par une fourmi *Linepithema humile*.

Tableau 1.1 : Les ennemis naturels de la processionnaire du pin

stades	Œuf	Chenille	Chrysalide	Papillon
Parasites	<i>Tetrastichus servadeii</i> (Hymenoptera : Eulophidae) <i>Oencyrtus pityocampae</i> (Hymenoptera : Encyrtidae) <i>Trichogramma sp</i> (Hymenoptera:Trichogrammidae) <i>Anastatus bifasciatus</i> (Hymenoptera : Eupelmidae)	<i>Phryxe caudata</i> (Diptera : Larvaevridae) <i>Compsilura concinnata</i> (Diptera : Tachinidae) <i>Ctenophora pavidata</i> (Diptera : Tachinidae) <i>Erigorgus femorator</i> (Hymenoptera : Ichneumonidae) <i>Meteorus versicolor</i> (Hymenoptera : Braconidae) <i>Xantandrus comtus</i> (Diptera : Syrphidae)	<i>Villa brunnea</i> (Diptères : Bombyliidae) <i>Inchneumon rudis</i> (Hyménoptère : Ichneumonidae) <i>Conomorium eremita</i> (Hyménoptère : Pteromolidae) <i>Villa quinquefasciata</i> (Diptères : Bombyliidae). <i>Calosoma sycophanta</i> , (Coleoptira : Carabidae)	Guêpes Fourmis Chauves souris insectivores
Prédateurs	<i>Ephippiger ephippiger</i> (Orthoptera : Tettigoniidae)	<i>Calosoma sycophanta</i> (Coleoptira : Carabidae) Mésange bleue (<i>Parus caeruleus</i>)	<i>Calosoma sycophanta</i> , (Coleoptira : Carabidae) Huppe (<i>Upupa epops</i>)	
Bactéries			<i>Borrelina sp</i> <i>Clostridium sp</i>	
Virus			<i>Smithiavirus pityocampae</i>	
Champignons			<i>Beauveria bassiana</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Scopulariopsis sp</i>	

[77]

1.8 Dégâts et nuisances

1.8.1 Dommages sylvicoles

La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* est un des ravageurs des forêts les plus importants de la région méditerranéenne [78]. Elle s'observe dans les forêts de pins et de cèdres en Afrique du Nord. Dès l'éclosion, la processionnaire du pin commence à se nourrir des aiguilles de son hôte (Figure 1. 6). Les larves des deux premiers stades dévorent les aiguilles à proximité des zones des pontes et engendrent des dégâts caractéristiques sous forme de bouquets d'aiguilles jaunes puis rousses. Les chenilles du troisième au cinquième stade consomment souvent la totalité des aiguilles. Une colonie utilise 1,5 à 2 Kg (en poids sec) d'aiguilles et il suffit de 4 ou 5 colonies pour mettre entièrement à nu un arbre de pin de 20 ans [79]. Cette défoliation provoque des pertes de croissance par diminution du pouvoir photosynthétique et les sujets attaqués deviennent alors très sensibles aux insectes xylophages et aux maladies. Les

défoliations privent l'arbre de toutes ou une partie de ses capacités de photosynthèse, il en résulte une perte de croissance importante en cas de défoliations répétées. CALAS [80] a estimé une réduction de croissance en altitude de 60% chez *Pinus nigra*. Dans des zones de reforestation récente de *Pinus radiata*, CADAHIA & INSUA [81], soulignent que les pertes en croissance et en volume sont de 14 et 33% pour des infestations légères et fortes respectivement. BOUCHON & THOT [82] ont démontré que des forêts de conifères de *Pinus nigra* périodiquement ciblées, perdent environ 45% de leur volume en 50 ans. LEMOINE [83] a identifié une réduction de la croissance de la circonférence de 30% après une attaque sur *Pinus pinaster*. Chez les *Pinus nigra*, suite à la défoliation provoquée par *Thaumetopoea pityocampa*, l'anneau de croissance correspondant à l'année suivant une attaque sévère n'apparaît pas, ce qui provoque, une réduction de 35% de la croissance radiale [20].

Toutefois l'intensité des dégâts est très variable. Elle dépend de l'essence et de type de peuplement. En montagne, la processionnaire est uniquement présente sur les versants sud (houppiers ensoleillés, lisières). Dans les peuplements fermés de plaine, elle colonise essentiellement les lisières, surtout celles orientées sud/sud-ouest. Les bordures de peuplements, les arbres isolés et les plantations pures sont les plus sensibles aux attaques.



(Originale, 2010)

Figure 1.6 : Dégâts caractéristiques des chenilles sur le cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Chréa

1.8.2 Impact sur la santé

La Chenille processionnaire, à partir de son 3ème stade de développement, dispose de plages de petits poils urticants microscopiques appelées miroirs, cachées dans les remplis de la peau. Ces poils sont libérés dans l'air dès que la chenille se sent menacée. Ils peuvent aussi être transportés à moyenne distance par le vent [38]. Chez l'homme, le contact direct avec les chenilles ou bien indirectement avec les poils urticants disséminés par le vent est responsable de démangeaisons plus ou moins graves suivant la sensibilité des individus. Quatre voies d'exposition sont définies : le contact cutané, le contact oculaire, l'inhalation et l'ingestion. Quelque soit le mode de la contamination, les poils urticants pénètrent alors soit dans l'épiderme soit dans les muqueuses pour s'y fixer et libérer la substance urticante. La gravité des symptômes dépend de l'importance de l'exposition, de la porte d'entrée et de la susceptibilité du sujet. Les troubles constatés peuvent être, cutanés sur les mains, les bras, le visage ou le cou, oculaire sous forme de conjonctivite, respiratoire se manifestant par des éternuements et des maux de gorge, digestif donnant une inflammation des muqueuses de la bouche et des intestins [38].

1.9 Facteurs de régulation des populations de la processionnaire du pin

La lutte contre la Chenille processionnaire du pin ne permet pas d'éviter une nouvelle infestation, mais consiste uniquement à protéger les jeunes peuplements, et à limiter localement les populations de ravageurs à un taux compatible avec la présence anthropique. La lutte contre ce défoliateur prend quatre formes principales : biologique, mécanique, chimique et sylvicole. Ceci est en fonction des surfaces infestées et des stades de développement ciblés. Plusieurs techniques sont appliquées pour contrôler les populations de la processionnaire du pin:

➤ Lutte mécanique ou échenillage biologique

Son importance en termes de surfaces traitées est très faible, cette technique est néanmoins très utilisée pour les arbres isolés, dans les parcs ou les jardins, ou les densités de population de chenilles sont faibles. L'intervention par la récolte

des pontes s'effectue en été avant l'éclosion des œufs. Ceux-ci sont en effet repérables grâce à la couleur de leur chaton gris caractéristique à l'extrémité des rameaux, et sont souvent localisées sur les branches basses de l'arbre. L'opération consiste à couper les branches infectées et les brûler.

Dès la fin de l'été, et dès l'apparition des pré-nids et du début de construction des nids d'hiver, il est possible d'appliquer la même méthode : couper les branches infectées avec un sécateur et les brûler. Cette méthode est très efficace, elle permet la destruction intégrale des nids, mais peut s'avérer délicate à mettre en œuvre, notamment pour les nids situés à des hauteurs élevées sur les arbres de grande taille.

➤ Lutte chimique

Elle se limite aujourd'hui à des interventions de faible ampleur ou de rattrapage. L'insecticide utilisé dans ce cas est généralement à base de Diflubenzuron, régulateur de croissance qui perturbe le processus de mue larvaire [38].

➤ La lutte sylvicole

L'opération des pratiques sylvicoles consiste à planter des essences d'arbres qui ne sont pas sensibles à l'insecte considéré. Les peuplements forestiers mélangés subissent en général moins de dégâts d'herbivores que les peuplements purs. Cette diversification réduit généralement la colonisation par la processionnaire du pin et favorise le cortège parasitaire. C'est une méthode de lutte naturelle et efficace [38].

➤ La prédation par les mésanges

Les mésanges sont des oiseaux sédentaires qui se nourrissent d'insectes dont la processionnaire du pin. L'utilisation de cette interaction comme moyen de lutte se fait en facilitant l'implantation des mésanges par des nichoirs.

➤ La lutte microbiologique

L'utilisation d'insecticides biologiques à base de *Bacillus thuringiensis* couvre actuellement presque 100% des surfaces traitées contre la processionnaire du pin. Il s'agit d'une bactérie Gram positif capable de produire des toxines insecticides. L'activité de *Bacillus thuringiensis* est surtout basée sur la production de toxines durant la phase de sporulation du développement de la bactérie. L'ingestion des toxines présentes à la surface du feuillage conduit à la mort des chenilles. Actuellement, seuls les trois premiers stades larvaires sont généralement visés par ce type de traitement. Il semble que le *Bacillus thuringiensis* est aussi efficace contre les chenilles du quatrième et le début du cinquième stade [84]. L'application du produit se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires. Elle doit être effectuée avant les processions : entre le mois de Décembre et février. Ce traitement est respectueux de l'environnement puisqu'il ne persiste que très peu après application et il a une spécificité d'action.

➤ Lutte par l'utilisation des phéromones sexuelles

La phéromone est utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges pour une capture massive des mâles de la processionnaire ou pour un suivi de la dynamique de ses populations. Elle peut aussi être employée, sans piège, pour engendrer une confusion sexuelle afin de réduire les chances de reconnaissance de la femelle par le mâle. La diminution des femelles fécondées va induire une réduction de la descendance [84].

CHAPITRE 2

SYNTHESE DES DONNEES SUR LE CEDRE DE L'ATLAS, *CEDRUS ATLANTICA*

2.1 Position taxonomique

Les espèces de cèdre ont été décrites du point de vue systématique et morphologique par BOUDY [85]. La valeur taxinomique exacte de ces populations a été controversée et c'est ainsi que MAIRE [86] ; QUEZEL [87] les intègrent dans une seule espèce *Cedrus libanotica* LINK.

Cependant, la plupart des auteurs : QUEZEL [87] ; BARITEAU et FERRANDES [88] classent les espèces de cèdres en quatre espèces différentes. Essentiellement montagnardes, ces espèces se répartissent en quatre zones géographiques différentes [89].

- *Cedrus atlantica* Manetti (Algérie, Maroc)
- *Cedrus libani* Barrel (Liban, Syrie, Turquie)
- *Cedrus deodora* Loudon (Himalaya, Afghanistan)
- *Cedrus brevifolia* Henry (Chypre)

Les études taxonomiques et phylogénétiques récentes basant sur des marqueurs génétiques, ont démontré que le genre *Cedrus* comprend trois espèces, *Cedrus atlantica*, *Cedrus deodara* et *Cedrus libani*, qui lui-même englobe trois sous espèces : *Cedrus libani* spp.*libani* (Liban), *Cedrus libani* spp.*stenocoma* (Turquie) et *Cedrus libani* spp.*brevifolia* (Chypre) [90].

Selon Emberger [91], la position taxonomique du cèdre de l'atlas est :

- Embranchement : Spermaphyte
- Sous- embranchement : Gymnospermes
- Classe : Vectrices
- Ordre : Coniferales
- Famille : Pinacées

- Sous-famille : Abiétées
- Genre : *Cedrus*
- Espèce : *Cedrus atlantica* Manetti
- Nom commun : Cèdre de l'atlas
- Nom arabe : Meddad, Arz

2.2 Aire de Répartition

L'aire naturelle du cèdre de l'Atlas est très disjointe. Il occupe les montagnes de l'Afrique du Nord et plus précisément celles du Maroc et de l'Algérie [85] ; [2] ; [92].

Le Maroc détient la plus grande surface occupée par le cèdre, sa superficie est estimée à 130000 ha. La cédraie marocaine se localise dans deux régions bien distinctes : le Rif avec une superficie de 16000 ha, le moyen Atlas et le grand Atlas avec 116000 ha [7].

En Algérie, l'aire du cèdre est très morcelée ; ce morcellement s'explique par les grands changements climatiques survenus durant le quaternaire récent. Les peuplements les plus importants se rencontrent dans les Aurès, mais d'autres cédraies colonisent les massifs montagneux de l'Ouarsenis, de l'Atlas Blideen, des babors et du Hodna [13] ; [93] ; [94] ; [95].

Les cédraies de l'Algérie couvrent 45000 ha soit 1, 3% de la superficie forestière du pays [96]. Ces peuplements se trouvent dans deux régions écologiques différentes ; les populations de Cèdre de l'Atlas tellien (conditions mésophiles) et les populations de l'Atlas saharien (conditions relativement xérophiles) [89]. Les cédraies de l'Atlas tellien se rencontrent dans le massif de l'Ouarsenis (1100 ha), l'Atlas Blideen (1 200 ha à Chréa), le Djurdjura (2 000 ha) ainsi que dans les Babors et Tababors (1 300 ha). Dans l'Atlas saharien, elles sont localisées principalement dans les massifs de Belezma et des Aurès (17 000 ha) ainsi que dans les monts du Hodna (8 000 ha) [97] (Figure 2.1).

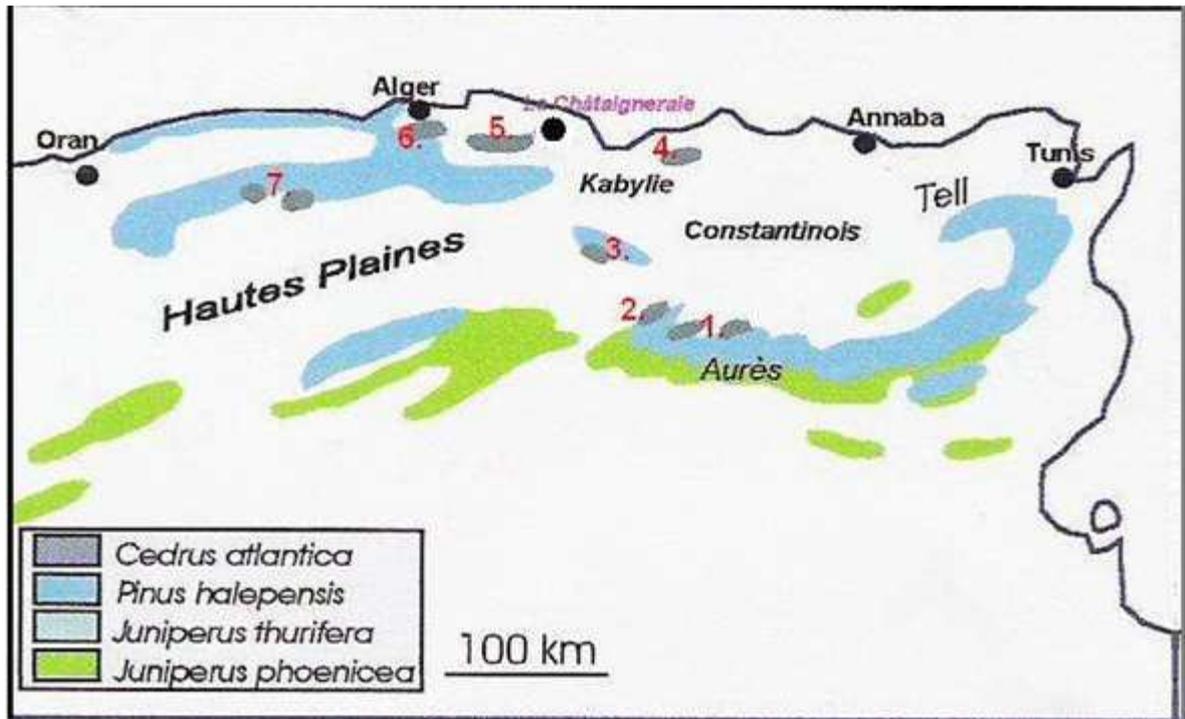


Figure 2 .1 : Localisation de *Cedrus atlantica* en Algérie [98]

1. Massif de l'Aurès, 2. Monts de Belezma, 3. Monts du Hodna, 4. Les Babors,
5. Massif du Djurdjura, 6. Monts de Blida, 7. Massif de l'Ouarsenis

2.3 Caractères botaniques et dendrométriques

Le cèdre de l'Atlas, est un arbre de grande taille, sa hauteur moyenne est de 40 m mais peut dépasser 50 m, et sa circonférence peut atteindre de 2 à 3 m [4]. Il possède un port droit, une ramure horizontale. Les branches ne sont pas étagées en verticilles comme chez le sapin : elles naissent isolément sur le tronc et portent une multitude de petits rameaux. La cime est trapue et prend une forme tabulaire à un âge avancé [99] .Le fût puissant se termine par une flèche très souple qui se recourbe et cède à la moindre brise. L'écorce est de couleur grise, formée de petites écailles lisses qui deviennent crevassées avec l'âge (Toth, 1981). Les feuilles, en aiguilles, sont réunies en petits bouquets aux sommets de courts rameaux, elles ont de 1 à 2 cm de long. Elles sont vertes ou glauques et vivent généralement 3 ans [99]. Le cône est cylindrique de 5 à 8 cm de long, vert bleuâtre avant maturité puis brun [5] ; [89]. Il mûrit en 2 ans [99]. Il se désarticule au contact de l'humidité [85].

Le système racinaire est extrêmement puissant, assurant la stabilité de l'arbre [99]. La longévité du cèdre est très remarquable, il peut dépasser 600 ans. Il peut donner des graines fertiles jusqu' un âge avancé [99].

La fructification de l'arbre commence vers 35 à 40 ans, et les cônes sont abondants à partir de 60 ans [99]. La fécondation des fleurs a lieu en automne et le cône est mur à l'automne de la 3^{em} année. La graine épandue passe l'hiver en stratification sous la neige. TOTH [100], montre l'importance du gel pour la désarticulation et la dissémination des graines. L'absence des gelées à faible altitude pouvant compromettre la régénération des peuplements.



(Originale, 2011)

Figure 2.2 : Le cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Chréa

2.4 Régénération du cèdre

La régénération du cèdre repose sur une série de processus écophysologiques complexes faisant intervenir plusieurs facteurs du milieu au cours des différentes phases de son développement. BOUDY [85], [99]; LEPOUTRE [101], [102], [103]; LEPOUTRE et PUJOS [104]; TOTH [100], [5], [6]; DERRIDDJ [93]; MALKI [105] et TILL [106] ont montré l'influence des facteurs climatiques, écologiques et édaphiques ainsi que leurs interactions sur la régénération naturelle.

Après la désarticulation des cônes imbibés d'eau du fait de l'alternance gel-dégel, la dissémination intervient généralement la première quinzaine de décembre et parfois plus tard en fonction des températures. La plupart des semis s'installent autour des semenciers ou dans leurs environs sur une distance variable selon la hauteur de l'arbre, la topographie du milieu, la vitesse et la direction du vent. La germination et la croissance des semis ne sont possibles qu'au delà d'une température moyenne de l'air de 6 à 7°C. L'altitude et l'exposition jouent un rôle considérable sur la germination des graines du cèdre. En effet à l'exposition Sud et Sud -Est, la germination risque d'être précoce mais les jeunes semis peuvent disparaître sous l'effet de la sécheresse. Par contre aux expositions Nord et Nord-Ouest la germination est tardive et la survie des plantules est possible pendant la saison estivale.

Le rôle du substrat sur la régénération du cèdre est prépondérant. Le dynamisme de la régénération et le taux de réussite sont fortement liés au type du sol. La régénération s'opère avec une grande vigueur sur les sols meubles et suffisamment profonds, pour être capables de retenir l'eau en saison sèche [99]. Sur sol calcaire compacte ou à peine fissuré les semis résistent rarement. Le tapis herbacé peut compromettre le maintien des jeunes semis s'il est dense sous l'effet de la concurrence imposée par le feutrage racinaire des plantes herbacées. Les interventions sylvicoles sont des pratiques nécessaires pour aérer les peuplements et isoler les portes graines car la fructification est rare dans les peuplements serrés. EZZAHIRI *et al* [107] expliquent l'absence de régénération par la brièveté de la période de régénération, l'absence de toute opération sylvicole, ce qui rend la régénération très capricieuse.

2.5 Ecologie du cèdre de l'Atlas

C'est une essence à tempérament montagnard et continental. Le cèdre est robuste dans les conditions optimales. Il supporte à la fois l'ombre et la lumière. Il peut rester longtemps sous le couvert du chêne-vert pour repartir vigoureusement dès qu'il est dégagé. Il est sensible à l'insolation dans son premier âge. Les étés très secs peuvent compromettre son existence [4].

Situé essentiellement à l'étage montagnard méditerranéen, le cèdre occupe les tranches altitudinales comprises entre 1000 et 2500 m. En Algérie, Le cèdre débute en altitude généralement à partir de 1000 m (Djurdjura) jusque vers 2000m (Babors).PUGOS [108] distingue trois types de cédraies selon l'altitude :

- Les cédraies basses : inférieures à 1900m
- Les cédraies moyennes : comprises entre 1900 et 2100m
- Les cédraies hautes : supérieures à 2100 m

QUEZEL [109] estime que l'optimum du cèdre se situe en climat humide à hiver froid. Cette zone correspond à des températures moyennes comprises entre 8, 5°C et 11°C et à une pluviométrie annuelle égale à 900 mm. Il supporte des températures très basses en hiver. QUEZEL [87] précise que le Cèdre tolère en peuplements naturels des valeurs de m comprises entre - 1 et -8°C, et des températures hautes allant de 20 à39 °C .Cependant, il est moins résistant en période juvénile [85] ; [2]. La répartition de la cédraie en Afrique du Nord dans le climatogramme d'Emberger indique que le cèdre se situe dans les climats humides à hiver frais, humides à hiver froid, subhumides à hiver froid et semi-arides froids. Selon BOUDY [96], le Cèdre croît entre les tranches pluviométriques comprises entre 440 et 1403mm. En Algérie, les cédraies sèches ne reçoivent qu'une pluviométrie comprise entre 500 et 700mm/an, par contre celles de l'Ouarsenis, Djurdjura et Chréa peuvent recevoir des quantités variant de 1100 à 2100mm/an.

Le cèdre s'installe sur divers types de substrats [85] ; [109] ; [110]. QUEZEL [87] souligne que les Cédraies sont en général localisées sur substrats calcaires mais précise que cette prédominance n'est due qu'à la rareté des autres substrats sur les hautes montagnes méditerranéennes. La constitution physique du sol a un

rôle plus déterminant. Le cèdre a une prédilection marquée pour les sols meubles ou caillouteux .Il redoute les terrains mouilleux et les cuvettes argileuses mal drainées.

Quant à l'exposition, elle joue un rôle très important dans la répartition des précipitations et la variation des températures. Les cédraies bienvenantes en Algérie et au Maroc se rencontrent sur les expositions Nord et Nord-Ouest qui bénéficient des vents chargés de pluies et sont épargnées des vents Sirocco [13].

2.6 Importance économique du Cèdre

Le cèdre est une essence capable de remplir plusieurs rôles socioéconomiques [7]. Il forme depuis son existence une source vitale des populations du fait de ses qualités remarquables : sa longévité, sa résistance à la compression et sa bonne production de bois [111]. Le bois de cèdre est tendre, odorant, mi lourd, brun rosé, se conserve bien en grumes et est facile à scier .Ces caractères supérieurs lui assurent toutes sorte d'utilisation à savoir construction des chalets de montagne, menuiserie, charpente, poteaux, placage intérieur, meubles rustiques. Les produits d'éclaircies peuvent être utilisés en papeterie [4]. Le cèdre convient très bien à la distillation en donnant une huile essentielle employée en pharmacie et parfumerie. Elle est antiseptique aux vertus cicatrisantes, décongestionnant les voies respiratoires, tonifiant le cuir chevelu, résorbant la cellulite et répulsive pour les mites et les moustiques.

Le cèdre bénéficie d'une grande facilité de régénération naturelle dans les étages de chêne vert en Afrique du Nord et chêne pubescent en France, assurant ainsi la pérennité des peuplements et permettant des reboisements économiques par point d'appui [4]. Il joue un rôle important dans la protection des peuplements contre l'incendie grâce à son feuillage peu inflammable [112].

Il maintient également l'équilibre biologique en protégeant et en améliorant le sol [113]. Ces qualités d'adaptations a priori aux conditions climatiques et édaphiques de la zone méditerranéenne justifient son choix dans les reboisements [7]; [88].

2.7 Ennemis du cèdre de l'Atlas

Les cédraies algériennes sont soumises à une forte pression anthropique et à des conditions climatiques sévères avec des phases de sécheresse prolongée. Ces facteurs conjugués aux attaques des différents ravageurs nuisibles peuvent infliger aux peuplements des dégâts considérables. Le cèdre possède ses insectes spécifiques dont certains lui sont strictement liés et d'autres proviennent des végétaux existants dans son milieu [4].

Les insectes défoliateurs ont fait l'objet de nombreux travaux. Deux espèces de processionnaire sont signalées en Algérie : *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea bonjeani* qui se nourrissent pendant la vie larvaire des aiguilles des arbres. Ces espèces peuvent causer des dégâts significatifs, en cas d'une défoliation complète et répétée, notamment sur les jeunes peuplements [32]. La tordeuse du cèdre de l'Atlas d'Algérie *Epinotia algeriensis* peut pulluler et constituer un danger permanent [4]. Elle a été décrite à Chréa au sud de Blida par FABRE [114].

Parmi les insectes suceurs piqueurs, deux pucerons sont spécifiques du genre *Cedrus*. Le *Cedrobium laportei* décrit en Algérie est largement répandu sur le cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord .Il absorbe la sève au niveau des rameaux et des extrémités des branches. Quant aux insectes xylophages, plusieurs espèces sont signalées en Algérie et au Maroc. L'effet de ces espèces xylophages se manifeste en général, par le flétrissement des aiguilles. Si les attaques sont massives, l'écorce se détache de l'aubier et suivit par le dessèchement et le dépérissement général et progressif de la partie concernée de l'arbre [115].

Les insectes des organes reproducteurs sont également présents, dont certains attaquent les inflorescences mâles et femelles et d'autre sont des ravageurs des cônes et de graines. ROQUES [8] souligne que les différentes données biologiques sur le *Megastigmus pinsapinis*, principal insecte ravageur des graines restent imprécises en raison du peu d'importance accordée à ce parasite.

Les champignons pathogènes sont des ennemis redoutables du cèdre de l'Atlas. Ils sont responsables de la pourriture blanche du cèdre dite maladie de Mjej et de la pourriture cubique du cèdre dite maladie du Saboun [85]; [4].

Dans les peuplements de cèdre, les incendies sont peu fréquents [116]. Le cèdre survit généralement au feu, qui ne brûle que les arbres secs sur pieds ou gisants. Les arbres flambés, s'ils ne meurent pas deviennent très sensibles aux attaques des différents agresseurs notamment, les champignons pathogènes, et leur fructification est arrêtée pour plusieurs années (BOUDY, 1952). EL YOUSSEFI [16] note que les incendiés donnent la mort aux jeunes plants et les reboisements sont compromis.

Le caractère de sédentarisation des troupeaux est très préoccupant, il s'installe de plus en plus au détriment des potentialités pastorales des cédraies. Le parcours du bétail agit directement sur la régénération lorsque les bêtes piétinent et broutent les semis et indirectement lorsque elles tassent le sol [4]. L'action anthropique quant à elle, se manifeste par les coupes illicites et les défrichements qui restent les plus dangereux du cèdre de l'Atlas [13]; [16].

CHAPITRE 3

MATERIELS ET METHODES

3.1 Présentation de la zone d'étude

3.1.1 Le parc national de Chréa

Le parc national de Chréa s'étend sur les flancs Nord et Sud de l'Atlas Blideen d'orientation Sud-ouest et Nord-Est, entre les latitudes Nord 36°19'/36°30' et les longitudes Est 2°38'/3°02' [117]. Il couvre une superficie de 26587 hectares et s'étire sur une longueur de 40 Km et une largeur variable de 7 à 14 kilomètres. Sa ligne de crête principale oscille entre 1400 et 1600 mètres d'altitude dont le point le plus élevé culmine à 1629m [118]. Le relief est très accidenté et la déclivité dépasse très souvent les 20% et parfois, elle est de 60%. De point de vue lithologique, l'Atlas Blideen est très homogène, il est constitué essentiellement de schistes du crétacé inférieur sans fossiles et d'éboulis de pontes de même origine, pauvre en éléments nutritifs [118]. Le réseau hydrographique est très dense, formé d'une multitude de talwegs dont les principaux sont ceux de Oued Chiffa, Oued Kébir [119]. Les sols sont caractérisés par l'importance des éléments grossiers : cailloux et graviers de nature siliceuse très faible en proportion de calcaire, de phosphore, et de chlore, très perméables, boueux en surface et durs après la sécheresse [118].

3.1.2 La végétation du Parc National de Chréa

HALIMI [118], note trois types bioclimatiques dans la région de l'Atlas Blideen. Ces types se succèdent dans le sens vertical et déterminent un étagement typique de la végétation. Trois étages sont décrits :

- ▶ **L'étage supra-méditerranéen** : Correspond à l'étage bioclimatique des hautes montagnes et occupe les altitudes allant de 1300 à 1600 m. Dans cette tranche, le Cèdre se trouve dans son optimum, ou il forme une futaie équienne.
- ▶ **L'étage méso-méditerranéen** : correspond à l'étage bioclimatique sub-humide et humide, localisé entre les altitudes allant de 800 à 1400m. Dans

cet étage se trouve la chênaie sous forme d'un taillis de 6 à 8 mètres et donne un maquis très dense.

- ▶ **L'étage thermo-méditerranéen** : Il s'étend en bioclimat sub-humide chaud, entre 200 et 700m et se caractérise par la présence de peuplements purs de pin d'Alep sur le versant méridional, et le thuya sous forme de maquis très denses. La strate arbustive est dominée par l'oléolentisque.

3.1.3 Caractéristiques climatiques de la zone d'étude :

Les paramètres climatiques figurent parmi les facteurs écologiques les plus influants sur les populations d'insectes phytophages. Il s'agit d'une double influence, à la fois directe et indirecte, car le climat conditionne déjà le développement des arbres qui servent de biotopes aux insectes phytophages. Les modifications du climat en général déterminent pour une grande part la répartition, le développement, l'activité et les pullulations des insectes [120]. VILLEMANT [121] souligne que les étés chauds raccourcissent la durée du développement, ce qui favorise l'explosion des populations.

Pour mieux appréhender les variations climatiques de notre zone d'étude qui se situe dans la partie centrale du parc national de Chréa et qui correspond à la zone de la Cédraie, nous avons exploité les données climatiques fournies par l'Office National Météorologique de Dar El-Beida. L'absence de station météorologique au niveau du Parc National de Chréa nous a amené à prendre en considération les données de la station de Médéa la plus proche et qui se trouve à 1030m d'altitude. Les valeurs relatives aux différentes variables climatiques ont subi des corrections afin de pallier à la différence d'altitude entre la zone d'étude et l'emplacement de la station de référence. Les corrections ont été effectuées selon les relations proposées par Seltzer [122]. La correction des gradients pluviométrique et thermique a été faite par extrapolation. Pour 100 m d'altitude, les températures maxima (M) et (minima(m)) diminuent respectivement de 0,7°C et de 0,4 °C et la pluviométrie augmente de 40 mm en exposition Nord pour la même tranche altitudinale.

3.1.3.1 Les températures

La température représente un facteur limitant de première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques, et conditionne la répartition de la totalité des espèces, et des communautés d'êtres vivants de la biosphère [123]. La température agit sur le comportement et peut intervenir comme facteur de mortalité. WILLIAMS & LIEBHOLD [124] ; AYRES & LOMBARDO [125]; HARRINGTON *et al.*, [126] ; Bale *et al.*, [127] considèrent qu'une hausse des températures dans les limites vitales des espèces, implique une accélération de leur développement. CHARARAS [128] précise que la température exerce son influence de façon constante sur tous les stades d'évolution de l'insecte.

Afin de tirer plus de renseignements et compléter les données relatives aux facteurs du milieu, nous avons considéré les températures moyennes, mensuelles, maximales et minimales de la période allant de 1995 à 2010. Les valeurs corrigées sont consignées dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1: Températures moyennes mensuelles corrigées pour la période 1995-2010

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
1995	3,2	7,2	6,4	8,7	16,4	18,34	23,7	22,6	16,5	14,9	9,7	6,6
1996	5,9	2,3	6,6	9,2	12,9	17,3	21,9	21,9	15,9	12,4	9,4	6,0
1997	4,8	8,0	8,8	10,7	15,2	20,1	22,1	22,2	18,9	14,4	8,0	5,5
1998	4,8	7,0	8,3	9,0	12,1	20,9	24,3	23,0	19,2	12,2	7,9	4,4
1999	4,3	2,2	7,1	10,7	18,1	20,4	23,2	25,8	19,6	16,5	6,7	4,1
2000	4,3	7,1	9,5	10,5	17,0	20,5	24,9	25,4	19,5	12,0	8,2	7,2
2001	4,6	4,7	11,2	10,1	12,8	22,1	24,0	24,6	19,5	18,5	7,3	4,6
2002	5,3	6,9	8,4	9,6	15,2	22,6	22,4	21,6	18,5	15,6	8,3	6,4
2003	2,5	2,6	8,0	9,9	14,5	23,5	26,2	25,2	18,8	14,3	8,6	3,9
2004	4,4	7,3	7,6	9,1	10,2	20,2	24,1	24,8	20,1	17,0	7,6	4,3
2005	2,7	0,9	7,9	10,5	17,9	21,7	25,4	22,9	18,1	15,3	13,7	6,3
2006	2,3	3,4	8,7	13,5	17,9	21,3	25,1	22,4	18,9	18,1	11,2	5,1
2007	7,3	6,6	5,7	9,5	14,5	19,9	24,5	23,5	20,0	13,4	7,6	4,6
2008	6	7,0	6,9	11,1	13,6	18,8	24,7	24,9	19,1	13,8	6,4	3,4
2009	3,0	3,9	7,9	7,2	16,0	22,0	26,6	24,0	17,2	14,7	10,7	7,0
2010	4,5	5,6	7,8	11,1	12,4	18,6	25,6	24,2	19,0	13,7	7,4	6,0
Moyenne	4,3	5,1	7,9	10,0	14,8	20,5	24,3	23,6	18,6	14,8	8,6	5,3
E-TYPE	1,38	2,29	1,31	1,37	2,34	1,68	1,38	1,34	1,20	1,96	1,89	1,18

(ONM, 2011 modifié)

Les moyennes mensuelles des températures enregistrées dans le Parc National de Chréa pendant l'hiver sont de 4,3 à 5,3 C. La saison estivale est caract ris e par des moyennes comprises entre 20,5  C et 24,3 C. Les écarts types sont plus marqués en automne et en hiver et au mois de mai la valeur est plus significative. La figure 3.1 illustre les variations des moyennes mensuelles.

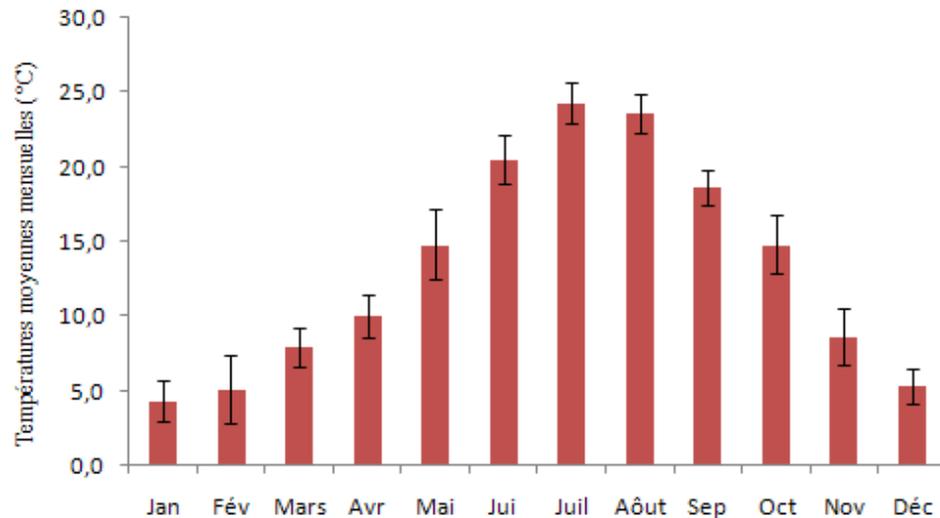


Figure 3.1 : Variations mensuelles des températures moyennes de 1995 à 2010 dans le parc National de Chréa

3.1.3.2 Les précipitations

L'humidité relative intervient beaucoup plus en créant un milieu favorable ou non   l'insecte qu'en modifiant l'intensité de ses phénomènes vitaux. Chaque espèce a des exigences particulières à l'égard de ce facteur. Ainsi les insectes phytophages exigent une humidité relative assez  lev e [120]. Les valeurs pluviométriques du Parc National de Chréa sont port es dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Moyennes mensuelles des précipitations corrigées pour la période 1995-2010

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
1995	203,6	25,6	140,2	11,6	8,4	21	0	8,8	42,4	71,9	57,9	79,5	670,9
1996	98,4	188,8	60,7	144,6	44,1	20,2	15,4	5,4	29,8	32,1	8,4	68,9	716,8
1997	58,4	20,6	7,3	94,1	24,7	0,6	0	32	16,4	70,7	199,2	101,2	625,2
1998	29,4	77,1	25	116	170,8	5,8	0	1,9	34,6	40,4	95,6	58,5	655,1
1999	132,2	114,8	76,4	16,1	23,7	5,8	0	15,4	12,1	46,6	69,2	193,6	705,9
2000	11	2,9	7,5	38,2	22,3	0	0	1,4	17,1	78,9	119,7	41,7	340,7
2001	219,9	51,2	3	90,1	32,1	0,2	0	1,5	47,1	4,3	74,5	65,3	589,2
2002	72,4	27,2	67,9	36,8	20,2	0,5	7,5	12,4	9,9	28,5	159,7	155,9	598,9
2003	235,6	187,2	10,7	111,9	39	6,7	4,3	24,7	58,8	77,6	139,4	157,3	1053,2
2004	72,6	55,8	74,4	63	101,1	7,8	3,2	4,1	29,3	39,9	114,9	147,6	713,7
2005	100,9	95,7	56,9	19,7	1,4	2,2	0	0	36,9	111,3	13,9	120,6	559,5
2006	104,7	135,2	45,2	19,3	228,3	4,8	5,3	5,1	58,9	6,4	21,1	149,9	784,2
2007	24,8	78,5	123,2	171,9	34,1	4	17,8	10,9	69,2	71,8	201,4	75	882,6
2008	47,5	15,4	81,9	25,7	58,6	14,9	6,5	0	59,7	91,6	128,1	137,8	667,7
2009	190,8	26,4	80,4	133	48,2	0	9	6,9	90,3	18,5	89,8	96,7	790
2010	86,4	154,1	89,1	36,5	63,2	9,6	0	19,9	24,4	110,4	137,6	81,5	812,7
Moy	105,5	78,5	59,3	70,5	57,5	6,5	4,3	9,4	39,8	56,3	101,9	108,1	697,6

(ONM, 2010 modifié)

L'exploitation des données relatives à la pluviométrie enregistrée durant la période considérée permet d'observer une nette variabilité mensuelle et annuelle. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant l'hiver et les mois de Janvier et Décembre restent les plus pluvieux. L'été cumule les plus faibles quantités de précipitations qui ne dépassent pas 10mm. La figure 3.2 représente les variations des moyennes mensuelles dans la zone d'étude.

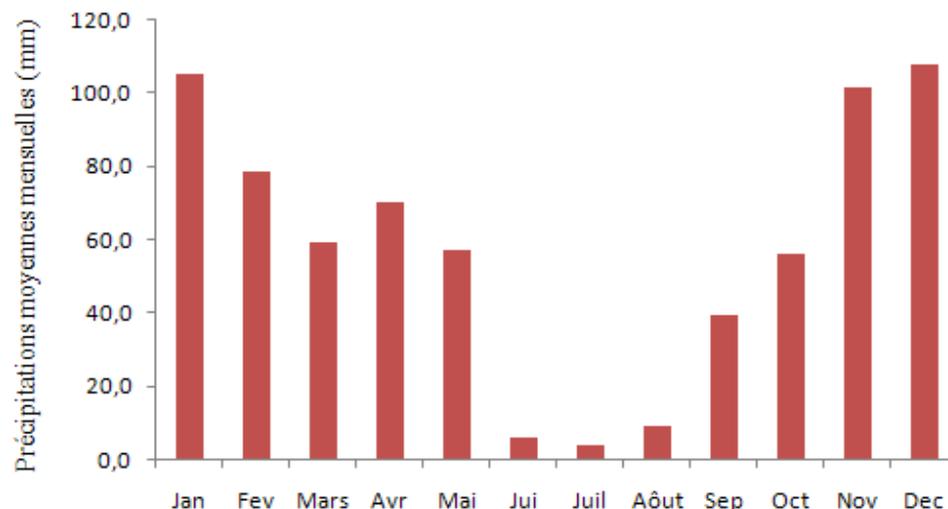


Figure 3.2 : Variations des précipitations mensuelles de 1995 à 2010 dans le Parc National de Chréa

3.1.4 Synthèse climatique de la zone d'étude

Les principaux facteurs climatiques qui caractérisent les milieux continentaux sont la température et les précipitations. La plupart des formules synthétiques proposées par les auteurs combinent ces deux facteurs. Ainsi l'élaboration de diagramme ombrothermique de Gaussen et le climagramme d'Emberger permet de définir respectivement la période sèche et l'étage bioclimatique d'une région.

3.1.4 .1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Bagnouls et Gaussen [129] considèrent qu'un mois est sec lorsque le total des précipitations exprimé en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius. L'examen de diagramme ombrothermique de la station d'étude indique que le Parc National de Chréa est caractérisé par une période sèche qui dure presque trois mois et demi, elle débute du mois de juin et se prolonge jusqu'à la mi-septembre. Quant à la période humide, elle s'étale de la deuxième quinzaine du mois de septembre jusqu'à la fin du mois de mai (figure 3.3).

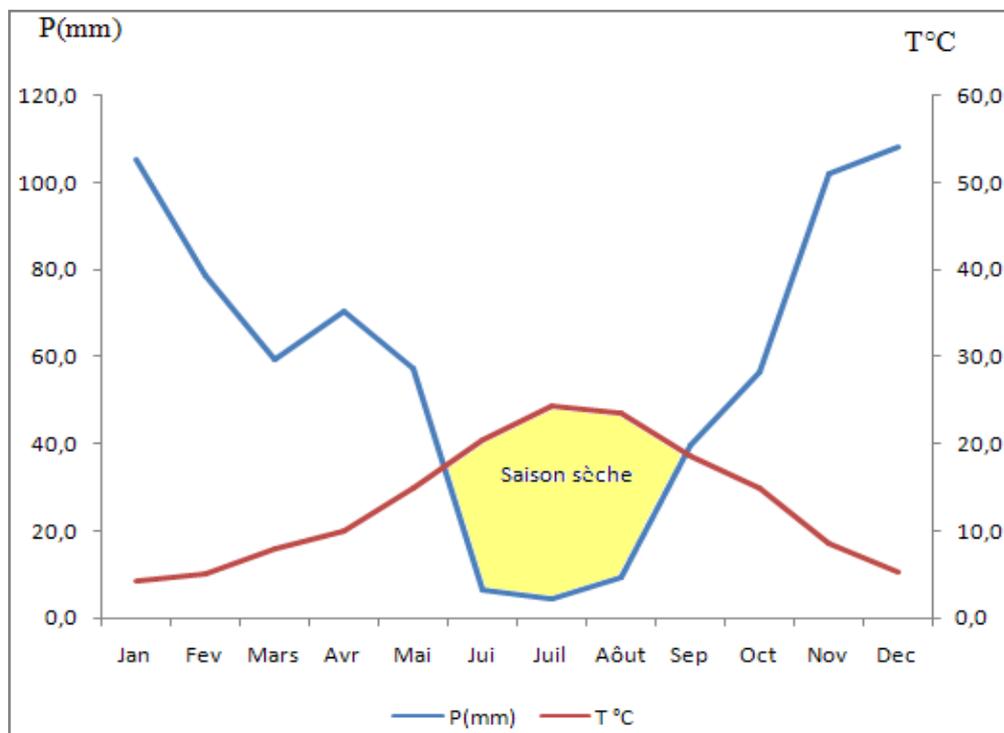


Figure 3.3 : Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN de la région de Chréa (1995-2010)

3.1.4 .2 Le climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique établi par Emberger, est une autre façon de mettre en valeur les rapports thermiques et pluviométriques d'une région. Il est présenté par la formule simplifiée de Stewart [130] :

$$Q = 3.43 \times P/M-m$$

Où :

Q : Quotient pluviothermique d'Emberger

M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud

m : Moyenne des températures minima du mois le plus froid

P : Moyenne des précipitations annuelles en mm.

Pour la station de Chréa qui correspond à la zone d'étude, le quotient pluviothermique **Q** est égal à **91.6**. Cette valeur nous a permis de positionner la cédraie pure de Chréa dans l'étage bioclimatique sub humide à variante tempérée (Figure 3 .4).

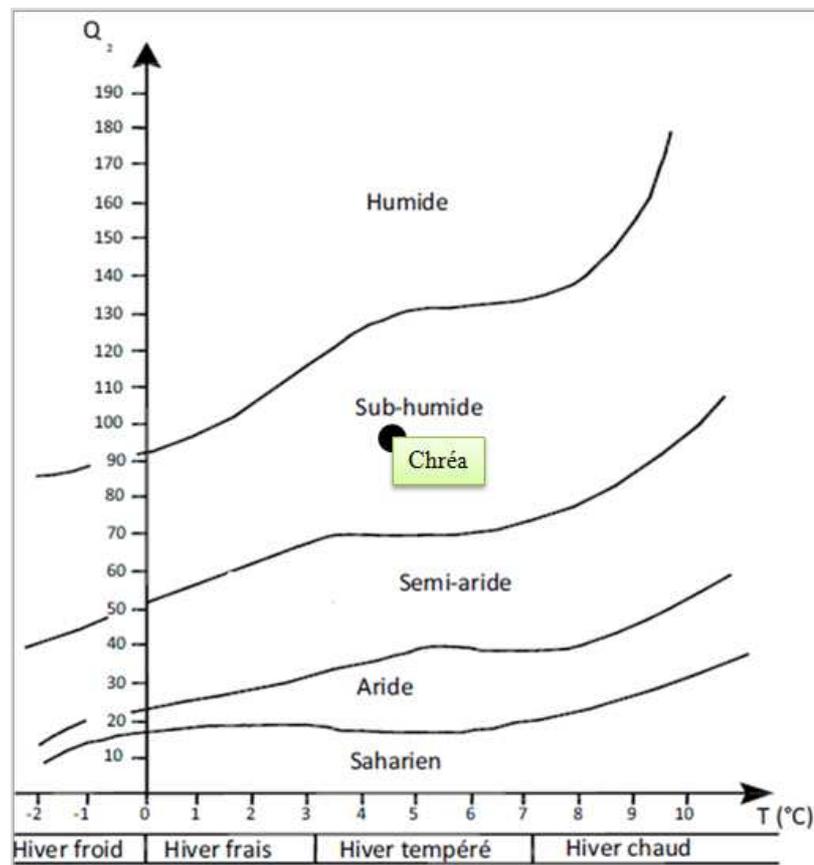


Figure 3.4 : Projection de la cédraie de Chréa dans le climagramme d'Emberger

3.2 Méthodologie d'étude

3.2.1 Objectifs

D'après les services de la conservation des forêts de Blida et de la direction du Parc National de Chréa, la chenille processionnaire du pin est largement installée dans la cédraie du Parc. Le réseau de surveillance mis en place par ces services a permis de constater une augmentation des niveaux de population de ce défoliateur. Cette hausse est rapidement décelée par l'importance des nids présents surtout dans les zones de lisières. La phase de gradation marquée de cet insecte défoliateur, entraîne des attaques de masse qui peuvent défeuiller à 100 % les jeunes peuplements. Hormis le problème de santé publique que pose la processionnaire du pin à cause des urtications qu'elle provoque, elle porte un préjudice à l'aspect paysager et esthétique du Parc par ses nids suspendus aux cèdres. Ces nids demeurent urticants pendant plusieurs années ce qui déprécie la valeur touristique de la région.

Les services concernés par la protection du Parc National de Chréa trouvent des difficultés en matière de lutte à cause de l'absence des données relatives à l'insecte qui sévit dans la cédraie de Chréa, notamment son cycle et les caractéristiques de ses populations. L'intervention dans un site protégé, ne vise pas l'éradication de ravageur, mais maîtriser son comportement numérique par la mise en œuvre de moyens qui préservent l'intégrité du site protégé.

Le but recherché est de tirer le maximum d'informations concernant la processionnaire du pin en cédraie. Nous avons suivi son cycle et caractérisé ses différents stades larvaires et son stade nymphal pour mieux appréhender le comportement de cette espèce qui est inféodée au Cèdre de l'Atlas dans la région de Chréa. Un comptage des nids d'hiver a été également effectué en fonction de l'altitude et de l'exposition des nids au niveau de l'arbre afin de comprendre les facteurs régissant leur dispersion.

3.2.2 Piégeage sexuel et émergence des adultes

La connaissance des dates d'émergence des papillons de *Thaumetopea pityocampa* est fondamentale pour caler le cycle et déterminer à l'avance comment se situerait dans le temps les différents stades de développement [34]. Pour détecter le début des vols des adultes et suivre la population, nous avons installé des pièges à phéromones dans trois stations se trouvant à trois altitudes (figure 3.5). Les phéromones nous ont été fournies par la Conservation des Forêts de Blida, la Direction du Parc National de Chréa et l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach.

- **Station des Châtaigniers** : se situe à 1000m d'altitude, entre 36°26' 50" N et 002°52' 18" E. Elle est caractérisée par un mélange de peuplement formé de châtaigner, de chêne vert et de cèdre mais à dominance Chêne vert.
- **Station des glaciers** : se situe à 1200m d'altitude, entre 36°26' 26"N et 002°52'40"E. Elle est caractérisée par la présence d'un mélange de cèdre et de chêne vert à dominance Cèdre.
- **Station des quatre bancs** : se situe à 1450m d'altitude, entre 36°26' 3,5"N et 002°53'20,6"E. Cette station correspond à la cédraie pure.



(Originale ,2010)

Figure 3.5 : Les stations de piégeage des papillons de *Thaumetopoea pityocampa*

Dans chaque station nous avons placé deux pièges à phéromones dans la frondaison des arbres à une hauteur de 3 m (figure 3.6). Les pièges sont séparés d'une centaine de mètres l'un de l'autre pour diminuer les interférences qui peuvent résulter chez les mâles. Le piège INRA utilisé est composé d'un entonnoir avec une plaque engluée, un panier ajouré pour permettre le placement de la capsule de phéromone et un opercule pour refermer.

Le piège permet de diffuser une phéromone qui se trouve sous forme d'une capsule en plastique perméable contenant le composant actif. La capsule

est renouvelée tous les 15 jours (Figure3.7). La campagne de capture a duré du 15 juin au 30 septembre 2010. Les relevés sont effectués tous les deux jours. Après le dénombrement des papillons capturés, nous procédons par station à leur mensuration en longueur et en envergure à l'aide d'un pied à coulisse électronique (Figure3.8).



(Originale ,2010)

Figure 3.6: Localisation des stations prospectées



(Originales ,2010)

Figure 3.7 : Le piège à phéromone contre la processionnaire du pin



(Originale ,2010)

Figure 3.8: Les papillons mâles piégés par la phéromone

3.2.3 Récolte des pontes

L'opération de récolte des pontes a été entamée après la détection du premier vol des papillons. Elle a été effectuée d'une manière aléatoire dans la cédraie pure pendant les mois de juillet et d'août. Deux cents pontes ont été récoltées à hauteur d'homme à partir des arbres répartis sur ensemble du boisement (Figure 3.9).



(Originale, 2010)

Figure 3.9 : les pontes de *Thaumetopoea pityocampa*

Les pontes de la processionnaire prélevées précédemment ont été conditionnées individuellement dans des tubes à essai bouchés avec du coton fin, et mises à l'abri dans la même station au niveau de la maison forestière à Chréa. Les pontes ont été examin es quotidiennement et les températures journalières ont été not es à l'aide d'un thermomètre (figure3.10).



(Originale, 2010)

Figure 3 .10 : Conditionnement des pontes de *Thaumetopoea pityocampa*

3.2.4 Examen des écailles maternelles

Des écailles provenant de l'extrémité abdominales des femelles ont été pr lev es à partir d'une centaine de pontes. Ces écailles ont été examin es à l'aide d'une loupe binoculaire et compar es aux résultats obtenus sur pin d'Alep par ZAMOUM [35].

3.2.5 Examen et quantification des catégories d' uf

Les mensurations biométriques des manchons de pontes ont concerné les longueurs et les largeurs des pontes r colt es (figure3.11). Les échantillons mesurés ont été conservés dans des tubes numérotés individuellement au niveau de la maison forestière. L'éclosion du matériel biologique ainsi préparé est not e

quotidiennement (Figure 3.12). On inscrit en parallèle : la date d'éclosion de chaque ponte sur la fiche d'exploitation qui porte aussi la date de récolte de la même ponte.



(Originale, 2010)

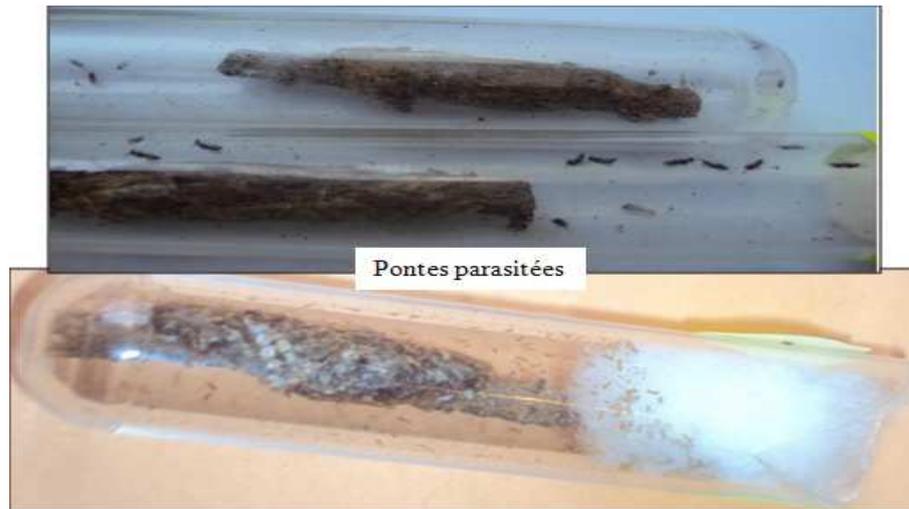
Figure 3.11 : Mensuration des pontes



(Originale, 2010)

Figure 3.12 : Eclosion des pontes de la processionnaire

Après l'éclosion totale des pontes, les manchons ont été écaillés à l'aide d'un ruban adhésif afin de procéder au dénombrement des différentes catégories d'œufs ; non éclos, éclos, et ceux ayant des trous de sortie de parasites. Les parasitoïdes des œufs émergés ont été retirés immédiatement et séparés dans des tubes en plastique pour la détermination (Figure3.13).



(Originale, 2010)

Figure 3.13 : Tubes contenant des manchons parasités

3.2.6 Biométries des stades larvaires et du stade nymphal

Des lots de larves des différents stades de développement de la processionnaire du pin ont été récoltés et préparés au laboratoire pour la mensuration. Les mesures ont concernées les longueurs des chenilles et les largeurs de leurs capsules céphaliques. Les larves du premier stade ont été récupérées après l'éclosion des pontes au laboratoire. Elles sont mesurées à l'aide d'une loupe binoculaire équipée d'un micromètre. Les larves des autres stades ont été récoltées, pendant l'automne, l'hiver et le printemps au fur et à mesure de l'évolution de l'espèce. Le matériel biologique a été prélevé au hasard à partir d'une dizaine de nids et mesurés à l'aide d'un pied à coulisse électronique (figure3.14). Quant au stade nymphal, les chrysalides retirées des zones d'enfouissement repérées à l'avance ont subi des mensurations de longueur totale et de largeur maximale (figure3.15).



(Originale, 2011)

Figure 3.14 : Mensuration des larves de *Thaumetopoea pityocampa*



(Originale, 2011)

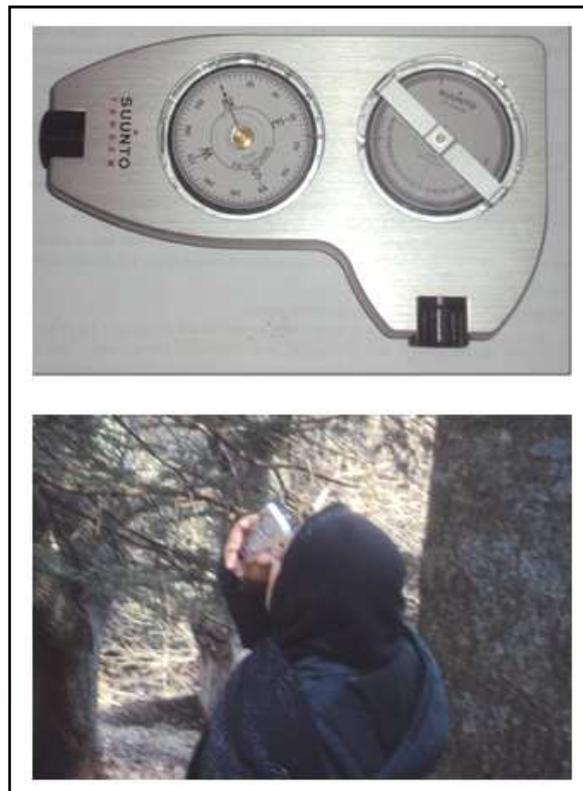
Figure 3.15 : Les nymphes de *Thaumetopoea pityocampa*

3.2.7 Chronologique des écophases de *Thaumetopoea pityocampa*

Depuis juin 2010 jusqu'à août 2011, un suivi régulier en raison de quatre sorties par mois a été consacré aux observations de différentes étapes de l'évolution de la processionnaire du pin. Ce travail périodique avait pour objectif de recueillir des informations sur l'espèce dans son biotope naturel, de repérer les dates des différents stades de cycle biologique, de rechercher les prédateurs de l'insecte, de localiser les points d'enfouissement et de récolter les larves pour une mensuration.

3.2.8 Dénombrement des nids d'hiver

Pour procéder au comptage des nids de la processionnaire du pin, nous avons considéré deux tranches altitudinales, la première allant de 1000m à 1200m et la deuxième de 1200m à 1400m. Un effectif de 100 arbres a été échantillonné par tranche d'altitude, soit 200 arbres au total. Pour le comptage des nids, nous avons pris en considération, systématiquement un arbre sur deux suivant un transect linéaire. Pour chaque arbre, nous avons compté le nombre de nids, leur hauteur par rapport au sol et leur emplacement. Les hauteurs et les expositions des nids ont été déterminées par un clinomètre « Suunto Tandem » (figure 3.16). Pour éviter les effets de bordure, nous avons choisi le transect à environ 4m à l'intérieur des peuplements vu que le terrain est très accidenté.



(Originale, 2011)

Figure 3.16 : Le clinomètre Suunto Tandem

3. 3 Méthodes d'analyse statistique

Notre objectif étant l'étude des caractéristiques populationnelles de *Thaumetopoea pityocampa*, et l'action que peuvent avoir certains facteurs de milieu comme l'altitude, l'exposition et la température sur l'évolution de l'insecte, nous avons soumis nos données statistiques à une série d'analyses réalisée par les logiciels Excel, Statistica 6.2 et PAST.

3.3.1 Analyse descriptive

Il s'agit d'un ensemble de méthodes permettant de décrire les unités statistiques qui composent une population. Elle a essentiellement pour but de dégager un certain nombre de renseignements quantitatifs et qualitatifs pour une comparaison [131]. Cette analyse a concerné le calcul des moyennes, des écarts types, et de coefficient de variation.

3.3.2 Distribution de fréquence

L'analyse fréquentielle représente la méthode pratique pour la description d'une population ou d'un échantillon et d'en procéder avant tout à une distribution de fréquence. Ceci dans le but de caractériser les populations dans leur ensemble et de présenter les données sous une forme synthétique, sans perdre l'essentiel de l'information contenue dans les valeurs de la variable à établir. Les données sont rangées, puis regroupées dans un nombre restreint de classes. Il s'agit donc d'une distribution qui montre la probabilité d'apparition de toutes les valeurs d'une variable théorique. La forme de cette distribution répond à une loi normale. Cette analyse a concerné la biométrie des différents stades d'évolution de l'insecte ou les distributions des classes de pontes, des mensurations des adultes, des larves et nymphes ont été établies.

3.3.3 Analyse de la variance (Anova)

L'objectif de ce traitement est de tester les différences significatives entre les moyennes. Des analyses à un facteur ont été effectuées pour tester l'effet d'un facteur contrôlé ayant des modalités sur les moyennes d'une variable quantitative. Cette analyse a été appliquée sur les données relatives à la

répartition altitudinale des papillons, aux mensurations des nymphes et au dénombrement des nids.

3.3.4 Régression linéaire

C'est une méthode statistique qui consiste à décrire les relations entre une variable privilégiée, appelée variable expliquée et plusieurs variables jouant un même rôle par rapport à la première, appelées variables explicatives. Le coefficient de détermination R^2 calculé, représentant la mesure de la proportion de la variable explicative par la variable à expliquer, évalue le degré d'association entre les deux variables et permet de juger la qualité de l'ajustement des points par la droite de régression. Les probabilités sont calculées pour tirer le degré de signification. Le recours à cette méthode nous a permis d'établir la relation entre le nombre d'œuf et la taille des pontes, ainsi que le nombre des nids et la hauteur des arbres.

3.3.5 L'analyse en composantes principales (ACP)

C'est une méthode d'analyse de données multivariées qui recherche à identifier les axes principaux qui expliquent le mieux les corrélations entre les variables aléatoires. Elle permet donc une représentation graphique des liens entre variables numériques et des positions des individus par rapport aux vecteurs de ces variables. Des corrélations ont été établies entre l'altitude, l'exposition et la répartition des nids d'hiver à l'aide du logiciel PAST. La position des variables est déterminée par des coordonnées comprises entre - 1 et + 1 et appartiennent à un cercle des corrélations. L'interprétation de l'ACP se fait à partir de l'examen du cercle des corrélations et de la position du statut des variables sur les axes factoriels.

3.3.6 Classification hiérarchique des variables

L'objectif de cet algorithme est de rassembler des objets dans des classes de plus en plus large, en utilisant certaines mesures de similarités ou distances Euclidiennes. Cette classification a concerné l'analyse des variables environnementales, altitude et expositions et celles liées à la répartition des nids d'hiver.

CHAPITRE 4

RESULTATS

4.1 Piégeage sexuel et émergence des adultes

Les résultats des captures des papillons mâles dans les trois stations sont regroupés dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Analyse descriptives des captures des papillons mâles par station

Stations	Les châtaigniers	Les glacières	Les quatre bancs
Effectif des captures (Piège 1)	62	44	54
Effectif des captures (Piège 2)	155	110	32
Moyenne des captures	108,50	77	43
Ecart-type	65,76	46,67	15,56
Coefficient de variation(%)	60%	60%	36 %

Les moyennes des captures calculées par station montrent une nette différence entre les trois biotopes prospectés. La moyenne des mâles piégés dans la première station s'élève à 108 papillons avec un écart-type de 65,76 alors que dans les stations 2 et 3 les moyennes respectives sont de 77 et 43 papillons avec des écarts-types respectifs de 46,67 et de 15,56. La dispersion autour des moyennes est indiquée par le coefficient de variation qui est comparable pour les stations 1 et 2. La troisième station se caractérise par un faible coefficient de variation de l'ordre de 36%.

4.2 Période d'émergence des adultes

La figure 4.1, portant sur les dates de vol des adultes mâles dans les trois stations, montre que la période de vol se situe entre la quatrième semaine de juin et la première semaine de septembre. Elle s'étale sur une période de 79 jours.

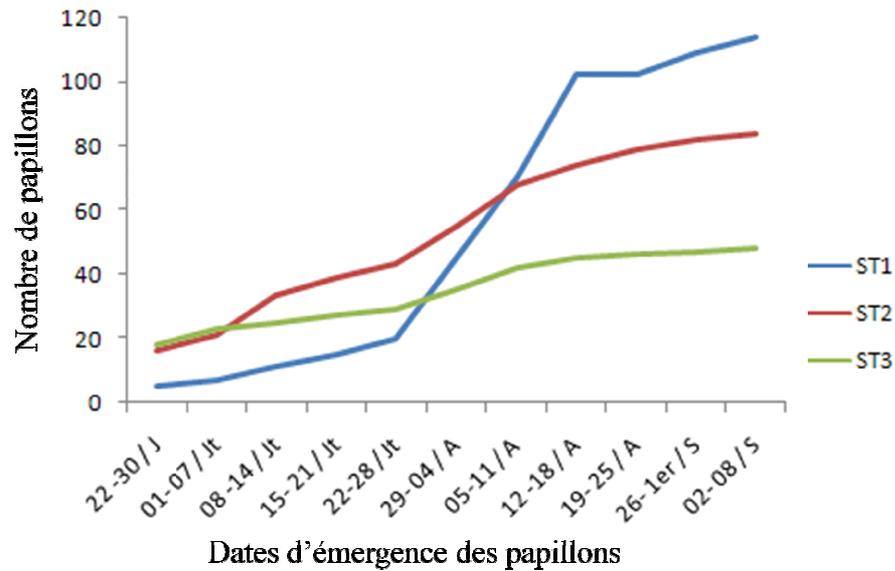


Figure 4.1 : Courbe cumulative des émergences des papillons

4.3 Biométrie des papillons mâles

Les mensurations de longueur et d'envergure ont porté sur des lots de 50 papillons par stations. Le tableau 4.2 regroupe la synthèse des données de mensurations.

Tableau 4.2 : Analyse descriptive des mensurations des papillons

	effectif	Moyenne	Valeurs extrêmes
Longueur (mm)	150	13,40 ± 1,33	9,75 - 16,50
Envergure (mm)	150	38,57 ± 2,55	29,94 - 44,88

L'analyse des résultats obtenus dans le tableau 4.2 montre que les papillons capturés ont une longueur moyenne de 13,40 mm et une envergure moyenne de 38,57 mm avec des écarts-types respectifs de 1,33 et de 2,55. La comparaison des moyennes de longueur et d'envergure des papillons des trois stations (Figure 4.2 et 4.3) montre une différence significative pour les mensurations de longueur ($p=0,01$) et une différence hautement significative pour les mensurations d'envergure ($p=0,003$).

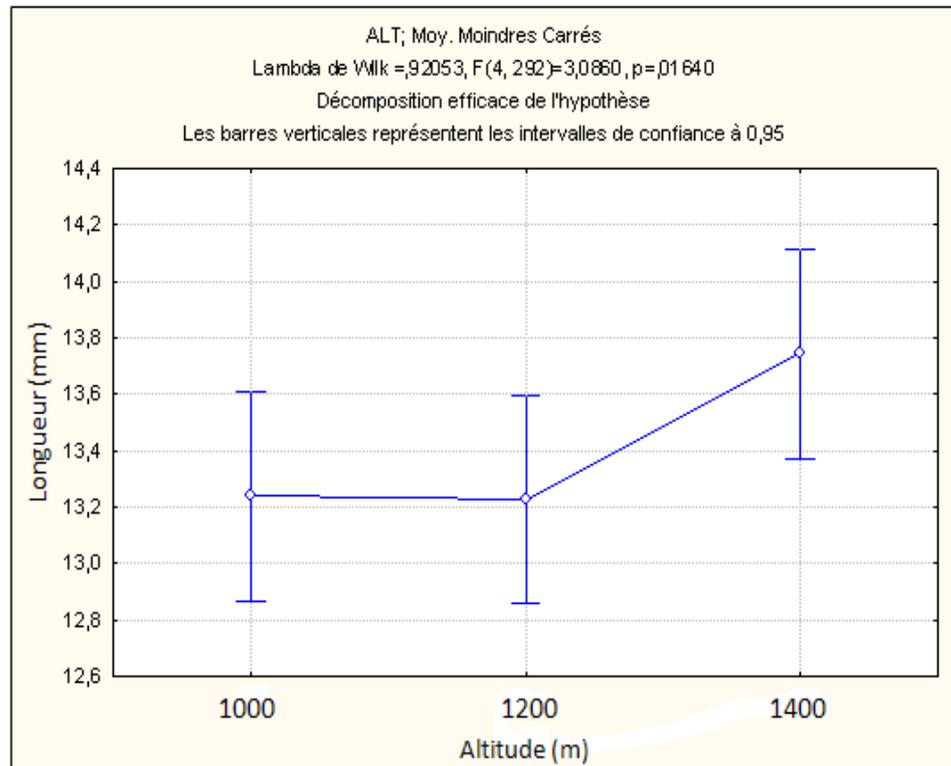


Figure 4.2 : Comparaison des moyennes de longueur des papillons en provenance des trois stations

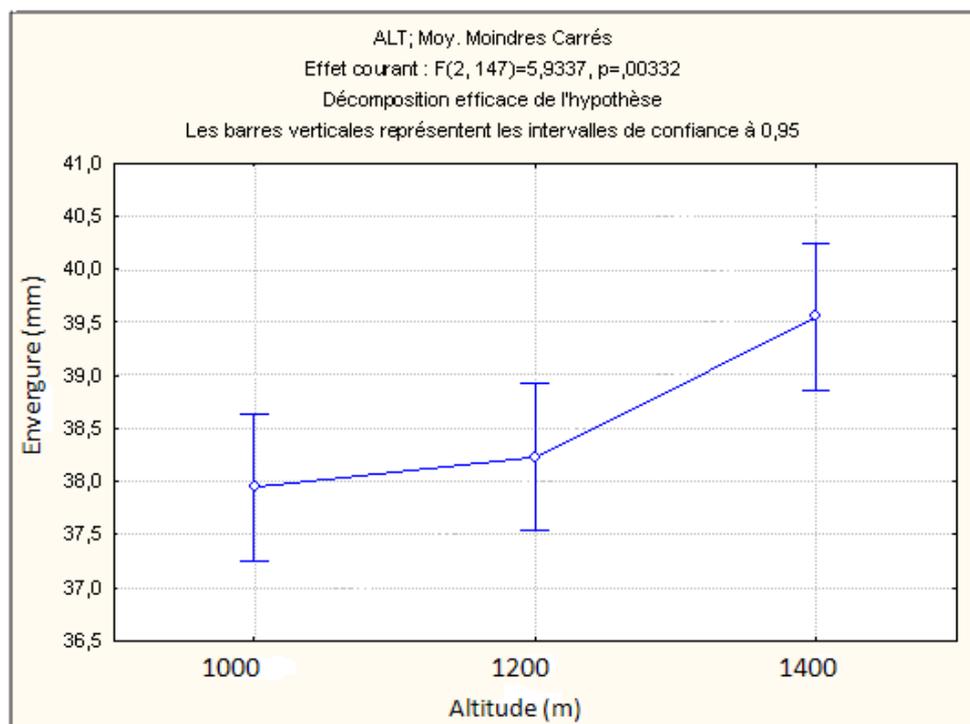


Figure 4.3 : Comparaison des moyennes d'envergure des papillons en provenance des trois stations

4.3.1 Analyse fréquentielle des longueurs des papillons mâles

La distribution fréquentielle des longueurs des papillons mâles présentée par la figure 4.4 met en évidence trois classes qui s'ajustent à une loi normale. La probabilité calculée est très hautement significative ($p=0,0001$). Le plus grand nombre d'observation, soit 114 cas sur 150 ont une longueur comprise entre 12 mm et 15 mm. Un effectif de 20 cas se limite à des longueurs comprises entre 9 mm et 12mm. La longueur supérieure à 15 mm caractérise 16 cas.

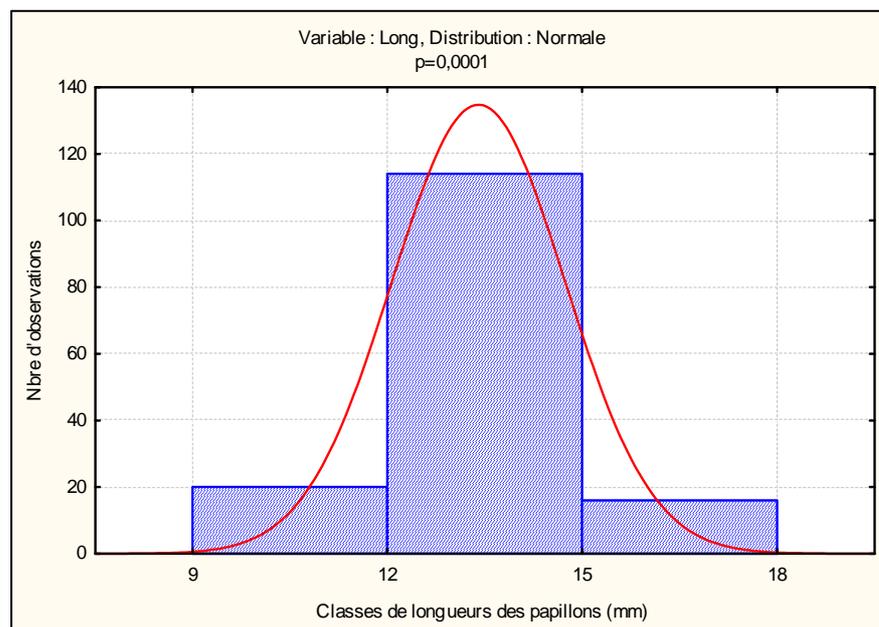


Figure 4.4 : Analyse fréquentielle des longueurs des papillons mâles

4.3.2 Analyse fréquentielle des envergures des papillons mâles

L'analyse fréquentielle portée dans la figure 4.5 montre que les données considérées s'ajustent à une loi normale avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001$).

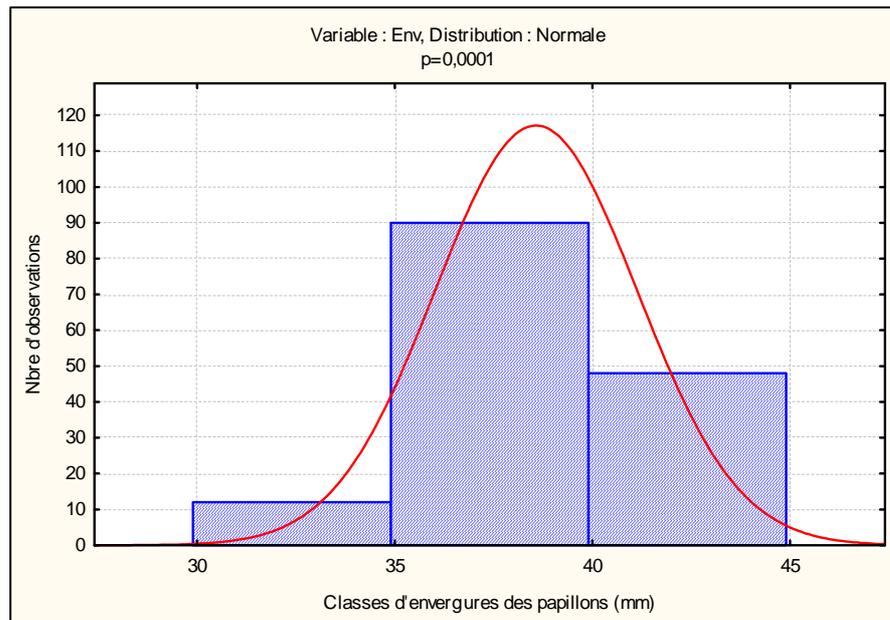


Figure 4.5 : Analyse fréquentielle des envergures des papillons mâles

Les papillons ayant une envergure comprise entre 35 et 40 mm présentent la classe la plus significative avec 90 cas. L'effectif des papillons d'une envergure comprise entre 40 et 45 mm est 48 individus. La classe inférieure à 35 mm ne représente que 12 observations. L'envergure alaire chez les populations mâles de la processionnaire qui évoluent sur les espèces du pin se limite entre 31 et 39 mm [132].

4.4 Analyse des pontes de *Thaumetopoea pityocampa*

4.4.1 Dénombrement des œufs par ponte

Les résultats de comptage des œufs de 183 pontes sont regroupés dans le tableau 4.3

Tableau 4.3 : Analyse descriptive du nombre des œufs

Effectif des pontes analysées	183
Nombre total d'œufs	46318
Effectif moyen par ponte	231,59
Ecart-type	46,41
Valeurs extrêmes	90-348

Au total, les pontes examinées contiennent 46318 œufs soit une moyenne de 231 par ponte.

4.4.2 Analyse fréquentielle des effectifs des œufs de *Thaumetopoea pityocampa*

Une analyse fréquentielle des effectifs œufs par ponte a été établie afin de déterminer les classes des femelles pondeuses. La figure 4.8 illustre la distribution des classes en relation avec la courbe de Gauss.

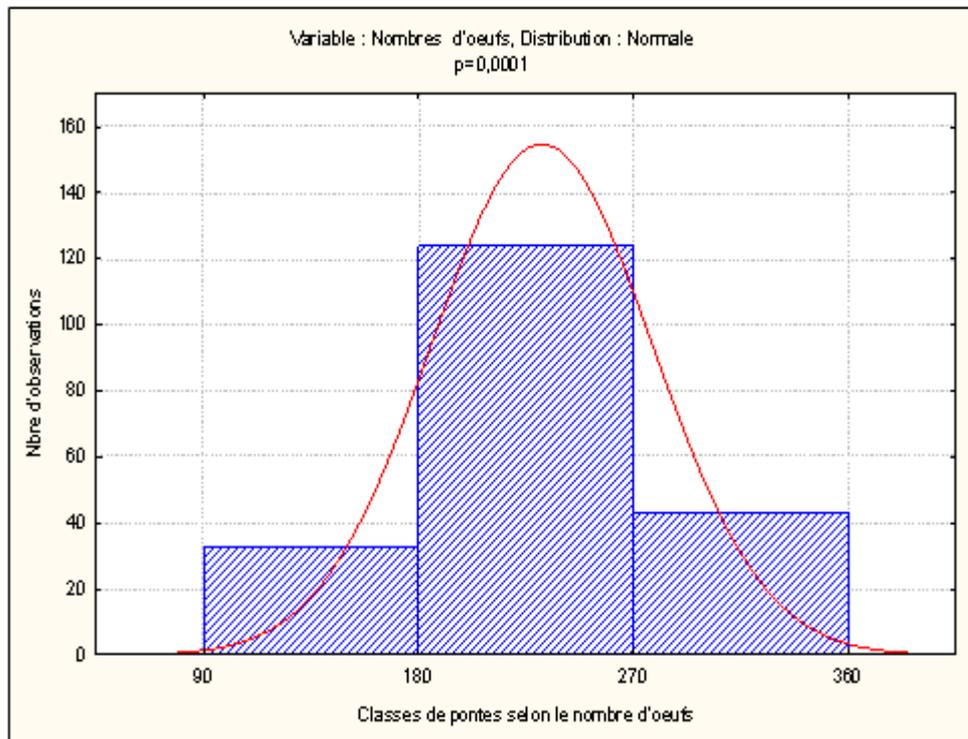


Figure 4.6 : Analyse fréquentielle des effectifs des œufs

L'analyse fréquentielle des œufs quantifiés sur les pontes en provenance du cèdre définie trois classes s'ajustant à une loi normale. La probabilité calculée est très hautement significative ($p=0,0001$). La première classe, représentée par 33 cas, regroupe les pontes ayant entre 90 à 180 œufs. La seconde classe regroupe un maximum d'observations, soit 124 pontes, renfermant entre 180 et 270 œufs. La dernière classe se limite à 43 pontes dont le nombre d'œufs est compris entre 270 et 380

4.4.3 Biométrie des pontes et relation avec le nombre d'œufs

Les résultats des mensurations des pontes sont reportés dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Analyse descriptive des pontes de la processionnaire du pin

	Moyenne	Valeurs extrêmes
Longueur des pontes (mm)	27,29 ± 5,39	16,22 -46,31
Diamètre des pontes (mm)	3,82 ± 1,05	1,62-7,26

Les pontes déposées sur les rameaux de cèdre à Chréa ont une longueur moyenne de 27,29 mm et un diamètre moyen de 3,82 mm avec des écart-types respectifs de 5,39 et 1,05. Dans les pinèdes, les pontes ont une longueur moyenne de 30 mm (Fabre, 1900).

Les corrélations entre les longueurs et les diamètres des pontes et le nombre d'œufs sont représentées par les figures 4.9 et 4.10.

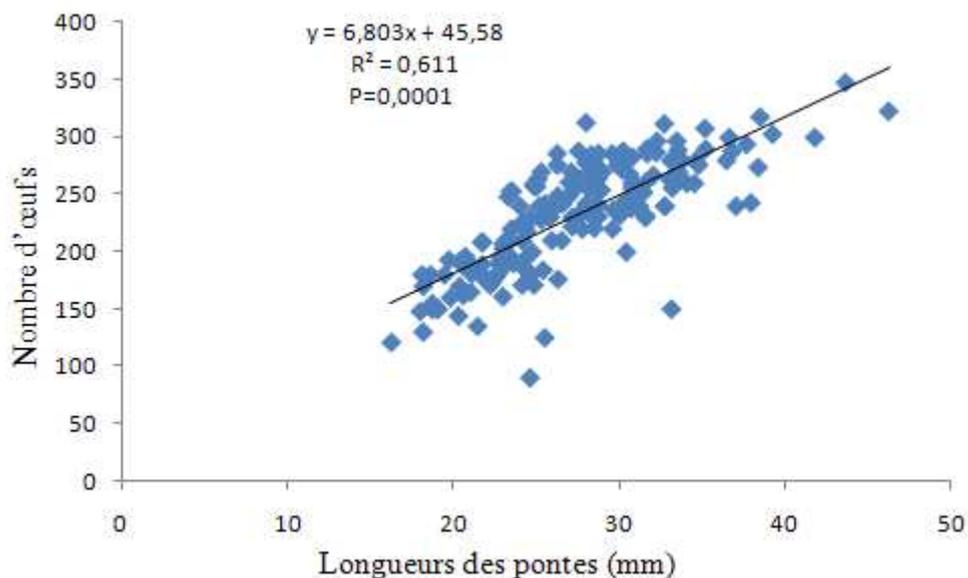


Figure 4.7 : Relation entre le nombre d'œufs et la longueur de la ponte

L'analyse de la régression linéaire montre une relation entre la longueur des pontes et le nombre d'œufs avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001$) et un coefficient de détermination égal $R^2=0,61$.

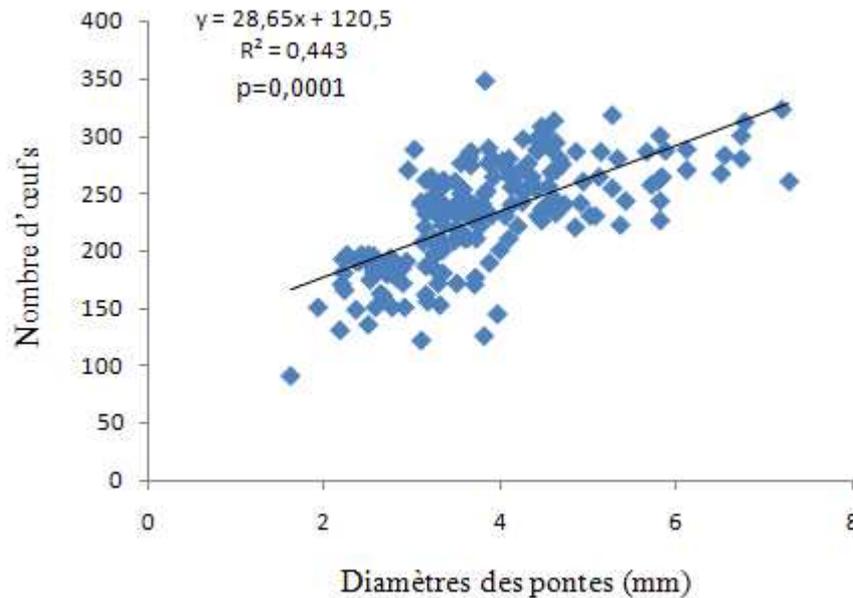


Figure 4.8 : Relation entre le nombre d'œufs et le diamètre de la ponte

De même, l'analyse de la régression linéaire montre que les diamètres des pontes et le nombre d'œufs sont positivement corrélés avec une probabilité très hautement positive ($p=0,0001$) et coefficient de détermination ($R^2=0,44$) qui explique 44 % de la variation.

ZAMOUM [35] a noté qu'il existe une relation entre les longueurs des aiguilles et des rameaux et le nombre d'œufs et que les coefficients de corrélation entre ces paramètres sont hautement significatifs. En ce qui concerne les diamètres des pontes, ils sont en relation avec les diamètres du support végétal selon DEMOLIN [53] qui précise aussi que le diamètre des aiguilles du pin doit être compris entre 1,6 et 2 mm pour permettre aux femelles de pondre sans contraintes.

4.4.4 Eclosions des pontes

Sur les 200 pontes récoltés on a enregistré 183 éclosions soit un taux de 95,5 % (Figure 4.11). Les 17 pontes restantes n'ont pas éclos et sont toujours conservées.

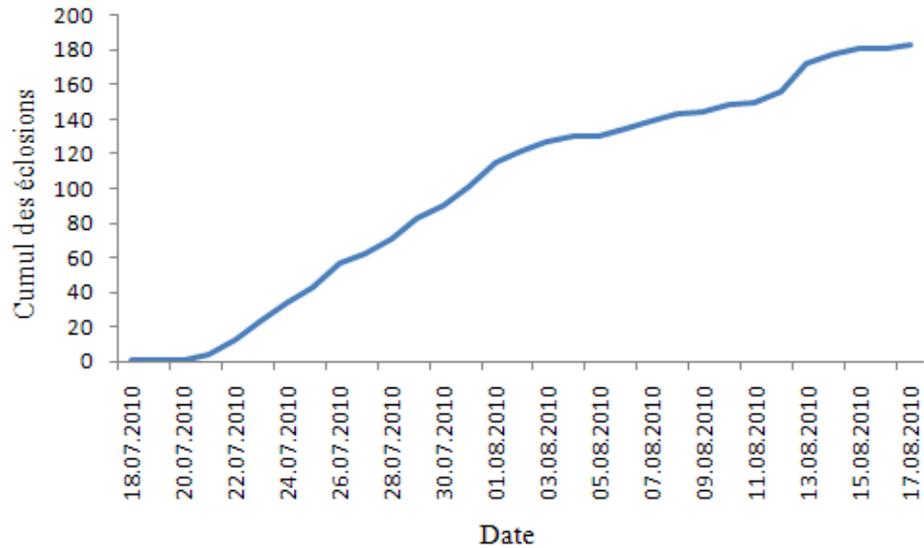


Figure 4.9 : Courbe cumulative des éclosions de pontes de *Thaumetopoea pityocampa*

La fréquence journalière des éclosions en fonction des températures moyennes journalières prélevées au niveau de site naturel à Chréa où les pontes ont été déposées est illustrée par la figure 4.12.

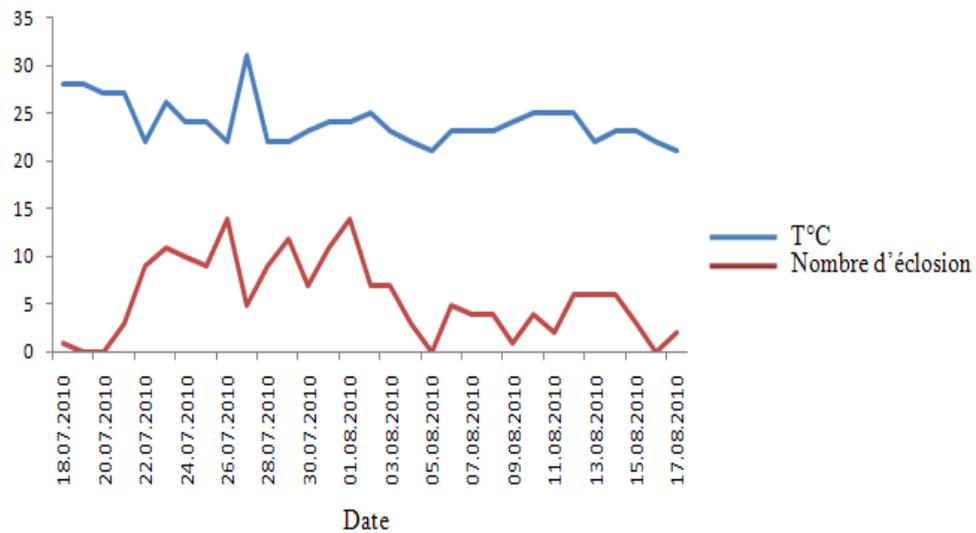


Figure 4.10 : Fréquence journalière d'éclosion de pontes datées en fonction des températures moyennes journalières

L'éclosion a eu lieu de la troisième semaine de juillet et s'est échelonnée jusqu'à la deuxième semaine du mois d'août pour le matériel biologique analysé. Quelques cas d'éclosion ont été notés au cours du mois de septembre en cédraie pure. La fréquence journalière des pontes éclos en fonction de la température est variable. Les journées chaudes sont caractérisées par un faible nombre d'éclosion. DEMOLIN [34] a précisé que l'éclosion se déclenche lorsque la somme des températures moyennes journalières à l'éclosion avoisine 780°C. La somme calculée à partir de 18 juillet date de la première ponte prélevée jusqu'à 17 août qui correspond à la dernière éclosion concernant le lot de pontes récoltés est de 744°C. Cette différence s'explique par la position en altitude du site prospecté.

4.4.5 Dénombrement des catégories d'œufs

Au total, les 183 pontes examinées comptent 46318 œufs. Les résultats sont consignés dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Analyse descriptive des catégories d'œufs examinées

	Effectif total	moyenne	%	Valeurs extrêmes
Œufs éclos	41521	207	89,64	15-334
Œufs non éclos	2855	14	6,16	0-160
Œufs parasités	1942	9	4,19	0-215

Le nombre d'œufs éclos est de 41521, soit en moyenne de 207 par ponte. Les œufs non éclos au nombre de 2855 représentent une moyenne de 14 œufs. Le nombre d'œufs parasités est 1922, soit en moyenne 9 œufs par ponte (Figure 4.13).

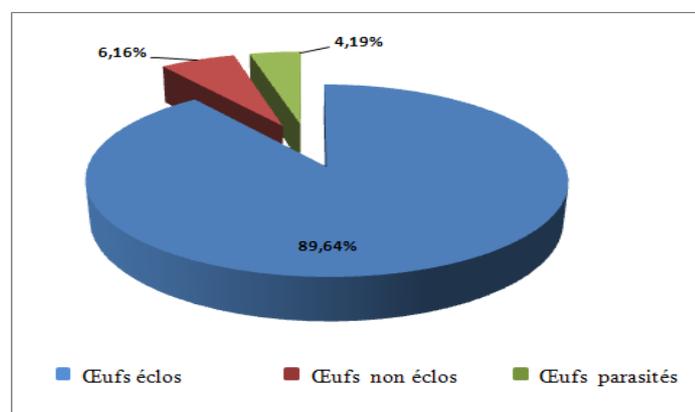
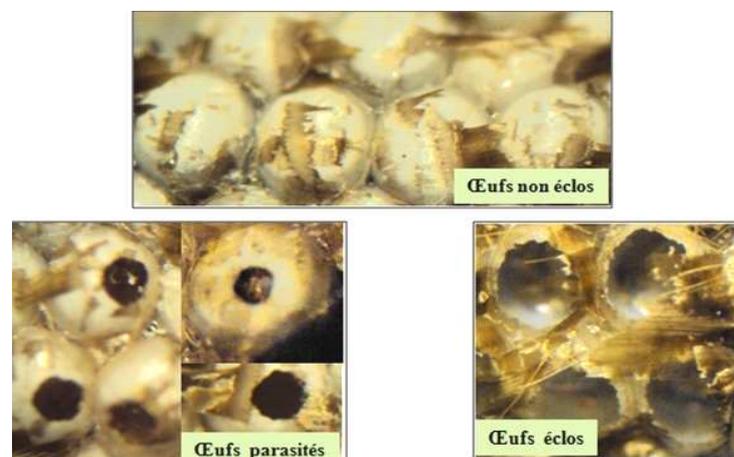


Figure 4.11 : Pourcentages des catégories d'œufs de *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de Chréa

4.4.6 L'examen des catégories d'œufs

Les œufs examinés à la loupe binoculaire présentent une forme arrondie. La face supérieure est bombée et la face inférieure est plate. Ils sont de couleur blanche. L'observation a permis de distinguer :

- Œuf percé d'un gros trou qui correspond à la sortie de la chenille
- Œuf percé d'un petit trou qui correspond à la sortie d'un parasite oophage
- Œuf percé d'un très petit trou qui correspond à la sortie de *Trichogramma embryophagum*
- Œuf non éclos est alors ouvert, il contient soit un parasitoïde en diapause, soit une larve morte (figure 4.14).



(Originale, 2010)

Figure 4.12 : les catégories d'œufs de la processionnaire du pin

4.5 Caractérisation des manchons et des écailles maternelles

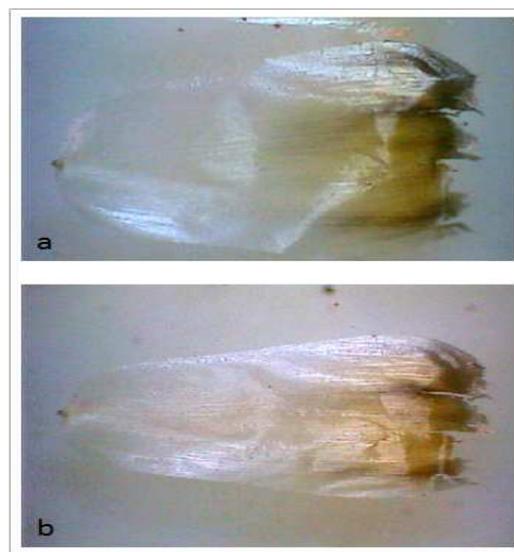
L'examen des écailles maternelles a concerné les écailles provenant des manchons de couleur gris foncé et de couleur brun jaunâtre chez les populations observées (figure 4.6).



(Originale,2010)

Figure 4.13 : Manchons et écailles de ponte de *Thaumetopoea pityocampa*

Les écailles des deux manchons sont de forme à peu près ovale, translucides, avec un peu de brun à la base et de roux à l'autre extrémité. Leur bout inférieur est libre et mucroné, mais elles sont fixées solidement par le bout supérieur qu'est plus large comme est illustré dans la figure 4.7.



(Originale ,2010)

Figure 4.14 : Types d'écailles de ponte de *Thaumetopoea pityocampa*
a : Ecaille des manchons brun jaunâtre **b :** Ecaille des manchons gris argenté

ZAMOUM [35] souligne que, les écailles observées en Algérie sont jaune dorée et grandes, avec une forme arrondie dans le cas des jeunes boisements de pin, jaune dorée et plus ou moins noirâtres à miellée pour les forêts naturelles et plus noirâtres à miellée avec une petite taille et plus allongées dans le cas des populations de haute altitude se développant sur cèdre (figure4.8).



(Originale ,2010)

Figure 4.15 : les pontes de la processionnaire

a : sur le pin d'Alep **b** : sur le cèdre de l'Atlas à Chréa

4. 6 Le complexe parasites-prédateurs

4.6.1 Les parasites oophages

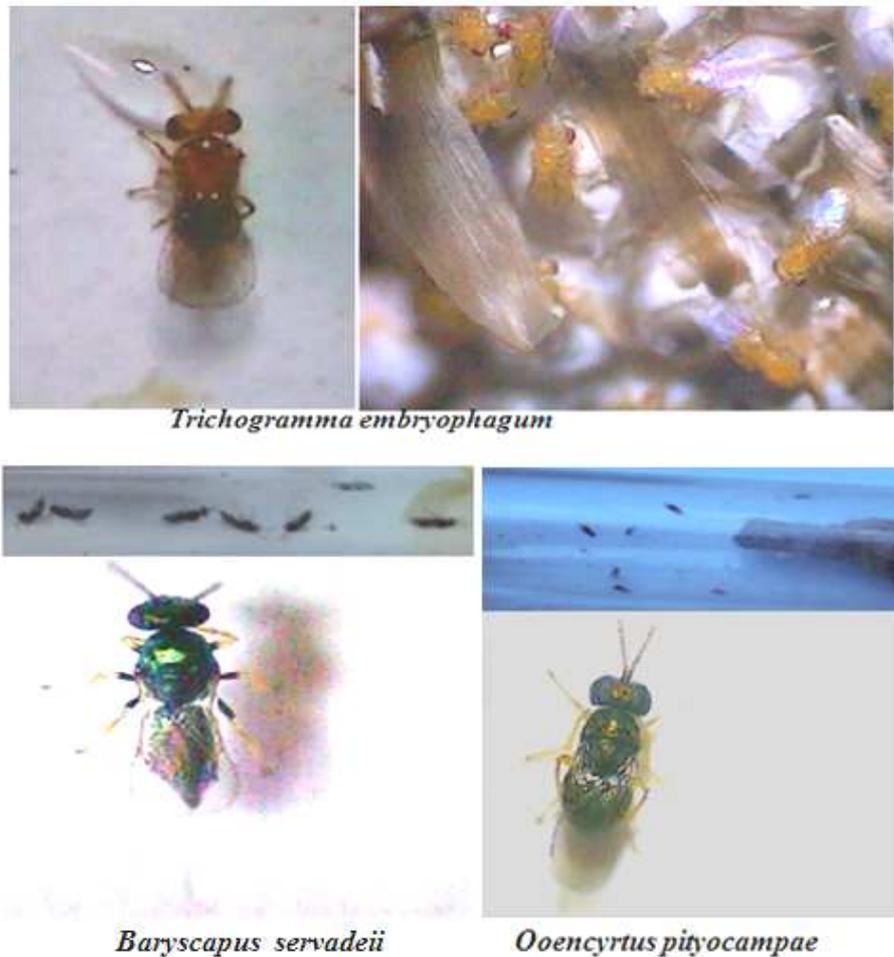
Trois parasites oophages appartenant aux Hyménoptères chalcidiens ont émergé à partir des pontes récoltées en mois de juillet et d'août dans la cédraie de Chréa (Tableau 4.6).

Tableau 4.6: Les espèces oophages de la processionnaire du pin et leur importance

Parasites	Nombre de pontes	Nombre d'œufs parasités	Pourcentage
<i>Trichogramma embryophagum</i>	8	912	46,96 %
<i>Baryscapus servadeii</i>	38	576	29,66 %
<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	26	454	23,37 %
Total	72	1942	100 %

Il est important de rappeler que le nombre total des pontes mis en observation est de 183.

Parmi les 1942 œufs parasités, 912 ont été attaqués par *Trichogramma embryophagum*, soit 46,96 % de l'effectif des parasitoïdes. Cette espèce a concerné 8 pontes. *Baryscapus servadeii* a parasité 576 œufs appartenant à 38 pontes, soit 29,66 %. *Ooencyrtus pityocampae* a été noté dans 26 pontes, soit au total 454 d'œufs parasités, ce qui représente un taux de 23,37 % (figure 4.15). L'analyse des œufs est toujours en cours pour déterminer les espèces qui sont en diapause.



(Originales, 2010)

Figure 4.16: Les parasitoïdes oophages de *Thaumetopoea pityocampa* identifiés sur le cèdre de l'Atlas à Chréa

Ces espèces ont été décrites en Algérie par plusieurs auteurs. BERTELLA [31] et ZAMOUM [35] ont signalé la présence de *Baryscapus servadei* et *Ooencyrtus pityocampae* dans les pinèdes des zones semi arides. *Baryscapus servadeii* est considéré comme hôte spécifique et active de *T.pityocampa* [133].

DEMOLIN [34] a signalé sa présence sur les pontes de l'espèce voisine *T.bonjeani* dans les cèdres de hautes altitudes de Belezma. *Ooencyrtus pityocampae* est caractérisé par une large gamme d'hôtes et s'attaque à plusieurs espèces de lépidoptères [31]; [134]; [135].

4.6.2 Les prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa*

Pendant la récolte des pontes, au mois de juillet et d'août, nous avons observé une espèce d'*Ephippiger* sur les pontes de *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie du Parc National de Chréa (figure 4.16).



(Originale ,2010)

Figure 4 .17: *Ephippiger* prédateur des pontes de *Thaumetopoea pityocampa*

Au cours de l'opération de comptage des nids, en hiver 2010 /2011, nous avons constaté que certains nids portent de grands trous (figure 4.17). Ces derniers sont l'œuvre des oiseaux prédateurs de chenilles de *Thaumetopoea pityocampa*. Les mésanges figurent parmi les espèces qui sont capables de dénicher et de se nourrir des larves de la processionnaire [38].



(Originale, 2011)

Figure 4.18 : Nid mort prédaté par la mésange

4 .7 Biométrie des stades larvaires et du stade nymphal

4 .7.1 Biométrie des stades larvaires

Un effectif de 100 chenilles de chaque stade a été prélevé à partir d'une dizaine de colonies. Cette opération s'est effectuée tout au long du cycle, depuis le mois d'août jusqu'au mois de mai. Les mensurations des chenilles des cinq stades sont reportées dans le tableau 4.7.

Tableau 4.7 : Analyse descriptive des stades larvaires de *Thaumetopoea pityocampa*

Stades	Effectif	Longueur des chenilles (mm)		Largeurs des capsules céphaliques (mm)	
		moyenne	Valeurs extrêmes	moyenne	Valeurs extrêmes
L1	100	3,60 ± 0,31	3 - 4,41	0,91 ± 0,08	0,63-1,14
L2	100	12,28 ± 0,64	10,30-13,65	1,52 ± 0,06	1,4-1,66
L3	100	20,82 ± 1,78	16,5-24,50	2,49 ± 0,17	2-2,9
L4	100	27,14 ± 2,67	23-33,92	3,90 ± 0,31	3,11-4,69
L5	100	33,92 ± 2,74	27,08-38,82	4,17 ± 0,32	3,35- 4,89

Les larves du premier stade possèdent une longueur comprise entre 3 et 4,41 mm avec une moyenne de 3, 60 mm, la largeur de la capsule céphalique varie de 0,63 à 1,14 mm dont la valeur moyenne est de 0,91mm. Au deuxième stade les larves mesurent entre 10,30 et 13,65 mm de longueur avec une

moyenne de 12,28 mm. A ce stade la largeur de la capsule céphalique mesure 1,52 mm de moyenne. Le troisième stade se caractérise par une longueur comprise entre 16,5 et 24,5 mm, soit une moyenne de 20,80 mm, la capsule est de 2 à 2,9 mm de largeur et la moyenne est de 2,49 mm. Quant aux quatrième et cinquième stades, les moyennes des longueurs sont respectivement de 27,14 mm et de 33,92 mm, les longueurs extrêmes sont de 23 à 33,92 mm et de 27,08 à 38,82 mm. Les largeurs des capsules céphaliques varient entre 3,11 et 4,69 mm pour le quatrième stade et entre 3,35 et 4,89 pour le dernier stade, et les moyennes respectives sont de 3,90 mm et de 4,17 mm.

Au cours de leur croissance, les chenilles changent de couleur et se couvrent de plus en plus de poils. Elles restent groupées en colonie et partent se nourrir en procession. Chaque déplacement donne lieu à l'élaboration d'un nid temporaire servant à la fois de refuge et de crottoir (figures 4.18 et 4.19).



(Originales, 2010)

Figure 4.19 : Les colonies des premiers stades larvaires de *Thaumetopoea pityocampa*



(Originales, 2010)

Figure 4.20 : Les processions aux premiers stades de *Thaumetopoea pityocampa*

4.7.2 Analyse fréquentielle des mensurations des stades larvaires

Les longueurs des chenilles et les largeurs des capsules céphaliques de chaque stade larvaire ont fait l'objet d'une analyse fréquentielle pour déterminer les classes de distribution des fréquences.

4.7.2.1 Premier stade

Les données de l'analyse fréquentielle des longueurs des chenilles du premier stade et les largeurs des capsules céphaliques représentées par la figure 4.20 s'ajustent à une loi normale avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001$).

L'analyse fréquentielle des longueurs montre que la taille des chenilles du premier stade appartient à trois classes. La première regroupe les larves ayant une longueur comprise entre 3 et 3,5 mm soit 30 cas. Les larves dont les longueurs varient de 3,5 à 4 mm représentent la classe la plus significative avec 53 observations. Les individus de longueur allant de 4 à 4,5 mm sont au nombre de 17.

Les données relatives aux mesures des largeurs des capsules céphaliques ont montré que la classe comprise entre 0,8 et 1 mm renferme le plus grand nombre d'observation soit 72 chenilles. L'effectif des larves possédant des capsules de largeur allant de 0,6 à 0,8 mm est 13 cas. Les capsules de largeur supérieure à 1mm existent chez 12 observations.

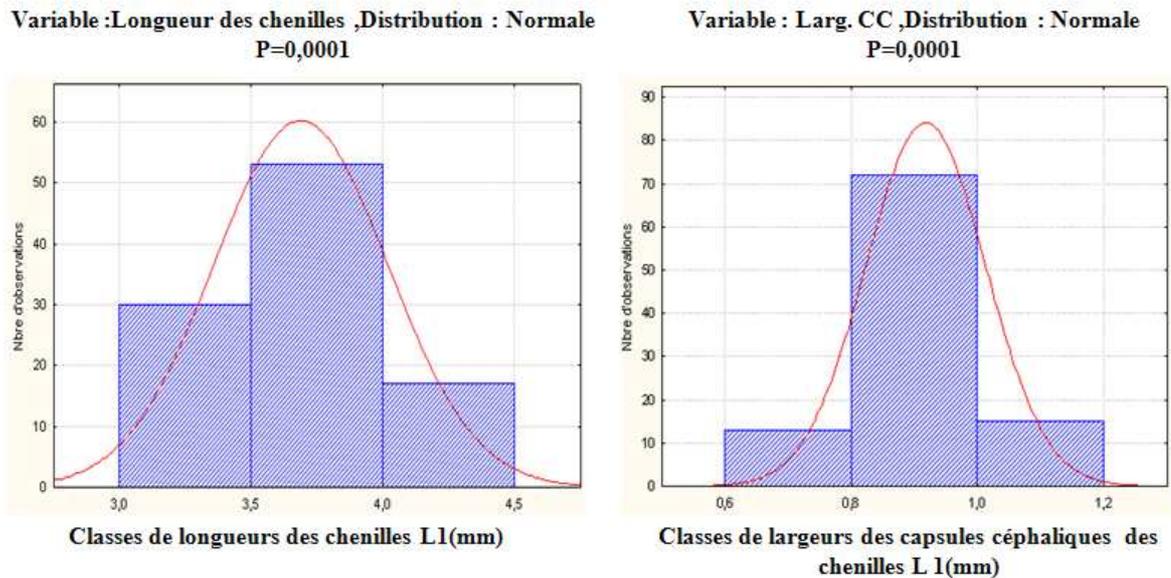


Figure 4.21 : Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques des chenilles du premier stade

4.7.2.2 Deuxième stade

Les données des mensurations en longueurs et en largeurs des capsules céphaliques des larves de deuxième stade illustrées par la figure 4.21 s'ajustent à une loi normale avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001$).

Les longueurs des chenilles de deuxième stade se répartissent en trois classes. Les longueurs comprises entre 10,3 et 11,43 mm concernent 10 larves. La classe (11,43 -12,56 mm) totalise un effectif de 59 cas. Au delà de 12,56 mm le nombre observé est de 31 cas.

De même, Les classes des largeurs des capsules céphaliques des larves de deuxième stade représentées par la figure 4.21 déterminent trois catégories de larves. 15 observations ont une largeur qui varie de 1,40 à 1,49 mm. Un effectif de 57 a des largeurs appartenant à la classe 1,49-1,58 mm, et 28 cas ont des valeurs supérieures à 1,58 mm.

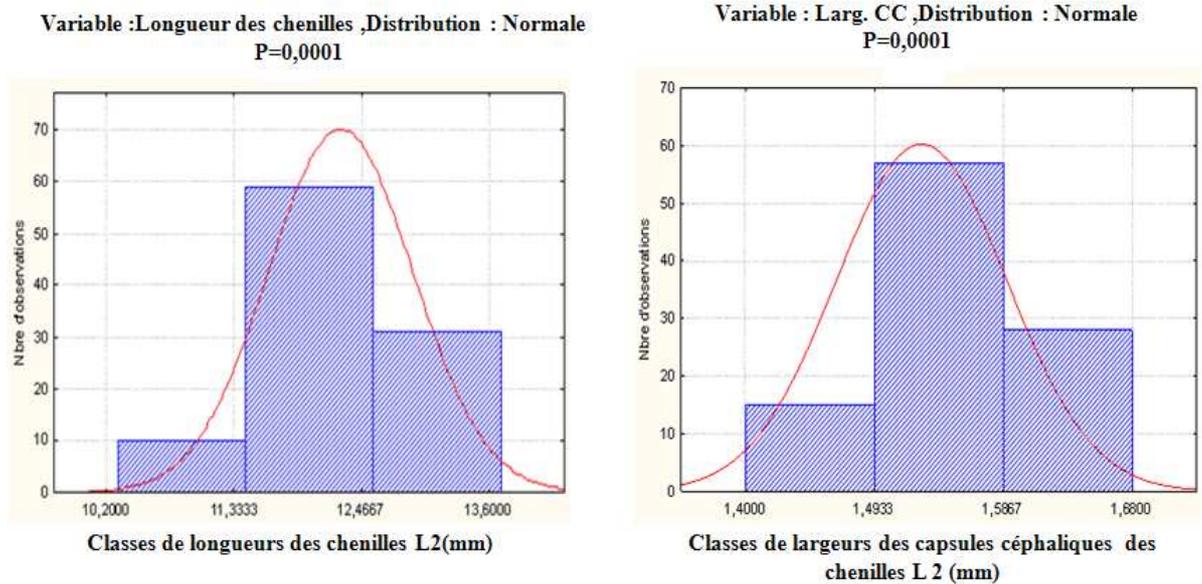


Figure 4.22: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques des chenilles de deuxième stade

4.7.2.3 Troisième stade

Les données relatives aux mensurations des chenilles de troisième stade représentées par la figure 4.22, montrent que les données analysées sont hautement significative ($p=0,0001$).

A ce stade les larves sont caractérisées par trois classes de longueurs. La première renferme 19 chenilles qui ont moins de 19,36 mm de longueur. La deuxième classe est la plus représentative avec 58 larves ayant des longueurs entre 19,66 à 22,13 mm. La dernière classe est formée de 23 observations avec des longueurs supérieures à 22,13mm.

Trois classes de mesures des capsules céphaliques des populations du troisième stade ont été obtenues à travers l'analyse fréquentielle. La classe la plus significative regroupe un maximum d'effectif de 59 chenilles ayant des largeurs comprises entre 2,33 et 3,66 mm. Les largeurs de la première classe qui varie entre 2 à 2,33mm regroupent 21 cas. Un effectif de 20 larves a des largeurs supérieures à 2,66 mm.

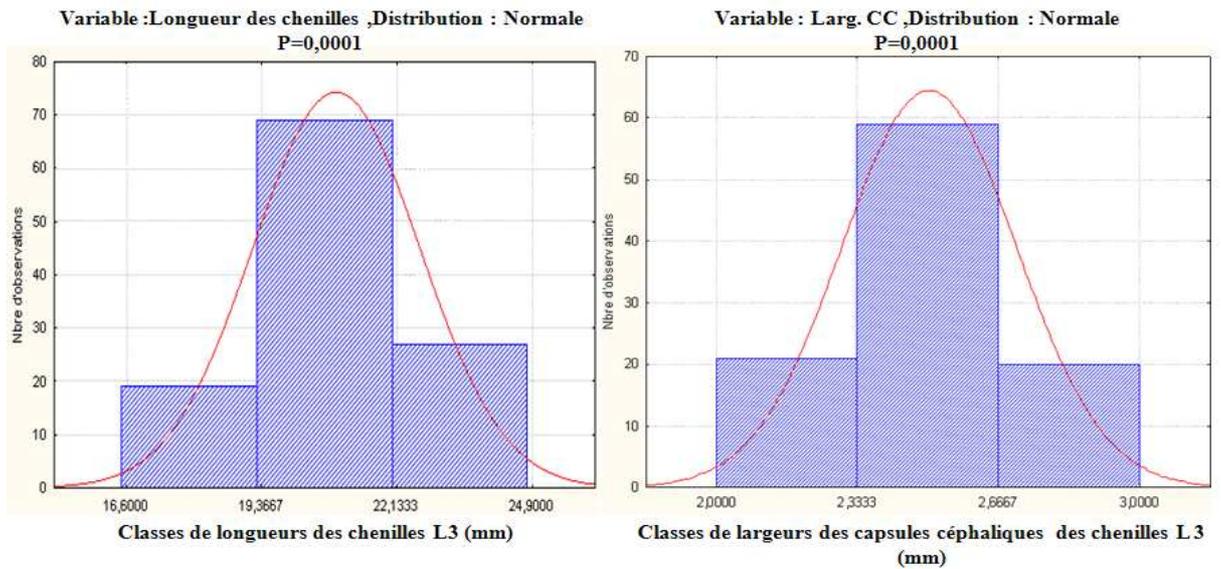


Figure 4.23: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques des chenilles du troisième stade

4.7.2.4 Quatrième stade

L'examen de la figure 4.23, regroupant les mesures des longueurs des chenilles du quatrième stade et les largeurs des capsules céphaliques montre que les données recueillies s'ajustent à une loi normale avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001$).

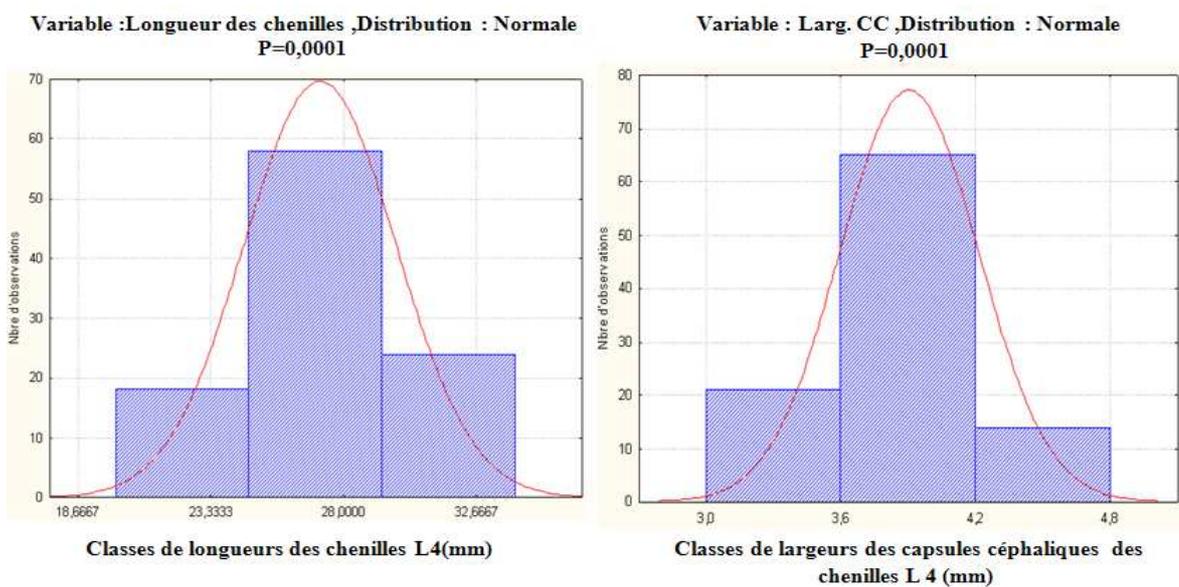


Figure 4.24 : Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques des chenilles du quatrième stade

Les résultats concernant les mensurations de longueurs des chenilles du quatrième stade ont donné trois catégories : 18 chenilles de taille variant de 20 à 24,66 mm, 58 chenilles de longueur allant de 24,66 à 29,33 mm, et 24 chenilles de longueur comprises entre 29,66 et 34 mm.

Les mesures des largeurs des capsules céphaliques ont permis de distinguer 21 chenilles de largeur inférieure à 3,60 mm, 65 chenilles de largeur comprise entre 3,60 et 4,20 mm et 14 observations possédant une largeur supérieure à 4,2 mm.

4.7.2.5 Cinquième stade

Les données de la figure 4.24, portant sur les mesures des longueurs et les largeurs des capsules céphaliques des chenilles du cinquième stade s'ajustent à une loi normale et la probabilité est très hautement significative ($p=0,0001$).

L'analyse fréquentielle des longueurs des chenilles du dernier stade, fait ressortir trois classes de distribution. Un effectif de 32 chenilles a des longueurs variant entre 27 et 32 mm, 57 chenilles de valeur comprise entre 32 et 37 mm et 11 individus seulement ont mesuré entre 37 et 42 mm.

Les populations du cinquième stade montrent une variabilité plus significative dans les mensurations des largeurs des capsules céphaliques. Elles appartiennent à trois classes de distribution. L'effectif des chenilles mesurant entre 3,4 et 3,9 mm est de 21 cas. Les valeurs allant de 3,9 à 4,4 mm ont été observées sur 55 individus. La classe comprise entre 4,4 et 4,9 mm regroupe 24 chenilles.

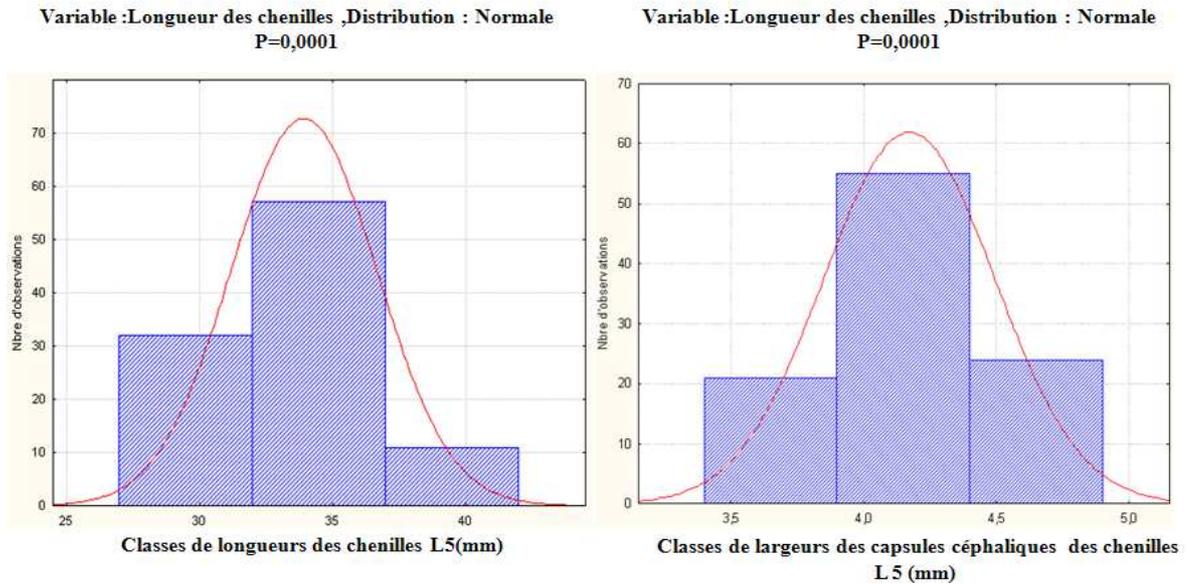


Figure 4.25 : Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des capsules céphaliques des chenilles du cinquième stade

4.7.3 Biométrie des chrysalides et sex-ratio

Les résultats de l'analyse descriptive des mensurations des longueurs et des largeurs des chrysalides mâles et femelles sont regroupés dans le tableau 4.8.

Tableau 4.8 : Analyse descriptive des longueurs et des largeurs des chrysalides

	Chrysalides femelles		Chrysalides mâles	
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)
Effectif	102	102	88	88
moyenne	20,83 ± 1,22	7,81 ± 0,38	17,24 ± 0,84	6,34 ± 0,29
Valeurs extrêmes	17,80 -22,90	7,01 -8,60	15,02 -18,62	5,53 -6,99

L'analyse de tableau 4.7 montre que les femelles ont une longueur moyenne de 20,82 mm et une largeur moyenne maximale de 7,82 mm. Les mâles mesurent en moyenne 17,24 mm de longueur et 6,34 mm en largeur (figure 4.25).



(Originale, 2011)

Figure 4.26 : Les chrysalides de *Thaumetopoea pityocampa* extraites de leur cocon

La comparaison des moyennes de longueur et de largeur des chrysalides mâles et femelles montre une nette différence entre les mensurations des deux sexes avec une probabilité calculée très hautement significatives ($p=0,0001$) (figures 4.26 et 4.27).

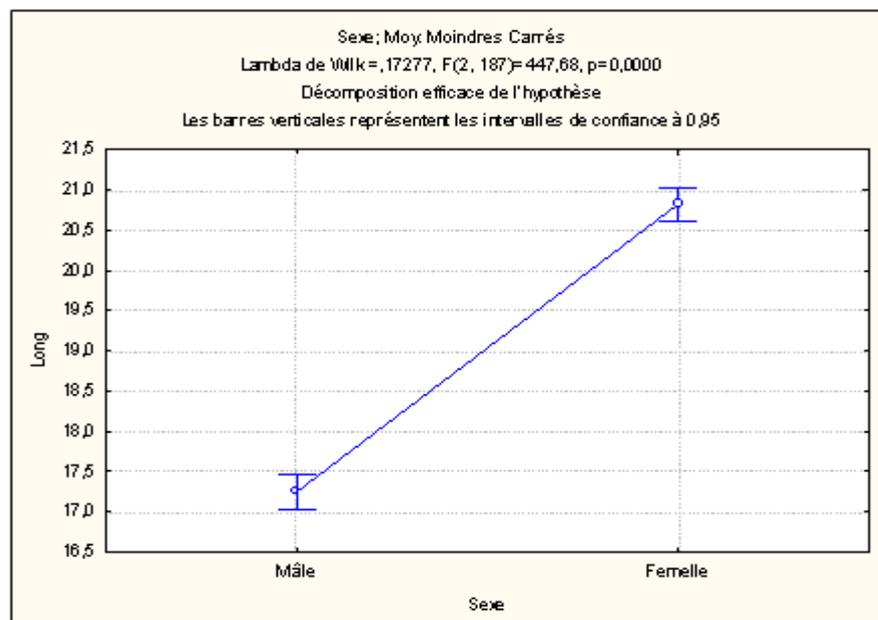


Figure 4.27 : Comparaison des moyennes des longueurs des chrysalides Mâles et femelles

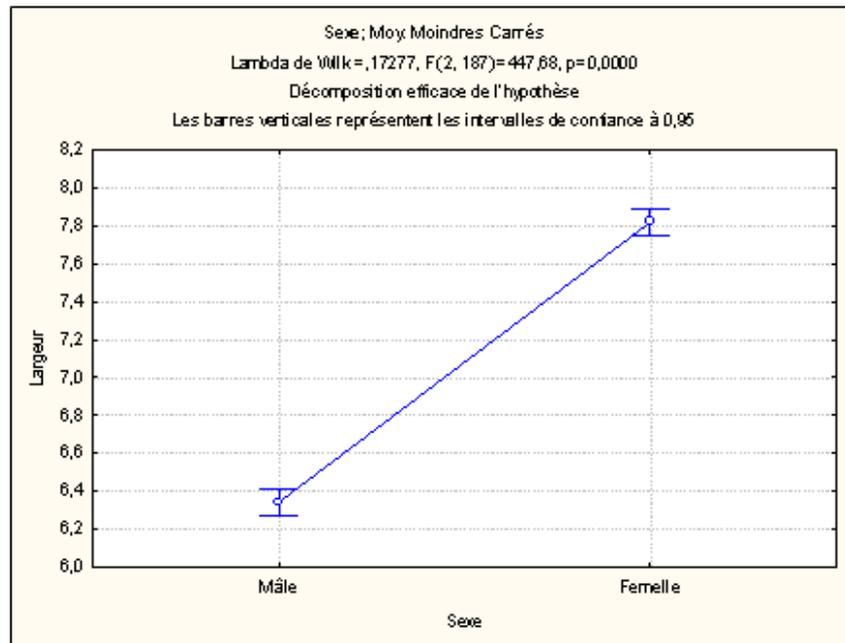


Figure 4.28: Comparaison des moyennes des largeurs des chrysalides mâles et femelles

4.7.3.1 Analyse fréquentielle des mensurations des chrysalides mâles

Les données de mensurations des longueurs et des largeurs maximales des chrysalides mâles représentées par la figure 4.28 s'ajustent à une loi normale avec une probabilité très hautement significative ($p=0,0001$).

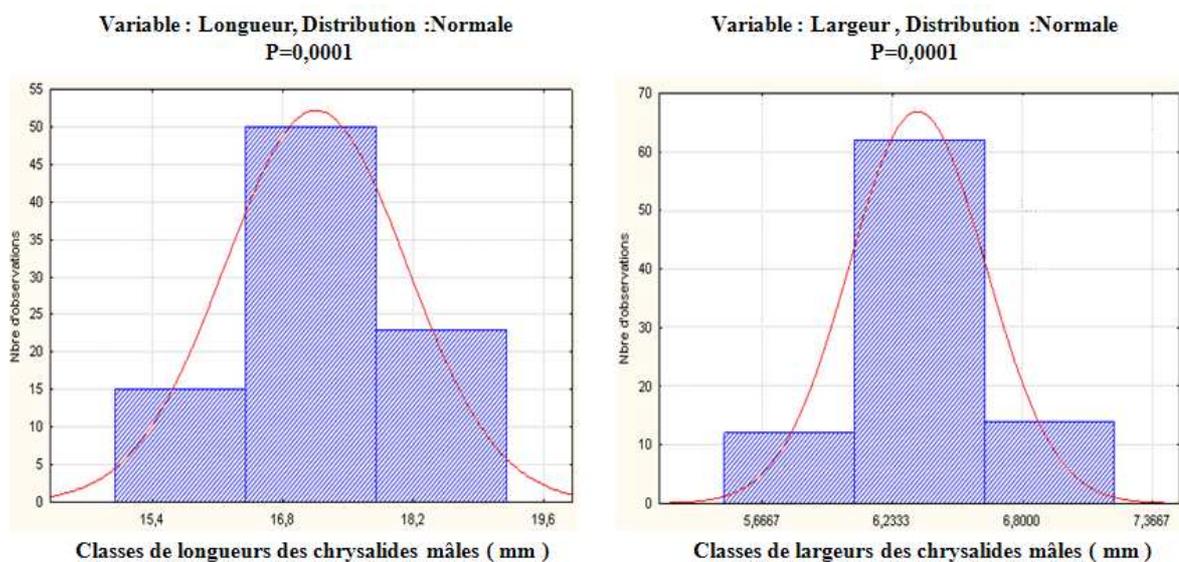


Figure 4.29: Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des chrysalides mâles de *Thaumetopoea pityocampa*

L'analyse fréquentielle des longueurs des chrysalides mâles répartie les individus en trois classes : 15 chrysalides appartiennent à la classe de longueur allant de 15 à 16,4 mm, 50 chrysalides ont des longueurs allant de 16,4 à 17,8 mm et 23 individus se regroupent dans la dernière classe (17,8 à 19,2 mm).

Les largeurs des chrysalides mâles se distribuent en trois classes : de (5,5 à 6,06 mm), de (6,06 à 6,63 mm) et de (6,63 à 7,1 mm) avec des observations respectives de 12, de 62 et de 14 cas.

4.7.3.2 Analyse fréquentielle des mensurations des chrysalides femelles

Les données de la figure 4.29, portant sur les longueurs et les largeurs maximales des chrysalides femelles s'ajustent à une loi normale et la probabilité est très hautement significative ($p=0,0001$).

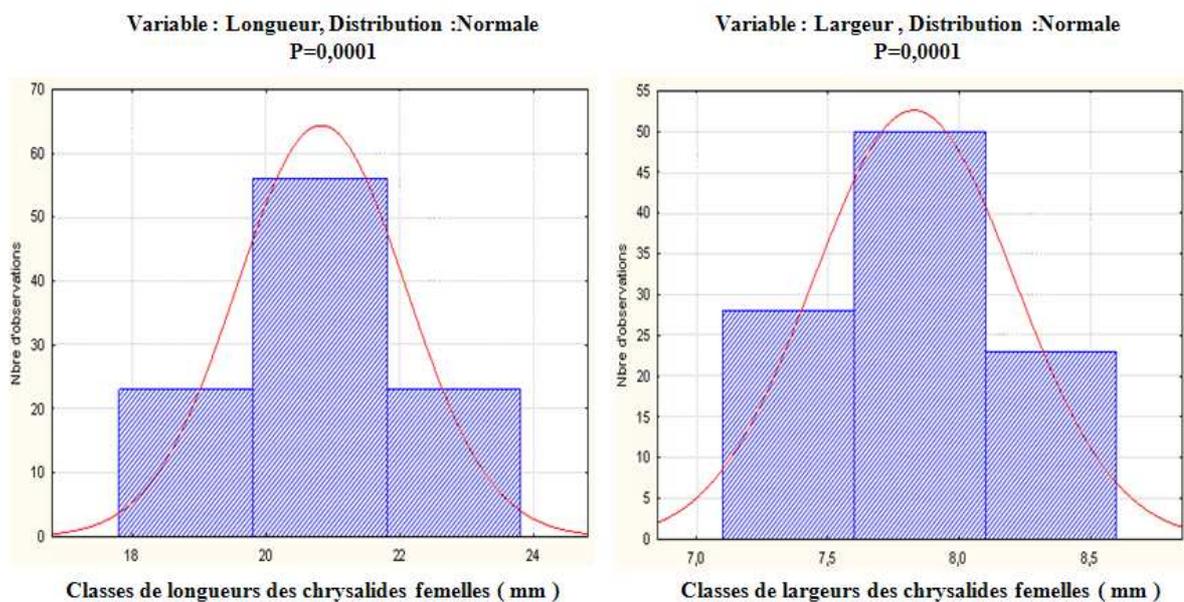


Figure 4.30 : Analyse fréquentielle des longueurs et des largeurs des chrysalides femelles de *Thaumetopoea pityocampa*

Les chrysalides femelles de *Thaumetopoea pityocampa* se regroupent en trois classes de longueur. Un effectif maximal de 56 chrysalides a des longueurs variant de 19,80 à 21,80 mm. Les valeurs inférieures à 19,80mm ont été observées sur 23 cas .La dernière classe ou les longueurs sont supérieures à 21, 80 mm a regroupé 23 chrysalides.

Les largeurs maximales des chrysalides femelles se distribuent en trois classes. La classe de 7,6 à 8,10 mm regroupe un effectif de 50 chrysalides. Les classes 1 et 3 de longueur variant de 7,1 à 7,6 mm et de 8,10 à 8,6 mm renferment respectivement 29 et 23 chrysalides.

4.7.3.3 Sex-ratio de *Thaumetopoea pityocampa*

Le sex-ratio calculé à partir d'un sexage de 190 nymphes est de 0,88, il est en faveur des femelles. Généralement, la population de *Thaumetopoea pityocampa* est équilibrée, et la valeur du sex-ratio est proche de 1 [49].

4.8 Chronologie des écophases

Les investigations conduites durant les années 2010 et 2011 ont permis d'approcher l'espèce dans son biotope naturel et de suivre l'évolution de ses différents stades de développement. Le tableau 4.9 illustre l'évolution de la processionnaire au cours du temps dans les peuplements de cèdre de l'Atlas Blideen.

Tableau 4.9 : Evolution chronologique de *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de Chréa

T°C	4,3°	5,1°	7,9°	10,0°	14,8°	20,5°	24,3°	23,6°	18,6°	14,8°	8,6°	5,3°
Stades	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Adultes												
Pontes												
Larves												
Procession												
Nymphes												

4.9 Dénombrement et répartition des nids de *Thaumetopoea pityocampa*

Le dénombrement des nids effectué sur les 200 arbres échantillonnés dans les deux tranches altitudinales retenues a conduit aux résultats qui sont réunis dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10 : Analyse descriptive des nids dénombrés

Tranches altitudinales	1000 à 1200 m	1200 à 1400 m
Effectif des arbres échantillonnés	100	100
Hauteurs moyenne des arbres	16,27	13,36
Nombre total des nids	434	572
Nombre moyen des nids / arbre	4,34 ± 3,83	5,72 ± 4,42
Valeurs extrêmes	0-14	0-21

Le nombre moyen des nids par arbre est de 4,34 pour la première tranche d'altitude et de 5,72 pour la seconde. Les écarts-types restent significatifs entre les deux stations, ce qui met en évidence la grande variabilité de la répartition des nids. La comparaison des moyennes des nids entre les deux niveaux d'altitude représentée par la figure 4.31 montre l'effet de l'altitude sur la répartition verticale des nids.

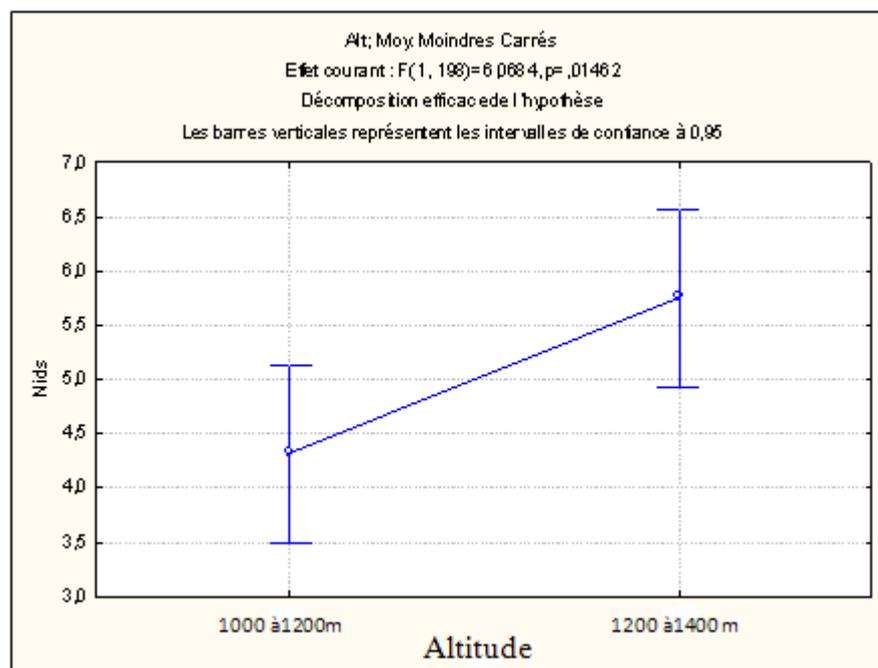


Figure 4.31 : Comparaison des moyennes des nids par arbre dans les stations prospectées

L'analyse de la variance fait apparaître une différence significative entre les deux tranches ($p=0,01$). Le nombre de nids enregistre une augmentation en altitude.

4.9.1 Relation entre la hauteur totale des arbres et le nombre de nids

La courbe de régression des effectifs des nids en fonction de la hauteur totale des cèdres dans le Parc National de Chréa est reportée dans la figure 4.32.

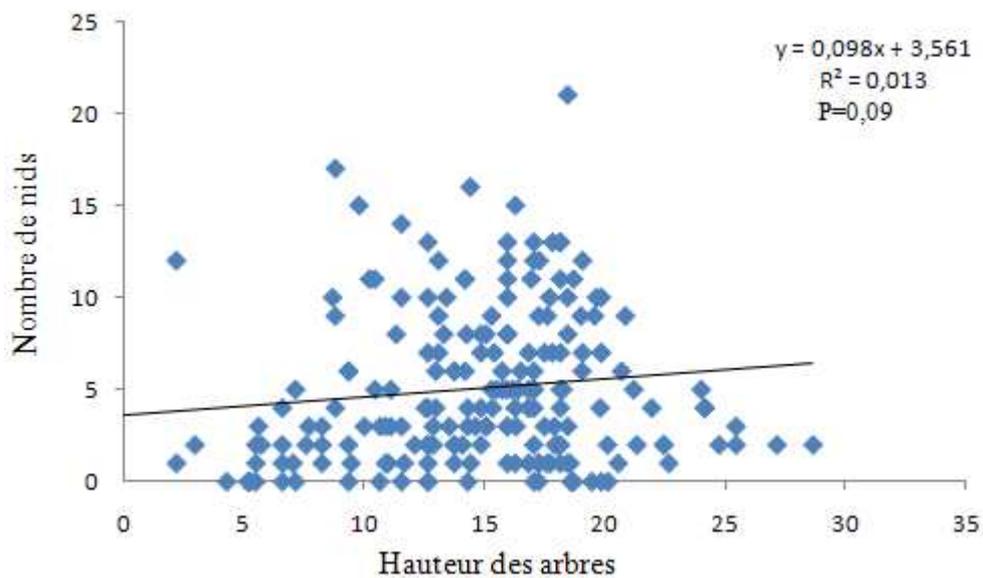


Figure 4.32 : Relation entre la hauteur totale des arbres et le nombre de nids

L'analyse de la figure 4.32 permet de constater que la hauteur totale des arbres n'a pas d'effet significatif sur l'effectif des nids.

4.9.2 Comparaison des moyennes de nids et de la hauteur totale des arbres dans les deux classes d'altitude.

Une analyse de la variance a été appliquée pour comparer la répartition des nids d'hiver et les hauteurs totales des arbres en fonction de l'altitude. Les résultats obtenus (figure 4.33) montrent que l'altitude influe de manière différente sur les deux paramètres. La probabilité calculée est très hautement significative ($p=0,0001$).

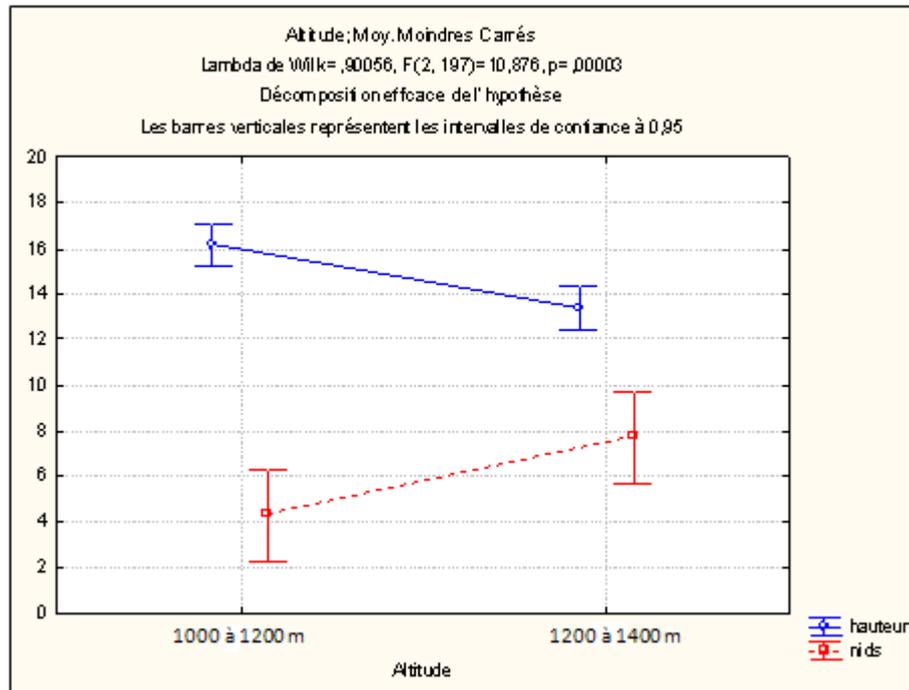


Figure 4.33 : Comparaison des moyennes des nids et des hauteurs d'arbres dans les deux stations

4.9.3 Répartition des nids en fonction de leur exposition

L'analyse de la figure 4.34, illustrant la répartition des nids par rapport à l'exposition dans la cédraie de Chréa, met en évidence que l'orientation Sud de l'emplacement des nids correspond aux sites favorables pour tisser les nids. L'exposition Est semble aussi offrir des conditions propices mais à un degré moins. La prépondérance des expositions Sud a été notée par BERTELLA [31] dans la région de Batna. En Grèce, le choix des expositions Sud et Est pour construire les nids a été également observé dans de nombreuses pinèdes [136].

Dans la cédraie de Chréa, nous avons noté que l'exposition Nord reste la moins recherchée par la processionnaire. La position médiane a été observée sur les cimes dans les peuplements fermés pour assurer une meilleure insolation.

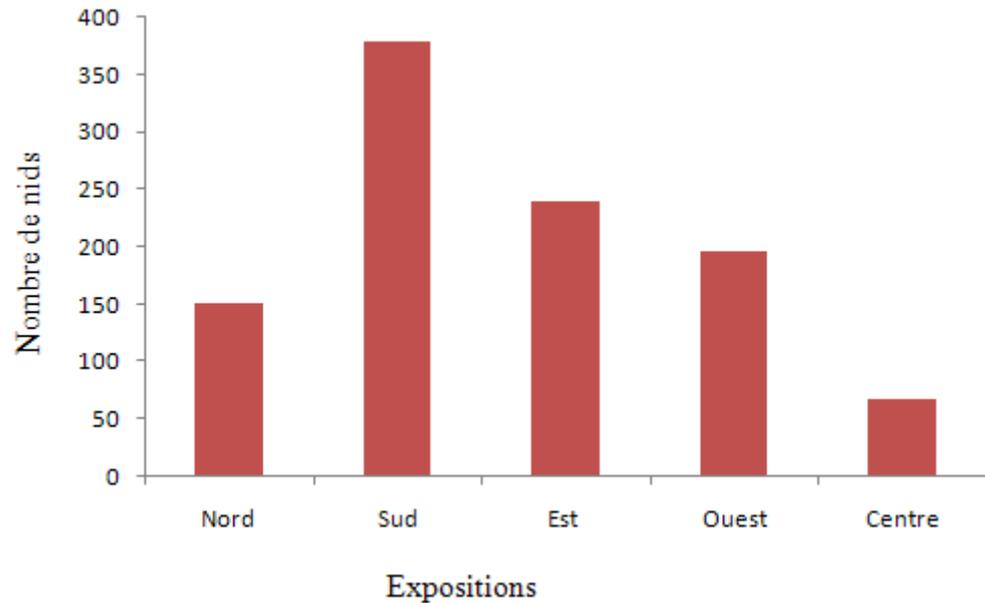


Figure 4.34 : Répartition des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre

4.9.4 Analyse multivariée entre les variables considérées

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence de l'altitude et de l'exposition sur la répartition des nids. Dans le but d'affiner l'interprétation des interactions qui existent entre les facteurs environnementaux et le choix de site pour tisser le nid d'hiver étant indispensable à la survie de la processionnaire du pin, nous avons appliqué une analyse en composantes principale (A.C.P). Cette analyse multivariée nous a permis de calculer les corrélations entre l'exposition, l'altitude et le nombre de nids.

Le plan 1,2 est retenu, car il rend compte d'une contribution maximale sur les corrélations avec les valeurs respectives de 98,745 et 1,255.

La classification hiérarchique ascendante basée sur le calcul des distances euclidiennes met en évidence trois groupes de statut constitutifs différents (figures 4.35 et 4.36).

- Le premier groupe présente des corrélations avec les expositions Est et Ouest et les deux tranches d'altitude.
- Le deuxième groupe est corrélé à l'exposition sud et aux deux tranches altitudinales

- Le troisième groupe représenté par l'exposition Nord et la position Centre, n'est pas corrélé avec l'altitude.

Les deux niveaux d'altitudes présentent des corrélations positives sur l'axe 1, qui semble expliqué l'importance de l'ensoleillement dans le choix des sites Est et Ouest. Par contre l'axe 2 correspond à la hauteur des arbres qui reste un facteur secondaire dans le choix de l'emplacement du nid. Dans la première tranche altitudinale les chenilles choisissent les arbres les plus élevés pour bénéficier de l'exposition solaire.

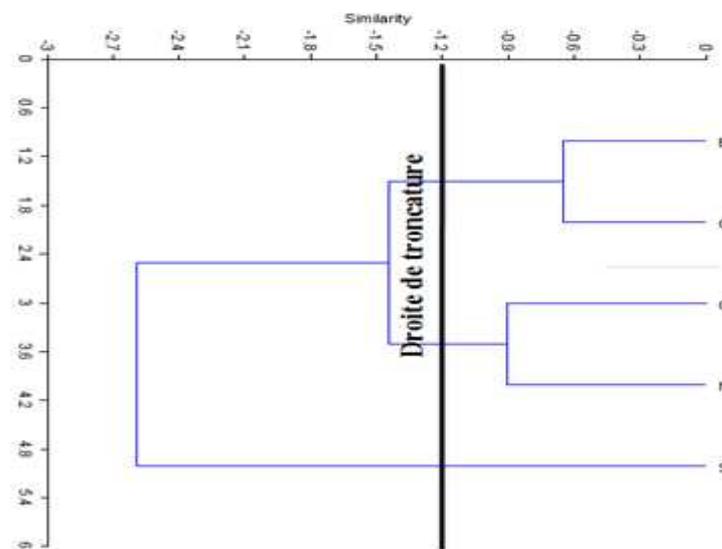


Figure 4.35 : Classification ascendante hiérarchique des différentes expositions des nids d'hiver (calculé par le biais des distances euclidiennes)

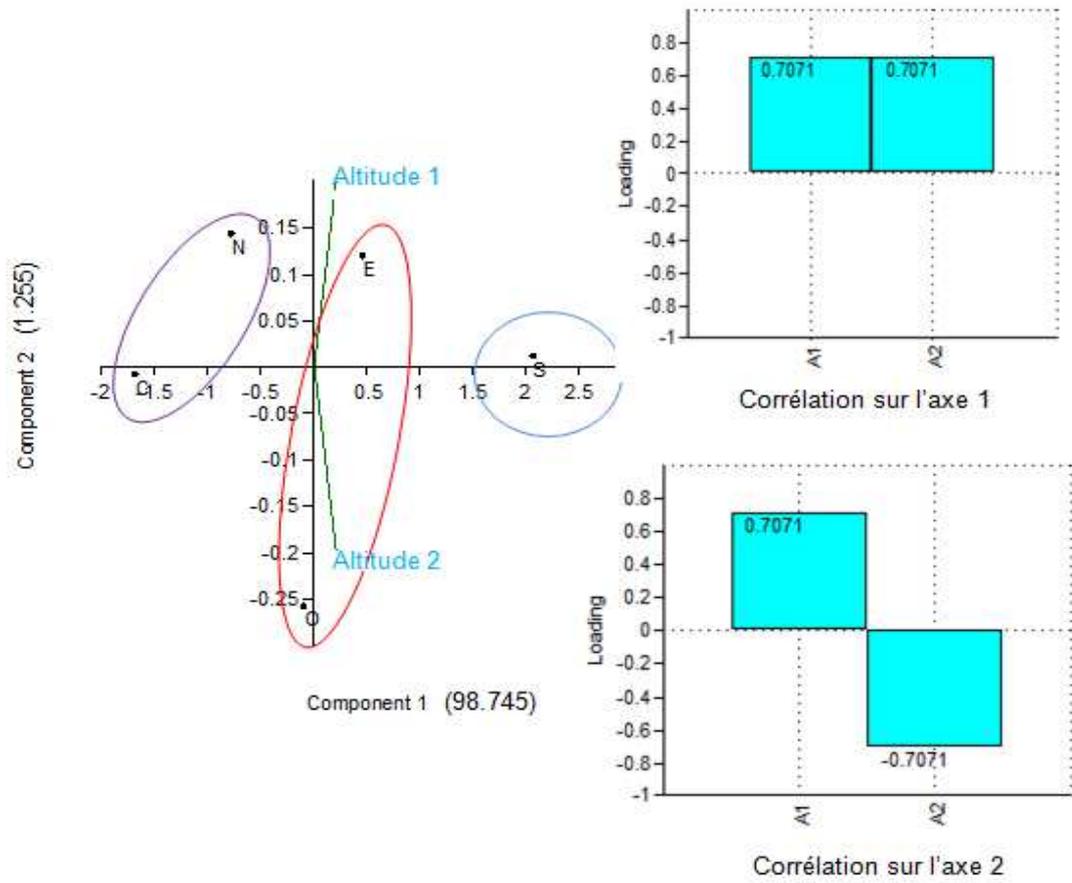


Figure 4.36 : Projection des expositions des nids d'hiver en fonction de l'altitude sur les deux axes de l'analyse en composantes principales (ACP)
S : Sud ; N : Nord, E : Est ; O : Ouest, C : Centre

CHAPITRE 5

DISCUSSION

La distribution des papillons mâles montre une variation selon un plan altitudinal. Les vols précoces ont été constatés en haute altitude, mais le nombre de captures est plus significatif en basse altitude. Chez les Lépidoptères ravageurs, les écarts dans leur distribution constatés pourraient être liés aux conditions météorologiques [137], à l'emplacement des pièges dans la forêt ou le reboisement [138]; [139], et enfin à la densité des adultes et leur niveau d'agrégation [140]. Dans le cas de *Thaumetopoea pityocampa*, une forte densité de papillons femelles a pour conséquence de rendre les capsules attractives moins performantes [141].

La date des 50 % des captures des adultes mâles, qui correspond à la date de calage du cycle de la processionnaire du pin se situe entre le 5 et le 11 août. HUCHON et DEMOLIN [46] soulignent qu'en rythme annuel bien stabilisé, la période d'émergence des adultes est généralement très bien centrée et dure de trois semaines à un mois.

L'analyse descriptive des mensurations des papillons mâles a mis en évidence une grande variabilité dans la taille de la population mâle. Une grande proportion de la population a des longueurs comprises entre 12 et 15 mm et des envergures variant de 35 à 40 mm. La différence de niveau entre le biotope le moins et le plus élevé est de l'ordre de 450m. Cette proximité en altitude entraîne une grande similitude des conditions notamment climatiques [128]. Ce qui laisse supposer que la différence est peut être dû à d'autres facteurs. DEMOLIN [49] et BATTISTI *et al* [64] s'accordent que les différences constatées entre le poids et la longueur des femelles de la processionnaire du pin peuvent être expliquées au moins par le déficit thermique dû à la mauvaise ou à l'absence de la structuration des nids d'hiver qui entraîne un investissement énergétique dans l'activité séricigène et non dans la recherche de nourriture ,au nombre faible de chenilles par colonie qui limite l'effet de masse et de grégarisme bien connu chez la processionnaire. Les auteurs précités précisent également que ces facteurs

pourraient provoquer des perturbations dans le comportement alimentaire des chenilles.

Les pontes examinées contiennent un nombre très élevé d'œufs soit une moyenne de 231 par ponte. Ces résultats indiquent que l'année 2010 est marquée par un effectif très élevé de la population et confirme la phase de gradation de l'espèce. HUCHON et DEMOLIN [46] précisent que lorsque le nombre d'œufs est proche de 300 la potentialité dynamique de la population devient particulièrement élevée. Dans le cas d'une population éprouvée le nombre est de 70 œufs selon les mêmes auteurs.

L'analyse fréquentielle des effectifs des œufs par ponte a permis de constater que les femelles pondueuses de la processionnaire peuvent déposer entre 180 et 270 œufs par ponte. Ceci montre que le potentiel dynamique chez cet insecte est assez élevé.

L'analyse de la régression linéaire a montré une relation entre la longueur et le diamètre des pontes et le nombre d'œufs. ZAMOUM [35] a noté qu'il existe une relation entre les longueurs des aiguilles et des rameaux et le nombre d'œufs et que les coefficients de corrélation entre ces paramètres sont hautement significatifs.

L'éclosion a eu lieu à la troisième semaine de juillet et s'est échelonnée jusqu'à la deuxième semaine du mois d'août pour le matériel biologique analysé. La fréquence journalière des pontes éclos en fonction de la température est variable. Les journées chaudes sont caractérisées par un faible nombre d'éclosion. DEMOLIN [34] a précisé que l'éclosion se déclenche lorsque la somme des températures moyennes journalières à l'éclosion avoisine 780°C. La somme calculée à partir de 18 juillet 2010, date de la première ponte prélevée jusqu'à 17 août 2010 qui correspond à la dernière éclosion concernant le lot de pontes récoltés est de 744°C. Cette différence s'explique par la position en altitude du site prospecté.

Sur 200 pontes récoltées, 17 n'ont pas éclos. Ce matériel biologique est récolté entre le 1^{er} et le 4 août. DEMOLIN et MILLET [142] ont constaté que le vol tardif après le mois de juillet ne donne pas de descendance. Contrairement dans

les peuplements de cèdre à Chréa, nous avons observé des éclosions en mois de septembre.

Le nombre d'œufs éclos est très élevé. Le fort succès à l'éclosion des chenilles est exprimé par un taux de 89,64%. Ceci explique au moins en partie les capacités de reproduction favorisées par les possibilités de rencontre des partenaires [141]. Les œufs non éclos ne dépassent pas 6,16%. Les causes sont imputables à un échec du développement embryonnaire ou à l'émergence ou encore aux parasites. Le parasitisme global n'atteint que 4,19 %.

Les parasitoïdes constituent le plus important facteur biologique qui peut affecter le succès à l'éclosion [143]; [144]. Trois parasites oophages ont été identifiés sur les pontes de la processionnaire dans la cédraie de Chréa : *Trichogramma embryophagum*, *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampae*. Les résultats obtenus mettent en évidence une faible incidence des parasites embryonnaires. De même, nous avons constaté des variations dans l'action des trois parasites. Cette variabilité est vraisemblablement en relation avec la densité de l'hôte. Les études effectuées sur plusieurs années dans les différentes pinèdes par MASUTTI [145], TIBERI [146], GERI [69] et BATTISTI [147] ont abouti à la même constatation. L'action des parasitoïdes étant élevée avant et après les culminations des populations de *Thaumetopoea pityocampa*.

Une efficacité parasitaire chez *Trichogramma embryophagum* a été observée pour la première fois en cédraie. Cette espèce bien qu'elle soit polyphage, elle est caractérisée par une faible fréquence de parasitisme. Elle affecte un nombre faible de pontes par rapport aux autres parasitoïdes, mais elle détruit presque la totalité des œufs.

La présence de prédateurs de pontes et de chenilles dans la chaîne trophique de la région de Cèdre à Chréa est un autre aspect de régulation des populations de la processionnaire du pin. L'espèce d'*Ephippiger* observée sur les pontes de *Thaumetopoea pityocampa* est aussi efficace mais sa présence est faible. Il a été observé une seule fois. DEMOLIN et DELMAS [73] ont remarqué que les éphippigères, en règle générale phytophage, peuvent dévorer jusqu'à 40 % des pontes entièrement et partiellement plus de 23%.

Les mésanges qui détruisent les nids d'hiver de la processionnaire figurent aussi parmi les espèces qui sont capables de dénicher et de se nourrir des larves de la processionnaire [38]. Les nids troués et détruits sont peu fréquents. La prédation avienne a un effet maximum sur les stades larvaires. Elle permet de maintenir la population à faible densité, mais son effet n'est plus décelable au-delà de 10^6 chenilles à l'hectare [148].

La comparaison des formes et des dimensions des écailles maternelles que la femelle dépose sur ses œufs au moment de la ponte est une méthode d'approche pour caractériser les espèces du genre *Thaumetopoea* vivant sur résineux [36].

Les résultats obtenus à partir de l'examen des écailles de pontes déposées sur le cèdre de l'Atlas à Chréa ont mis en évidence des différences avec les écailles des pontes observées sur le pin. Ce trait morphologique doit être cerné sur une plus large gamme d'observation des populations des processionnaires du Nord de l'Algérie

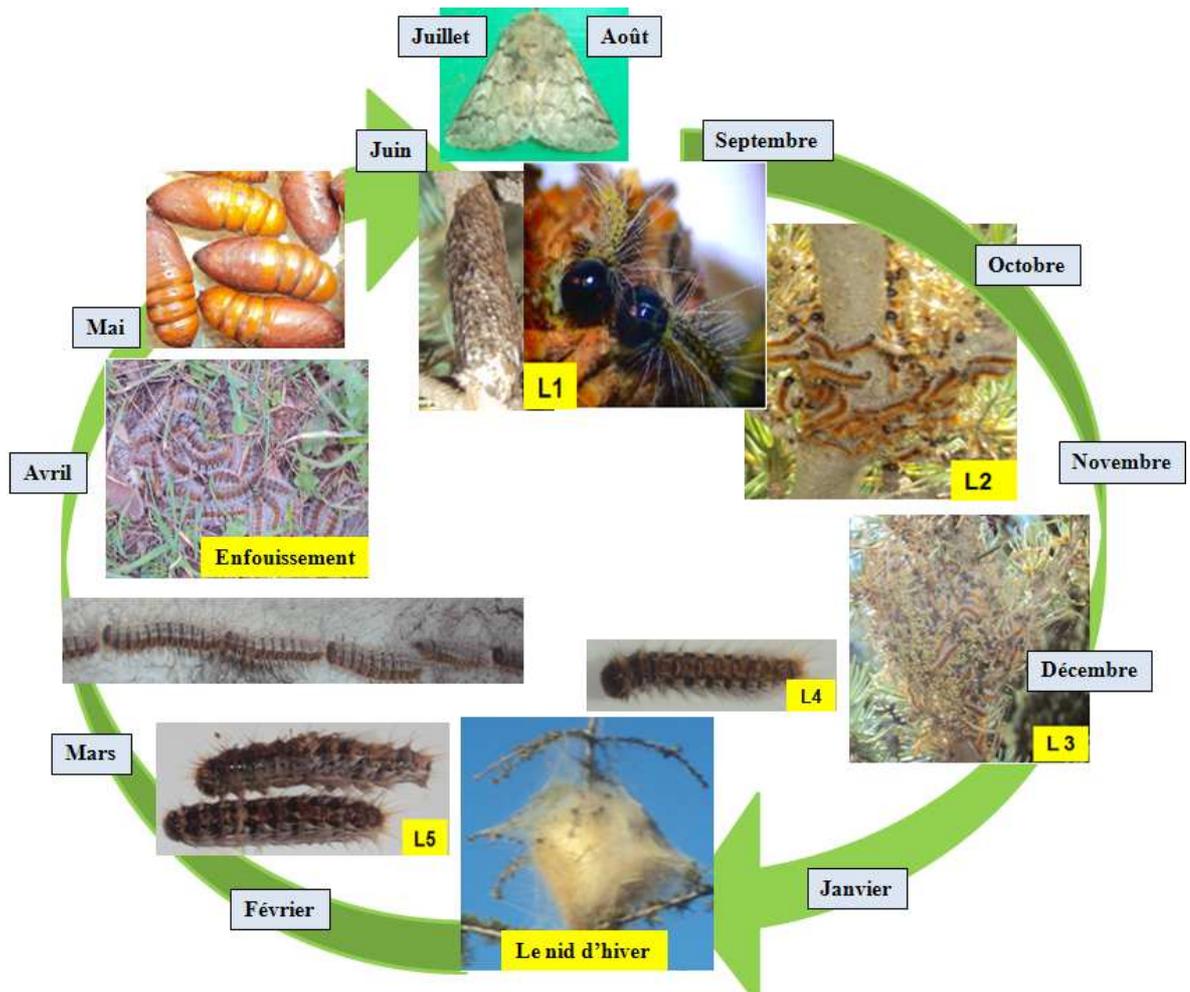
Les mensurations des populations larvaires ont permis de caractériser les différents stades d'évolution de l'espèce. Les résultats ont déterminé une grande variabilité au sein des populations. Des différences hautement significatives ont été constatées entre les individus du même stade. L'effet de groupe qui caractérise les populations larvaires agit sur l'activité métabolique et la vitesse de croissance, ainsi le poids moyen d'une chenille augmente plus vite si elle est placée parmi d'autres congénères que si elle est isolée [55].

Les analyses statistiques appliquées sur les données de mensuration de longueur et de largeur des chrysalides ont permis de constater une différence significative entre les mensurations des deux sexes. Ce dimorphisme sexuel est observé chez les populations qui évoluent sur les espèces du pin [35]. Une grande hétérogénéité caractérise également les chrysalides mâles et femelles de la processionnaire du pin.

Le sex-ratio calculée est en faveur des femelles et indique que le potentiel de la population de *Thaumetopoea pityocampa* est élevé, le contraire si le sex-ratio est plus favorable aux mâles [149]; [150]. La valeur calculée témoigne de la phase de gradation de l'insecte dans le biotope prospecté.

Le suivi chronologique des stades d'évolution de *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de Chréa au cours de la gradation 2010-2011, a permis d'observer un cycle annuel. Ceci dénote que la cédraie de Chréa est un biotope favorable au développement de l'insecte. En effet HUCHON et DEMOLIN [46] soulignent que dans les conditions les plus favorables, le cycle de développement d'une génération se termine en une année. GERI [151] explique que les populations et le régime de reproduction de la processionnaire du pin sont dépendants de la structure du peuplement forestier. Ainsi, dans des peuplements purs de pin laricio, l'insecte adopte un cycle annuel avec des populations significatives.

Après l'émergence des adultes en mois de juin, les premières éclosions ont eu lieu le 18 juillet 2010. Le premier stade s'est échelonné sur 15 jours. La durée des autres stades larvaires n'a pas pu être déterminée avec précision suite aux chevauchements temporels dans l'évolution des stades. En effet les dates respectives de déclenchement des différents stades ainsi que leur durée sont très variables. DEMOLIN [49] attribue cette variabilité au cours de la vie larvaire à trois facteurs : la température, la radiation globale et la photopériode. Les premières processions de nymphoses ont été observées le 10 mars 2011 et les dernières ont été repérées le 20 juin. La durée de diapause reste variable, mais nous n'avons pas enregistré une diapause prolongée. Cette phase complète la durée totale de l'évolution pour assurer le maintien du rythme annuel. HUCHON et DEMOLIN [46] précisent que généralement, les chenilles parviennent à maturité à partir de la fin janvier jusqu'au mois de juin. Ceci étant tributaire de la rigueur de l'hiver et des dates d'émergence. La figure 4.30 synthétise les différentes écophases de *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de Chréa.



(Originale, 2011)

Figure 5.1 : Cycle biologique de *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de Chréa

Une variabilité significative caractérise la répartition des nids selon l'altitude. L'abondance des nids dans la deuxième tranche altitudinale indique la colonisation de nouveaux sites. La variation notée est vraisemblablement liée à l'homogénéité du peuplement et aux conditions climatiques. Le quotient pluviothermique calculé pour la station d'étude a fait passer la région de cèdre de l'étage per humide à l'étage subhumide. A ce sujet, DEMOLIN [49] souligne que la processionnaire du pin échappe aux fortes chaleurs par une montée en altitude.

La hauteur des arbres n'a pas d'effet significatif sur la distribution des nids dans la cédraie de Chréa. GERI [151] a noté que dans les pineraies des montagnes Corses, plus un pin est haut et d'un diamètre important, plus il abrite de nids. Ce résultat est contradictoire avec les constatations faites au niveau du

peuplement. En effet DEMOLIN [49] a expliqué que les parcelles de grands arbres sont peu attractives et GERI [151] a observé que les peuplements denses composés d'arbres élevés sont moins attaqués par les processionnaires. Ces résultats restent très discutables.

L'altitude influe de manière différente sur la hauteur des arbres et la répartition des nids d'hiver. Les arbres de la première tranche d'altitude, occupant les flancs des versants sont mal ensoleillés ce qui engendre une concurrence verticale entre eux et éloignent les femelles de la processionnaire. Par contre les arbres occupant la deuxième tranche d'altitude et se trouvant sur les lignes de crêtes sont suffisamment ensoleillés ce qui favorise la dispersion de la processionnaire. HUCHON et DEMOLIN [46] soulignent que les femelles montrent une attirance plus nette vers les arbres isolés et de crête.

L'orientation Sud correspond aux sites où l'optimum thermique est assuré pour l'évolution des chenilles. L'altitude n'a pas d'effet sur les sites à exposition Sud. Cette exposition reste un choix de prédilection pour tisser les nids d'hiver. Ces résultats sont confirmés par DEMOLIN [49] qui note que la processionnaire se dirige vers les sites les plus ensoleillés de l'arbre pour construire son nid.

Dans la première tranche altitudinale, où les peuplements de cèdre sont fermés et mal ensoleillés et lorsqu'il n'est pas possible de choisir les sites à exposition sud, et dans le cas de fortes populations, la processionnaire tisse ses nids en exposition Est qui semble répondre aux conditions thermiques de l'insecte. Les peuplements se trouvant sur les lignes de crêtes ou proches des crêtes bénéficient d'une insolation qui permet aux chenilles de construire les nids à exposition Ouest.

Les sites des nids à exposition Nord et ceux occupant le centre de l'arbre sont rares dans les deux tranches d'altitude. Le nombre de nids est très limité au Nord par l'insuffisance de l'ensoleillement. Ces nids ont été observés sur les arbres très infestés. Les nids se trouvant sur l'extrémité apicale au centre de l'arbre sont construits lorsque les chenilles ne parviennent pas à repérer une exposition favorable, et ce pour compenser le déficit thermique. Les études menées par GERI [152] en montagne Corse et par GERI et MILLIER [153]

confirment que les attaques de *Thaumetopoea pityocampa* sont plus sévères sur les arbres exposés Sud que chez ceux exposés Nord.

En conséquence les populations de la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* construisent leur nid d'hiver en adoptant une stratégie qui leur permet d'optimiser les facteurs du milieu. Le déplacement vertical et horizontal pour coloniser de nouveaux sites traduit les capacités adaptifs de l'insecte qui intègre les facteurs défavorables à son évolution.

CONCLUSION GENERALE

La dynamique des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de l'Atlas Blideen n'a pas suscité beaucoup de recherches qui peuvent appréhender au mieux ses niveaux. De nombreux auteurs [46] ; [78] ont souligné que le cèdre de l'Atlas n'est qu'un hôte secondaire en présence des espèces préférentielles de genre *Pinus*. Dans le parc national de Chréa la présence du pin d'Alep n'a pas épargné le cèdre des attaques de la processionnaire. Ces attaques ont pris de l'ampleur ces dernières années, et confirment la progradation de cet insecte. Au cours de la gradation 2010-2011, les populations de la processionnaire ont atteint un niveau significatif. Toutes les écophases (pontes, chenilles, adultes) ont été caractérisés par un nombre élevé de présence.

Le piégeage sexuel des papillons a montré que l'espèce possède une large distribution dans la région de Chréa. Les trois sites d'altitudes prospectés présentent des variations dans les effectifs des adultes. Le nombre de papillons mâles capturés est plus élevé en basse altitude qu'en haute altitude. L'abondance des femelles en haute altitude a atténué l'effet de la phéromone de piégeage qui est devenue peu attractive. Dans les biotopes élevés, qui caractérisent la cédraie pure, nous avons enregistré un nombre important de pontes, ce qui confirme l'adéquation avec la densité des femelles. Les stations de piégeage abritent des formations végétales différentes. Les stations hétérogènes où le cèdre se trouve en mélange avec le châtaigner et le chêne vert sont moins attaquées, et les pontes sont rares. SIEMANN *et al* [154] notent que les peuplements homogènes fournissent un habitat pour les espèces défoliatrices.

Les tests biométriques des différents stades larvaires ont permis de caractériser les populations de la processionnaire dans la cédraie de Chréa. Les mensurations effectuées sur la longueur des chenilles et la largeur de leur capsule céphalique s'ajustent avec les cinq stades décrits par de nombreux auteurs chez cette espèce. Le sex-ratio est en faveur des femelles et témoigne de la phase de gradation en cédraie pure.

L'abondance des pontes observées lors de nos investigations dans la cédraie de Chréa montre fort bien le succès reproducteur des femelles qui s'est concrétisé par la présence d'importantes populations. Le nombre moyen d'œufs par ponte est assez important. Il représente en effet, les réserves accumulées pendant l'évolution larvaire. Il est lié à l'existence des femelles dynamiques assurant le maintien et la propagation de l'infestation [155] ; [156] et montre que le potentiel dynamique chez ce défoliateur est assez élevé.

Le taux d'éclosion enregistré est aussi élevé. La mortalité des œufs représente 10 % de la population et indique une faible incidence des parasitoïdes oophages sur l'effectif des populations de la processionnaire. Trois espèces de parasites embryonnaires ont été identifiées sur les pontes de *Thaumetopoea pityocampa* dans le Parc National de Chréa : il s'agit de *Trichogramma embryophagum*, *Ooencyrtus pityocampae* et *Baryscapus servadeii*. Le plus efficace reste *Trichogramma embryophagum*, il affecte un nombre limité de pontes mais il détruit presque la totalité des œufs.

Le suivi des vols des papillons par les pièges à phéromones nous a renseignés sur la période des émergences des adultes qui s'étale sur plus de deux mois. La date du vol principale qui correspond à 50 % des captures se situe entre la première et la deuxième semaine d'août. HUCHON et DEMOLIN [46] précisent que plus l'été sera chaud, plus les adultes seront à émergence tardive. Ceci corrobore avec nos résultats qui classent la zone de cèdre dans l'étage sub humide. Dans les premières stations prospectées, la population d'œufs est très réduite. Ce phénomène peut être expliqué par le déplacement des adultes vers les zones d'altitude. Les éclosions précoces ont été observées pendant le mois de juillet en altitude, alors que GERI [151] a signalé que les dates d'éclosion sont d'autant plus tardives que l'altitude est élevée. Les dates de déclenchement des stades larvaires sont difficiles à déterminer. Il existe de fortes variations selon les conditions climatiques, ce qui se traduit par la présence de plusieurs stades au même temps.

L'absence des contraintes thermiques liées à l'excès des températures maximales qui peuvent induire le changement de cycle biologique [35], a permis

de constater un cycle annuel chez la processionnaire dans la cédraie de Chréa. La durée de diapause est variable étant donn e la désynchronisation des processions de nymphose, mais il n'y a pas prolongement de diapause apparent, ce qui a maintenu le rythme annuel. Les peuplements de cèdres n'ont pas subi de graves défoliations antérieures qui entravent la prise de nourriture des chenilles ce qui se répercute sur le stade nymphal et induit une diapause prolongée [157].

L'effet de l'altitude sur la répartition et la distribution des nids d'hiver de la processionnaire est significatif. L'abondance des nids dans la deuxième tranche d'altitude prospect e montre une progression altitudinale des populations vers les sites qui sont devenus plus favorables pour la processionnaire. La synthèse climatique calcul e sur une période de seize ans a montr e une augmentation dans les températures moyennes mensuelles et par conséquent des hivers doux sous l'action possible du réchauffement climatique, comme il a été not e par DEMOLIN *et al*, [158] ; MARCAIS *et al*, [159] ; LEBOURGEOIS *et al*, [160]. BATTISTI *et al* [65] soulignent que l'absence des températures défavorables au développement de la processionnaire permet l'extension de l'espèce en altitude et en latitude.

Dans la cédraie de Chréa, le choix de sites de l'emplacement des nids est dépendant de plusieurs facteurs écologiques. Le maintien de la population larvaire pendant l'hiver témoigne des mécanismes utilisés par l'insecte pour statuer sur le choix de site. Dans les stations prospect es, les orientations Sud et Est des emplacements des nids d'hiver sont les plus recherch es. Les peuplements de crête sont les mieux ensoleillés, favorisant ainsi la colonisation de nouveaux foyers.

La dispersion et la gradation de *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de Chréa montre fort bien que ce défoliateur possède des préférences particulières vis-à-vis au cèdre de l'Atlas. En effet la processionnaire existe depuis longtemps sur le cèdre. De nombreux auteurs se sont attachés à son éthologie et sa dynamique particulièrement sur les peuplements des pins [80] ; [161] ; [81] ; [82] ; [83]. Peu de travaux concernant les attaques de cette espèce sur le cèdre de l'Atlas Blideen. BARITEAU *et al* [88] et BARITEAU *et al* [162] notent qu'en Algérie les peuplements de cèdre méritent vraisemblablement d'être mieux valorisés dans leur ensemble. Il apparait donc nécessaire d'établir une chronologie des

infestations afin de suivre la dynamique du ravageur et les fluctuations de son cycle dans la région de Chréa sur plusieurs années.

L'étude et le suivi des populations de la processionnaire menés dans la région de l'Atlas Blideen restent une base fondamentale en absence de données antérieures sur son l'évolution. Il est à signaler également que nos investigations ont suscité beaucoup de questions qui portent sur le statut taxonomique de cette espèce. La confrontation de nos résultats avec ceux observés sur les populations vivant sur les pins met en évidence quelques divergences liées aux aspects biologiques et éthologiques. Si on se rattache aux études récentes [39], qui considèrent que la plante hôte est le moteur de la différenciation des populations chez les espèces phytophages, l'espèce de la processionnaire qui évolue sur les cèdres est- elle la même qui se développe sur les pins ?

En outre, la cartographie géographique des aires potentielles de la processionnaire dans la région de Cèdre à Chréa reste un outil fondamental dans le contrôle des infestations. Elle permet de situer les recherches et les interventions en relation avec toutes les composantes environnementales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 . **D.G.F.**, 2004 - Direction générale des forêts : La mise en œuvre de la convention de Lutte contre la désertification. *Rapport National*.33p.
- 2 . **M'hirit O.**, 1982 - Etudes écologiques et forestières des cédraies du Rif marocain : Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production de cèdre de l'Atlas. *Ann.Rech.For.Maroc* 2 (1) - 499p.
- 3 . **M'HIRIT O.**, 1993 - Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le Réseau Méditerranéa « le CEDRE ». *Ann.Rech.For.Maroc*. Vol 22.
- 4 . **M'HIRIT O.**, 2006 - *Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps*. Éd. MARDAGA. 288 p.
- 5 . **TOTH J.**, 1982- Analyse de la croissance juvénile sur trois essences résineuses –cèdre-pin noir et pin de salzmann dans le reboisement de Belbezet (GARA). *Forêt méditerranéenne* 4(2) :143-146.
- 6 . **TOTH J.**, 1984 - La prévision des disponibilités de récoltes de cônes de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). *Bull. Tech.*15 .O.N.F :39-51.
- 7 . **TOTH J.**, 1990 - Le cèdre III. Intérêt paysage. Cédraie touristique. *Forêt privée*. 195. 8p.
- 8 . **ROQUES A.**, 1983 - *Les insectes ravageurs des cônes et grains de conifères en France*. Ed. I.N.R.A., Paris, 135p.
- 9 . **FERRANDÈS P.**, 1986 - Cèdres. Revue forestière française, vol. XXXVIII, n° spécial " *Amélioration génétique des arbres forestiers*", pp. 139-141.
- 10 . **RIPERT C ., BOISSEAU B.**, 1993 - Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence. *Silva Mediterranea. Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas*. Ifran (Maroc) ; 7-11 juin 1993. pp : 156-164.
- 11 . **BENCHEKROUN F.**, 1993 - L'économie de la cédraie marocaine et son impact sur le développement des collectivités locales. *Annales des Recherches Forestières du Maroc* 27(spécial). Pp : 714-724.
- 12 . **TERRAB A., PAUN O., TALAVERA S., TREMETSBERGER K., ARISTA M., et STUESSY T F.**, 2006 - Genetic diversity and population structure in natural populations of Moroccan Atlas cedar (*Cedrus atlantica*; *Pinacea*) determined with cpSSR markers. *American Journal of Botany* 93(9). pp:

- 1274-1280.
- 13 . **ABDESSEMED K.**, 1981- Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif des Aurès et de Belezma : étude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. *Thèse doct. Ing.*, Fac. St. Jérôme, Marseille. 199 p.
 - 14 . **BENTOUATI A.**, 2008 - La situation du Cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, t. XXIX, (2) : 203-208.
 - 15 . **MOORE B. ET ALLARD G.** 2008- *Climate change impacts on forest Heath*. Document de travail sur la santé des forêts et la biosécurité FBS/34E. Rome, Italie, FAO.
 - 16 . **EL YOUSFI M.**, 1994 - La santé du Cèdre de l'Atlas au Maroc. *Ann. Rech. For.*, T (27): 593-611.
 - 17 . **JOLY R.**, 1970 - Action des déprédations dues aux insectes défoliateurs sur le pin Maritime .*Rev.For.Fr.22* .n° spécial, la lutte biologique en forêt : 205 - 210.
 - 18 . **GRISON P.**, 1972- Observation sur l'impact des insectes défoliateurs sur la productivité primaire, in : Productivité des écosystèmes forestiers. Actes du colloque de Bruxelles, *Collection, Ecologie et conservation*, 4 :369-375.
 - 19 . **HEWITT HG., AYRES PG.**, 1975- Change in CO₂ and water vapour exchange rates in leave of *Quercus robur* infected by *Microsphaera alphitoides* (powdery mildew). *Physiol. Plant. Pathol.*7 : 127-137.
 - 20 . **LAURENT-HERVOUET N.**, 1986 - Mesure des pertes de croissance radiale sur quelques espèces de Pinus dues à deux défoliateurs forestiers.I.Cas de la processionnaire du pin en région méditerranéenne. *Ann.Sci.For.*43(2) : 239-262.
 - 21 . **MALPHETTES C.B.**, 1987- La nuisibilité des défoliateurs. *Phytoma* N° 393 : 43-47.
 - 22 . **BECKER M.**, 1987- Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. *Ann.Sci.For.*44 (4) :379-528.
 - 23 . **DUMERLE P.**, 1988 a – Quelques problèmes de diagnostic posés par les insectes défoliateurs forestiers. *Rev.Forest.Française*, n°spécial, 40,118-123.

- 24 . **BERT G D.**, 1988 - Etude dendroécologique du dépérissement du sapin (*Abies alba* Mill) dans le Jura.D.E.A.Bio. *Vég. et forest, Univ, Nancy I*, INRA-CNRF.60p+Annexe.
- 25 . **OLD et al.**, 1990 - Effet of drought and defoliation on the susceptibility of Eucalyptus to Cankers caused by *Endothia gyrosa* and *Botryosphaeria ribis*. *Aust.J.Bot.*38 :571-591.
- 26 . **BECKER et al.**, 1990 - Aspects des houppiers et croissance des arbres au cours des dernières décennies dans la région frontalière d'Allemagne, de France et de Suisse.*Rev.For.Fr.*, XLII(3) :284-300.
- 27 . **HJALTEN J** et **DANEL K.**, 1993 - Effects of simulated herbivory and intraspecific competition on the compensatory ability of Birches. *Ecology* 74 (4) :1136-1142.
- 28 . **DOMINIGUEZ C.A .**, **DIRZO R.**, 1994 - Effects of defoliation on *Erythroxylum havanense* a tropical proleptic species .*Ecology* 75 (7) : 1896-1902.
- 29 . **BARTELINK H.H.**, 1997- Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica*L.).*Ann.Sci.For.*54 :39-50.
- 30 . **VAN HEES A.F.M.**, 1997- Growth and morphology of dedunculate Oak (*Q.robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought.*Ann Sci.For.* 54 :9-18.
- 31 . **BERTELLA N.**, 1987- *Bioécologie de Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera, Thaumetopoeidae*) dans quelques régions d'Algérie. Thèse magister Sci.Agr., Institut National Agronomique El-Harrach-Algérie, 110.
- 32 . **DEMOLIN G.**, **MARTIN J C.**, 1989 - Essais d'efficacité du *Foray 48B* sur la chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.au troisième stade larvaire de son développement. Incidence de l'action simultanée de *Xanthandrus comtus* Harr. (*Diptera, Syrphidae*).C.R.interne, *Inst.Nat. de la Rech.Agr*, (Avignon) ,12 p.
- 33 . **DÉMOLIN G.**, 1971- Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*) pendant la période des processions de nymphose - Répercussions sur l'efficacité des parasites. *Ann. Zool. – Écol. Anim.* Hors série : 33-56.

- 34 . **DÉMOLIN G.**, 1987- La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au Mont-Ventoux. *Etude Vauclusiennes*, n°spécial, **3**,157-173.
- 35 . **ZAMOUM M.**, 1998 - *Données sur la bio écologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de Thaumetopoea pityocampa Denis et Schiffermüller (Lep., Thaumetopoeidae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie)*. Thèse de Doctorat, Univ des sciences de Rennes I, France, 247 p.
- 36 . **AGENJO R.**, 1941- Monographie de la famille des *Thaumetopoeidae (Lep.)*. *Eos*, 17, 69-128.
- 37 . **ELYOUSFI M.**, 1989 - The cedar processionary moth, *Thaumetopoea bonjeani* (Powell). *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 15, 43-56.
- 38 . **MARTIN J.C.**, 2005 - La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Shiffermuller). *Biologie et protection des forêts*. INRA.61p.
- 39 . **KERDELHUE C., ZANE L., SIMONATO M., SALVATO P., ROUSSELET J., ROQUES A., BATTISTI A.**, 2009 - Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evolutionary Biology*, 9, 220, doi:10.1186/1471-2148-9-220.
- 40 . **DEMOLIN G., FREROT B., CHAMBON J.P., MARTIN J C.**, 1994 - Réflexion biosystématiques sur toutes les processionnaires du genre *Thaumetopoea (Lep. Thaumetopoeidae)*, considérées comme ravageurs importants des cèdres *Cedrus libani* Barel et *Cedrus atlantica* Manetti sur le pourtour du bassin méditerranéen. *Annales des Recherches Forestières Maroc*, **2**, 577-591.
- 41 . **ZAMOUM M .**, 2002 - Quelques éléments pour la préservation de la santé des forêts en Algérie. *Revue de la forêt algérienne*, n°4, juil .2002, 4-7.
- 42 . **DEMOLIN G., ABGRALL J.F., BOUHOT-DELDUC L.**, 1996 - Evolution de l'aire de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiff. (*Lep., Thaumetopoeidae*) en France. *Les cahiers du DSF*, 1, 26-28.
- 43 . **GOUSSARD F., SAINTONGE F.X., GERI C., AUGER-ROZENBERG M A., PASQUIER B.F., ROUSSELET J.**, 1998 - Increasing risk of damage by the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. in the Central Region following climatic change. *Actes de la IV Conference Internationale Francophone d'Entomologie, Saint Malo, France, 5-9 juillet*

- 1998, **35**, 341-343.
- 44 . **HÓDAR J A., CASTRO J., ZAMORA R.**, 2003 - Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biol. Cons.* 110 : 123-129.
- 45 . **GROJEAN AL., BAUDOUIN C., FLAMANT S.**, 2005 – 2006 - Incidences Environnementales et sanitaires des chenilles processionnaires et de leurs traitements en France. *Atelier santé environnement IGS, ENSP, Rennes.* 3p.
- 46 . **HUCHON H., DEMOLIN G.**, 1970 - La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle-Dispersion actuelle.*Rev.For.Fr.* n°spécial “La lutte biologique en forêt”,220-234.
- 47 . **ROBREDO F.**, 1963 - La nymphose chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* **12**, 122-129.
- 48 . **ZAMOUM M., DEMOLIN G., MARTIN J.C.**, 2005 - Lutte contre la processionnaire du pin : que deviennent les chenilles survivantes après un traitement au Bt aux stades L3 et L4. *Phytoma – la défense des végétaux* 585 : 38-41.
- 49 . **DÉMOLIN G.**, 1969b - Bioecologica de la processionnaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Incidencia de los factores climaticos. *Bol. Serv. Plagas Forest.* 23 : 9-24.
- 50 . **GUERRERO A., CAMPS F., COLL J., RIBA M.** 1981- Identification of a potential sex pheromone of the processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae). *Tetrahedron Lett.* 22(21) : 2013-2016.
- 51 . **GACHI M.**, 1996 - La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Conférence Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S.- Jijel. 17 pp.
- 52 . **DÉMOLIN G.**, 1969c - La processionnaire du pin. *Note d'information sur la biologie et sur les techniques de lutte.*
- 53 **DÉMOLIN G .**, 1969a - Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Ann. Sci. Forest.* 26(1) : 81 102.

- 54 . **TIBÉRI R., NICCOLI A., CURINI M., EPIFANO F., MARCOTULLIO M.C., ROSATI O.**, 1999 - The role of monoterpene composition in *Pinus* ssp. needles, in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica*. 27(4) : 263-272.
- 55 . **DAJOZ R.** 1998 - Les insectes et la forêt. ed. *Lavoisier Tec &Doc*. 594 p. Paris.
- 56 . **DÉMOLIN G.**, 1971 - Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*) pendant la période des processions de nymphose - Répercussions sur l'efficacité des parasites. *Ann. Zool. – Écol. Anim.* Hors série : 33-56.
- 57 **DÉMOLIN G.**, 1967b - Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver – *activité de tissage*. *C. R. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux*. pp 69-77.
- 58 . **MARKALAS S.**, 1989 - Influence of soil moisture on the mortality, fecundity and diapause of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *J. Appl. Ent.* 107 : 211- 215.
59. **BILIOTTI E., DÉMOLIN G., HAM R.**, 1964 - Caractères de la diapause nymphale Chez *Thaumetopoea pityocampa*. *C. R. Acad. Sci. Paris*. 258 : 706-707.
- 60 . **HUFFAKER C., ERRYMAN A., TURCHIN P.**, 1999 - *Dynamics and regulation of insect populations*. C. B. Huffaker et A. P. Gutierrez [eds.], Ecological entomology, 2e édition, Wiley, New York. 269-305.
- 61 . **ROY M ., BRODEUR J ., CLOUTIER C.**, 2002 - *Relationship Between Temperature and Developmental Rate of Stethorus punctillum (Coleoptera: Coccinellidae) and Its Prey Tetranychus mcdanieli (Acarina: Tetranychidae)*. *Environmental Entomology*. 31 (1) : 177-187.
- 62 . **GIEC.**, 2007 - Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *GIEC, Genève, Suisse, 103 pages*.
- 63 . **PATTERSON D T., et al.** 1999 - *Weeds, Insects and Diseases*. *Climatic Change*. 43 (4) : 711-727.

- 64 . **BATTISTI A., STASTNY M ., BUFFO E., LARSSON S.**, 2006 - A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12, 662–671.
- 65 . **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 : 2084-2096.
- 66 . **ROUSSELET J., ZHAO R ., ARGAL D., SIMONATO M., BATTISTI A., ROQUES A., KERDELHUE C.**,2010 - The role of topography in structuring the demographic history of the pine processionar moth *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera Notodontidae). *Journal of Biogeography*, 37, 1478–1490.
- 67 . **MONTOYA R.**, 1984 - Description of a new type of trap to catch males of the pineprocessionary. *Boletin de la Estacion Central de Ecologia*, **13**, 99-103.
- 68 . **AVTZIS N.**, 1986 - Development of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in relation to food consumption. *Forest Ecology and Management* **15**, 65-68.
- 69 . **GERI C.**, 1980 - Application des méthodes d'études demecologiques aux insectes défoliateurs forestiers. Cas de *Diprion pini* L. (Hymenoptère, Diprionidae). Dynamique des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptère, Thaumetopoeidae) dans l'île de Corse. *Thèse doct.Etat, Orsey, Université Paris-Sud, 260p.*
- 70 . **BILIOTTI E.**, 1958 - Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera).*Entomophaga*. 3(1) : 23-34.
- 71 . **BILIOTTI E., DEMOLIN G., DU MERLE P.**, 1965 - Parasitisme de la processionnaire du pin par *Villa quinquefasciata* Wied. apud Meig. (Diptère, Bombyliidae). Importance du comportement de ponte du parasite. *Annales des Epiphyties* **16**, 279-288.
- 72 . **CADAHIA D., DEMOLIN G., BILIOTTI E.**, 1967- *Meteorus versicolor* var. *decoloratus*, nouveau parasite de *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga* **12**, 355-361.
- 73 . **DÉMOLIN G., DELMAS J.C.**, 1967a - Les éhippigères (Orthoptères

- Tettigoniidae) prédateurs occasionnels, mais importants de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Entomophaga*. 12(4) :399-401.
- 74 . **DU MERLE P.**, 1969 - Le complexe parasitaire hypogé de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera). *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* **13**, 131-132.
- 75 . **SCHMIDT G.H., TANZEN E., BELLIN S.**, 1999 - Structure of egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. And Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae), egg parasitoids and rate of egg parasitism on the Iberian Peninsula. *J. Appl. Ent.* 123 : 449-458.
- 76 . **WAY M.J., PAIVA M.R., CAMMELL M.E.**, 1999 - Natural biological control of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) by the Argentine ant *Linepithema humile* (Mayr) in Portugal. *Agricultural and Forest Entomology*, **1**, 27-31.
- 77 . **BONNET C., MARTIN J C.**, 2008 - *Quand un ravageur forestier devient un problème sanitaire*. NPI 54, p. 23-25.
- 78 . **CADAHIA D., ENRIQUEZ., L., SANCHEZ A.**, 1975 - Attraction sexuelle chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* **1**, 1-11.
- 79 . **FRAVAL A.**, 2007- Les processionnaires 1^{er} partie - La processionnaire du pin. *Insectes* n°147, pp : 35-39
- 80 . **CALAS J.**, 1897- La processionnaire du pin. *Revue Eaux et Forêts* **1897**, 705-723. CIE (1977) *Distribution Maps of Pests, Series A* No. 366. CAB International, Wallingford, Royaume-Uni.
- 81 . **CADAHIA D., INSUA A.**, 1970 - Estimate of the damage caused by *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. in replantings of *Pinus radiata* D. Don. *First meeting of the Working Party on Integrated Control in Mediterranean Pine Forests*, **13**, 159-171.
- 82 . **BOUCHON J., TOTH J.**, 1971- Étude préliminaire sur les pertes de production des pinèdes soumises aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Ann. Sc.For.*28(3):323-340.
- 83 . **LEMOINE B.**, 1977- Contribution to the measuring of production losses caused by the processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) to maritime pine in the Landes of Gascony. *Annales des Sciences*

- Forestieres*, **34**, 205-214.
- 84 . **MARTIN J C., MAZET R.**, 2001- Winter control of pine processionary caterpillar. *Phytoma*, **540**, 32-35.
- 85 . **BOUDY P.**, 1950 - *Economie forestière Nord Africaine : Monographie et traitements des essences forestières*. Éd. Larose, T 2(II), Paris, 878 p.
- 86 . **MAIRE R.**, 1952 - Flore de l'Afrique du Nord.15 vol., *Le chevalier, Paris*.
- 87 . **QUEZEL P.**, 1980 - Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. In PESSON : *Actualités d'écologie forestières*. Paris, Bordas. 205-256.
- 88 . **BARITEAU M ., FERRANDÈS P .**,1992 - Les Cèdres. In : Amélioration des espèces végétales cultivées, chap. 8 : les espèces forestières / A. Gallais, H. Bannerot, Eds.- 1992. - pp. 733-743.
89. **NEJAH A.**, 1988 - *La cédraie de Chréa (Atlas Blideen) phénologie, Productivité Régénération*. Thèse Doct.Université de Nancy spécialité Biol.Vég et flore p173.
- 90 . **SABATIER S., BARADAT P., BARTHELEMY D.**, 2003 - Intra- and interspecific variations of polycyclism in young trees of *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex. Carrière and *Cedrus libani* A.Rich (Pinaceae). *Ann. For.Sci.*, 60: 19-29.
- 91 . **EMBERGER L.**, 1971-Travaux de botanique et d'écologie. *Paris. Masson*. 520 p + 1carte.
- 92 . **PANETSOS K.S., SCALTSOYIANNES A., TSAKTSIRA M.**, 1994 - Genetic variation in Allozymes of *Cedrus libani* A. Rich. and *Cedrus atlantica* Mannetti.). *Ann. Rech. For.*, T (27):419-434.
- 93 . **DERRIDJ A .**, 1990 - Etude des populations de *Cedrus atlantica. Manetti* en Algérie. *Thèse Doct. Université de Toulouse* .282 p.
- 94 . **BENABID A.**, 1993 - Biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Silva Mediterranea Actes du séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifran (Maroc). 7-11 juin 1993*. Pp : 62-69.
- 95 . **M'HIRIT O.**, 1994 - Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) présentation générale et état des connaissances a travers le réseau *Silva Mediterranea* "le Cèdre". *Ann. Rech. For. Maroc*. T(27) : 3-21.

- 96 . **BOUDY P.**, 1955 - *Economie forestière nord-africaine : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie*. Éd. Larose, T (4), Paris, 483 p.
- 97 . **BENTOUATI A., OUDJEHIH B.**, 1999 - Premières études de la croissance et de la Productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Aurès-Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, t. XX, (2) : 115-119.
- 98 . **ROCHE E.**, 2006 - Palynologie de la région méditerranéenne. Université de Liège. *Notes de cours*, inédit.
- 99 . **BOUDY P.**, 1952 - Guide du forestier en Afrique du Nord .Les essences Forestières .*Edition la maison rustique*, 505 p.
100. **TOTH J .**, 1978 - Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le sud de la France *Thèse.Doct.Ing.Fac.Sci.St Jérôme*, Marseille, 196 p.
- 101 **LEPOUTRE B.**, 1961 - Recherche sur les conditions édaphiques de la régénération des cédraies marocaines. *Ann. Rech .For. Maroc*, T .6 Fasc.2. Rabat : 21p.
102. **LEPOUTRE B.**, 1963 - Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas Marocain.O.R.S.T.O.M Coll. Ref 11063.
103. **LEPOUTRE B.**, 1964 - Premier essai de système sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas marocain. *Ann. Rech. For. Au Maroc*. Tome VII. Pp: 157-163.
104. **LEPOUTRE B., PUJOS A.**, 1963 - Facteurs climatiques déterminants les conditions de germination et installation des plantules de cèdre. *Ann.Rech.For. Maroc .T7Rap 62-63* 120p.
105. **MALKI H.**, 1992 - Contribution à l'étude de l'influence du l'Atlas dans les monts de Belezma (Algérie).*Thèse Doct.université de Paris sorbonne*.
106. **Till C.**, 1985 - Recherches dendrochronologiques sur le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl;) carrière) au Maroc. *Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université Catholique de Louvain*, 231 p et annexes, inédit.
107. **EZZAHIRI M., BELGHAZI B.**, 2000 - Synthèse de quelques résultats sur la régénération du cèdre de l'Atlas au moyen Atlas (Maroc).*Science et changements planétaire, Sécheresse*.11 (2) : 79-89.

108. **PUJOS A.**, 1964 - Le milieu de la cédraie marocaine. *Ann.Rech.For. Maroc* Tome 8. p198.
109. **QUEZEL.**, 1976 - Les forêts du pourtour méditerranéen, *Notes techniques M.A.B.2 UNESCO* .Paris. Pp9-34.
110. **BENABID A .**, 1982 - Etudes phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). *Thèse Doctorat Es-Sciences, Faculté Sciences et Techniques St-Jérôme-Marseille*. 199 p+Annexes.
111. **BENHALIMA S.**, 2004 - Les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du Cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière dans le Haut et le Moyen Atlas (Maroc). *Thèse Doc.,Univ. Moh. V- Agdal, Rabat*, 107 p.
112. **AUSSENAC G., GRANIER A ., GROSS P.**, 1981- Etude de la croissance en hauteur du cèdre "utilisation d'un appareillage de mesure automatique *Ann.Sci.forest.*, 38:301-316.
113. **TOTH J.**, 1981 - Contribution à l'étude monographique du cèdre méditerranéen, ed. *INRA.Atation d'Avignon*.25p.
114. **FABRE J-P.**, 1994 – Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originales de l'aire naturelle des Cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier.*Ann. Rech. For.*, T (27): 539-551.
115. **MOUNA M.**, 1982 - Recherches écologiques sur le peuplement frondicole des insectes du cèdre (*Cedrus atlantica* Man.) dans le Moyen Atlas marocain. *Thèse Doct. de Spécialité, Fac. des Sciences St. Jérôme Marseille*: 1-121.
116. **TOTH J.**, 1971- Le cèdre (*Cedrus atlantica* M) en France. *Bull.Vulg.For.* n° 4. pp 1-20.
117. **LOUKKAS A.**, 2009 - Atlas des parcs nationaux algériens,Direction Générale des Forêts. *Parc national de théniet El Had*.98p.
118. **HALIMI A .**, 1980 - L'Atlas Blideen , climat et étages végétaux OPU. Alger, 523 p.
119. **BNEF.**, 1984 - Parc National de Chréa, Etude de milieu. *Le bureau National des études forestières*, Blida.149p.

120. **HMIMINA M.**, 1986 - Stratégies d'occupation des cultures et d'hivernation chez *Helicouerpa armigera* HB (*Lep., Noctuidae*): essai de modélisation prévisionnelle. *Thèse de Doctorat ès Sciences*. Université de Marseille (St Jérôme), 184p.
121. **VILLEMANT C.**, 2006 - Bilan de la situation de *Lymantria dispar* dans l'ouest du bassin méditerranéen. *Act. Congrès. Inter. Ento.Némat. Inst. Agro*. El Harrach. Alger. pp : 101-114
122. **SELTZER P .**, 1946 - *Le climat de l'Algérie* .Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie .université d'Alger 217p.
- 123 **RAMADE F.**, 2003 - Éléments d'écologie - Écologie fondamentale. 3ème édition. 690 p.
124. **WILLIAMS D W., LIEBHOLD A M.**, 1995 - Herbivorous insects and global change: potential changes in the spatial distribution of forest defoliator outbreaks. *Journal of Biogeography* 22(4–5): 665–671.
125. **AYRES MP ., LOMBARDEO MJ .**, 2000 - Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment* 262:263-286.
- 126 **HARRINGTON R et al.**, 2001- Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions : can they be predicted ? in *Agricultural and Forest Entomology*, n°3, pp. 233-240.
127. **BALE J S., MASTERS G J., HODKINSON I D., AWMACK C., BEZEMER T M., BROWN V K., BUTTERFIELD J., BUSE A., COULSON J C., FARRAR J., GOOD J E G., HARRINGTON R., HARTLEY S., JONEST H., LINDROTH R L., PRESS M C., SYMRNIODIS I., WATT A D., WHITTAKER J B.**, 2002 - Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8(1): 1–16.
- 128 **CHARARAS C.**, 1982 – Les insectes parasites des forêts. *Ed. Chararas*, Paris, 297p.
- 129 **BAGNOULS ., GAUSSEN .**,1953 - Saisons sèches et indice xérothermique. Document Pour les cartes de production végétale. Toulouse. Série généralités .T3.1953. Vol 1 Art 8.
130. **STEWART P.**, 1969 - Quotient pluviométrique et dégradation de la

- biosphère. *Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.* Du Nord ; Alger.
131. **FREDON D ., MAUMY- BERTRAND M., BERTRAND F.,** 2009 - Mathématiques .*Ed.Dunod*, Paris,157p.
 132. **MAPA** (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación)., 1981 - [Insectes ravageurs des forêts espagnoles]. *MAPA*, Madrid, Espagne.
 133. **GACHI M., KHEMICI M., ZAMOUM M.,** 1986 - Note sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjeani* (POWEL) (Lepidoptera, *Thaumetopoeidae*) *Ann. Rech. Forest.* en Algérie 1 pp.: 53-63.
 134. **TIBERI R., NICCOLI A., SACCHETTI P.,** 1994 - *Thaumetopoea pityocampa* egg parasitism: modifications resulting from *Ooencyrtus pityocampae* augmentation. *Atti XVII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Udine, Italy, 13 18 Giugno 1994*, 763-766.
 135. **HALPERIN J.,** 1990 - Life history of *Thaumetopoea* spp. (Lep., *Thaumetopoeidae*) in Israël. *Journal of Applied Entomology*, **110**, 1-6.
 136. **BREUER M., DEVKOTA B., DOUMA P E., KOUTSAFTIKIS A. SCHMID T G H.,** 1989 - Studies on the exposition and temperature of nests of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., *Thaumetopoeidae*) in Greece. *Journal of Applied Entomology*, **107**, 370-375.
 137. **LAVALEE R ., REGNIERE J ., MORISTTE J .,** 1988 - Influence de la température et des précipitations sur le vol des mâles de *Zeiraphera canadiensis* en plantation d'épinette blanches.*Phytoprotection*,**69**,99-103.
 138. **EINHORN J., MENASSIER P., MICHELOT D., RIOM J.,** 1983 - Piégeage sexuel de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep., *Notodontidae*) par des attractifs de synthèse. Premier essais dans le sud-ouest de la France. *Agronomie*, 3 (6) ,499-505.
 139. **SANDERS CJ.,** 1983 - Local dispersal of male spruce budworm (Lepidoptera :*Tortricidae*) moths determined by mark,release,and recapture . *Can. Ent.*, 115,1065-1070.
 140. **DUMERLE P.,** 1985 - Piégeage sexuel de tortrix L. (Lep., *Tortricidae*) en

- montagne méditerranéenne. II. Relation entre le nombre de capture et le niveau des populations. Rendement des pièges. *Z. angew. Entomol.*, **100**,272-289.
141. **DÉMOLIN G., MARTIN J C., BRUN C.**, 1985 - Essais d'attraction sexuelle, hors de la forêt, des mâles de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lep. Thaumetopoeidae*). *Exp. Coll. INRA*, " *Phéromone sexuelle* ". Valence. 14 p.
142. **DEMOLIN G., MILLET A.**, 1981- Testing of insecticides against the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*). Comparative action of four commercial preparations: Bactospein, Dipel, Thuricide and Dimilin (diflubenzuron). *Annales des Sciences Forestieres*, **38**, 389-404.
143. **DEBACH P., ROSEN D.**, 1991 - Biological control natural enemies._ *Combridge University Press* , Cambridge.
144. **WAJNBERG E., HASSAN SA.**, 1994 - Biological control with egg parasitoids._ *CAB. International*, Wallingford.
145. **MASSUTI L.**, 1964 - Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Ann. Cent. Mont. Ven. Univ. Padova*, **4**,205-271.
146. **TIBERI R., ROVERSI P F.**, 1987 - The egg parasitoids of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) on *Pinus halepensis* Mill. in the Gargano district, Apulia (*Hymenoptera, Chalcidoidea; Lepidoptera, Thaumetopoeidae*). *Redia*, **70**, 1-19.
147. **BATTISTI A .**, 1989- Field studies on the behaviour of two egg parasitoids of the pine processionary Caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *J. Appel .Ent.***105**, 393-402.
148. **BARBARO L.**, 2008 - Les oiseaux insectivores prédateurs de la processionnaire du pin. Colloque « *Insectes et changement climatique* » Micropolis (Aveyron).
149. **DÉMOLIN G.**, 1970 - Programa ecologico internacional sobre la Procesionaria del pino. *Bol. Serv. Plagas Forest.* **13** : 111-117.
150. **QUESTIENNE P., MIERMONT Y.**, 1978 - Contribution à la connaissance de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Etude de la chenille processionnaire du

- pin et de cèdre au Maroc. *Ann. Rech. Forest. Maroc*, **19**,151-233.
151. **GÉRI C.**, 1983 - Répartition et évolution des populations de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., (Lep., *Thaumetopoeidae*) dans les montagnes corses. *Acta OEcolologica – OEcol. Applic.* 4(3) : 247-268.
 152. **GERI C.**, 1984 - Distribution and evolution of populations of the pine processionary, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep., *Thaumetopoeidae*) in the Corsican mountains. II. Relations between populations and the physical and forest environment. *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*, **5**, 3-22.
 153. **GERI C., MILLER C.**, 1985 - Evaluation of the populations of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) in Mont Ventoux, France. *Annales des Sciences Forestières*, **42**, 143-183.
 154. **SIEMANN E., TILMAN D., HAARSTAD J., RITCHIE M.**, 1998 - Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *American Naturalist* **152**, 738-750.
 155. **WELLINGTON W G.**, 1964 - Qualitative changes in population in unstable environments. *Can. Entomol.* **96** (1/2) ,436-451.
 156. **WELLINGTON W G.**, 1965 - Some maternal influence on progeny quality in the western tent caterpillar, *Malacosoma pluvial* Dyar. *Can. Entomol.*, **97**(1) ,1-14.
 157. **BATTISTI A.**, 1988 - Host-plant relationships and population dynamics of The pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller). *Journal of Applied Entomology*, **105**, 393-402.
 158. **DEMOLIN G ., ABGRALL J F ., BOUHOT-DELDUC L .**,1996 - Evolution de l'aire de la processionnaire du pin en France. *Les cahiers du DSF 1-1996 (La Santé des Forêts – 1995)* p.26-28.
 159. **MARCAIS B., BOUHOT-DELDUC L., LE TACON F.**, 2000 - Effet possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts .*Rev.For.Fr.*52, n° spécial,

pp.99-118.

160. **LEBOURGEOIS F., GRANIER A., BREDA N.**, 2001- Une analyse des changements régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions et conséquences pour les écosystèmes forestiers. *Ann.For.Sci.*58, pp.733-754.
161. **DEMOLIN G., RIVE JL.**, 1968 - La processionnaire du pin en Tunisie. *Ann.I.N.R.F.Tunis*, Vol. 1, Fasc.1.
162. **BARITEAU M., ALPTEKIN CU., BRAHIC P.**, 1993 - La faculté germinative des graines de cèdres, *Cedrus atlantica*: influence des traitements densimétriques à l'alcool, du désailage et de la stratification. *Symposium International sur le Cèdre de l'Atlas* 31 Mai-4 Juin 1993, Rabat Maroc. Sous presse.