



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche
Scientifique



Université Dr. Tahar Moulay

Saida

Département : Biologie

Spécialité : protection et Gestion des Ecosystèmes

Sous le Thème :

***Etude de l'infestation de groupement de Pin d'Alep par la
chenille processionnaire
(Région Saida - Ouled Brahim)***

Présenté par :

Mr : SOUIAH HADJ

Devant le jury, composé par :

Soutenu le : 28/06/2016

Mr AMMAM ABD ELKADER

MCB

Univ.Saida

President

Mme SOUIDI ZAHIRA

MCB

Univ.Mascara

Encadreur

Mr TERAS MOHAMMED

MCB

Univ.saida

Examineur

2015-2016

REMERCIEMENTS

*A Mon Enseignant
Mr Terasse Mohammed*

J'ai eu l'honneur d'être parmi vos élèves et de bénéficier de votre riche enseignement.

Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour moi un modèle. Votre gentillesse, et votre disponibilité permanente ont toujours suscité mon admiration.

Veillez bien monsieur recevoir mes remerciement pour le grand honneur que vous m'avez fait .

*A Mon Encadreur
Mme Souidi Zahira*

Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité mon profond respect.

Je vous remercie pour votre accueil et vos conseils.

Veillez trouvez ici, l'expression de mes gratitudes et de ma grande estime.

*Je tiens à remercier chaleureusement, tout mes proches et tout ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce
Travail.*

DEDICACE

À ma Chère Mère Meriem

À mon Père Mohammed

*Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines
m'ont permis de vivre ce jour.*

À mon Frères et mes sœurs

Mahdi, fatima, Yamina, Houria

À tous les gens m'aiment

Brahim, Walid, Djamel, Senouci,

Moustapha, Mokhtar, Fatiha, Aicha,

Faiza, Mokhtaria

À tous mes Amis

À tous ceux qui me sont chers

Sommaire

Table des matières

-Sommaire	
-Liste figures	
-Liste des tableaux	
-Résumé	
Introduction.....	01
- Chapitre I : Généralités sur la processionnaire de pin	
I. Généralités sur la processionnaire de pin	03
I.1. Cycle de développement	04
I.1.1. La phase aérienne	06
I.1.1.1. Les adultes	06
I.1.1.1.1. Cycle général	06
I.1.1.1.2. La ponte	07
I.1.1.2. Les chenilles	09
I.1.1.2.1. Description	09
I.1.1.2.2. La période ambulatoire	10
I.1.1.2.3. Le nid d'hiver	10
I.1.1.2.4. La procession « post-hivernale »	12
I.1.2. La phase souterraine	13
I.2. Bio écologie et particularités du cycle de la chenille Processionnaire du pin	14
I.2.1. Plantes hôtes	14
I.2.2. Incidence de facteurs écologiques	15
I.2.2.1. Ensoleillement et photopériode	15
I.2.2.2. Température	15
I.2.2.3. Altitude et latitude	16
I.2.2.4. Prédateurs et parasites de la chenille processionnaire	18
- Chapitre II : Conséquences environnementales et dégâts forestier	
II. Importance environnementale et dégâts forestiers	21
II.1. Conséquences environnementales et dégâts forestiers	21
II.1.1. Conséquences écologiques	21
II.2. Lutte environnementale	23
II.2.1. Principal techniques de lutte	24
II.2.1.1. Lutte mécanique	24
II.2.1.2. Lutte chimique	26
II.2.1.3. Lutte microbiologique	29

II.2.1.3.1. Lutte microbiologique bactériologique	29
II.2.1.3.2. Lutte microbiologique virale	31
II.2.1.4. Lutte alternative	33
II.2.1.4.1. Lutte physiologique par utilisation de phéromones Sexuelles de synthèse	33
II.2.1.4.2. Lutte biologique par conservation des prédateurs et parasites	36
II.2.1.5. Bilan sur les méthodes de lutte	38
II.2.2. Mise en place des mesures de lutte	39
II.2.2.1. Les difficultés de la mise en place de la lutte	39
II.3. Importance sanitaire : Etude clinique chez l'Homme et les animaux	41
II.3.1. Etude clinique chez l'Homme	41
II.3.2. Tableau clinique chez l'Homme	43
II.3.2.1. Atteinte cutanée : « érucisme » ou dermatite de contact	43
- Chapitre III : Etude de l'infestation	
III.1. Présentation de la région d'étude	44
III.1.1. Position géographique de la région d'étude de la wilaya de Saida	44
III.1.1.1. Situation géographique de la daïra d'Ouled Brahim	44
III.1.2. Patrimoine forestier de la wilaya de Saida	45
III.1.3. Etude climatique	46
III.1.3.1. Les Précipitations	46
III.1.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles	47
III.1.3.1.2. Le régime pluviométrique	47
III.1.3.2. Température	48
III.1.3.3. Gelées	48
III.1.3.4. L'humidité relative	49
III.1.3.5. Le vent	46
III.1.4. Synthèse climatique	49
III.1.4.1. Indice d'aridité de Martonne	50
III.1.4.2. Diagramme ombrothermique de Gausson et Bagnouls	51
III.1.4.3. Quotient pluviométrique et Climagramme d'Emberger	52
III.1.4.4. Climagramme pluviométrique d'Emberger	53
III.2. Matériels et Méthode d'étude	54
III.2.1. Matériels	54
III.2.2. Méthodologie de l'étude	54
III.3. Résultats	55
III.3.1. Structure des forêts de pin d'Alep considérées dans l'étude	55

III.3.2. Aperçu sur le cycle biologique de la processionnaire du pin	57
III.3.2.1. Emergence des adultes	57
III.3.2.2. Ponte	58
III.3.2.3. Développement larvaire	59
III.3.2.4. Synthèse du cycle biologique	60
III.3.2.5. Infestation des forêts de pin d'Alep par T.pityocampa et moyens de lutte	61
III.3.2.5.1. Taux d'infestation et degré de défoliation	61
III.3.2.5.2. Effet de l'exposition, de l'altitude et de la structure du peuplement sur le niveau	64
III.3.2.6. traitement contre T.pityocampa	67
Conclusion générale.....	70
Références bibliographiques	72

Liste des Figures

Liste des Figures

- Figure 1 :** Exemples de processionnaires du pin (Envergure de l'ordre de 35 à 40 mm), P 03.
- Figure 2 :** Cycle biologique simplifié de la chenille processionnaire du pin (Microplis), P 05.
- Figure 3 :** Papillon mâle (a) et femelle (b) de *Thaumetopoea pityocampa*(Martin, 2005, Photo Demoulin G.) , P 06.
- Figure 4 :** Accouplement des papillons de processionnaires du pin (Martin, 2005, Photo Démolin G.), P 07.
- Figure 5 :** Manchons de pontes de chenilles processionnaires du pin (Lequet, 2010), P 08.
- Figure 6 :** Femelle en cours de ponte (Martin, 2005, Photo Démolin G.), P 08.
- Figure 7 :** Mise en place des écailles recouvrant les œufs (Lequet, 2010), P 09.
- Figure 8 :** Les différents stades larvaires (Martin, 2005, Photo Démolin G.), P 09.
- Figure 9 :** Nids d'hivers de chenilles processionnaires du pin (A gauche : Fraval, 2007. A droite : photo personnelle), P 11.
- Figure 10 :** Procession de chenilles processionnaires du pin (Oger, 2010), P 12.
- Figure 11 :** Chenilles processionnaires du pin cherchant à s'enfouir(Fraval, 2007, photo Martha B) , P 13.
- Figure 12 :** Chrysalides mâle (à gauche) et femelle (à droite) extraites de leur cocon. (Fraval, 2007, photo Martha B.), P 14.
- Figure 13 :** Abaque montrant les disparités géographiques du cycle de la processionnaire du pin (Martin, 2005, d'après Démolin 1969), P 17.
- Figure 14 :** Complexe prédateurs-parasites de la chenille processionnaire du pin(Bonnet et al. 2008), P19.
- Figure 15 :** Préjudices esthétiques suite à une infestation par des chenilles processionnaire du pin (Premiers stades larvaires) : aiguilles roussâtres à proximité d'un nid d'hiver (photo personnelle), P 22.
- Figure 16 :** Défoliation massive liée au stade L4 de *T. pityocampa* (photo personnelle), P 22.
- Figure 17 :** Dégâts occasionnés de la chenille processionnaire sur le Pin d'Alep (photo Fraval ,2007 , martin B), P 23.
- Figure 18 :** Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite (K3D Lyon Chenilles), P 26.

Figure 19 : Traitement microbiologique par hélicoptère (Martin, 2005, photo Démolin G. en haut), P 30.

Figure 20 : Pulvérisateur en milieu périurbain (Martin et Bonnet, 2008, en bas), P 31.

Figure 21 : Chenilles mortes après traitement au BtK. La disposition particulière des chenilles est également observée lors d'un traitement biologique viral (Martin, 2005), P 32.

Figure 22 : Une grande diversité de pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008), P 34.

Figure 23 : Prédation par les mésanges (Martin et Pesme-Glemin, 2010), P 38.

Figure 24 : Le contrôle des populations de processionnaires du pin nécessite l'association de plusieurs techniques de luttés (Martin et Bonnet, 2008), P 39.

Figure 25 : Troubles cutanés après contact avec les chenilles processionnaires (Martin, 2007, Photo Démolin), P 43.

Figure 26 : Localisation de la Commune d'Ouled Brahim, P 45.

Figure 27 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1983-2012), P 47.

Figure 28 : Températures moyennes mensuelles (1983-2012), P 48.

Figure 29 : Fréquences des vents selon la direction, P 49.

Figure 30 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausse, P 51.

Figure 31 : Climagramme d'Emberger, P 53.

Figure 32 : Taux d'infestation, par commune, des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa*, P 63.

Figure 33: degré d'infestation par commune, des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa* P 63.

Figure 34 : : Effet de l'altitude sur le taux d'infestation, P 67.

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

- Tableau 1 :** Durée moyenne des différents stades larvaires (Martin, 2005, d'après Démolin G.), P 10.
- Tableau 2 :** Complexe prédateurs - parasites de la chenille processionnaire du pin (Bonnet et al. 2008) (Modifié), P 20.
- Tableau 03 :** Avantages et inconvénients de la lutte mécanique par collecte des pontes, pré-nids ou Nids d'hiver (d'après Martin, 2005; Leblond et al. 2010), P 25.
- Tableau 4 :** Avantages et inconvénients de la lutte chimique à base d'insecticide (D'après Martin, 2005; Leblond et al. 2010), P 28.
- Tableau 5 :** Avantages et inconvénients de la lutte microbiologique à base de *Bacillus thuringien sis* Kurstaki (d'après Martin, 2005 ; Leblond et al. 2010, P 31.
- Tableau 6 :** Avantages et inconvénients de la lutte virologique, P 33.
- Tableau 7 :** Avantages et inconvénient du piégeage de masse des papillons mâles (D'après Martin, 2005; Leblond et al. 2010), P 35.
- Tableau 8 :** Avantages et inconvénients de la lutte par confusion sexuelle des mâles (d'après Martin, 2005; Martin et Frérot, 2005 ; Leblond et al. 2010), P 36.
- Tableau 09 :** seuils et stratégies de lutte envisageables selon le type de peuplement (d'après Martin et al. 2009), P 40.
- Tableau 10 :** localisation de la station météorologique de Saïda, P 46.
- Tableau 11 :** Répartition des précipitations (P) moyennes saisonnières, P 47.
- Tableau 12 :** : nombre de jours de gelées, P 48.
- Tableau 13 :** Humidité relative moyenne mensuelle, P 49.
- Tableau 14 :** classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de Martonne, P 50.
- Tableau 15 :** Principales caractéristiques des communes pris en considération dans l'étude de l'infestation par la processionnaire du pin, P 56.
- Tableau 16 :** Chronologie de capture des adultes males de *T.pityocampa*, P 57.
- Tableau 17 :** Chronologie des pontes et des éclosions larvaires de *T.pityocampa* dans la région d'Ouled Brahim (Mimouna), P 57.

Tableau 18 : Dates d'observation des stades larvaires et de la procession de *T.pityocampa* dans la commune de Saida, P 59.

Tableau 19 : Synthèse du cycle biologique de *T.pityocampa* dans la région de Saida(Année 2015), P 60.

Tableau 20 : Taux d'infestation, par commune, des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa*, P 62.

Tableau 21 : Effet de l'exposition sur l'infestation des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa*, P 64.

Tableau 22 : Effet de la structure du peuplement sur le taux d'infestation, P 65.

Tableau 23 : Effet de l'altitude sur le taux d'infestation, P 66.

Tableau 24 : traitement contre *T.pityocampa* , moyenne pluriannuelle (20015-2016), P 68.

Résumé

La chenille processionnaire du Pin ou *Thometopoea pityocampa* est un des insectes les plus ravageurs le plus redoutable en Algérie et dans la grande majorité des pays méditerranéens.

Son attaque se manifeste temporairement avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles de Pin et du cèdre, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements et les met en péril évoluant dans les conditions contraignantes d'une région semi - aride (Déficit hydrique et pauvreté de ses potentiels édaphiques).

De plus, la processionnaire du pin est considérée comme étant un agent pollueur de l'environnement par le biais des poils urticants provoquant des pathologies chez l'homme et l'animal.

Étudier les effets du ver, puis déduire certaines des méthodes pour les éliminer ou plutôt limiter ses dommages

Cependant cette technique nécessite une mobilisation importante de moyens matériels et humains par conséquent un coût élevé. Actuellement la lutte mécanique n'est recommandée que pour les petites superficies et pour les arbres de pin d'Alep en alignements en zone urbaine

Les mots clés c'est : processionnaire ; pin d'Alep ; Saida ; Ouled Brahim ; Mimouna

ملخص:

دودة الصنوبر الجرارة أو *Thometopoea pityocampa* هي واحدة من أكثر الحشرات المدمرة والأكثر شراسة في الجزائر، والغالبية العظمى من بلدان البحر الأبيض المتوسط.

وقد لوحظت هجومه واضح مؤقتا مع تساقط الأوراق الكبير في الغابات الطبيعية من أشجار الصنوبر والأرز، ولكن الأكثر قسوة في المزارع ويضعهم في خطر العاملة في الظروف الصعبة من شبه - المنطقة القاحلة (العجز المائي والفقر من عوامل التربة المحتملة).

وبالإضافة إلى ذلك، يعد الجرارة فراشة الصنوبر ضابط البيئي الملوث من خلال الشعر اللاذع يسبب الأمراض للإنسان والحيوان.

دراسة تأثيرات الدودة ومن ثم استنتاج بعض الأساليب للقضاء عليها أو بالأحرى التخفيف من أضرارها. ومع ذلك، فإن هذا الأسلوب يتطلب تعبئة كبيرة للموارد البشرية والمادية وبالتالي باهظة الثمن. حاليا يوصى المكافحة الميكانيكية فقط لمناطق صغيرة وأشجار الصنوبر الحلبي في التحالفات الحضرية
الكلمات المفتاحية: الجرارة ; الصنوبر ; سعيدة ; أولاد براهيم ; ميمونة

Summary:

The pine processionary caterpillar or *Thometopoea pityocampa* is one of the most destructive insects most formidable in Algeria and the vast majority of Mediterranean countries.

His attack temporarily manifest with significant defoliation in natural forests of pine and cedar, but the most severe were observed in the plantations and puts them at risk operating in the demanding conditions of a semi - arid region (water deficit and poverty of its potential edaphic).

In addition, the pine processionary moth is considered a polluter environmental officer through stinging hairs causing diseases in humans and animals.

Study the effects of the worm and then infer some of the methods to eliminate them or rather mitigate its damages

However, this technique requires a significant mobilization of human and material resources therefore expensive. Currently mechanical control is recommended only for small areas and for Aleppo pine trees in urban alignments

The keyword is: processionary; Aleppo pine ; Saida; Ouled Brahim; Mimouna

Introduction

Général

INTRODUCTION GENERALE

La processionnaire du pin *Thaumetopoea Pityocampa* l'un des principaux ravageurs défoliateurs des peuplements résineux de la zone méditerranéenne est un insecte oligophage présent à l'état naturel dans des écosystèmes forestiers où coexistent des arbres hôtes (pins, cèdres) et des arbres non hôtes (feuillus). Elle provoque des dégâts forestiers considérables, pouvant aller jusqu'à la modification du paysage et engendrer d'importantes pertes économiques qui peuvent se répercuter sur plusieurs années. Une défoliation même totale ne provoque pas la mortalité des arbres atteints. Elle entraîne une perte de production qui équivaut au plus à environ une année d'accroissement (Fraval, 2007).

Une année de forte pullulation entrainera une perte économique d'une année complète de production de bois, étalée sur les 3 années suivant l'attaque (Morel, 2008). Les arbres atteints deviennent toutefois plus vulnérables aux ravageurs secondaires (insectes xylophages notamment) et aux stress thermiques et hydriques (Martin, 2005). *T. Pityocampa* est également responsable d'atteintes médicales chez les Hommes et les animaux par l'intermédiaire de ses poils urticants.

Elle est également connue pour être un des meilleurs exemples de ravageur forestier à dynamique cyclique. De façon générale, *T.pityocampa* présente une phase d'augmentation de ses niveaux de population (gradation) suivie par une phase de diminution, correspondant à une dynamique « sinusoïdale » de période environ égale à six ans. Cependant la fréquence et l'amplitude des gradations semblent très variables au cours du temps et dans les différentes régions touchées, notamment en raison des conditions climatiques locales (Robinet, 2006).

Auparavant cantonnée à quelques pays méditerranéens et aux zones rurales et forestières, elle étend progressivement son aire de répartition depuis les années 1980 en altitude et latitude et colonise peu à peu les zones périurbaines et urbaines, où elle constitue actuellement une nouvelle menace sanitaire. Sa progression géographique, associée aux préjudices médicaux et environnementaux, en font actuellement un problème de santé publique.

En Algérie, le pin d'Alep constitué l'essence principale des formations forestières, il occupe plus de 35% de la superficie forestière globale du pays, de par sa plasticité et de ses

faibles exigences, le pin d'Alep reste l'espèce la plus utilisée dans les reboisements et dans la reconstitution des zones dégradées (SEIGUE, 1985).

Les forêts de pin d'Alep connaissent depuis plusieurs années d'importants problèmes phytosanitaires dus en premier lieu par la chenille processionnaire.

Le problème phytosanitaire dans la région de Saida est aussi très important, c'est pour quoi nous avons entrepris une étude préliminaire de l'infestation des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa* en abordant plusieurs paramètres liée principalement à la biologie et l'écologie du ravageur et aux caractéristiques naturelles des forêts.

La présente étude première partie. Le premier chapitre est consacré aux données bibliographiques Le second chapitre la lutte contre la processionnaire du pin. Dans le troisième nous présentons la méthodologie adoptée pour la partie expérimentale et dans le dernier chapitre les résultats obtenus accompagnés de la discussion.

Chapitre I

Généralité sur la provisionnementnaire de pin

I. Généralités sur la processionnaire de pin

La "processionnaire du pin", *Thaumetopoea pityocampa*, est un papillon nocturne de la famille des Notodontidés. La chenille se développe de préférence sur le Pin noir d'Autriche, le Pin laricio, et le Pin maritime. À l'occasion elle peut se rencontrer sur le Pin sylvestre, le Pin d'Alep, et plus rarement sur les Cèdres. *Thaumetopoea pityocampa* est surtout connue pour le caractère extrêmement urticant de ses chenilles, et par le fait que ces dernières se déplacent toujours à la queue leu-leu, d'où le nom vernaculaire de "processionnaire" donné à ce papillon.

L'espèce est surtout fréquente autour du bassin méditerranéen, et le long de la côte atlantique. Elle peut parfois y pulluler et causer des dégâts considérables. En pareil cas la défoliation est en effet sévère, d'où un dépérissement des rameaux avec affaiblissement des arbres. Il s'ensuit évidemment une plus grande vulnérabilité aux maladies, mais aussi aux parasites que sont par exemple les Scolytes ou encore les Bostryches (insectes Coléoptères).



Figure 01 : Exemples de processionnaires du pin (Envergure de l'ordre de 35 à 40 mm)

(MARTIN, 2005).

Systematique

La chenille processionnaire du pin à développement larvaire hivernal, *Thaumetopoea Pityocampa*, a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1775. Elle appartient à la classe des Insectes, à l'ordre des Lépidoptères, la famille des Notodontidae, la sous-famille des Thaumetopoeinae, au genre *Thaumetopoea* et à l'espèce *T. pityocampa*. En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (*campa* = chenille, *pityo* = pin) et *thaumetopoea* signifie « qui vénère la verdure » (*thaumeto* = vénérer, *poea* = herbe).

Le genre *Thaumetopoea* contient neuf espèces, qui peuvent localement coexister et qui sont parfois difficiles à distinguer. Toutefois il existe certaines différences morphologiques (telles que l'intensité de la couleur des ailes) et biologiques (notamment en ce qui concerne les plantes hôtes et la date d'éclosion, qui peut avoir lieu au printemps pour *Thaumetopoea bonjeani*, *Thaumetopoea pinivora*, *Thaumetopoea processionea*, ou en fin d'été pour *Thaumetopoea pityocampa*, *Thaumetopoea wilkinsoni*).

Le développement larvaire est donc printanier à estival pour les trois premières espèces et hivernal pour les deux dernières. La position systématique de la processionnaire du pin est la suivante :

Règne :	Animalia
Embranchement :	Arthropoda
Classe :	Insecta
Super ordre :	Endopterygota
Ordre :	Lepidoptera
Famille :	Notodontidae
Sous-famille :	Thaumetopoeinae
Genre :	Thaumetopoea
Espèce	<i>Thaumetocampa pityocampa</i> Denis et Schiffermüller, 1775

I.1. Cycle de développement

Le cycle de développement de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* se divise en deux principales étapes : une phase aérienne et une phase souterraine (figure 2). Ce cycle est habituellement annuel mais il peut se prolonger jusqu'à cinq ans selon les conditions environnementales : la température et l'ensoleillement, donc l'altitude et la latitude peuvent en effet fortement influencer le déclenchement des différents stades.

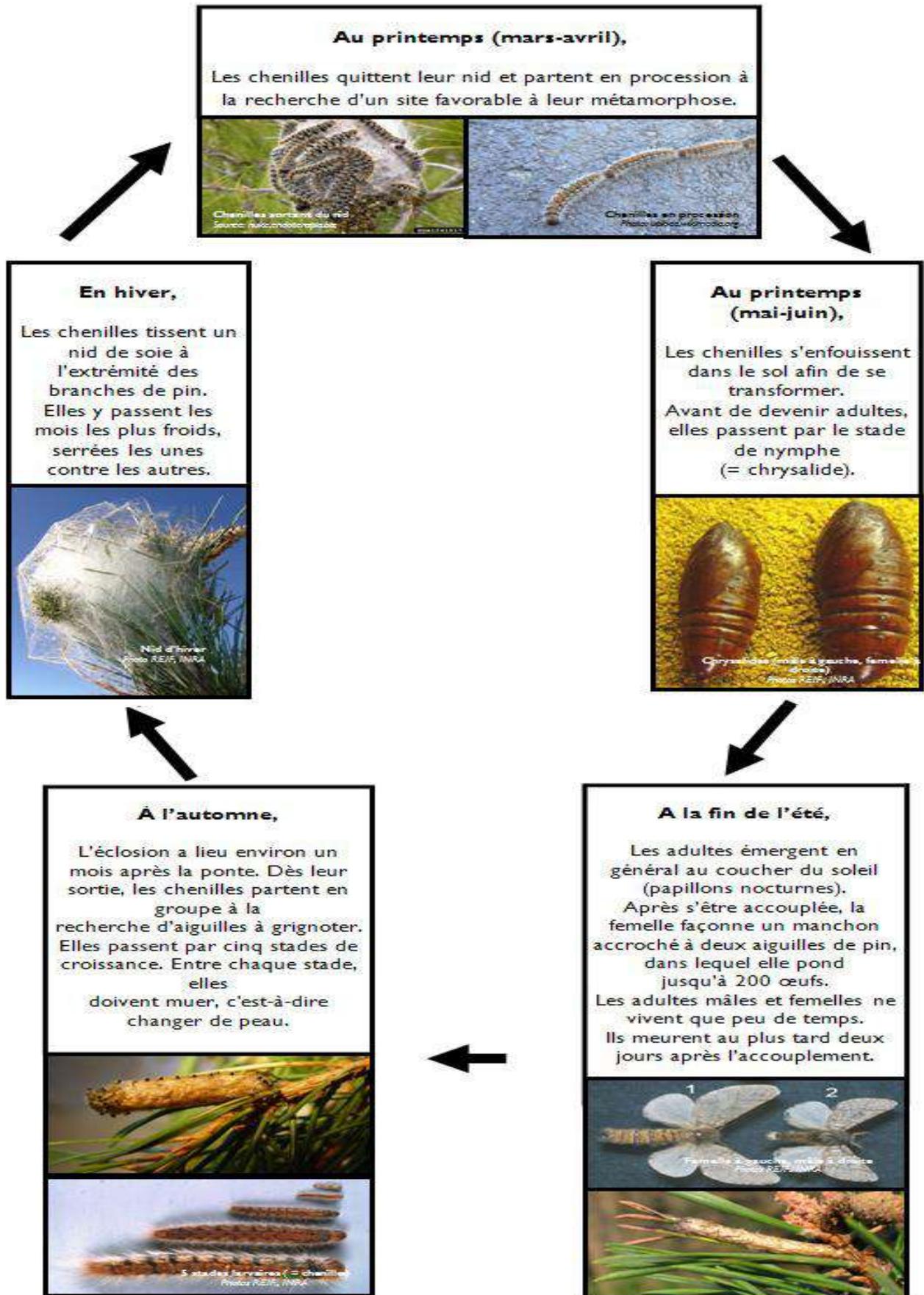


Figure 2 : Cycle biologique simplifié de la chenille processionnaire du pin (*Microplitis*) (MARTIN, 2007).

I.1.1. La phase aérienne

La phase aérienne dure cinq à huit mois et comprend plusieurs étapes de l'émergence des papillons jusqu'à l'enfouissement précédent la nymphose.

I.1.1.1. Les adultes

I.1.1.1.1. Cycle général

Les papillons nocturnes sortent de terre au crépuscule au cours de l'été (des mois de juin et août). Ils se libèrent de leur cocon grâce à des crêtes clarifiées situées sur leur tête, qui leur permettent de découper l'enveloppe qui les entoure. Le ratio mâle/femelle est proche de 1. Ils ne s'alimentent pas et leur durée de vie est brève (un à deux jours environ), mais ils peuvent néanmoins parcourir plusieurs kilomètres (environ 3 kilomètres pour la femelle et 25 à 50 kilomètres pour le mâle).

Ils sont de couleur gris clair et possèdent trois lignes transversales noires sur les ailes antérieures (ces lignes alaires sont plus marquées chez le mâle) les ailes postérieures sont quant à elles plus claires. Ils mesurent 30 à 35 mm et présentent un dimorphisme sexuel marqué, la femelle étant plus grosse que le mâle (figure 3).

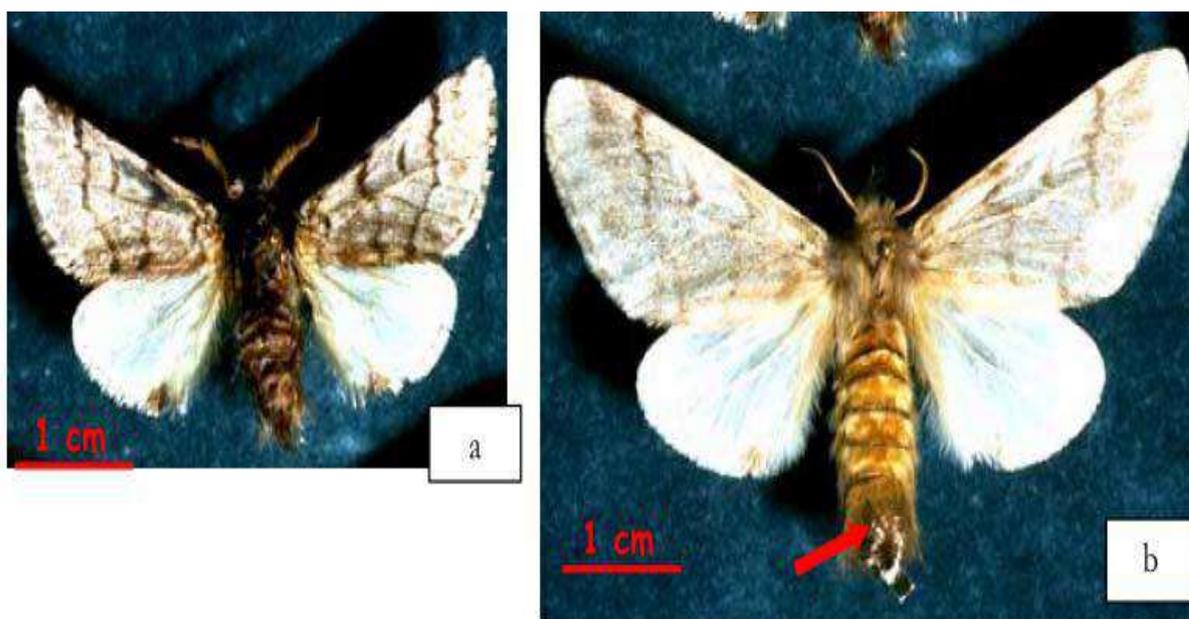


Figure 3 : Papillon mâle (a) et femelle (b) de *Thaumetopoea pityocampa*
(Martin, 2005, Photo Demoulin G.)

La femelle dispose d'une zone productrice d'écailles sur la partie dorsale de son dernier segment abdominal (flèche rouge sur la figure 2b). Ces écailles serviront à recouvrir les œufs lors de la ponte.

Le comportement des adultes dépend de leur sexe. Les mâles sortent de terre les premiers, une demi-heure environ avant les femelles. Après une période d'inactivité de deux à quatre heures, la femelle attire le mâle en émettant une phéromone spécifique appelée la « Pityolure » ((Z)-13-hexadécen-11-ynyl), on parle de « femelle appelante ».

L'accouplement dure environ une heure, puis les papillons s'envolent de nouveau (Figure 4). Ils meurent en un à deux jours.



Figure 4 : Accouplement des papillons de processionnaires du pin (Martin, 2005, Photo Démolin G.)

I.1.1.1.2. La ponte

Après l'accouplement, la femelle part à la recherche du lieu idéal pour la ponte. Elle choisit ainsi préférentiellement des arbres dont la silhouette se découpe bien sur fond clair (en lisière de forêt par exemple), et ne reste pas indifférente au type d'arbre : en effet, ses arbres favoris sont, par ordre décroissant : le pin noir d'Autriche, le pin Laricio de Corse, le pin Laricio Sulzmann, le pin maritime, le pin sylvestre, le pin d'Alep, le cèdre de l'Atlas et le cèdre du Liban.

La femelle dépose ensuite ses œufs le long d'une ou deux aiguilles de pin et les recouvre par de nombreuses écailles qu'elle prélève à l'extrémité de son abdomen. Ces écailles sont disposées régulièrement à la surface des œufs, comme les tuiles d'un toit, ce qui conduit à la formation d'un manchon cylindrique de quatre à cinq centimètres de long, dont la couleur est proche de celle des bourgeons de pin (figure 5) couleur beige homochromie avec le support. Les œufs, ovoïdes et au nombre de 100 à 300 (maximum théorique, la moyenne se situant autour de 200 œufs), sont déposés en une seule fois.



Figure 5 : Manchons de pontes de chenilles processionnaires du pin (Lequet, 2010)

La femelle pond en se déplaçant de la base vers le sommet de l'aiguille (figure 6) (Fabre, 1899). La base des écailles est ainsi dirigée vers la base de l'aiguille, ce qui protège les œufs de la rosée et de la pluie (figure 7). La ponte dure trois à quatre heures, puis la femelle s'envole : elle parcourt alors quelques kilomètres et meurt peu après.



Figure 6 : Femelle en cours de ponte (Martin, 2005, Photo Démolin G.)



Figure 7 : Mise en place des écailles recouvrant les œufs (Lequet, 2010)

I.1.1.2. Les chenilles

I.1.1.2.1. Description

L'éclosion a lieu 30 à 45 jours après la ponte, au mois de septembre le plus souvent, lorsque la somme des températures moyennes journalières atteint entre 780 et 850°C (Martin, 2005).

Le développement larvaire comporte cinq stades (notés L₁ à L₅) entre lesquels les chenilles muent et construisent des « pré-nids » composés d'un léger réseau de soie.

Trois critères permettent de déterminer à quel stade appartient une chenille : la quantité et la longueur des soies, la taille de la chenille, sa couleur et le volume de sa capsule céphalique (figure 8).

Au stade L₁, les chenilles mesurent deux à trois millimètres et sont de couleur jaune.

Leurs soies ornementales dorsales sont noires, tandis que leurs soies latérales sont blanches et plus longues. Leur capsule céphalique, noire, est déjà volumineuse et leur permet dès ce stade de s'attaquer à une nourriture solide et résistante. Les chenilles deviennent rousses au deuxième stade larvaire (stade L₂). Le nombre de soies latérales augmente significativement.

Ce phénomène s'amplifie encore au troisième stade larvaire (L₃) et s'accompagne de l'apparition de poils urticants localisés à la face dorsale de certains segments abdominaux. L'appareil urticant continue à se développer au cours des deux stades suivants. Au stade L₅, les chenilles mesurent quatre à cinq centimètres.

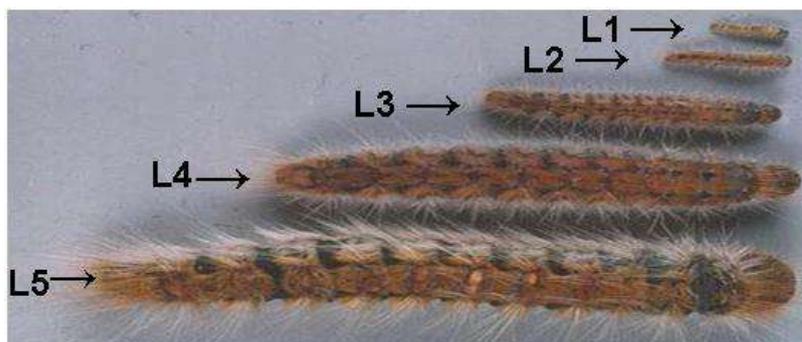


Figure 8 : Les différents stades larvaires (Martin, 2005, Photo Démolin G.)

Les différents stades larvaires ont des durées variables, qui dépendent principalement de la température et de l'ensoleillement (tableau 1).

Tableau 1 : Durée moyenne des différents stades larvaires (Martin, 2005, d'après Démolin G.)

Mouvements des colonies	Stades larvaires	Durée des stades (en jours)		
		Hiver doux	Tempéré	Froid
Pré-nids	L1	12		
Déplacement régulier Des colonies	L2	14		
	L3	30		
Nid d'hiver Emplacement définitif	L4 L5	30	60	90
		30	60	90

L'évolution larvaire peut se diviser en deux périodes principales : la période ambulatoire, allant de l'éclosion aux premiers froids et la période du nid d'hiver, allant de la construction du nid à la procession de nymphose.

I.1.1.2.2. La période ambulatoire

Les chenilles, quels que soient leurs stades, sont grégaires et vivent en colonie. Cette particularité physiologique disparaît au stade adulte.

Dès l'éclosion, les chenilles L₁ tissent un réseau de soie très léger autour du manchon de ponte, qu'on appelle un « pré-nid ». La nuit, elles sortent s'alimenter : elles dévorent dans un premier temps les aiguilles à proximité, puis se déplacent sur les branches lorsque la nourriture vient à manquer. Elles tissent des fils de soie pour retrouver le chemin de leur nid.

Dans certaines conditions, par exemple lorsque les températures nocturnes sont trop basses ou lors de surpopulation, l'alimentation peut avoir lieu pendant la période diurne.

La colonie effectue des migrations successives, qui sont dans un premier temps liées au manque de nourriture, puis à la baisse des températures automnales. A chaque déplacement, elles abandonnent leur « Pré-nid ». Les chenilles se dirigent vers des endroits ensoleillés, où elles pourront construire leur nid d'hiver.

I.1.1.2.3. Le nid d'hiver

Pour faire face aux températures hivernales, les chenilles, généralement au stade L₄, construisent un « Nid d'hiver » à l'extrémité des branches les plus hautes et les plus ensoleillées (figure 9).

Ce nid, constitué de deux enveloppes de soies superposées (une interne de forte épaisseur et une externe constituée d'un tissage très lâche), peut contenir jusqu'à 200 ou 300 hôtes.

Il est constitué de petites loges et ne comporte pas d'orifice de sortie, les chenilles pouvant passer à travers les mailles (Fabre, 1899).

Le nid sert principalement de capteur de chaleur, les rôles d'isolant thermique et de protection mécanique étant négligeables. Il retient en effet les rayons du proche infrarouge émis par le soleil : la température à l'intérieur du nid peut ainsi s'élever jusqu'à 20°C au dessus de la température extérieure. D'autre part, il rassemble de nombreux individus, ce qui, par « effet masse », permet d'atténuer des variations climatiques brutales.

Le nid d'hiver n'a toutefois pas de rôle d'isolation : les chenilles quittent cet abri à la tombée de la nuit, pour s'alimenter et pour tisser, lorsque les températures à l'intérieur du nid et à l'extérieur sont identiques (Martin, 2005).

Ces deux comportements, alimentation et entretien du nid, sont coordonnés et déterminés par l'activité des glandes séricigènes. En effet, les individus ayant le plus de soie tissent, pour assurer la consolidation et l'élargissement du nid ; tandis que ceux dont les réserves sont faibles partent s'alimenter. Lorsque les conditions climatiques sont difficiles (si l'ensoleillement est faible ou si les nuits sont froides par exemple), l'activité des chenilles est majoritairement tournée vers la consolidation du nid.

Le jour, les chenilles restent dans le nid afin de digérer. S'il y a surpopulation ou si la température nocturne avoisine les 0°C, on peut observer l'apparition de processions d'alimentation diurnes.

L'alimentation est ainsi continue pendant toute la période hivernale. Cette activité est indispensable pour la sécrétion permanente de soie, et par conséquent pour l'entretien du nid et la constitution des réserves nécessaires aux mues.



Figure 9 : Nids d'hivers de chenilles processionnaires du pin (, 2015)

I.1.1.2.4. La procession « post-hivernale »

La procession a lieu entre les mois de février et mai, en fonction des dates d'émergence des adultes et de la rigueur de l'hiver. Elle ne peut commencer que si la température au sol égale au moins 10°C. Si la température est inférieure, les chenilles se regroupent au sol. Cependant, si la température dépasse 22°C, les chenilles s'enfouissent provisoirement, et ressortent quand les conditions sont de nouveau favorables, pour s'enterrer un peu plus loin.

Ce mode de déplacement particulier (figure 10), qui a donné son nom aux chenilles processionnaires, n'est pas un phénomène anarchique. Il repose en effet sur l'acquisition d'une « mémoire sociale », fondée sur une inter-reconnaissance suite à des échanges tactiles.

Une phase d'organisation préalable est nécessaire, afin d'acquérir cette inter reconnaissance : elle dure environ 20 minutes et repose sur des échanges tactiles réguliers, ce qui permet aux chenilles d'accumuler une certaine dose de « mémoire ». On observe ainsi la succession de trois comportements : tout d'abord, les individus de la colonie se réunissent en pelote (ce qui autorise un maximum de frottements entre les corps), puis en nappe (les parties latérales sont ainsi en contact), enfin en spirale (ce qui assure des contacts des chenilles). La continuité de la procession est donc assurée par les contacts entre chaque individu.

La procession est toujours dirigée par une future femelle. En effet, les larves femelles ont, à la différence des larves mâles, une sensibilité photo tactique positive, ce qui permet à la colonie de se diriger vers une zone éclairée où pourra avoir lieu l'enfouissement.



Figure 10 : Procession de chenilles processionnaires du pin (Oger, 2010).

La cohésion sociale est assurée par les longues soies du premier segment thoracique et des deux derniers segments abdominaux (Martin, 2005).

Si une chenille perd le contact lors de la procession, la chenille précédente s'arrête et effectue alors des mouvements oscillants en reculant. Toutes les chenilles s'arrêtent alors de proche en proche, jusqu'à ce que la « retardataire » revienne dans la file.

La procession se termine par l'enfouissement des chenilles (figure 11) dans un terrain adapté, c'est-à-dire meuble et ensoleillé, à une profondeur comprise entre 5 et 20 centimètres en fonction de la nature du sol et de la température extérieure. Le sable est ainsi un milieu prisé, mais les chenilles sont également capables de s'enfouir sous un revêtement goudronné, à la faveur d'une anfractuosité.



Figure 11: Chenilles processionnaires du pin cherchant à s'enfouir (Fraval, 2007, photo Martha B.)

I.1.2. La phase souterraine

Une quinzaine de jours après l'enfouissement, les chenilles tissent des cocons individuels, dans lesquels elles se transforment en chrysalides : c'est la nymphose. Quelques jours plus tard a lieu la diapause, arrêt de développement caractérisé par une diminution notable du métabolisme. Lors de cette période, les chrysalides peuvent résister à de fortes températures (jusqu'à 35-40°C) sans altération.

La durée de cette phase est variable. Le cycle de développement de la chenille processionnaire du pin est habituellement annuel : ainsi, la durée de la diapause « s'adapte » à celle du développement larvaire, pour que le cycle s'achève sur l'année. Par exemple, en altitude, où les hivers sont particulièrement rigoureux, la durée d'évolution larvaire est plus longue : la diapause sera alors plus courte pour respecter le cycle annuel. Toutefois, si les conditions environnementales sont particulièrement défavorables (température très élevée ou très basse, sol très sec,...), la période de diapause peut se prolonger une à plusieurs années (parfois jusqu'à cinq ans) : on parle alors de diapause prolongée. Le taux de diapause prolongée, proche de zéro en région méditerranéenne où le climat est favorable au développement larvaire des chenilles, peut atteindre 100% dans les montagnes corses, en raison des conditions climatiques particulières dans cette zone.

La diapause terminée, s'ensuit une reprise métabolique importante. L'adulte sera prêt à sortir de terre, une fois sa morphogénèse achevée, environ un mois plus tard. (Figure 12)



Figure 12: Chrysalides mâle (à gauche) et femelle (à droite) extraites de leur cocon. (Fraval, 2007, photo Martha B.)

I.2. Bio écologie et particularités du cycle de la chenille Processionnaire du pin

L'étude de la bio écologie des chenilles processionnaires du pin permet de considérer les zones et les périodes à risque pour la faune et la flore, éléments indispensables pour le choix d'un plan de lutte efficace.

I.2.1. Plantes hôtes

La chenille processionnaire du pin est phytophage : elle se nourrit des aiguilles de pins. Il est possible d'établir une classification des arbres hôtes, selon les préférences de la chenille processionnaire (Martin, 2005) :

- pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigricans* Host)
- pin Laricio de Corse (*Pinus nigra* subsp. *laricio* Poiret)
- pin Laricio Sulzmann (*Pinus nigra* subsp. *clusiana* Clem).
- pin maritime (*Pinus pinaster* Ait).
- pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L).
- pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill).
- cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Carr.), cèdre du Liban (*Cedrus libani* Rich).
- douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb).
- Et sapin (*Abies concolor* Lindl).

C'est la femelle, lors de la ponte, qui réalise cette distinction entre les diverses espèces d'arbres. Le diamètre est le critère principal : le diamètre idéal est de 1,5 à 2 mm (ce qui correspond à deux fois la longueur des trois articles du tarse des pattes postérieures du papillon) et le support recherché doit être rugueux afin de permettre une attache optimale des griffes. Des études ont également montré que le choix de l'arbre hôte dépendait de la présence de substances volatiles émanant des tissus des aiguilles, comme le limonène (Martin, 2005 d'après Tibéri *et al.* 1999). De plus, l'essence de l'arbre peut également influencer le développement et la survie des larves (taux de nitrogène par exemple) (Hodar *et al.* 2002).

La femelle ne dispose que de une à deux heures afin de trouver le support idéal. Passé ce délai, elle choisit ensuite des supports de plus en plus défavorables (jusqu'aux rameaux de cèdre). De plus, elle est capable de voler sur une distance de quelques kilomètres seulement depuis son lieu d'émergence (environ 3 kilomètres).

I.2.2. Incidence de facteurs écologiques

De nombreux facteurs peuvent influencer le cycle de développement de *Thaumetopea pityocampa*, en particulier l'ensoleillement et la température.

I.2.2.1. Ensoleillement et photopériode

La chenille processionnaire du pin n'est présente que dans les régions où la durée moyenne d'insolation annuelle est supérieure à 1800 heures.

La photopériode joue également un rôle prépondérant dans le cycle de *Thaumetopoea pityocampa* en effet, les chenilles processionnaires s'alimentent la nuit, lorsque les températures sont basses et se regroupent dans la journée pour digérer.

I.2.2.2. Température

Les chenilles processionnaires du pin sont capables de s'adapter afin de compenser d'éventuelles variations climatiques, comme l'illustre la construction et l'orientation du nid d'hiver, permettant d'allier effet de masse (atténuation de fortes variations de température par regroupement de nombreux individus) et insolation maximale.

Il existe cependant des seuils critiques de température à ne pas dépasser. En effet, une température excédant les 32°C peut causer la mort de nombreux individus ou faciliter l'installation de maladies épidémiques sur les œufs ou les larves. L'optimum de développement se situe entre 20 et 25°C, ce qui explique le développement hivernal de *Thaumetopoea pityocampa*. Lorsque la température moyenne mensuelle dépasse 25°C, les individus se regroupent en masse afin de ralentir la montée thermique de chaque individu : les adultes émergeront alors plus tardivement, pour assurer à leur descendance un optimum thermique vital. A l'inverse, plus l'été sera doux (altitude élevée ou latitude nordique par exemple) et plus les adultes pourront émerger précocement.

Le seuil critique inférieur, température basse à laquelle les chenilles meurent, est de -7°C pour un individu isolé, mais il est diminué à -16°C lorsque les chenilles sont regroupées, grâce à l'effet bénéfique du rassemblement des individus (effet de masse) (Hoch *et al.* 2009).

L'alimentation des chenilles dépend également de la température. Deux conditions sont en effet nécessaires : association 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 (Battisti *et al.* 2005). Si l'une de ces conditions n'est pas respectée, le taux de survie des chenilles diminue, car celles-ci ne sortent pas s'alimenter (Buffo *et al.* 2007).

I.2.2.3. Altitude et latitude

La durée du développement larvaire varie donc selon trois principaux facteurs : la température (Et l'amplitude thermique), la radiation globale et la photopériode. Grâce à ses observations, Démolin a élaboré en 1969 un abaque synthétique représentant la date de déclenchement et la durée des différentes phases du cycle en fonction de la latitude ou de l'altitude (figure 13). Cet abaque montre ainsi que plus l'altitude augmente, ou plus la latitude est nordique, plus la température moyenne diminue. La durée du développement larvaire augmente alors, au détriment de la diapause nymphale.

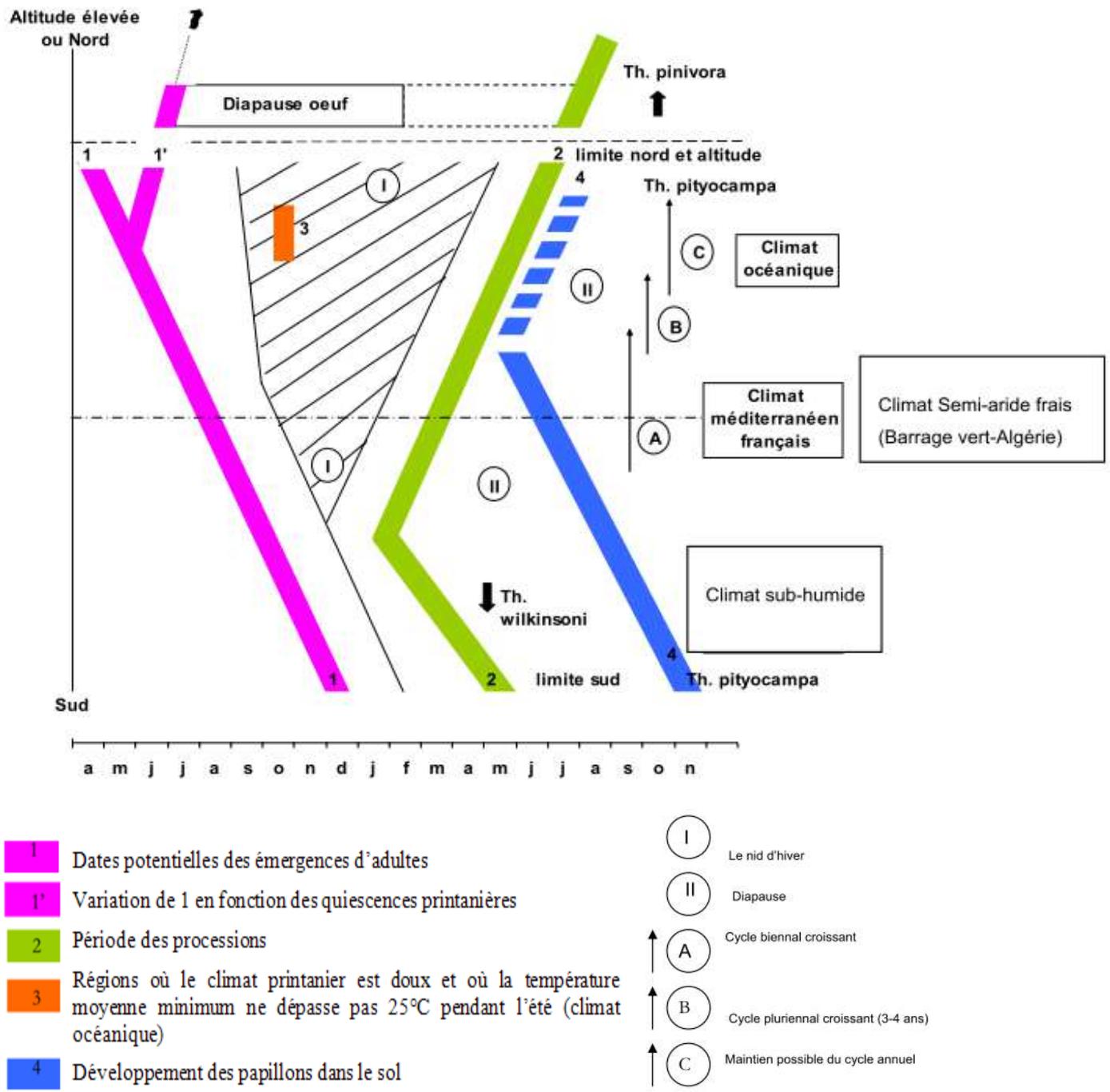


Figure 13 : Abaque montrant les disparités géographiques du cycle de la processionnaire du pin (Martin, 2005, d'après Démolin 1969)

De plus, de récentes études ont révélé que la fécondité de la chenille processionnaire du pin augmentait avec la latitude. L'hypothèse émise est que dans des conditions climatiques peu favorables, il est important pour la survie de l'insecte que la colonie soit de grande taille, car cela lui confère un avantage pour la thermorégulation (par effet de masse) et la construction du nid.

La ponte d'une femelle conduisant à la formation d'une colonie à part entière, il est donc compréhensible que la femelle pondre plus d'œufs en haute altitude ou latitude, afin de favoriser la survie de la colonie. La variation de la fécondité peut ainsi être due à la spécificité d'hôte, à la latitude et à la moyenne des températures hivernales (Pimentel *et al.* 2010).

Une étude a également récemment montré que la taille des colonies intervenait dans les processus de thermorégulation (gain de température plus élevé chez les colonies de grande taille) et dans la protection contre les prédateurs (araignées, fourmis) (Ronnås *et al.* 2010).

I.2.2.4. Prédateurs et parasites de la chenille processionnaire

Les ennemis naturels de la chenille processionnaire du pin sont nombreux et présents à tous les stades du cycle de développement : il peut s'agir de prédateurs, de parasites, ou encore de virus ou bactéries (figure 14 et tableau 2).

La figure 14 présente l'intervention des sept principales espèces d'oiseaux prédateurs sur le cycle de la chenille processionnaire du pin : des « spécialistes » des chenilles processionnaires (le coucou-geai et le coucou commun, la huppe, l'engoulevent), et des espèces plus généralistes comme les mésanges.

Des études ont notamment mis en évidence que la densité des nids de chenilles processionnaires était moins élevée à proximité de nichoirs.

Les relations trophiques interviennent dans l'équilibre du cycle évolutif de la processionnaire du pin et permettent de réguler les populations de chenilles, notamment lors d'éventuelles invasions. Cette interaction fondamentale doit donc être maintenue : c'est pourquoi les espèces intervenant dans le complexe prédateur - parasites doivent être respectées dans la lutte contre *Thaumetopoea pityocampa*. De plus, certains prédateurs tels que la mésange et le coucou peuvent être utilisés dans la lutte naturelle contre la processionnaire du pin.

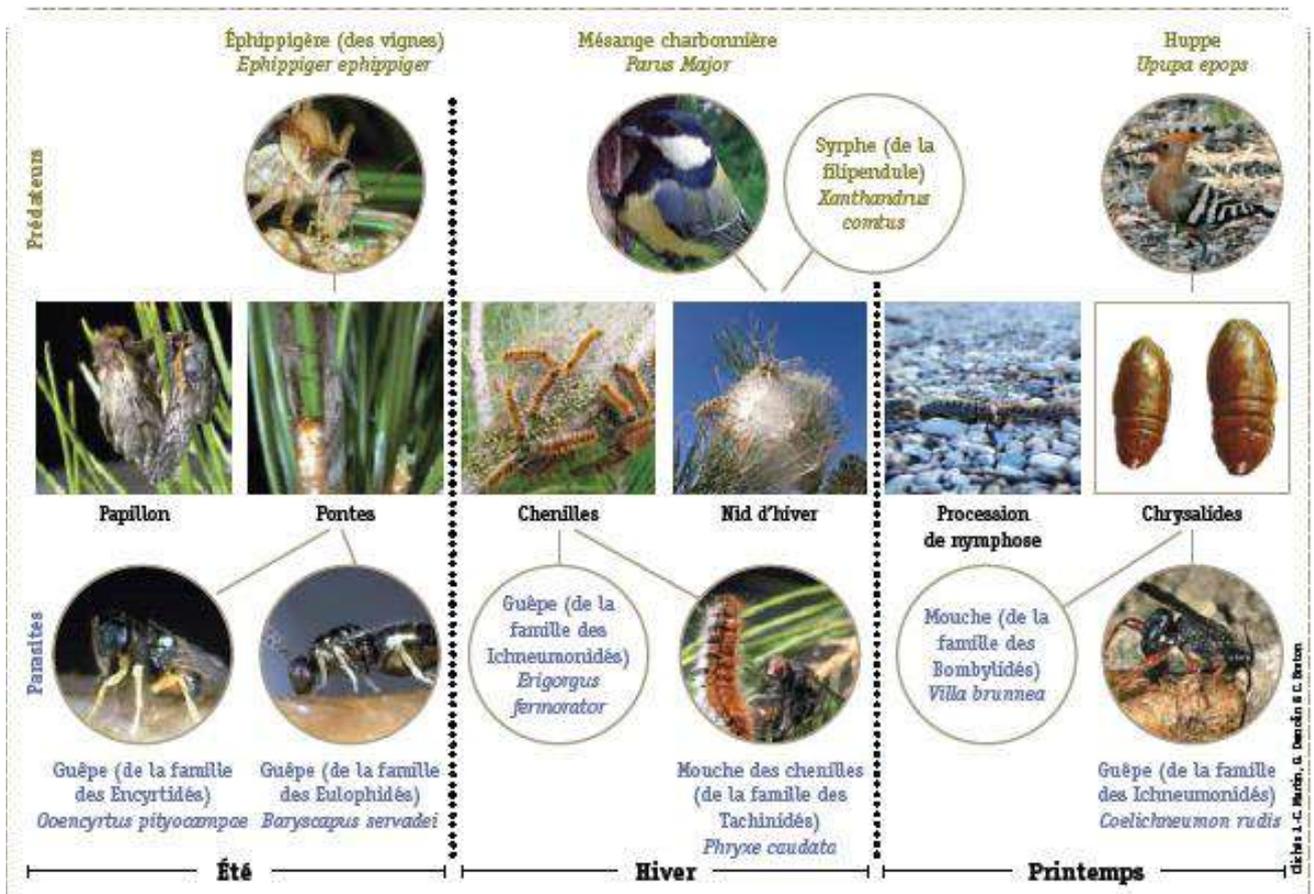


Figure 14 : Complexe prédateurs - parasites de la chenille processionnaire du pin (Bonnet *et al.* 2008)

Tableau 2 : Complexe prédateurs - parasites de la chenille processionnaire du pin
(Bonnet *et al.* 2008) (Modifie).

Liste (non exhaustive) des ennemis de la processionnaire du pin				
Siades	Œufs	Chenilles	Chrvsaudes	Papillons
Pièdateun	Epluppigêre (des vignes) (<i>Ephippiger ephiptgar</i> Fi)	-Syiphe (de la filipendule] (<i>Xanihtindna comnc</i> Han. (2)) -Coucou geai (<i>Clamator</i> <i>glandaiius</i> L. (4)) -Me^auee ehaiboiiuèie (<i>Parus major î-</i> (4))	La Huppe (<i>Lpiipa</i> <i>epops</i> L. (4))	Chauves-souns insectivores (7)
Parasites	-Guêpe (solitaire) de la famille des Encyitidés (<i>Ooencwrus pirvocampac</i> M* <3)> -Guêpe (solitaire) de la famille des Eulophide'- (<i>Banscapus senadei</i> Donn (3)) -Tnchogr animes : chalcidiens de la famille des Tnchogiammaudés (<i>Trlchogramma</i> sp. (3))	-Mouche des chenilles de la famille des Tachiradês (<i>Pbn'xe</i> <i>caudatata</i> Rond. (2)) -Guêpe (solitaire) de la famille des Ichneumomdês (<i>Erigomis</i> <i>fcmorator</i> Aub (3)) -Mouches de la famille des Tachinidês { <i>Compsihira</i> <i>eondnnara</i> Meig. (2) et <i>Clenophorocetn pavidata</i> Meig. (2)} •Mouche de la famille des Exontmês { <i>Exortsta Sffgregaia</i> Rond. (2)} •Guêpes (solitaire) de la famille des Biacouides (<i>Apanteles vesMlts</i> Haiï (3) et <i>Mereonis wnlcolor</i> Wsi. (3)) - Champignon entomopathogene (<i>Beaitvetia bassiana</i> Bals. (5)) -	•Guêpe (solitaire) de la famille des Ichneumomdês (<i>Cotlichneumen ruais</i> Fonsc. (3)) -Guêpe (solitaire) de la tarai lie des Ptéromalides (<i>Çonomoiium ertmira</i> (3)) -Mouche de la famille des Bombvlidês (<i>Villa</i> <i>brunnea</i> Beck. G» -Champignon entomopathogene (<i>Cordlceps mihrarts</i> L. (5))	
Virus		Virus entomopathogene (<i>SmithtaMrus pinocampat</i>)		
Bactérie		Bactérie entomotoxique (<i>Baatius rhuringiensis</i> (6))		

(1)Orthoptère, (2) diptère, (3) hyménoptère, (4) oiseau, (5)champignon, (6)bactérie, (7) mammifère

Chapitre II

Conséquences
environnementales
et dégâts forestier

II. Importance environnementale et dégâts forestiers

Outre les conséquences sanitaires les chenilles processionnaires du pin provoquent également des dégâts forestiers notables et sont considérées comme des nuisibles pour les végétaux depuis un arrêté ministériel du 31 juillet 2000 (Bédry et Gromb, 2009). La chenille processionnaire du pin est en effet l'un des principaux défoliateurs des peuplements résineux de la zone méditerranéenne (Huchon et Demolin, 1970).

Les conséquences environnementales sont à la fois d'ordre esthétique (défoliations, présence de nids d'hiver...) et d'ordre économique (perte de croissance des arbres dans les plantations et forêts de production parcs et jardins publics devenus inhospitaliers notamment en raison des dégâts esthétiques et des risques d'urtication). Dans les forêts la présence des chenilles auraient même provoqué la migration du gibier, fuyant les zones souillées par ces insectes (Scheiner, 2003).

Les conséquences écologiques et sanitaires de la présence de la chenille processionnaire du pin justifient la mise en place d'une lutte environnementale contre ce ravageur forestier. Toutefois, celle-ci n'est actuellement pas harmonisée à l'échelle nationale.

Il existe divers moyens de lutte contre ce nuisible, qui diffère notamment selon le lieu d'infestation (forêt d'exploitation, boisement en zone urbaine ou périurbaine, jardin d'un particulier...), le stade de la chenille visé et les moyens financiers mis à disposition de la commune.

II.1. Conséquences environnementales et dégâts forestiers 01

II.1.1. Conséquences écologiques

Dès l'éclosion à l'automne, les chenilles commencent à se nourrir des aiguilles de l'arbre hôte, puis les défoliations s'intensifient au cours de l'hiver (Turpin, 2006).

Les chenilles s'alimentent dans un premier temps des aiguilles à proximité de la ponte, puis s'éloignent progressivement au cours de leur développement larvaire. Les préjudices écologiques dépendent donc du stade d'évolution des chenilles :

- Les premiers stades (L₁, L₂, L₃) sont peu nuisibles. La présence des chenilles se manifeste par l'existence d'aiguilles roussâtres à proximité des prés nids (figure 15).
- L'activité alimentaire s'intensifie à partir du mois de janvier, en raison de la reprise d'activité métabolique des chenilles. Les dégâts sont alors plus importants (figure 16. 17).
- Les conséquences directes de la défoliation sont l'affaiblissement et la perte de croissance des arbres, par diminution du pouvoir de photosynthèse. Elle épargne cependant la pousse de l'année (la plus importante pour la physiologie de l'arbre) et ne peut pas provoquer seule la mort de l'arbre, même en cas de défoliation totale (figure 17) (Martin, 2005 rousselet, 2008).



Figure 15 : Préjudices esthétiques suite à une infestation par des chenilles processionnaire du pin (Premiers stades larvaires) : aiguilles roussâtres à proximité d'un nid d'hiver (Bellil, 2014)



Figure 16 : Défoliation massive liée au stade L4 de *T. pityocampa* (Bachir, 2014)



Figure 17 : Dégâts occasionnés de la chenille processionnaire sur le Pin d'Alep (photo Fraval ,2007 , martin B)

Les chenilles ont donc une action néfaste sur la production et l'accroissement des arbres, mais pas directement sur la mortalité des pins.

Les arbres deviennent toutefois plus vulnérables aux ravageurs secondaires (insectes xylophages notamment) et aux stress thermiques et hydriques (Martin, 2005).

II.2. Lutte environnementale

La lutte contre la chenille processionnaire du pin a pour principal objectif de maintenir les populations à des niveaux tolérables, afin de protéger la santé humaine et animale ainsi que les peuplements forestiers, mais n'a pas pour finalité son éradication (Leblond *et al.* 2010). Elle n'est pas toujours obligatoire et, si elle est mise en œuvre, doit être adaptée au contexte et pratiquée de manière raisonnée.

Il existe plusieurs techniques de lutte, dont l'utilisation varie selon le cycle biologique de l'insecte, lui-même dépendant de la localisation géographique et des conditions climatiques. Les périodes de traitement, dépendantes du stade de développement de l'insecte, peuvent donc varier selon les communes.

En cas de décision de lutte, des arrêtés préfectoraux permettent alors de définir avec précision les méthodes de lutte à utiliser ainsi que les conditions d'application. Dans la mesure du possible, les moyens de contrôle numérique des populations doivent être respectueux de l'environnement et rentables pour les communes utilisatrices.

II.2.1. Principales techniques de lutte

Il existe actuellement quatre principaux types de mesures de lutte contre ce ravageur : la lutte mécanique, la lutte chimique, la lutte microbiologique et les luttés alternatives, ces dernières étant plus respectueuses de l'environnement. La lutte est d'autant plus efficace qu'elle associe plusieurs techniques (Leblond *et al.* 2010).

II.2.1.1. Lutte mécanique

Cette technique consiste à prélever manuellement les pontes et/ou les nids (voire les pré-nids) à l'aide d'un sécateur ou d'un échenillant (sécateur monté au bout d'un mât), (figure 18) et à les détruire.

Elle permet ainsi de limiter les conséquences sanitaires liées aux processions. La destruction se fait par incinération dans un container, afin d'éviter la dispersion des poils urticants lors de la combustion. Les nids doivent être incinérés dans un brasier très vif, car la masse compacte de soie et de déjections quelque peu humides peut résister à un feu de faible ampleur (Joly, 1952). Les pontes et nids collectés peuvent également être déposés à terre à distance des peuplements, afin que les parasites naturels des chenilles se développent et tuent les chenilles. Les éventuelles chenilles survivantes, éloignées des arbres hôtes, ne pourront pas se nourrir et mourront.

Cette technique peut être utilisée à différentes périodes, selon le type de collecte de la fin de l'été au début de l'automne pour les pontes (période de 30 à 40 jours entre la ponte et l'éclosion des œufs) ou de la fin d'automne jusqu'en février pour les nids (Turpin, 2006 Martin, 2005).

Elle ne convient toutefois qu'à de petites surfaces seulement, dans des parcs, des lieux publics ou des jardins par exemple, le plus souvent sur des arbres isolés. Un équipement de protection spécifique est nécessaire pour le retrait des nids d'hiver (gants, masque, lunettes, combinaison longue), même si ceux-ci sont vides, car ils contiennent encore des poils urticants (tableau 03)

Tableau 03 : Avantages et inconvénients de la lutte mécanique par collecte des pontes, pré-nids ou Nids

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - écologique - facile à mettre en place si les arbres sont de faible hauteur (moins de 3 mètres de hauteur) - applicable dans les zones urbaines -peu coûteux 	<ul style="list-style-type: none"> -équipement spécifique de protection nécessaire pour la collecte et l'incinération (masque, lunettes, gants, combinaison longue) -risque élevé de réaction urticante lors de la manipulation des nids - limité à une petite surface et dépendant de la topographie du boisement à traiter -nécessite de la main d'œuvre qualifiée (en particulier pour la collecte des pontes, pouvant être difficiles à localiser) -collecte des pontes possibles sur une courte période seulement - matériel spécifique d'élagage et nacelle nécessaires pour des hauteurs élevées, ce qui peut engendrer des coûts supplémentaires. - résultats aléatoires (efficacité limitée, notamment pour la collecte des pontes) - lors de l'incinération, la destruction des chenilles provoque la destruction concomitante de leurs parasites naturels - action curative et non préventive, qui doit être renouvelée chaque <p>Année</p>



Figure 18 : Matériel nécessaire à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, échenillage à la perche au milieu, échenillage en nacelle à droite (K3D Lyon Chenilles)

D'autres techniques, plus anecdotiques, ont également été rapportées. On peut ainsi citer l'utilisation d'armes à feu, qui permettent un gain de temps considérable par rapport à la lutte par collecte des nids.

Le tir au fusil dans les nids (au petit plomb) permet de tuer un nombre important de chenilles sans disloquer entièrement le nid, mais a l'inconvénient de disperser les poils urticants. Le tir au ball-trap afin de casser la branche au ras du nid permet de réduire la dissémination des poils et de récupérer le nid afin de le détruire (Martin, 2005 ; Turpin, 2006).

La mise en place d'une ceinture de glue autour des troncs a également été expérimentée (Hubault, 1949), afin d'empêcher les chenilles de descendre au sol lors de la procession. Toutefois, cette méthode s'est révélée en partie inefficace, car les chenilles piégées par la glue servent de « pont » pour les autres chenilles, qui arrivent ainsi à déjouer ce piège. De plus le poids des chenilles engluées provoque à terme le décollement de la glue de l'arbre, qui tombe alors au sol avec les chenilles (Turpin, 2006).

II.2.1.2. Lutte chimique

Cette technique de lutte, très utilisée jusqu'au début des années 1990 (70% des surfaces traitées en 1992/1993, Martin, 2005), est de moins en moins employée. En effet les produits utilisés sont soumis à une réglementation stricte¹⁰ et doivent être homologués les molécules actuellement autorisées sont le Diflubenzuron (famille des benzoyl-urées, analogue hormonal agréé pour les forêts de conifères, arbres et arbustes d'ornement) et la Bifenthrine (famille des pyréthrinoïdes, agréée pour les arbres et arbustes d'ornement), la Deltaméthrine (famille des pyréthrinoïdes) étant interdite depuis le 30 avril 2009.

Ces substances sont vaporisées sur les arbres par voie aérienne ou terrestre en période hivernale (de novembre à mars), se fixent sur les feuilles et sont ingérées par les larves.

Ovicides de contact et larvicides d'ingestion, elles entraînent un blocage de la mue en perturbant la formation de chitine dans la cuticule lors de cette phase du développement.

Ainsi, les chenilles des stades L₁ à L₄ peuvent être touchées, et meurent la mue suivant l'ingestion. Les adultes, quant à eux, ne meurent pas, mais pondent des œufs qui n'éclosent pas (Martin, 2005).

L'un des principaux inconvénients de cette méthode est la longue rémanence des substances actives (près d'un an), et leur non-sélectivité (tableau 4), bien que le Diflubenzuron ne soit pas toxique pour les oiseaux, le gibier, et n'ait qu'une action négligeable sur les insectes entomophages parasites des nuisibles, les crustacés et les poissons. La Bifenthrine, quant à elle est toxique pour les poissons et l'Homme en cas d'ingestion, c'est pourquoi elle ne peut pas être pulvérisée par épandage aérien.

Des essais comparatifs d'efficacité à trois doses différentes de Dimilin® (Diflubenzuron; 600 grammes, 300 grammes, 150 grammes) ont été menés dans les années 1980 en France. Cette étude a mis en évidence l'efficacité de ce produit à la dose la plus faible testée, ce qui permet de préserver d'autres insectes moins sensibles que la chenille processionnaire. L'effet retard de ce produit a également été souligné lors de cette investigation (Demolin et Millet, 1983).

En Algérie les produits utilisés contre la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pitycampae*) sont le dipel 08 (INPV, 2005).

Tableau 4 : Avantages et inconvénients de la lutte chimique à base d'insecticide
(D'après Martin, 2005 ; Leblond *et al.* 2010)

Avantages	Inconvénients
<p>-traitement possible sur de grandes surfaces si mode de pulvérisation aérien -efficace sur tous les stades larvaires : longue période d'utilisation possible -bonne efficacité, même à faible dose</p>	<p>-non spécifique des larves de chenilles processionnaires</p> <p>-molécule de longue persistance (plus d'un an) – risques sanitaires (substances toxiques)</p> <p>-risques environnementaux (substances écotoxiques) -équipement spécifique pour l'épandage manuel terrestre (pulvérisateur, atomiseur dorsal), lourd, peu précis, et comportant un risque pour le manipulateur. Equipement de protection nécessaire, pour éviter tout contact avec la substance active (masque, vêtements protecteurs, gants, lunettes de protection).</p> <p>-coût du mode de pulvérisation aérien à basse pression (3 bars maximum) : ULM. avion ou hélicoptère équipé d'un système d'épandage et GPS</p> <p>-contrainte réglementaire pour la pulvérisation aérienne : nécessité d'obtenir une autorisation de survol (distance minimale de 50 mètres de tout point sensible tel que les habitations, les cours d'eau...). contraintes climatiques (pas de vent ni de pluie lessivante dans les 3 jours suivant l'application, sous peine de devoir renouveler l'application) -traitement peu précis -action curative et non préventive</p>

Des études ont été conduites afin d'évaluer la toxicité de ces produits sur les animaux et les Hommes.

Ainsi, le Diflubenzuron provoque une irritation oculaire et cutanée chez le lapin et l'Homme et des effets hématologiques ont été décrits chez le rat lors d'une étude d'inhalation. Chez l'Homme.

Les données toxicologiques n'existent que pour l'ingestion, bien qu'une inhalation chronique dégrade les capacités pulmonaires. La Bifenthrine, classée par la Commission des Toxiques comme toxique, dangereuse pour l'environnement, nocive par inhalation, toxique en cas d'ingestion, pouvant entraîner une sensibilisation par contact avec la peau et pouvant avoir des effets cancérigènes, a été interdite pour l'épandage aérien (Grojean *et al.* 2006).

II.2.1.3. Lutte microbiologique

II.2.1.3.1. Lutte microbiologique bactériologique

Le traitement microbiologique est réalisé à l'aide d'un insecticide, le *Bacillus thuringiensis*, ayant une bonne efficacité, un faible coût et surtout aucune conséquence sanitaire sur la santé humaine (tableau 5). C'est actuellement le biopesticide le plus utilisé au monde (il représente environ 90% du marché mondial des biopesticides, Martin, 2005). Il existe plusieurs sérotypes, chacun étant spécifique d'un groupe d'insectes. En ce qui concerne la chenille processionnaire du pin, ce sont les sérotypes 3 (*Bacillus thuringiensis* Kurstaki 3a et 3b, noté BtK) qui sont efficaces.

Cette bactérie aérobie gram positive ubiquiste, qui existe à l'état naturel dans le sol, la nourriture et l'air, agit par ingestion elle doit être pulvérisée sur les arbres à protéger et persiste sur le feuillage pendant une semaine, ce qui permet l'intoxication progressive des chenilles lors de leur phase alimentaire jusqu'à ingestion de la dose létale. Elle possède cinq endotoxines, qui sont libérées lors de la lyse de la bactérie et se fixent sur des récepteurs spécifiques de la paroi intestinale de la chenille, induisant une perforation membranaire et une lyse des cellules intestinales. La chenille cesse alors de s'alimenter, et meurt d'inanition et de septicémie quelques jours plus tard (en moyenne 2 à 5 jours, jusqu'à une dizaine de jours selon le stade larvaire, Martin, 2005). La septicémie est en partie provoquée par la germination des spores de la bactérie, favorisée par le pH alcalin de l'intestin des larves.

- **Efficacité**

Quantité et ou la concentration de produit nécessaire augmente avec le développement larvaire de l'insecte. Ainsi, la période idéale de traitement est l'automne (septembre-octobre), lors des stades L₁, L₂ et L₃ l'efficacité étant plus aléatoire pour les stades L₄ et L₅. Pour être pleinement efficace, la pulvérisation de *Bacillus thuringiensis* doit être de grande ampleur et renouvelée tous les ans selon les niveaux de populations de processionnaires du pin (Turpin, 2006).

Une baisse d'efficacité peut être observée si les conditions climatiques sont défavorables à la prise alimentaire des chenilles (température, insolation...), ou à la persistance du BtK sur les feuilles (lessivage par la pluie et le vent, température trop élevée associée à une humidité relative basse, rayonnements ultra-violets...) (Martin, 2005).

Certains insectes peuvent toutefois développer une résistance aux endotoxines de *Bacillus thuringiensis*, tant en laboratoire que sur le terrain (Tabashnik *et al.* 1990, résistance du Lépidoptère *Plutella xylostella*

au *Bacillus thuringiensis* Berliner). Toutefois, aucune résistance n'est actuellement connue chez la processionnaire du pin.

- **Innocuité, absence de toxicité**

Ce produit est spécifique et n'est pas toxique pour les hommes et les animaux. En effet, aucun effet néfaste n'a été observé chez les abeilles, les poissons, les oiseaux et mammifères (Joung et Coté, 2000). Une expérience conduite chez des volontaires humains a également montré que l'ingestion et l'inhalation de fortes doses de *Bacillus thuringiensis* (plus élevées que les doses habituelles de traitement) n'était pas toxique. De plus, l'intoxication par ingestion est peu probable, car l'activation des toxines se réalise à pH alcalin, alors que les mammifères ont un pH stomacal acide. Un cas d'ulcère cornéen suite à un contact avec une préparation commerciale à base de BtK a été rapporté chez l'homme, seul cas connu de trouble oculaire suite à l'utilisation de ce produit, et non avéré (aucune bactérie viable sporulée identifiée dans le frottis oculaire). De nombreuses études ont été conduites afin d'évaluer l'efficacité de diverses préparations commerciales de *Bacillus thuringiensis* sur les populations de chenilles processionnaires du pin en France (Demolin et Millet, 1981 ; Martin *et al.* 2003) en Turquie (Cebeci *et al.* 2011), liste non exhaustive. Les préparations à base de Btk sont utilisées depuis une quarantaine d'années et sont acceptées pour les traitements de terrains par les organisations internationales (WHO, 1999).

L'hélicoptère est le mode de pulvérisation le plus utilisé en France (figure 19) car les parcelles sont de petites tailles et souvent accidentées. La pulvérisation se fait à Ultra Bas Volume (UBV), c'est-à-dire à des volumes de produits inférieurs à 5L par hectare (Martin, 2005). Toutefois ce produit est également employé pour une lutte périurbaine (figure 19.20).

En effet, son innocuité pour la santé humaine et animale et sa faible persistance environnementale favorisent son utilisation à grande échelle.



Figure 19 : Traitement microbiologique par hélicoptère (Martin, 2005, photo Démolin G. en haut),



Figure 20 : Pulvérisateur en milieu périurbain (Martin et Bonnet, 2008, en bas)

Tableau 5: Avantages et inconvénients de la lutte microbiologique à base de *Bacillus thuringiensis* Kurstaki (d'après Martin, 2005 ; Leblond *et al.* 2010)

Avantages	Inconvénients
-spécifique des larves de Lépidoptère -faible persistance dans l'environnement (6 à 8 jours) -non toxique pour la santé humaine et animale -préserve la faune utile (notamment les abeilles) -applicable à grande échelle	-risque environnemental : substance toxique pour les larves des autres Lépidoptères (dont les auxiliaires) -nécessite des conditions climatiques adéquates lors de l'application (temps sec et feuillage sec, absence de vent et de pluie lessivante dans les trois jours suivant la pulvérisation), sous peine de devoir renouveler le traitement -efficacité moindre sur les stades L ₄ et L ₅ -traitements à basse pression (3 bar maximum) -coût du mode de pulvérisation aérien et du matériel au sol -action curative et non préventive

II.2.1.3.2. Lutte microbiologique virale

A la suite de l'isolement d'un virus responsable de la mortalité de chenilles processionnaires du pin, des études ont été conduites dans les années 1950 afin d'évaluer l'utilisation potentielle de ce virus cytoplasmique, le *Smithiavirus pityocampa*, comme moyen de lutte contre *T. pityocampa* (Grisson *et*

*al.*1959). Il induit l'hypertrophie des cellules de l'épithélium de l'intestin moyen et leur destruction, ce qui conduit à la mort de la chenille infestée généralement au cours d'une mue. Certains ont alors observé les chenilles mourantes accrochées par leurs « fausses-pattes » à l'extérieur du nid (figure 21).



Figure 21 : Chenilles mortes après traitement au BtK. La disposition particulière des chenilles est également observée lors d'un traitement biologique viral (Martin, 2005)

En tant que premier agent de contrôle des chenilles processionnaires produit en masse et utilisé sur le terrain en 1959, la poudre épandable mise au point à partir de ce virus a prouvé son efficacité (4% de chenilles survivantes non virosées dans les zones traitées, contre 90% dans les zones témoins). Outre la diminution des niveaux de populations et des dégâts forestiers, une rémanence sur la génération suivante a été observée (feuillage encore infectieux et pontes contaminées par voie verticale).

Toutefois la production du virus en masse nécessitant une multiplication sur des organismes vivants et impliquant un élevage important de chenilles processionnaires, cette méthode n'a pas été retenue comme moyen de lutte à long terme (Grison *et al.* 1959 ; Vago, 1964) (tableau 6).

Un autre virus à corps d'inclusion polyédrique cytoplasmique a été récemment isolé en Turquie de larves de *Thaumetopoea pityocampa*, le « *Thaumetopoea pityocampa* cytoplasmic polyhedrosis virus » (TpCPV, genre Cypovirus, famille des Reoviridae). Les effets de ce virus sur les populations de chenilles ont été étudiés (Ince *et al.* 2007) il provoque une infection des cellules de l'intestin moyen, une diminution de la prise alimentaire et de la mobilité des chenilles, ainsi qu'une augmentation de la durée de développement larvaire. Ce virus est létal pour les chenilles, la mortalité apparaissant dès le cinquième jour post-infection et étant proportionnelle à la dose de virus. A la fin du 15ème jour, les pourcentages de mortalité aux fortes et faibles doses de virus étaient respectivement de 90 et 50%. Ainsi, les conséquences physiologiques du virus conduisent à une

diminution des défoliations les jours suivant le traitement, puis à la mort rapide des chenilles, même avec de faibles doses. Ce nouveau virus peut donc être considéré comme un agent potentiel de lutte biologique contre la chenille processionnaire du pin. Le problème de production de masse se pose toutefois toujours.

Tableau 6: Avantages et inconvénients de la lutte virologique

Avantages	Inconvénients
-écologique -non toxique pour la santé humaine	-non spécifique des larves de chenille processionnaires du pin-production de niasse difficile à réaliser, car nécessitant des élevages massifs de chenilles processionnaire- coût élevé(élevage des hôtes coûts d'extraction et de purification) -action curative et non préventive

II.2.1.4. Lutte alternative

Le développement de méthodes de lutte alternative s'intensifie depuis une vingtaine d'années, afin de favoriser la mise au point de mesures de lutte écologiques, respectueuses de l'environnement et de la sécurité sanitaire animale et humaine. En effet les effets des pesticides sur la santé humaine et l'environnement sont très préoccupants et le plan Ecophyto 2018, établi par le Ministère en charge de l'Agriculture à la suite du Grenelle de l'environnement, envisage une réduction de 50% de l'utilisation des pesticides en agriculture d'ici 2018. Une diminution de l'utilisation des produits sanitaires est également prévue dans les Zones Non Agricoles (ZNA), telles que les parcs et jardins urbains.

De plus l'utilisation de traitements chimiques et microbiologiques est soumise à réglementation (autorisation de survol pour pulvérisation aérienne par exemple), ce qui peut parfois être contraignant.

Le plan Ecophyto 2018 doit notamment contribuer à encourager le développement d'études et d'expérimentations pour favoriser la mise en oeuvre de techniques de lutte alternative (Leblond *et al.*, 2010).

II.2.1.4.1. Lutte physiologique par utilisation de phéromones Sexuelles de synthèse

Au cours de la période de reproduction les femelles attirent les mâles en émettant une phéromone sexuelle appelée la ptyolure. La création d'une phéromone de synthèse (dans les années 1980), très proche de la phéromone naturelle, a permis la mise en place de mesures de lutte spécifiques de la chenille processionnaire du pin, en piégeant les mâles par attraction spécifique (« mass-trapping ») ou en les désorientant par pulvérisation d'importantes doses de phéromones dans l'environnement (confusion sexuelle) (Martin *et al.*, 2009). La lutte physiologique par phéromone cible la chenille processionnaire du

pin à l'âge adulte, et diffère en cela radicalement des techniques de lutte chimique et microbiologique qui visent à détruire les formes larvaires stade le plus destructeur. Les phéromones utilisées sont spécifiques d'espèce et donc extrêmement sélectives.

- Le piégeage de masse des papillons mâles ou « mass-trapping ».

Le piégeage de masse consiste à capturer des papillons adultes mâles à l'aide de pièges émettant des phéromones sexuelles de synthèse spécifiques d'espèce. Le mâle est attiré par cette molécule, qui correspond à l'odeur du papillon femelle vole plusieurs heures autour du piège puis tombe dans un récipient adapté lorsqu'il est épuisé (entonnoir, plaque de glu...). L'activité de la phéromone persiste pendant 11 semaines (Jactel *et al.*, 2006), ce qui permet de couvrir toute la période de vol des adultes.

Cette technique conduit à une diminution du nombre d'accouplements et de pontes, et contribue donc à la régulation des populations de chenilles processionnaires en les maintenant à un faible niveau (le but de cette technique n'est pas l'éradication complète). De plus cette méthode permet également la détection précoce de ce ravageur dans des zones non encore colonisées, par la pose de pièges dans des communes proches de la zone de front (Leblond, 2009).

Il existe de nombreux types de pièges à phéromones actuellement sur le marché (figure 22).

- piège sans ailette avec récipient collecteur (première photo en haut).
- piège à ailette avec récipient collecteur (deuxième photo en haut et deuxième photo en bas).
- piège avec sachet collecteur (troisième photo en haut).
- piège delta à glu (première photo en bas).



Figure 22 : Une grande diversité de pièges à phéromones (Martin et Bonnet, 2008)

Tableau 7 : Avantages et inconvénient du piégeage de masse des papillons mâles (d'après Martin, 2005 ; Leblond *et al.* 2010)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -écologique et spécifique d'espèce -facile d'utilisation -peu coûteux, piège réutilisable (sauf la phéroïnone ou seulement si stockage au congélateur à -18°C) -l'activité de la phéromone couvre toute la période de vol des adultes -utilisable pour réguler le niveau des populations de chenilles, mais aussi pour leur surveillance (prévision et évaluation du niveau de population). -détection précoce en zone non infestée -action préventive 	<ul style="list-style-type: none"> -efficacité variable selon les pièges et les diffuseurs, les doses de phéromone. l'entretien, la localisation et la densité des pièges -pièges à glu: nécessite de changer régulièrement les plaques de glu (tous les deux jours environ) -nécessite de mettre en place de nombreux pièges dans une même zone : 6 à 9 pièges par hectare environ=> main d'œuvre et coût -difficile à mettre en place sur des puis isolés ou des arbres. d'alignement, difficulté de réaliser des ceintures autour du pin.

Les pièges à phéromone semblent donc être des outils appropriés pour maîtriser les niveaux de population de la chenille processionnaire du pin, que ce soit dans des zones endémiques ou en cours de colonisation. Toutefois ces pièges semblent moins efficaces dans des zones fortement infestées, en raison d'une compétition entre la phéromone dispersée par les pièges et le nombre important de femelles qui émettent naturellement cette phéromone.

- **La confusion « sexuelle »**

La technique de confusion des mâles consiste à diffuser dans l'environnement une grande quantité de phéromone femelle artificielle pendant la période de vol des adultes, ce qui désoriente les mâles qui ont alors des difficultés à localiser une femelle appelante (voir paragraphe 1.2.1.1.1). Le taux d'accouplement est donc diminué, et, même si celui-ci a lieu, sa réalisation plus tardive peut contribuer à diminuer la fécondité de la femelle et donc les effectifs de la génération suivante (Martin, 2005) (tableau 8).

Tableau 8 : Avantages et inconvénients de la lutte par confusion sexuelle des mâles (d'après Martin, 2005 ; Martin et Frérot, 2005 ; Leblond *et al.*, 2010)

Avantages	Inconvénients
-écologique et spécifique d'espèce -non toxique pour la santé animale et humaine -action préventive	-bonne efficacité seulement si les phéromones sont répandues sur une grande surface (au moins 10 acres) -les niveaux de populations de l'insecte doivent être faibles ou moyens (si les niveaux sont élevés, les mâles n'auront aucun mal à rencontrer une femelle, même s'il y a confusion) -résultats de certaines études en 2005 et 2006 décevants (Martin <i>et al.</i> , 2009)

Toutefois, suite à d'autres études conduites en 2005 et 2006 ayant eu des résultats insatisfaisants, liés notamment à des problèmes techniques de diffusion de la phéromone et au manque d'appui des firmes phytosanitaires, cette méthode a provisoirement été abandonnée (Martin *et al.* 2009).

II.2.1.4.2. Lutte biologique par conservation des prédateurs et parasites

L'utilisation des parasites et prédateurs naturels de la chenille processionnaire du pin peut être envisagée comme un nouveau moyen de lutte intégrée, très respectueux de l'environnement et de la biodiversité. Les auxiliaires de *T. pityocampa* sont nombreux (tableau 2, paragraphe 1.3.2.4 : insectes, champignons, virus, bactéries, oiseaux, chauvesouris...) et peuvent agir à tous les stades de développement de l'insecte (œufs, chenilles, chrysalides ou papillons). Par leur régulation naturelle des populations de chenilles, ils sont indispensables à l'équilibre biologique, ce qui explique en partie l'abandon progressif des traitements chimiques qui détruisent ce cortège d'ennemis naturels (Martin et Pesme-Glemin, 2010).

De nombreuses études ont déjà été menées, comme en Italie avec la fourmi *Formica rufa* (nids de fourmis transplantés dans des zones infestées par la chenille), ou avec un hyménoptère parasite des œufs (*Ooencyrtus pityocampae*) : l'élevage et la libération de ce parasite dans les pinèdes a conduit à une augmentation du taux de parasitisme des œufs de processionnaires les deux années suivant le traitement (Turpin, 2006).

Le présent rapport développe seulement quelques études récentes : la prédation par les mésanges, la prédation par le coléoptère *Calosoma sycophanta* et l'utilisation des parasites oophages.

- Favoriser la prédation par les mésanges

Les mésanges sont des prédateurs naturels très répandus des chenilles processionnaires du pin : une mésange peut manger jusqu'à 40 chenilles par jour et peut faire jusqu'à 900 becquées par jour pour nourrir sa couvée (Martin et Bonnet, 2008). L'installation de nichoirs artificiels dans des zones infestées par les chenilles favorise la nidification des mésanges, et donc, via leur prédation, permet de réguler les populations de chenilles. Les nichoirs doivent être installés en début d'automne, avant la période de nidification.

Les mésanges peuvent perforer la soie des nids d'hiver et ainsi atteindre les chenilles logées à l'intérieur, laissant un orifice de quelques centimètres dans le nid (Martin et Pesme-Glemin, 2010), (figure 23). Ces prédateurs ciblent principalement les chenilles de stade L4 et L5.

Ces oiseaux insectivores présentent une grande diversité dans leurs ressources alimentaires et dans les sites potentiels de nidification. Leur installation à long terme sur un site peut cependant être compromise par un manque de cavités naturelles ou de sites de nidification. L'installation de nichoirs artificiels permettrait ainsi de pallier ce problème, à la fois en forêt mais également en milieu urbain (Martin *et al.*, 2009). La densité préconisée est Les mésanges peuvent perforer la soie des nids d'hiver et ainsi atteindre les chenilles logées à l'intérieur, laissant un orifice de quelques centimètres dans le nid (Martin et Pesme-Glemin, 2010), (figure 23). Ces prédateurs ciblent principalement les chenilles de stade L4 et L5. 93 de 8 nichoirs par hectare (certains auteurs préconisaient 16 nichoirs par hectare, mais d'autres études ont prouvé que l'installation de plus de 4 nichoirs par hectare conduisait à une compétition entre les individus) (Martin *et al.* 2009). Des études sont actuellement en cours pour prouver l'efficacité de cette méthode de lutte.

Le coléoptère Calosome sycophante, *Calosoma sycophanta*, est l'un des plus importants prédateurs des larves de *Thaumetopoea pityocampa*, et peut donc être envisagé comme acteur potentiel dans la lutte contre ce nuisible (Kanat et Mol, 2008). Les adultes et les larves de ce prédateur sont capables de se nourrir des chenilles : un adulte peut ainsi consommer près de 210 à 280 larves par an, soit 840 à 1120 au cours de sa vie (durée de vie de 3 à 4 ans). Les cycles biologiques de la chenille processionnaire du pin et de *C. sycophanta* sont relativement synchrones, bien qu'un peu décalés (Kanat et Ozbolat, 2006).

Favoriser le cortège de parasites oophages de la chenille (Morel, 2008). Les parasites oophages de la chenille processionnaire du pin sont des Hyménoptères Chalcidiens, qui pondent leurs oeufs dans les œufs de la processionnaire, et dont les larves se développent au dépend de celles de *T. pityocampa*.



Figure 23 : Prédation par les mésanges (Martin et Pesme-Glemin, 2010)

II.2.1.5. Bilan sur les méthodes de lutte

La chenille processionnaire du pin, en tant que ravageur forestier majeur des peuplements résineux, nécessite actuellement l'utilisation de plus d'un million et demi de litres de pesticides en France chaque année, afin de réduire les conséquences environnementales et sanitaires qu'elle provoque. Toutefois, l'utilisation des insecticides chimiques devient de plus en plus marginale en forêt, même si ils sont encore employés en ville malgré les risques (Martin *et al.* 2009).

En effet, la forte demande sociétale de réduction de l'utilisation des pesticides et l'expérimentation de techniques de lutte plus écologiques ont conduit au développement de la lutte alternative, permettant de réduire les risques sanitaires et environnementaux. Bien qu'actuellement encore anecdotiques, les méthodes de lutte alternative doivent être envisagées en association avec les autres traitements plus classiques, afin d'augmenter l'efficacité opérationnelle de ces nouvelles techniques (figure 24). Ainsi, un traitement microbiologique peut réduire fortement le niveau de populations lors de forte pullulation, et les méthodes de luttés alternatives pourront être envisagées les années suivantes pour maintenir les populations à un faible niveau (Leblond *et al.* 2010).



Figure 24 : Le contrôle des populations de processionnaires du pin nécessite l'association de plusieurs techniques de luttés (Martin et Bonnet, 2008)

II.2.2. Mise en place des mesures de lutte

II.2.2.1. Les difficultés de la mise en place de la lutte

Les méthodes de lutte sont variées et doivent être adaptées au contexte : phase de développement de *T. pityocampa* ciblée (adulte, oeufs, stades larvaires), configuration du milieu (hauteur des arbres, forêt, jardin privé, parc public...), localisation géographique (variation des dates de déclenchement et de la durée des stades larvaires selon l'altitude et la latitude (figure 13, paragraphe 1.3.2.3) (Leblond, 2009).

De plus, même si une lutte est à mettre en place dans des milieux fortement infestés (perte de production des arbres, mort éventuelle de jeunes peuplements, dégâts esthétiques) ou fréquentés par le public (parc, école, ville, forêt : risque d'urtication), elle n'est pas toujours nécessaire (notamment, par exemple, lors des phases naturelles de rétrogradation, où les populations régressent de façon spontanée) et doit être raisonnée. Le choix des méthodes de lutte dépend donc en grande partie des structures paysagères à traiter, pour lesquelles les seuils de tolérance et de décision de lutte peuvent varier, ainsi que

Les stratégies de lutte optimales. Des considérations d'ordre pratique (main d'œuvre, équipements disponibles) et économique sont également à prendre en compte (tableau 9).

Tableau 09 : seuils et stratégies de lutte envisageables selon le type de peuplement (d'après Martin *et al.* 2009)

Type de peuplement	Seuil de tolérance	Stratégies de lutte possibles
Forêt de production non fréquentée par le public	Elevé, décision de lutte lors de très forte pullulation. ou pour limiter les pertes de production et les dégâts esthétiques	-Le piégeage de masse peut être utilisé pour maintenir le niveau de raisonnable -Un traitement microbiologique peut éventuellement être envisagé
Forêts fragilisées (stress hydriques répétitifs lors de sécheresse, jeunes peuplements sensibles aux défoliations) ou Forêts fréquentées par l'Homme pour des activités professionnelles ou de loisirs	Bas. mais la présence de quelques nids est toutefois tolérée	-faible infestation : piégeage de masse -forte infestation (phase de pullulation) : épandage aérien à base de <i>Bacillus thuringiensis</i> Kurstaki
Parcs et jardins public ; de forte fréquentation, zones fréquentées par des enfants (écoles, jardins d'enfants...)	Nul : zéro nid arbre => Lutte indispensable	Combinaison de plusieurs stratégies de lutte : piégeage des adultes mâles en été et piégeage des chenilles en hiver (éventuellement pose de nichoirs) -sur des arbres isolés : prélèvement ou par camion nacelle, piégeage des chenilles par l'écopiège. -sur des surfaces importantes : épandage aérien à base de Btk (non toxique pour les Hommes)
Particuliers (arbres isolés, jardins)	Bas à nul selon la fréquentation (présence d'enfants, d'animaux domestique...)	Plusieurs techniques possibles : - échenillage manuel (mais nécessite parfois de faire appel à une entreprise agréé selon la hauteur des arbres) -piégeage des chenilles en hiver -piégeage des adultes en été

II.3. Importance sanitaire : Etude clinique chez l'Homme et les animaux

Le contact des chenilles avec l'homme ou les animaux peut se faire par :

- Contact direct avec les chenilles ou les nids,
- Contact indirect via des vecteurs, tels que des vêtements ou des branches portant des poils urticants encore actifs, ou, pour les Hommes, avec des animaux de compagnie ou de rente ayant des poils sur leur corps,
- Contact avec des poils urticants transportés par voie aérienne. Les poils peuvent en effet conserver leurs propriétés urticantes pendant plusieurs mois, une fois détachés du corps de la chenille, voire un à deux ans si les nids sont à l'abri de l'humidité. Ainsi, toute manipulation de nid, même vide, est à risque et le contact direct avec les chenilles n'est pas obligatoire pour induire des envenimations chez les Hommes ou les animaux. La gravité des symptômes sera toutefois atténuée car les poils, en partie desséchés, contiennent une quantité moindre de substance urticante. Quatre principales voies d'exposition sont classiquement décrites : le contact cutané, le contact oculaire, l'inhalation et l'ingestion. L'importance relative de ces voies de contamination varie selon que l'on considère les envenimations humaines ou animales.

II.3.1. Etude clinique chez l'Homme

Les envenimations de l'homme par la chenille processionnaire du pin ont majoritairement lieu en forêt (Martin, 2005 d'après Ducombs *et al.* 1979) : 70% des cas d'envenimation étaient d'origine forestière, d'après une étude menée sur la façade atlantique en France). D'après une investigation récente menée dans le nord-ouest de l'Espagne (Vega *et al.* 2011), la prévalence des réactions cutanées suite à une envenimation par les chenilles processionnaires est significativement plus élevée dans les zones rurales (12% des cas), par rapport aux zones péri-urbaines (9,6% des cas) et urbaines (4,4% des cas).

Les professionnels des forêts sont en effet particulièrement exposés, notamment lorsqu'ils pratiquent l'échenillage sans protection adaptée : d'après (Vega *et al.* 2004), les professions les plus à risques seraient les résineurs, les collecteurs de pommes de pins, les échenilleurs et les fermiers.

Selon l'étude récente de (Vega *et al.* 2011), les travailleurs exposés développeraient cinq fois plus de réactions cutanées que le reste de la population, et les collecteurs de pommes de pins jusqu'à huit fois plus.

Des cas chez les gardes forestiers et les entomologistes sont également décrits. Les promeneurs peuvent également être atteints par les poils en suspension dans l'air ou restés dans les nids après les mues. Les individus de sexe masculin seraient les plus touchés, en raison de leur activité professionnelle (90% des individus exposés professionnellement étaient des hommes dans l'étude de Vega *et al.*, 2011) et du comportement exploratoire des jeunes garçons en forêt (61% des individus atteints étaient de sexe masculin d'après l'étude de Ducombs *et al.*, 1979 ; Turpin, 2006). Des atteintes peuvent également avoir

lieu dans des jardins privés ou publics, ces derniers étant, notamment depuis quelques années, fréquemment ornés de pins. Les cas par envenimation directe sont alors plus fréquents chez les enfants, qui jouent avec des nids ou même des chenilles. Toutefois, la possibilité de contact indirect avec des poils transportés par le vent n'exclue aucune catégorie d'âge.

La possible dissémination aérienne et la persistance du caractère urticant des poils sont à l'origine de deux types de difficultés épidémiologiques :

- D'une part, elles rendent la source de la contamination parfois difficile à établir : les poils peuvent ainsi rester sur des supports inanimés, tels que des sièges de voitures ou des vêtements (ils se nichent en effet dans les mailles des pull-overs et peuvent même résister au lavage, Charmot, 1987)
- D'autre part, des contaminations en dehors des périodes à risque (période de procession, à savoir de mars à mai pour la chenille processionnaire du pin) ne sont pas à exclure, en raison de l'éventuelle présence des poils dans l'atmosphère. Ainsi, des cas d'envenimation peuvent survenir en été, par exemple avec des nids vides infestés de poils, lorsque l'exposition est importante (pique-nique, promenades...) ou lors de vent fort. De plus, les problèmes sanitaires peuvent apparaître dès le troisième stade larvaire, c'est-à-dire à partir du mois d'octobre pour *T. pityocampa*. La méconnaissance des envenimations par les chenilles peut être reflétée par certaines anecdotes certains enfants ont été vus jouant à des batailles de nids de chenilles (Charmot, 1987), et des adultes utilisent même ces nids comme décoration de Noël sur les sapins (Rolla *et al.* 2003). Il a été rapporté qu'une femme de 50 ans, pour parer à des cils peu fournis, s'appliquait des poils de chenilles en guise de faux-cils... Le caractère nuisible de cet insecte est toutefois connu depuis plusieurs siècles.

II.3.2. Tableau clinique chez l'Homme

Les atteintes sont principalement cutanées, oculaires et respiratoires, selon le mode de contamination en cause, la voie aérienne étant la principale voie de contamination (Vega *et al.* 2011). Les symptômes présentés ci-après sont proches de ceux observés lors d'envenimation par toute autre espèce de chenille urticante.

Les cas sont le plus souvent bénins, mais de graves complications systémiques ne sont néanmoins pas exclues (Diaz, 2005).

II.3.2.1. Atteinte cutanée : « érucisme » ou dermatite de contact

Les zones les plus atteintes sont les régions du corps non couvertes par les vêtements et à peau fine les extrémités (85% d'atteinte dans l'étude de Vega *et al.* 2011 : poignets et avant-bras, dos des mains, espaces interdigités), et le cou (près de 70%). Le visage (en particulier les paupières, le pavillon de l'oreille et les lèvres) peut également être touché.

Toutefois, les parties recouvertes peuvent également être atteintes. Les zones de sudation et de frottement sont particulièrement sensibles et favorisent la dispersion des poils urticants de rare cas d'urticaire sur le tronc ont été mentionnés (Chandrasekaran et Mensah, 2008 ; Vega *et al.* 2011). Les symptômes apparaissent quelques minutes à quelques heures après le contact en moyenne entre 2 à 12 heures.

On observe l'apparition de lésions papuloedémateuses (figures 25) associées à un prurit important, continu, et parfois à une vive douleur. Ces symptômes peuvent parfois être intenses et perturber le sommeil. Suite au grattage, les papules sont excoriées et une sérosité claire s'écoule. Les papules persistent trois à quatre jours puis sont remplacées par des macules brunâtres qui disparaissent en 1 à 2 semaines. Chez l'Homme, cet érythème cutané prurigineux, qui apparaît sous forme de trainées érythémateuses, est parfois appelé « dermite des chenilles ».



Figure 25 : Troubles cutanés après contact avec les chenilles processionnaires (Martin, 2007, Photo Démolin)

Chapitre III

Etude de l'Infestation

III.1 Présentation de la région d'étude

III.1.1 Position géographique de la région d'étude de la wilaya de Saïda

Située au Nord-ouest de l'Algérie, s'étend sur une superficie de 6.613 km². Divisée en 6 daïras (la daïra de Saïda, la Daïra d'Ouled Brahim, Daïra de Hassassna, Daïra de Sidi Boubkeur, Daïra de Ain El Hadjar, Daïra de Youb). Elle comprend 16 communes avec une population de 414980 habitants, Considérée comme relais de par son emplacement privilégié, dans la mesure où elle est traversée par les principaux axes routiers de cette partie du pays.

Depuis le découpage administratif de 1985, la wilaya de Saïda est délimitée comme suite :

- Au Nord par la wilaya de MASCARA.
- A l'Est par la wilaya de TIARET.
- A l'Ouest par la wilaya SIDI BELABBES.
- Au Sud par la wilaya d'EL BAYADH.

III.1.1.1. Situation géographique de la daïra d'Ouled Brahim

La Daïra d'Ouled Brahim est située dans la partie Nord-sud de la Wilaya de Saïda, elle est limitée par le Nord; La Wilaya de Tiaret, par l'Est; La Wilaya de Mascara, par l'ouest; la commune de Sidi Boubkeur et par le Sud; La Daïra de Hassasna. Elle est occupée une superficie totale de 940 KM², le nombre de population dépasse 33904 habitants (2008).

Elle présente une situation géographique privilégiée, localisée entre deux bassins versant, le bassin d'Oud Mina et bassin d'Ouizert ainsi que une diversité de son milieu biophysique (plaines, montagnes forets, maquis, steppe...) qui lui confère un espace Agro-sylvo-pastoral.

La Daïra de Ouled Brahim est créé après le découpage administratif de 1990, elle se divise en 03 communes :

- La Commune de Tircine ;
- La Commune d'Ain Sultane ;
- La Commune d'Ouled Brahim ; (Voir la figure 26)

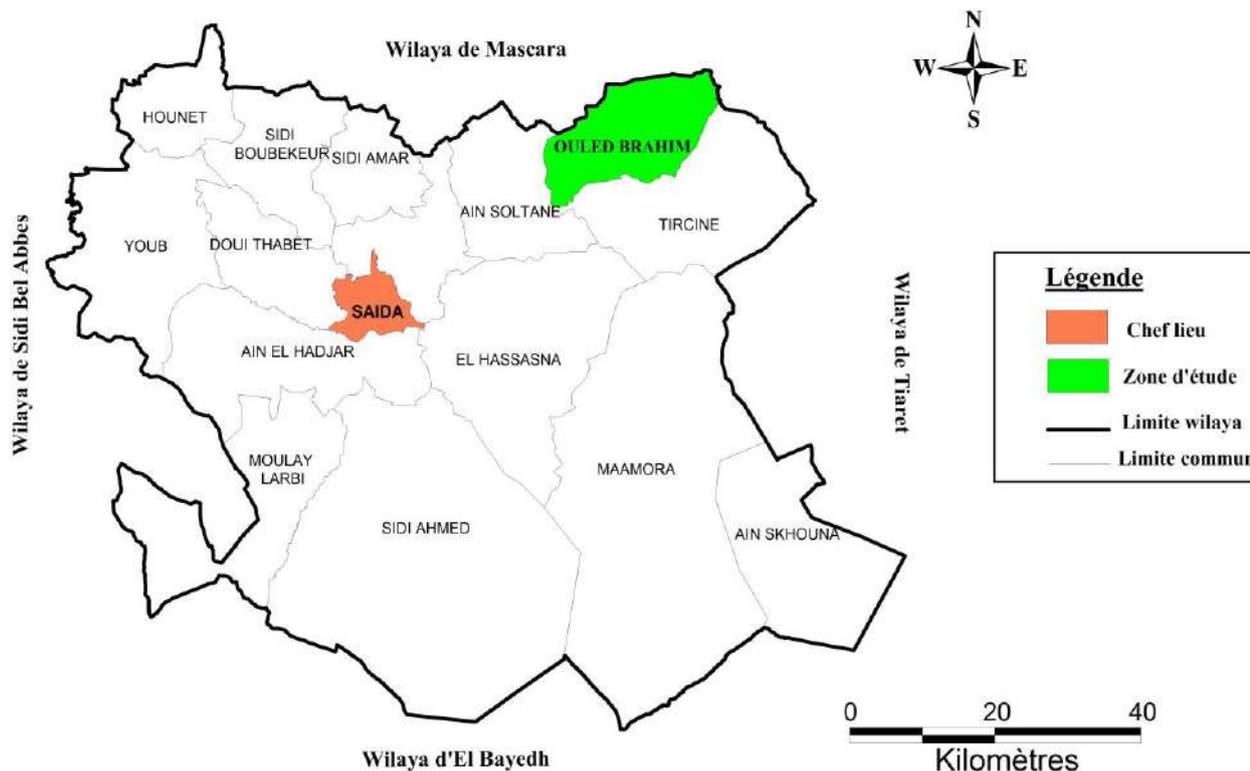


Figure 26 : Localisation de la Commune d'Ouled Brahim

III.1.2. Patrimoine forestier de la wilaya de Saida

La wilaya de Saida présente une superficie globale de 676.540 Ha dont la superficie forestière est de 158.783 Ha soit un taux de boisement de 23.5%, répartie par nature juridique comme suit :

Domaine forestier national présente une superficie 97962 Ha soit 61.7%

Domaine privé de l'état 46770 Ha soit 29.5% de la superficie forestière

Forêt privées à 14051 Ha soit 8.8% de la superficie forestière

Cette formation forestière est caractérisée par une prédominance de pin d'Alep à 41% de la superficie, suivi du chêne vert à 27% et le thuya de berbérie à 12%.

III.1.3. Etude climatique

Selon Trabaud (1998), le climat est la synthèse des conditions atmosphériques à long terme d'un lieu. Ce concept intègre les moyennes des différents paramètres du temps (les normales de température, de pression, de pluviométrie). Le climat peut se définir comme étant l'ensemble des états habituels et fluctuants de l'atmosphère qui, dans leur succession saisonnière, caractérisent une région ou un site. L'identification des climats fait intervenir les données atmosphériques, traitées isolément ou combinées entre elles (De Parcevaux et Huber, 2007)

L'étude bioclimatique de la zone était basée sur les données recueillies au niveau de la station météorologique de Rebahia qui se situe 4 km au nord de la ville de Saïda (tableau 10), pour une période d'observation de 30 ans (1983-2012).

Tableau 10 : localisation de la station météorologique de Saïda.

Station	Latitude	Longitude	Altitude
Saïda	34° 55' 00'' Nord	00° 09' 00'' Est	750 m

(O.N.M., 2012)

III.1.3.1. Les Précipitations :

Toutes les précipitations se forment à partir du refroidissement de la vapeur d'eau et de sa condensation. Leur état, solide ou liquide, à leur contact avec le sol, dépend de la température intérieure et extérieure des nuages, de leur teneur en eau ainsi qu'à la vitesse des courants ascendants qui y règnent (Zhongjia, 1985). Selon Guyot (1999), les précipitations sont caractérisées par trois principaux paramètres : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon les lieux, les jours, les mois et aussi les années. Les précipitations s'évaluent en hauteur d'eau équivalente (mm) sur une période donnée (ex : mm/an, mm/mois). Le total des précipitations de l'année sur la région de Saïda est de 353 mm.

III.1.3.1.1- Précipitations moyennes mensuelles :

Selon les données de la pluviométrie moyenne mensuelle (Figure 27), on constate une valeur maximale de plus de 44 mm pour le mois de Novembre et une minimale de 6 mm pour le mois de juillet. On remarque aussi un faible taux de précipitation pendant la période estivale.

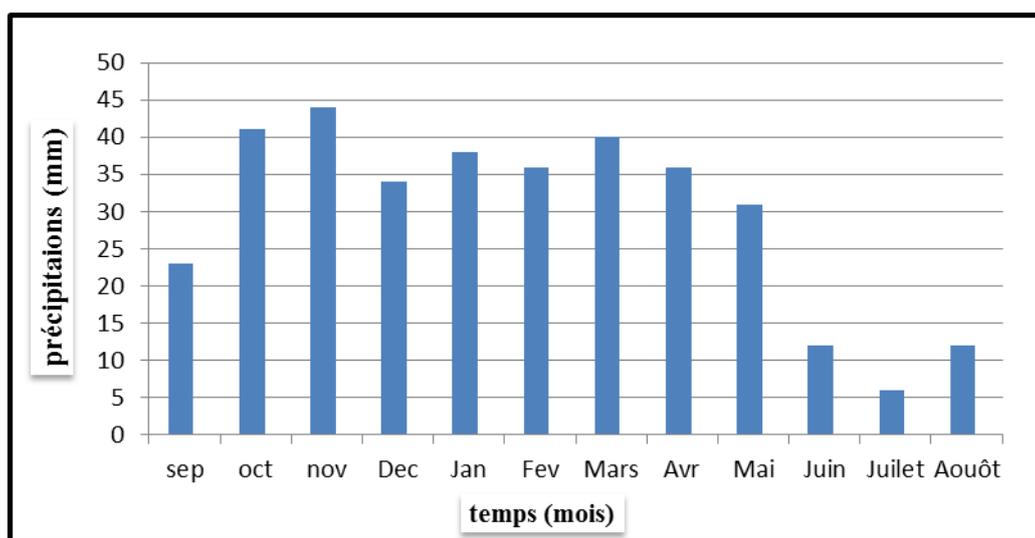


Figure 27 : histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1983-2012).

III.1.3.1.2. Le régime pluviométrique :

Pour faciliter l'analyse des données climatiques, l'année pluviométrique est divisée en quatre parties de durées égales qui correspondent aux saisons de l'année, obtenues par regroupement de mois entiers, Tableau 11.

Le régime pluviométrique de la région de Saïda est de type H.A.P.E.

Tableau 11 : Répartition des précipitations (P) moyennes saisonnières.

Mois	Automne	Hiver	Printemps	Été	Total annuel
P (mm)	108	108	107	30	353 mm
P (%)	30,59	30,59	30,31	8,49	100 %

(O.N.M., 2012)

III.1.3.2. Température :

La température atmosphérique est une mesure quantitative physique du degré de froid ou de chaleur de l'air. Elle désigne la quantité d'énergie cinétique moyenne des molécules d'air. Lorsque l'atmosphère reçoit une quantité de chaleur, la vitesse moyenne du mouvement moléculaire s'accroît, l'énergie cinétique moyenne augmente, entraînant l'élévation de température atmosphérique (Zhongjia, 1985).

De la figure 28, on peut remarquer une baisse de la température durant l'automne et l'hiver et son augmentation pendant le printemps et l'été. La température moyenne minimale la plus basse est enregistrée durant le mois de janvier avec seulement 3 °C et la température moyenne maximale la plus haute est enregistré durant le mois de juillet avec 36 °C.

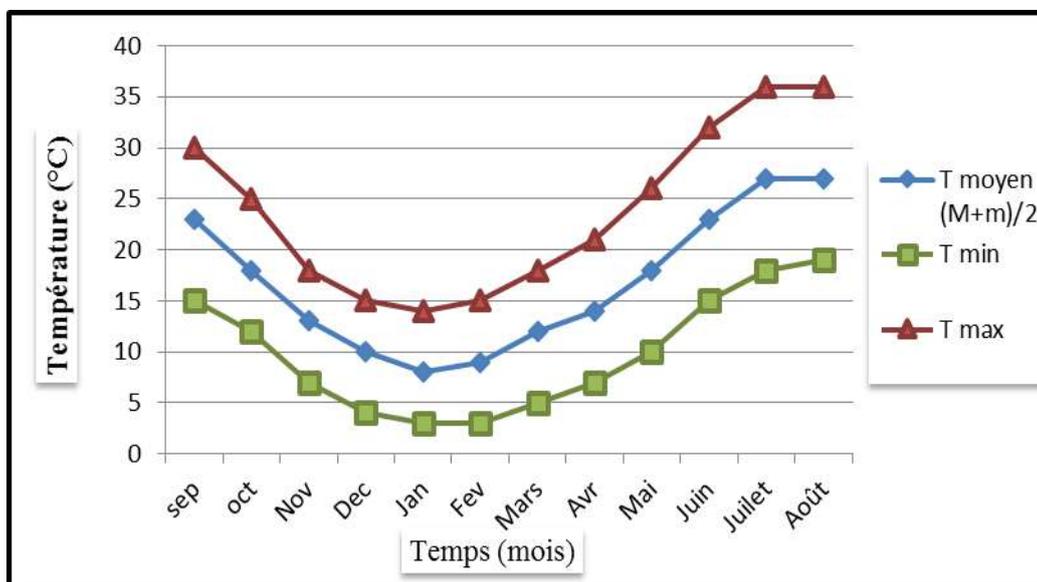


Figure 28 : températures moyennes mensuelles (1983-2012).

III.1.3.3. Gelées :

Les gelées enregistrées Tableau 12 sont d'une moyenne de 39 j/an.

Tableau 12 : nombre de jours de gelées

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Av.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Nombre de jours gelés	0	0	2	9	12	10	4	2	0	0	0	0

(O.N.M., 2012)

III.1.3.4. L'humidité relative:

Le taux d'humidité varie d'un mois à un autre (tableau 13), il est faible dans les mois chauds (été) avec 47 % à juin, 39 % à juillet, 41 % en août, et très élevé en hiver avec 71 % à décembre.

Tableau 13 : Humidité relative moyenne mensuelle

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Av.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moyenne (%)	53	60	67	71	69	67	64	61	58	47	39	41

(O.N.M., 2012)

III.1.3.5. Le vent:

Le vent est un déplacement d'air né des différences de pression entre deux points d'un même plan horizontal. Il s'écoule des anticyclones vers les dépressions (Trabeaud, 1998). C'est un phénomène météorologique très variable en direction et en vitesse. La vitesse du vent est généralement plus forte le jour que la nuit (De parveaux et al, 2007). La figure 29 nous permet de constater que le vent souffle souvent du Nord (14,7%) ou du Sud (10,6%).

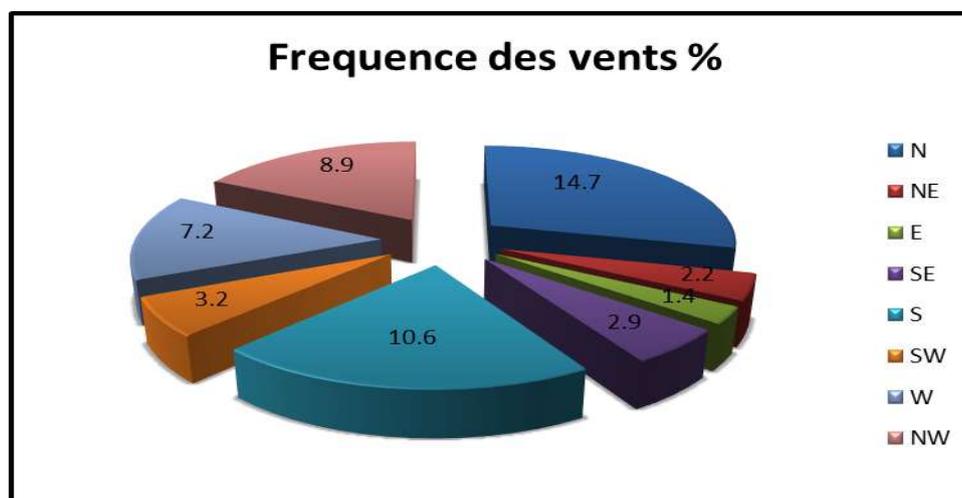


Figure 29 : fréquences des vents selon la direction.

III.1.4. Synthèse climatique :

Les indices climatiques fournissent des variables synthétiques qui combinent généralement des données climatiques moyennes. D'après Guyot (1999), ces indices ont été utilisés historiquement pour classer les climats en fonction de leur aridité par les hydrologues et les géomorphologues De Martonne, Gaussen et Moral puis par les botanistes Emberger et Thornthwaite.

III.1.4.1. Indice d'aridité de Martonne :

Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température (De Martonne, 1926) ou il est établi comme suit :

$$I_{DM} = P/(T+10)$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Températures moyennes annuelles (°C).

De Martonne a proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice qui sont données par le (tableau 14) (Guyot, 1999).

Tableau 14 : classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de Martonne.

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I_{DM} <$	Hyper-aride
$5 < I_{DM} < 10$	Aride
$10 < I_{DM} < 20$	Semi-aride
$20 < I_{DM} < 30$	Semi-humide
$30 < I_{DM} < 55$	Humide

Avec les données de la station de Saïda :

P : 353 mm, T : 16,83 °C.

Donc : $I_{DM} = 353 / (16,83+10)$

$I_{DM} = 13,15$

Dans notre étude, l'indice d'aridité calculé pour la wilaya de Saïda se traduit par un climat semi-aride.

III.1.4.2. Diagramme ombrothermique de Gausсен et Bagnouls :

C'est la représentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois, qui met immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses (Guyot, 1999). Les échelles prises en ordonnée sont telles que 1 °C correspond à 2 mm de précipitations.

D'une façon générale on a une période sèche chaque fois que la courbe de température passe au-dessus de la courbe de précipitation et une période humide dans le cas inverse Figure 30.

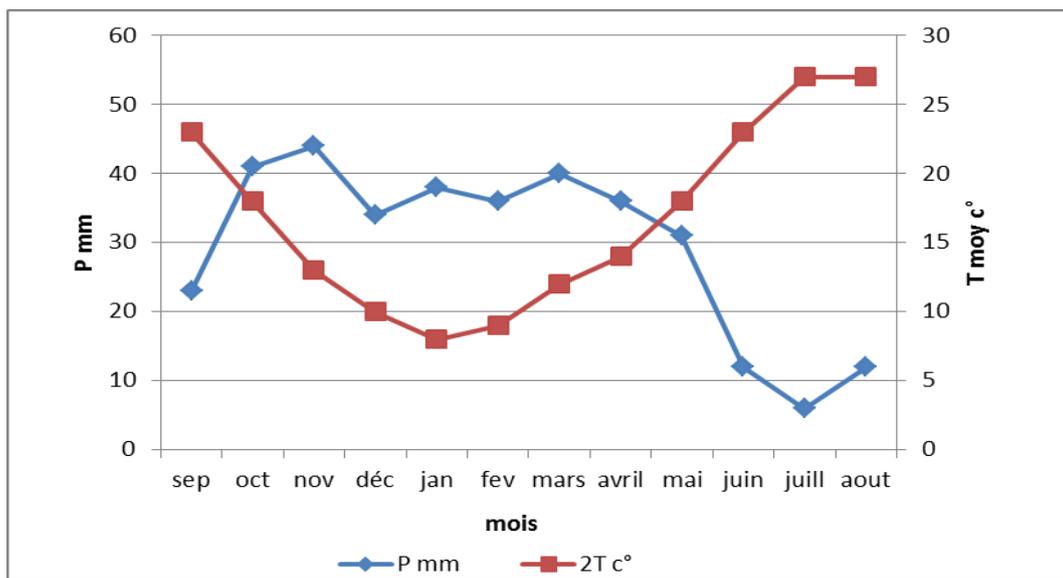


Figure 30 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.

P : précipitations moyennes mensuelles ; **T** : températures moyennes mensuelles ;

P.H. : période humide ; **P.S.** : période sèche.

Le diagramme ombrothermique de la région de Saïda Figure 30 montre que la période humide s'étale du mois de October jusqu'au début du mois de Mai, soit 7 mois et la période sèche marquée par un déficit pluviométrique et des températures élevées, s'étend de Mai jusqu'à Octobre .La durée de la saison sèche peut fluctuer en raison de l'irrégularité des précipitations suivant les années (Letreuch-Belarourci, 1972).

III.1.4.3. Quotient pluviométrique et Climagramme d'Emberger :

Pour la région méditerranéenne le botaniste Emberger (1930) a proposé un quotient pluviométrique plus précis. Cet indice permet d'apprécier physiquement la notion d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température, en plus du total des précipitations (**P**), la moyenne des maxima du mois le plus chaud (**M**) et la moyenne des minima du mois le plus froid (**m**), suivant la formule :

$$Q = 1000 * P / (M + m) * (M - m) / 2$$

Ce quotient permet de localiser l'étage bioclimatique auquel appartient la région étudiée. En Algérie on utilise la formule de Stewart (1975) qui est adaptée à nos conditions climatiques, plus le climat est sec plus le coefficient est faible :

$$Q_2 = 3.43 * P / M - m$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (K°).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (K°).

En fonction de la valeur de ce coefficient on distingue les zones suivantes :

- a. Humide : $Q_2 > 100$;
- b. Tempérée : $100 > Q_2 > 50$;
- c. Semi-aride : $50 > Q_2 > 25$;
- d. Aride : $25 > Q_2 > 10$;
- e. Désertique : $Q_2 < 10$.

Les variantes sont distinguées en fonction de la valeur des températures moyennes minimales du mois le plus froid (**m**) comme suit :

- a. Hiver froid : $m < 1$;
- b. Hivers frais : $1 < m < 3$;
- c. Hivers tempérés : $3 < m < 5$;
- d. Hivers doux : $5 < m < 7$;
- e. Hivers chauds : $m < 7$.

III.1.4.4. Climagramme pluviométrique d'Emberger :

Elaboré par Emberger (1939) en utilisant un diagramme bidimensionnel dans lequel la valeur du quotient pluviométrique de la station est en ordonnée et la moyenne du mois le plus froid de l'année en abscisse.

Le plan est divisé par une série de courbes légèrement inclinées sur l'horizontale et qui délimitent les étages climatiques, le plan est divisé aussi en outre parallèlement à l'axe vertical par des droites qui délimitent des valeurs de (m). (Seigue, 1985). En place la région dans le diagramme suivant la valeur du quotient pluviométrique et la valeur de température moyenne du mois le plus froid (Figure 31). Pour notre cas le calcul se fait en utilisant les valeurs de la station :

P = 353 mm (période 1983-2012) ;

a. $M = 36\text{ }^{\circ}\text{C} + 273 = 309\text{ }^{\circ}\text{K}$;

b. $m = 3\text{ }^{\circ}\text{C} + 273\text{ }^{\circ}\text{K} = 276\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Nous donne un quotient pluviométrique $Q_2 = 36,69$ et avec la valeur du mois le plus froid qui est égale à $3\text{ }^{\circ}\text{C}$; l'étage bioclimatique de la région de Saïda est le semi-aride à variant fraiche.

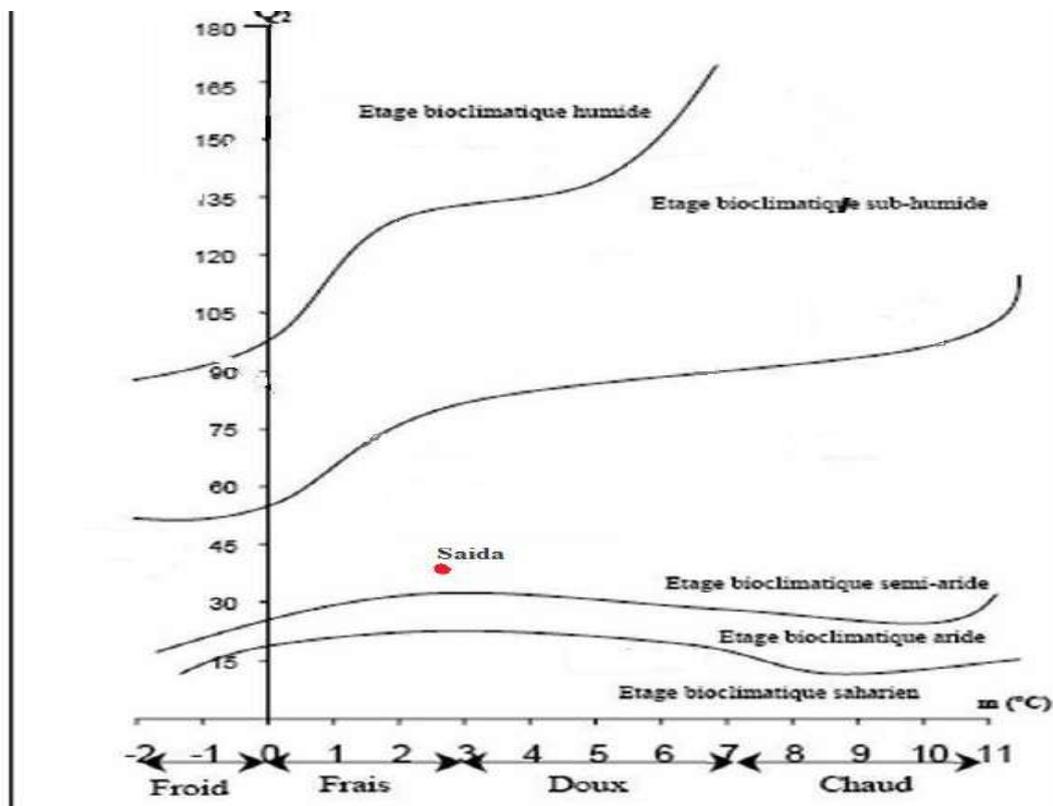


Figure 31 : Climagramme d'Emberger

III.2. Matériels et Méthode d'étude

Outre les incendies et les dégradations humaines et climatiques la processionnaire du pin constitue une menace permanente et potentielle pour les forêts de pin d'Alep de la wilaya de Saida.

L'objectif de notre travail consiste en particulier à étudier l'infestation des forêts de pin d'Alep, de la wilaya de Saida, par la processionnaire du pin *T.pityocampa* et à analyser l'impact de la structure (âge et nature) et de la situation géographique du peuplement sur l'intensité de la défoliation exercé par ce ravageur.

III.2.1. Matériels

Pour concrétiser notre objectif nous avons utilisés le matériel suivant :

- Données biotiques, abiotiques et physiques
- Données pluriannuelles des forêts infestées par *T. pityocampa*
- Données biologiques pluriannuels de *T.pityocampa*
- Degré de défoliation
- Age et type des peuplements
- Position géographique des peuplements
- Moyens et typologie de la lutte contre *T. pityocampa*

III.2.2. Méthodologie de l'étude

Type d'étude

L'étude porte sur l'analyse des dégâts de la processionnaire du pin sur les peuplements de pin d'Alep en exploitants les données moyennes de l'année (2015 / 2016). Plusieurs paramètres sont pris en considération notamment l'âge et le type du peuplement, la situation géographique et l'intensité des dégâts.

L'étude de l'infestation au niveau de toute la wilaya de Saida tient compte de l'exploitation et l'analyse des données recueillis auprès des services forestiers pour l'ensemble des forêts de pin d'Alep de la wilaya infestées par *T.pityocampa*.

La collecte des données nécessaires à l'étude s'est faite auprès des services forestiers de la wilaya de Saida sur la base de fiches à renseigner préalablement établies par nos soins selon nos besoins. Nous avons également eu des entretiens précis avec les

responsables forestiers chargés de la lutte contre *T. pityocampa*. Pour des raisons pratiques nous avons pris en considération les communes pour lesquelles les données sont disponibles et complètes pour l'année en question (2015/2016).

Méthodes de calcul du taux d'infestation et du degré de défoliation

- **Taux d'infestation**

Le taux d'infestation par la processionnaire du pin, est calculé en faisant le rapport du nombre moyen de ponte et de pré-nids présents sur 100 arbres pris aléatoirement dans une station d'observation ayant une superficie variable d'une forêt homogène (altitude ; exposition, âge, hauteur de l'arbre...).

L'appréciation du taux d'infestation par les services forestiers s'effectue comme suit :

0 % : infestation nulle - **0 à 25%** : infestation légère- **25 à 50%** : infestation moyenne et plus de **50%** : infestation grave.

- **Degré de défoliation**

La défoliation se traduit par la destruction des aiguilles de pin par les larves de *T.pityocampa*. Le degré de défoliation d'une forêt de pin d'Alep, par la processionnaire du pin, est calculé en faisant le rapport du nombre d'arbre défolié sur 100 arbres pris aléatoirement dans une station d'observation ayant une superficie variable d'une forêt homogène à l'autre.

L'appréciation du degré de défoliation par les services forestiers s'effectue comme suit : **10-25%** faible ; **25-50** : léger ; **50-75 %**: moyen et **75-100%** : fort

III.3. Résultats

III.3.1. Structure des forêts de pin d'Alep considérées dans l'étude

Dans le tableau n°15 nous avons ordonnées les communes de la wilaya de Saida selon le type de peuplement de pin d'Alep. 19.5% de la superficie totale est constitué de forêts de pin d'Alep mélangé (pin d'Alep + Eucalyptus,...), le reste soit 41% représentent les peuplements pure de pin d'Alep. La structure d'âge des forêts est variable suivant le type de peuplement. En effet les forêts pure ne dépassent pas les 40 ans alors que celle mélangé ont un âge compris entre 40 et 80 ans.

Tableau 15 : Principales caractéristiques des communes pris en considération dans l'étude de l'infestation par la processionnaire du pin

Commune	Forêt où Lieu-dit	Superficie Totale	Essence principale	Type De peuplement	MOYEN D'AGE
Youb	Necissa	194	Pin d'alep	PUR	40 ans
	M'chaouih	740	Pin d'alep		37 ans
	Oued Safioune	630	Pin d'alep		40 ans
Hassasna	Oum Hedda	150	Pin d'alep		27 ans
	Belebouz	75	Pin d'alep		27 ans
	Bentrif1	60	Pin d'alep		30 ans
	Bentrif2	200	Pin d'alep		28 ans
Maamora	Ceinture Verte	72	Pin d'alep		-
	Belhasna	1000	Pin d'alep		33 ans
	Regjem Okab	75	Pin d'alep		29 ans
	Bourdj El Mai	500	Pin d'alep		26 ans
Ain Skhona	Guenatis	100	Pin d'alep		33 ans
	Hamiet Souf	100	Pin d'alep		31 ans
	Oued Nehilet	200	Pin d'alep		27 ans
	Oued Machrouk	200	Pin d'alep		33 ans
Doui Thabet	Sidi Ahmd Zaggai	2232	Pin d'alep	MELANGE	75 ans
	Ras El Ma	1154	Pin d'alep		-
	Oum Touadjin	1673	Pin d'alep		80 ans
	Bossalaa	400	Pin d'alep		-
Sidi Ahmed	Tafraoua	3657	Pin d'alep	PUR	37 ans
	Bande Vert	280	Pin d'alep		37 ans
	Sfid -Mosbah	20	Pin d'alep		40 ans
	Sfid -Mosbah 2	100	Pin d'alep		37 ans
	Mosbah -Lakhreb	300	Pin d'alep		40 ans
	Horchaya	150	Pin d'alep		40 ans
Moulay Larbi	Bond Oum Doub	40	Pin d'alep	33 ans	
Ouled Brahim	Mimouna	150	Pin d'alep	40 ans	
Ain Soltane	Djebel Bel Hadj	350	Pin d'alep	MELANGE	50 ans
Trichine	Mezaita	250	Pin d'alep		41 ans
Ouled Khaled	Telmst	300	Pin d'alep		52 ans
	Ouaoui	250	Pin d'alep		-
Hounet	Teselgha	150	Pin d'alep		-
	Ain Smir	50	Pin d'alep		-
Sidi Amar	Ain,Chaergue	400	Pin d'alep	70 ans	
	Bled Gullmouna	800	Pin d'alep	60 ans	
	Djebel Fern	300	Pin d'alep	40 ans	

Sidi Boubkeur	Section "A"	120	Pin d'alep	PUR	40 ans
	Lakhtem	100	Pin d'alep		
	Traifia	200	Pin d'alep		
TOTAL		17722			

III.3.2. Aperçu sur le cycle biologique de la processionnaire du pin

III.3.2.1. Emergence des adultes

Dans le tableau n°16 nous avons consigné la chronologie des captures des adultes males de *T.pityocampa*. Nous avons exploités les données complètes de deux stations ou poste d'observation celle de Ouled Brahim (Mimouna)

Station n°1 Mimouna forêt artificiel

Station n°2 Mimouna forêt naturel

Tableau 16 : Chronologie de capture des adultes males de *T.pityocampa*

Station d'observation	Superficie ha	Altitude(m)	Date de capture		
			début	50%	100%
Mimouna (Station n°1)	83	1060	09/08/2015	24/08/2016	30/08/2015
Mimouna (Station n°2)	150	1068	11/08/2015	24/08/2015	30/08/2015

La surveillance de l'émergence des adultes de *T.pityocampa* s'effectue grâce à la mise en place de pièges à phéromone adaptée à la capture des males. En moyenne 04 pièges sont placés tous les 233 ha de forêt de pin d'Alep homogène (hauteur, altitude et âge). Les pièges sont mis en place au début du mois de juillet et leur surveillance s'effectue quotidiennement. Le nombre d'adultes males capturés est ainsi relevé jusqu'à ce que les captures s'annulent.

Dans les conditions de Saida nous constatons d'après les résultats ci-dessus que le début des captures d'adultes s'effectue durant la première décade du mois d'Aout soit le début du vol intervenant après les émergences qui s'achèvent vers la fin du mois d'Aout. En effet

GUERREO et al(1981) précise que dans la région méditerranéenne, l'émergence des adultes intervient en juillet et Aout. D'autre part et au regard de la chronologie de capture il semble que l'altitude n'a pas d'effet remarquable sur le vol.

Le piégeage à phéromone sexuelle des adultes s'effectuent permet de définir à l'avance la date du début et de la fin des éclosions des stades larvaires L1, L2, L3.

Dans la région de Mascara, les émergences des adultes de *T.pityocampa* interviennent durant la première décade du mois d'Aout et s'achèvent vers la fin du même mois.

III.3.2.2. Ponte

Les résultats relatifs à la ponte des femelles et des éclosions larvaires de *T.pityocampa*, relevées par les services forestiers, au niveau de la région de Saida (02 stations d'observation) figurent au tableau n°17 ci-dessous.

Tableau 17 : Chronologie des pontes et des éclosions larvaires de *T.pityocampa* dans la région d'Ouled Brahim (Mimouna)

Station d'observtion	Altitude (m)	début ponte	début éclosion	50% éclosion	100% éclosion
Mimouna (Station n°1)	1060	09/08/2015	27/09/2015	03/10/2015	26/10/2015
Mimouna (Station n°2)	1068	25/08/2015	02/09/2015	10/10/2015	23/10/2015

Juste a après l'émergence des adultes, l'accouplement se produit quelques heures ensuite puis la ponte se produit atour de 02 aiguilles de pin formant ainsi un manchon. Les résultats montrent respectivement que les pontes s'effectuent durant le mois d'Aout et les éclosions larvaires interviennent en Septembre-Octobre. D'autre part l'examen des dates d'observation relevé, pour la ponte et les éclosions, montre une incohérence dans la chronologie et ne peuvent pas constituer une référence exploitable.

En effet selon Martin(2005) l'incubation des œufs de *T.pityocampa* dure de 30 à 45 jours alors que les résultats du tableau n°17, montrent une incubation (début éclosion-début

ponche) de seulement 18 jours pour la station de Mimouna (Station n°1) et de 09 jours pour Mimouna (Station n°2) ce qui est biologiquement incohérent et par conséquent les données sont non fiables. Cette incohérence est peut être dû à la méthode d'échantillonnage adoptée.

L'accouplement des adultes intervient quelques heures après l'émergence. Les pontes et les éclosions larvaires se produisent au mois de Septembre-Octobre.

III.3.2.3. Développement larvaire

Dans le tableau n°18 nous avons consigné les dates d'observation des différents stades larvaires ainsi que la procession de *T.pityocampa* correspondant.

Tableau 18 : Dates d'observation des stades larvaires et de la procession de *T.pityocampa* dans la commune de Saida

Stade larvaires	L1	L2	L3	L4	L5	procession
Stations 1	17/09/2015	02/10/2015	02/11/2015	22/12/2015	23/02/2016	04/04/2016
Stations 2	22/09/2015	09/10/2015	09/11/2015	29/12/2015	02/03/2016	01/04/2016

D'une manière générale l'examen des résultats du tableau n°18 montre que la durée des stades larvaires (L₁ à L₅) est de 166 jours dans la station de Mimouna (Stations 1) à 1060 m d'altitude. Elle est par contre de 172 jours dans la station de Mimouna (Stations 2) 1068 m d'altitude soit un décalage de 6 jours.

La durée des stades larvaires varie avec la température hivernale. Elle est de 60 jours durant un hiver doux et 170 jours lors d'un hiver froid. Aussi en altitude la durée d'évolution des stades larvaires est légèrement longue (Martin, 2005). Ceci est en adéquation avec les résultats obtenus pour la région de Saida.

T.pityocampa passe par 5 stades larvaires. A la fin du cinquième stade (L₅) les larves entament la procession qui est un mode de déplacement avant l'enfouissement au sol à une profondeur variant, selon la nature du sol, entre 5 et 20 cm. La procession intervient à partir de la deuxième décennie du mois de décembre en basse altitude (température hivernale

douce) et a partir de la fin janvier en haute altitude. Après la période d'enfouissement les larves entament le stade nymphose.

Dans la région de Saida la durée d'évolution des stades larvaires varie de 160 jours à 147 jours selon l'altitude (du mois de Septembre jusqu'au mois de janvier). La procession des larves, pour l'enfouissement au sol, se déroule du mois de décembre jusqu'à fin janvier.

III.3.2.4. Synthèse du cycle biologique

A l'issue des résultats obtenus pour les différents stades biologiques de *T.pityocampa*, nous avons illustré dans le tableau n° 19 suivant la synthèse du cycle biologique de la processionnaire du pin dans la région de Saida.

Tableau 19 : Synthèse du cycle biologique de *T.pityocampa* dans la région de Saida
(Année 2015)

Stade biologique	Emergence Des adultes	Accouplement et ponte	Développement larvaire et procession	Nymphose	Durée du cycle biologique
Période	Aout	Aout-Septembre	Septembre- Janvier	Janvier- Juillet	Cycle annuel
Nombre de jours	13	20	90	248	371

D'une manière générale le cycle de *T.pityocampa*, dans la région de Saida se déroule en une année. En effet selon Delorme, R (2012) le cycle de vie de la processionnaire du pin et du chêne est généralement annuel. Il peut cependant s'étendre sur deux à cinq années, selon les conditions du milieu. Ainsi, ce cycle est fortement lié au climat pour la processionnaire du pin, ce qui se traduit par de fortes variations des dates d'émergence des adultes et des durées des différents stades larvaires, selon la latitude ou l'altitude.

III.3.2.5. Infestation des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa* et moyens de lutte

III.3.2.5.1. Taux d'infestation et degré de défoliation

Dans le tableau n°20 suivant nous avons les résultats relatifs aux taux d'infestation (%) des forêts de pin d'Alep de la région de Saida par la processionnaire du pin sont consignés dans le tableau n°20 suivant et correspondant aux figures n°32 et n°33

Tableau 20 : Taux d'infestation, par commune, des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa*

Commune	Forêt ou Lieu dit	Superficie totale(Ha)	Espèce D'arber infes	Superficie infestée(Ha)	taux %
Youb	Necissa	194	Pin d'alep	100	52
	M'chaouih	740	Pin d'alep	250	34
	Oued Safioune	630	Pin d'alep	320	51
Hassasna	Oum Hedda	150	Pin d'alep	100	67
	Belebouz	75	Pin d'alep	75	100
	Bentri1	60	Pin d'alep	60	60
	Bentri2	200	Pin d'alep	200	100
Maamora	Ceinture Verte	72	Pin d'alep	72	100
	Belhasna	1000	Pin d'alep	1000	100
	Regjem Okab	75	Pin d'alep	75	100
	Bourdj El Mai	500	Pin d'alep	500	100
Ain Skhona	Guenatis	100	Pin d'alep	100	100
	Hamiet Souf	100	Pin d'alep	100	100
	Oued Nehilet	200	Pin d'alep	160	80
	Oued Machrouk	200	Pin d'alep	80	40
Doui Thabet	Sidi Ahmd Zaggai	2232	Pin d'alep	250	11
	Ras El Ma	1154	Pin d'alep	100	9
	Oum Touadjin	1673	Pin d'alep	100	6
	Bossalaa	400	Pin d'alep	250	63
Sidi Ahmed	Tafraoua	3657	Pin d'alep	200	5
	Bande Vert	280	Pin d'alep	250	89
	Sfid -Mosbah	20	Pin d'alep	20	100
	Sfid -Mosbah 2	100	Pin d'alep	70	70
	Mosbah -Lakhreb	300	Pin d'alep	100	33
	Horchaya	150	Pin d'alep	20	13
Moulay Larbi	Bond Oum Doub	40	Pin d'alep	40	40
Ould Brahim	Mimouna	150	Pin d'alep	75	50
Ain Soltane	Djebel Bel Hadj	350	Pin d'alep	100	29
Trichine	Mezaita	250	Pin d'alep	80	32
Ouled Khaled	Telmst	300	Pin d'alep	150	40
	Ouaoui	250	Pin d'alep	100	13
Hounet	Teselgha	150	Pin d'alep	20	100
	Ain Smir	50	Pin d'alep	50	50
Sidi Amar	Ain,Chaergue	400	Pin d'alep	200	31
	Bled Gullmouna	800	Pin d'alep	250	17
	Djebel Fern	300	Pin d'alep	50	75
Sidi Boubkeur	Traifia	200	Pin d'alep	150	75
	Lakhtem	100	Pin d'alep	80	80
	Section "A"	120	Pin d'alep	80	67
TOTAL		17722		5977	59.28

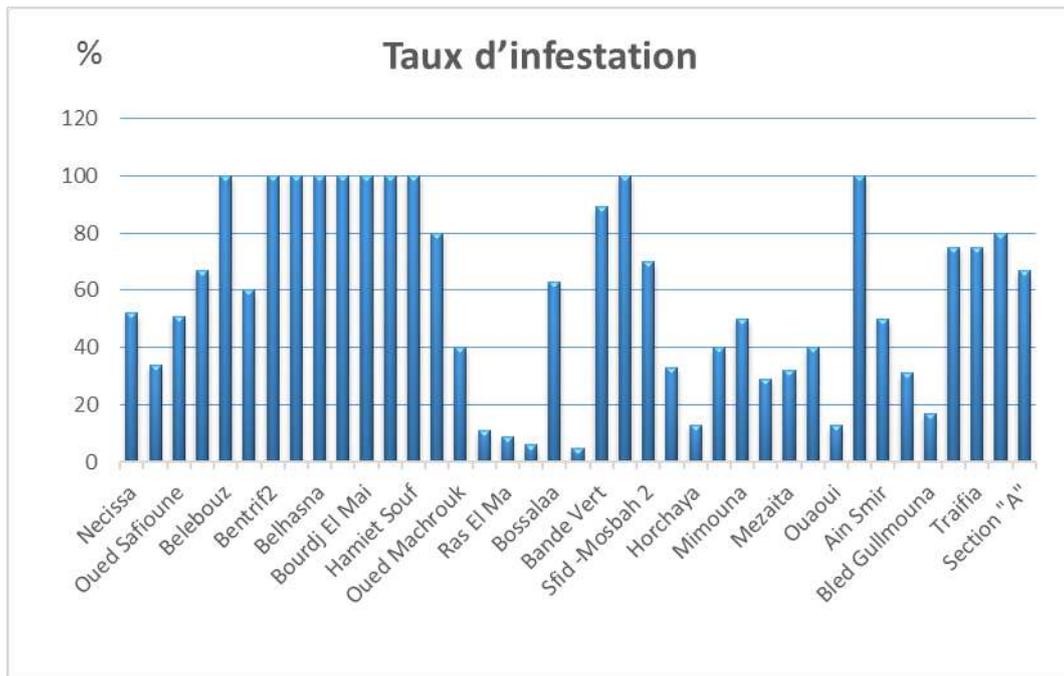


Figure 32 : Taux d'infestation, par commune, des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa*

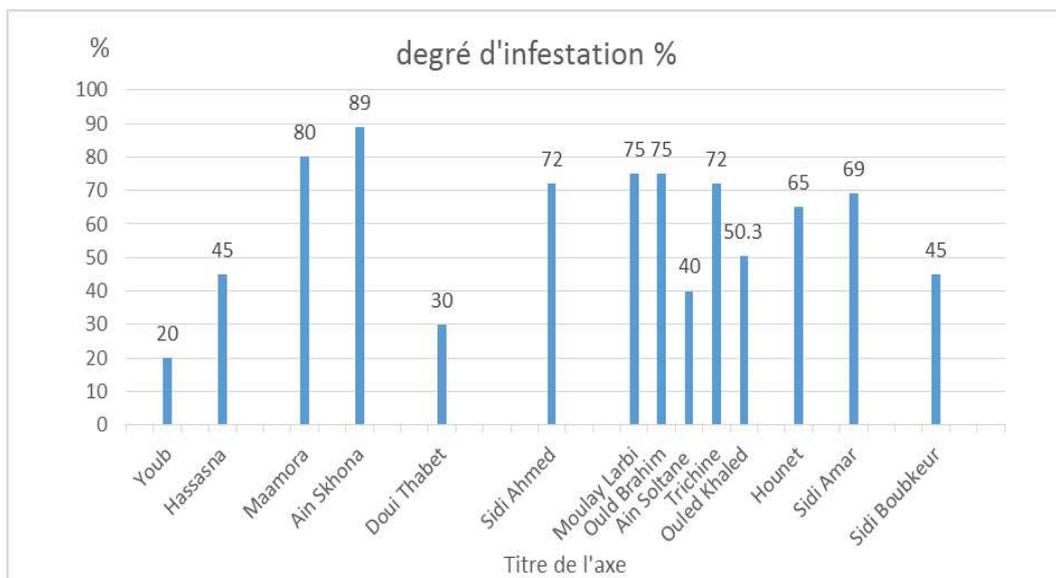


Figure 33 : degré d'infestation par commune, des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa*

Deux grands types de méthodes sont employés pour connaître la distribution spatiale et les fluctuations démographiques de la processionnaire du pin. La première méthode est fondée sur l'observation des signes de présence de l'insecte. Elle consiste d'une part, à dénombrer les nids d'hiver (nids larvaires) sur le houppier des arbres infestés et d'autre part à estimer visuellement le pourcentage de défoliation.

L'avantage de cette méthode est sa simplicité car l'identification des nids de processionnaire du pin est très facile. En revanche les principaux inconvénients sont :

- une détection difficile des nids dans les peuplements denses et sur arbres âgés (car les houppiers sont alors peu visibles),
- un manque de précision dans l'estimation du pourcentage de défoliation, surtout aux bas de niveaux de population et la variabilité des estimations entre notateurs (Jactel *et al.* 2006).

III.3.2.5.2. Effet de l'exposition, de l'altitude et de la structure du peuplement sur le niveau d'infestation par *T.pityocampa*

Outre le climat, l'exposition, l'altitude et la structure du peuplement forestier sont parmi les facteurs importants pouvant avoir un effet sur la dynamique spatio-temporelle de la processionnaire du pin. Dans les tableaux n°21, n°22 et n°23 suivants nous avons consigné les résultats relatifs aux effets des facteurs précités sur le niveau d'infestation.

Tableau 21 : Effet de l'exposition sur l'infestation des forêts de pin d'Alep par *T.pityocampa*

Exposition dominante	Nombres de communes	Superficie totale (ha)	Superficie infestée (ha)	Taux d'infestation (%)
Nord	7	9643	2425	25.15
Sud	4	7239	3182	43.96
Toute exposition	3	840	370	44.15
Totale	14	17722	5977	37.45

L'infestation des forêts par la processionnaire du pin est beaucoup plus importante dans la catégorie toute exposition avec un taux de 44.15% suivi par l'exposition Sud avec 43.96%. Le plus bas taux d'infestation est noté pour l'exposition Nord 25.15% qui semble ne pas être favorable au développement optimum des larves notamment en période hivernale, en raison notamment des faibles températures.

L'importance du taux de l'exposition Sud s'explique par le fait que les larves au cours de leur développement bénéficient des conditions climatiques favorables notamment les températures.

En France, au cours des vingt dernières années, *T.pityocampa* a considérablement accru son aire de répartition, gagnant à la fois en latitude et en altitude. Après avoir été cantonnée au sud de la Loire et au pourtour du Massif Central jusqu'à la fin des années 70, elle occupe désormais l'ouest de la France (Bretagne, Normandie), le Bassin Parisien, l'Alsace et la Lorraine. Cette expansion a été clairement attribuée à une augmentation des températures hivernales (Battisti *et al.*, 2005, Robinet *et al.*, 2007) favorable au développement et à la survie des chenilles (Hoch *et al.*, 2008).

Tableau 22 : Effet de la structure du peuplement sur le taux d'infestation

Structure du peuplement	Superficie totale (ha)	Superficie infestée (ha)	Taux d'infestation (%)	Age moyen
de pin d'Alep				
Mélangé	8429	1780	21.12	36,25±8,76
Pure	9293	4197	45.16	25±2,89
Totale	17722	5977	33.13	-

L'examen des résultats figurant au tableau n°22 montre que le taux d'infestation en forêts mélangées (pin d'Alep +chêne liège, eucalyptus....) est légèrement supérieur (21.12%) à celui des forêts de pin d'Alep pure (45.16%). Ce résultat est en contradiction avec les études menées, en Europe, par d'autres auteurs tels que celles de Castagneyrol et Jactel, (2012). On précise également qu'à l'intérieur des forêts dites mélangées, par les services forestiers, le pin d'Alep occupe des îlots homogènes.

En effet un nombre croissant d'études démontre que les forêts mixtes sont en général moins attaquées par les insectes ravageurs que les forêts pures (Jactel et Brockerhoff, 2007 ; Jactel *et al.* 2008). La présence d'arbres non hôtes au voisinage d'un arbre de l'essence à protéger confère alors une « résistance par association » (Barbosa *et al.* 2009).

Deux mécanismes principaux sont en jeu :

- La présence d'arbres non hôtes diminue la capacité des insectes ravageurs à détecter puis à coloniser l'arbre hôte en perturbant la perception des stimuli de reconnaissance.
- L'augmentation de la diversité des essences forestières s'accompagne d'une augmentation de celle des prédateurs et parasitoïdes (Castagneyrol et Jactel, 2012),

Les forêts mélangées offrent aussi des ressources alimentaires de complément (nectar, pollen) ainsi que des abris, rendant au final plus efficace le contrôle biologique des insectes herbivores. Or une étude a montré que certaines odeurs (composés volatils organiques) émises par certaines essences feuillues (comme le bouleau) ont un effet masquant des odeurs de pin, voire un effet répulsif qui diminue de façon significative les attaques de processionnaire (Jactel *et al.* 2011).

Tableau 23 : Effet de l'altitude sur le taux d'infestation

Classe d'altitudes	Superficies totales (ha)	Superficies infestées (ha)	Taux% d'infestation
600-800	2285	1211.05	53
800-1000	4577	918.25	20.06
1000-1200	10860	3847.69	35.43
Totale	17722	5977	33.73

Dans la région de Saida, les forêts situées entre 600-800 m d'altitude enregistrent les taux d'infestation les plus élevés avec respectivement 53% et Le plus bas taux (20.06%) est noté pour les forêts localisées entre 800 -1000 m d'altitude. Ainsi l'altitude 600-800 semble offrir de bonnes conditions au développement des larves de *T.pityocampa* ce qui n'éliminent pas d'autre facteurs qui mériteraient d'être traités dans les prochains travaux.

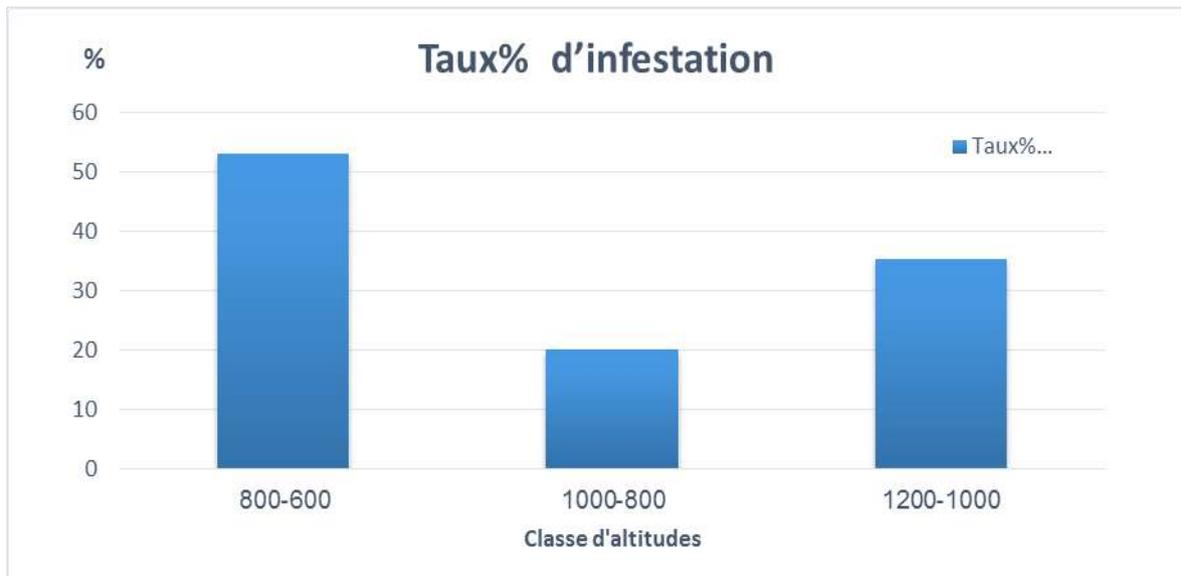


Figure 34 : Effet de l'altitude sur le taux d'infestation

Le Figure 34 taux d'infestation des forêts de pin d'Alep de la région de Saida par la processionnaire du pin est de 35.02% de la superficie infestée par la processionnaire du pin présente un faible degré de défoliation (0-25%). Par contre (35.43)% de la superficie infestée présentent respectivement un degré d'infestation moyen à fort. L'infestation est beaucoup plus importante dans la catégorie toute exposition (53%) suivi par l'exposition Sud (43.96%). En forêts mélangées (pin d'Alep +eucalyptus....) le taux d'infestation est légèrement supérieur (44.15%) à celui des forêts pure (47.09%). Avec un taux d'infestation de 44.15% l'altitude 600 - 800 semble offrir de bonnes conditions de développement aux larves de *T.pityocampa*.

III.3.2.6. Traitement contre *T.pityocampa*

Nous avons consigné dans le tableau n°24 les résultats relatifs de traitement, par les services forestiers, contre la processionnaire du pin.

Tableau 24 : traitement contre *T.pityocampa* , moyenne pluriannuelle (20015-2016)

Superficie infestée (Ha)	Total à traiter (Ha)	Superficies à traiter par mode d'intervention (Ha)		Echenillage	Observation
		Enlèvement Manchons	Pulvérisation terrestre		
16672	3010	632	500	3080	13/01/2016

Dans la région de Saida, les services des forêts adoptent trois types de traitement contre la processionnaire du pin, la lutte mécanique, la lutte biologique et la lutte physiologique par utilisation de phéromones sexuelles de synthèse.

La manière dont sont gérées les forêts exerce un impact manifeste sur le développement des populations d'insectes ravageurs et leurs dégâts. Réciproquement, une analyse des relations entre pratiques sylvicoles et risques d'infestation peut donc être mise à profit pour prévenir ces dégâts. En ce qui concerne la processionnaire du pin, plusieurs étapes de l'itinéraire sylvicole appliqué aux plantations de pin sont incriminées. (Jactel *et al.* 2008)

Lutte mécanique

La lutte mécanique par prélèvement des nids, appelée couramment échenillage, est un moyen de lutte curative qui consiste à prélever à l'aide d'un sécateur ou d'un échenilloir les pontes, les pré-nids, voire les nids d'hiver. Elle est plus facile sur la processionnaire du pin en période hivernale du fait que la processionnaire tisse un nid bien visible et que les chenilles sont présentes dans ce dernier pendant la journée. Cette opération qui se déroule chaque année en hiver a touchée en moyenne une superficie de 3080 Ha.

Cependant cette technique nécessite une mobilisation importante de moyens matériels et humains par conséquent un coût élevé. Actuellement la lutte mécanique n'est recommandée que pour les petites superficies et pour les arbres de pin d'Alep en alignements en zone urbaine (Delorme, 2012).

Lutte biologique et lutte physiologique

La lutte biologique contre la processionnaire du pin s'effectue à l'aide d'une bactérie entomopathogène *Bacillus thuringiensis* ou BT. Ces traitements biologiques à base de BT se font généralement sur les trois premiers stades larvaires.

Une opération de lutte, par voie aérienne, a été réalisée dans la région de Saida durant la campagne 2015/2016. La superficie traitée était de 3010 ha (25,87 % de la superficie totale prévue) répartie entre (12) zones (Youb, Doui Thabet, Ouled Khaled, Hsasna, Maamoura, Ain Skhouna, Sidi Boubker, Hounet; Sidi Amer, Ain Hadjar Sidi Ahmed, Moulay Larbi). Ces zones présentaient des taux d'infestation moyen à fort. Selon les services forestiers les résultats du traitement biologique étaient très satisfaisant (+95% de mortalité des larves).

Il convient de constater qu'aucune méthode alternative ne peut permettre à elle seule d'éradiquer localement une population de processionnaires, ou tout au moins de réduire sa densité au-dessous du seuil de tolérance. Une stratégie de lutte devrait donc combiner plusieurs de ces méthodes. La stratégie la plus efficace de lutte contre ces chenilles passe par une combinaison de méthodes de type préventive et curative liées à des mesures de surveillance.

Les mesures de surveillance des niveaux de population de la processionnaire du pin par la pose de pièges à phéromone en été et des comptages de nids en hiver sont à mettre en œuvre. Les mesures de lutte curatives à envisager dans ce contexte devraient privilégier les méthodes pouvant être reconduites chaque année pour assurer un effet à long terme. Ceci englobe la destruction mécanique des nids ainsi que le piégeage de masse, la confusion sexuelle ou la répulsion des papillons de processionnaires dans le cas d'arbres ou de parcs bien isolés. Les zones où les niveaux d'infestation sont élevés devraient faire l'objet de traitements insecticides à partir du sol et de traitement biologique par voie aérienne. Il serait aussi important de favoriser les prédateurs de la chenille comme les mésanges.

Dans la région de Saida, les services de forêts adoptent trois types de lutte contre la processionnaire du pin, la lutte mécanique (3080 ha/an), la lutte biologique et la lutte physiologique (1132 ha).

Conclusion générale

L'étude de l'infestation des forêts de pin d'Alep, de la région de Saida par la processionnaire *T.pityocampa* s'est faite, principalement en analysant les données pluriannuelles fournissant par les services des forêts de la wilaya. L'étude a ainsi aboutit aux principales conclusions suivantes :

Sur le plan biologique les émergences des adultes de *T.pityocampa* interviennent durant la première décade du mois d'Août et s'achèvent vers la fin du même mois. L'accouplement des adultes intervient quelques heures après l'émergence. Les pontes et les éclosions larvaires se produisent au mois de Septembre-Octobre. La durée d'évolution des stades larvaires varie de 160 jours à 147 jours selon l'altitude (du mois de septembre jusqu'au mois de janvier) et la procession des larves de dernier stade (L_5), pour l'enfouissement au sol, se déroule du mois de décembre jusqu'à fin janvier. La nymphose, au sol, dure environ 7 mois. Ainsi le cycle de *T.pityocampa*, dans la région de Saida se déroule en une année.

Sur le plan écologique le taux d'infestation en forêts mélangées (pin d'Alep +chêne liège, eucalyptus....) est légèrement supérieur (21.12%) à celui des forêts de pin d'Alep pure (45.16%). Ce résultat est en contradiction avec les études menées.

L'infestation des forêts de pin d'Alep de la région de Saida par la processionnaire du pin est de 33.74% de la superficie infestée par la processionnaire du pin présente un faible degré de défoliation (0-25%). Par contre (35.43)% de la superficie infestée présentent respectivement un degré d'infestation moyen à fort. L'infestation est beaucoup plus importante dans la catégorie toute exposition (44.15%) suivi par l'exposition Sud (43.96%). En forêts mélangées (pin d'Alep +eucalyptus....) le taux d'infestation est légèrement supérieur (21.12%) à celui des forêts pure (45.16%). Avec un taux d'infestation de 53% l'altitude 600 - 800 semble offrir de bonnes conditions de développement aux larves de *T.pityocampa*.

Dans la région de Saida, les services de forêts adoptent trois types de lutte contre la processionnaire du pin, la lutte mécanique (3080 ha/an), la lutte biologique et la lutte physiologique (1132 ha).

. La région

Cependant cette technique nécessite une mobilisation importante de moyens matériels et humains par conséquent un coût élevé. Actuellement la lutte mécanique n'est recommandée que pour les petites superficies et pour les arbres de pin d'Alep en alignements en zone urbaine (Delorme, 2012).

Références

Bibliographique

Références bibliographiques

- Battisti A. (2008)** Forests and climate change - lessons from insects. Forests. [Online] p1, 1-5. [<http://www.sisef.it/forest@/show.php?id=210&chapt=1>] (Consulté le 12 Janvier 2011)
- Bédry R. (2009)** Les intoxications particulières de la région aquitaine. Rev. Méd. Int. [en-ligne] 30(7), 640-645. [<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02488663>] (consulté le 30 Octobre 2009)
- Bonnet C, Martin J.C. (2008)** Processionnaire du pin. Quand un ravageur forestier devient un problème sanitaire. Nuis. Parasit. Inf. [en-ligne] 54, 23-25. (Consulté le 23 Juin 2009)
- Bonnet C., Martin J.C., Mazet R. (2008).** La processionnaire du pin. Stantari. 14, 29-33. (Consulté le 23 Juin 2009)
- Buffo E., Battisti A. (2007)** Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. Agr. For. Entomol. 9(1), 65-72. (Consulté le 03 Février 2011) 153
- Charmot P. (1987)** La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, et son importance médicale P211
- Delorme R (2012) :** Méthodes alternatives au traitement chimique des processionnaires du pin et du chêne en conditions urbaines. Avis de l'Anses. Saisine n° 2012-SA-0149 ; 72p.
- Diaz J.H. (2005)** The evolving global epidemiology, syndromic classification, management, and prevention of caterpillar envenoming. Am. J. Trop. Med. Hyg. 72(3), 347-357. (Consulté le 16 Août 2009)
- Fraival A. (2007)** La processionnaire du pin. Insectes. [en-ligne] 35 (147), 35-39. (Consulté le 23 Janvier 2010)
- Grison P. (1959)** La lutte contre la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff dans le massif du Ventoux. Essai d'utilisation pratique d'un virus spécifique. Rev. For. Fr. 5, 353-370. (Consulté le 10 Mars 2011)
- Grojean A.L. (2006)** Incidences environnementales et sanitaires des chenilles processionnaires et de leurs traitements en France. In : Ingénieurs du Génie Sanitaire, Atelier Santé-Environnement, promotion 2005-2006 Rennes (consulté le 10 novembre 2010)

Hoch G. Battisti A. (2009) Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agr. Forest Entomol.* p11(3), 313-320. (Consulté le 03 Août 2010)

Hodar J.A. (2002) Host utilisation by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three *Pinus* species. *Ecol. Entomol.* 27, 292-301. (Consulté le 14 Mars 2011)

Huchon H., Demolin G. (1970) La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle, dispersion actuelle. *Rev. For. Fr.* [en-ligne] XXII, n° spécial « La lutte biologique en forêt », 220-234. (Consulté le 10 Mars 2011)

Ince I.A. (2007) cytoplasmic polyhedrosis virus isolated from the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *J. Microbiol. Biotechnol* 17(4), 632-637. (Consulté le 10 Mars 2011)

Jactel H. et al. (2006) Population monitoring of the pine processionary moth (Lepidoptera : *Thaumetopoeidae*) with pheromone-baited traps. *Forest Ecol. Manag.* 235, 96-106 (consulté le 09 Mars 2011)

Joly R. (1952) Processionnaires. *Rev. For. Fr.* n°5, 355-360.] (Consulté le 10 Septembre 2010)

K3D Lyon Chenilles. Chenilles processionnaires : les méthodes de lutte. In : Echenillage, piégeage, traitements, vente en ligne, Lyon Chenilles. (Consulté le 17 Février 2011)

Kanat M. (2006) Mass production and release of *Calosoma sycophanta* L. (Coleoptera : Carabidae) used against the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Schiff.) (Lepidoptera : *Thaumetopoeidae*), in biological control. *J. Turkish Zool.* [online] 30, 181-185. (Consulté le 10 Mars 2011)

Kanat M. (2008) The effect of *Calosoma sycophanta* L. (Coleoptera: Carabidae) feeding on the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: *Thaumetopoeidae*), in the laboratory. *J. Turkish Zool.* [online] 32, 367-372. (Consulté le 09 Mars 2011)

LABANI A. (2005) - Cartographie écologique et évolution permanente de ressources naturelles et des espaces productifs dans la wilaya de Saïda. Thèse de doctorat ; Université de Mascara. Page 11-51.

Leblond A., Martin J.C. (2010) Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire du pin. Enquête nationale – guide technique. [en-ligne] Angers (Fr) : Plante et Cité, 25p. (Consulté le 10 Janvier 2010)

Lequet A. (2010) Les pages entomologiques d'André Lequet. Mise à jour le 05 Décembre 2010 (consulté le 22 décembre 2010)

Martin J.C. (2005) La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. Synthèse des recherches bibliographiques et des connaissances, INRA Avignon. (Consulté le 23 Novembre 2010)

Martin J.C. (2007) La chenille processionnaire du pin. In : Dossier : la chenille processionnaire du pin 700/c3/221/p3/ (consulté le 23 Juin 2009)

Martin J.C. (2009) Sarriens partenaire scientifique de l'INRA. Bulletin municipal de Sarriens, 5p. (Consulté le 05 Mars 2011)

Martin J.C. (2005) Evolution de la lutte contre la processionnaire du pin : vers l'utilisation de la phéromone de synthèse. Bilan de la Santé des forêts. 4p. (Consulté le 05 Mars 2011)

Martin J.C., Bonnet C. (2008) Les moyens de lutte disponibles et à venir en milieu forestier et urbain. In : Colloque Insectes et changement climatique. (Consulté le 24 Janvier 2010)

Martin J.C. (2010) Protéger la forêt contre la chenille processionnaire du pin en préservant la biodiversité. 1p. (Consulté le 05 Mars 2011)

Martin J.C. (2003) Essais comparatifs d'efficacité du Foray 96 B, du Foray 76 SI, et du Foray 48 SI contre la processionnaire du pin au cours de l'automne 2002. Unité Expérimentale Forestière Méditerranéenne, INRA, Rapport de fin de prestation pour la société Valent Biosciences, 9p 160

Martin J.C., Bonnet C. (2009) La processionnaire du pin : vers un contrôle écologique et raisonné. In : conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres Zones Non Agricoles. Angers (France): AFPP, Association Française de Protection des Plantes, 28-29 Octobre 2009, 9p. (Consulté le 28 Février 2011)

Morel E. (2008) La chenille processionnaire du pin et ses parasites oophages : Collaborations scientifiques, un stage : Les parasites oophages de la processionnaire. [en ligne] Master Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité, Mont pellier, 66p. (Consulté le 13 Novembre 2009)

Oger P. (2010) La chenille processionnaire du pin Mise à jour en Octobre 2010. P156

Pimentel C. (2010). Latitudinal gradients and the shaping of life-history traits in a gregarious caterpillar. *Biol. J. Linnean Soc.* 100 (1), 224-236. (Consulté le 23 Janvier 2011)

Rolla G., (2003) Cotton wool in pinetrees. *Lancet.* 361(9351), 44. (Consulté le 05 Janvier 2011)

RonnåS C. Battisti A. (2010) Effects of colony size on larval performance in a processionary moth. *Ecol. Entomol.* [Online] 35, 436-445. (Consulté le 23 Janvier 2011)

Scheiner P. (2003) Les chenilles processionnaires chez le chien. Thèse Méd. Vét., Lyon p162

Seigue A., (1985). La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes. Edit. G.P. Maisonneuve et Larose, 502p.

STEWART P.H., (1969). Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique Bull.Sou, Afrique de Nord, 59p.

Turpin M. (2006). Les chenilles urticantes : effets pathogènes chez l'homme et chez l'animal et données actuelles sur les venins et les moyens de lutte. Thèse.Méd.Vét., Nantes, N°097, 182p.

Vago C. (1964) Emploi des virus contre les insectes nuisibles et possibilités d'adaptation de cette méthode de lutte contre les vecteurs de maladie. Bull. O.M.S. 31, 513-517 (consulté le 10 Mars 2011)

Vega J., Al. (2004) Occupational immunologic contact urticaria from pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*): experience en 30 cases. Contact Dermat. 50(2), 60-64. (Consulté le 23 Juillet 2010)

Vega J. et al. (2011) Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in adult population. Contact Derma. 64, 220-228

L'Annexe

ANNEXE

Annexe 01 : Station Mimouna (station n°1)







Annexe 2 : Station Mimouna (station n°2)



