

# Diversité des ennemis naturels de *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea bonjeani* (Lep. Thaumetopoeidae) dans les forêts de *Cedrus atlantica* Manetti.

Zamoum Mohamed <sup>(1)</sup>, Gachi Mustapha <sup>(1)</sup>, Rahim Noureddine <sup>(2)</sup>, Mohamed Khemici <sup>(1)</sup>, Martin Jean Claude <sup>(3)</sup>, Bouragba-Brague Nadia <sup>(1)</sup>, Briki Athmane <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> National Forest Research Institute - Research Laboratory Forest Entomology BP 37 Chéraga Alger - Algeria / E-mail: mzamoum@Yahoo.fr

<sup>(2)</sup> Laboratoire d'entomologie forestière – Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Alger, Algérie

<sup>(3)</sup> National Institute of Agronomic Research - INRA Avignon 84 000 France

<sup>(4)</sup> Direction générale des forêts - Conservation des forêts de Batna (Algérie)

## Résumé

La composition des communautés d'ennemis naturels des deux lepidoptères: *Thaumetopoea pityocampa* (CPP) - *Thaumetopoea bonjeani* (CPC) défoliateurs des forêts de *Cedrus atlantica* en Algérie ont été identifiées. L'estimation de l'aptitude des parasitoïdes, prédateurs et parasites rencontrés au cours de cette étude a été rapportée. La majorité des espèces entomophages de CPP qui ont été citées à travers son aire de répartition ont été observées. Les résultats montrent que la diversité du complexe des ennemis naturels est faible dans le cas de la CPC par rapport à celui de la CPP. Cela, pourrait être dû au développement larvaire court de la CPC qui se déroule au printemps alors que dans le cas de la CPP, il a lieu de l'automne au printemps.

L'analyse des résultats semble montrer que les parasitoïdes spécialistes inféodés à CPP qui activent sur des différentes écophases de développement œufs, chenilles et chrysalides contribuent significativement dans le contrôle des populations des deux processionnaires surtout durant la phase de leurs culminations en particulier, par l'endoparasitoïde des chrysalides, *Villa brunnea* Beck. (Dipt., Bombyliidae) et le ooparasitoïde *Baryscapus servadeii* Domenichini (Hym., Eulophidae) dans le cas de CPP. Pour CPC, l'action des parasitoïdes en majorité polyphages et des entomomycoses reste insignifiante mis à part pour l'oophage *Ooencyrtus pityocampae* (Hym., Encyrtidae).

## Abstract

Composition of the natural enemies' complex of the two Lepidoptera: *Thaumetopoea pityocampa* (CPP) - *Thaumetopoea bonjeani* (CPC) defoliator in different Algerian cedar forests was listed. An estimate effectiveness of the parasitoids, predatory and parasitic species observed were given. Most of the entomophagous species of CCP reported in all its distribution range were observed during our study. However this complex is low in the case of CPC compared to CPP. This may be due to the short larval development of CPC which takes place in spring whereas for PPM this cycle was between autumn to winter.

Analysis of results seems that specific parasitoids of different development stages for eggs, laval and pupae stages contribute significantly to the control of CPP in particular during the outbreak period. Pupal parasitoid *Villa brunnea* Beck. (Dipt., Bombyliidae) and egg parasitoid *Baryscapus servadeii* Domenichini (Hym., Eulophidae) are the main species witch have a high incidence. In the case of the CPC parasitism aptitude of the most parasitoids which have a polyphagous statute and entomomycosis is lower compared to the high incidence of the egg parasitoid *Ooencyrtus pityocampae* (Hym., Encyrtidae).

## ملخص

تشكيلة مجمع الأعداء الطبيعيين للفرشتين *Thaumetopoea pityocampa* (CPP) و *Thaumetopoea bonjeani* (CPC) أكلات أوراق الأرز في مختلف غابات الأرز الجزائرية تم تحديده. أعطيت الفعالية النسبية للطفيليات، والأصناف المقترسة التي تم التقاطها في هذه الدراسة. معظم الأصناف للطفيليات و الفطريات التي التقطت في حالة ل CPC ذكرت في كل مناطق توزيعها في العالم. لكن الدراسة بينت أن نسبت تنوعها ضعيف مقارنة ل CPP. قد يكون هذا يرجع إلى المدة القصيرة لنمو يرقات CPC الذي يتم في الربيع في حين ل CPP نجده من فصل الخريف إلى الشتاء مقارنة ل CPP.

يبدو تحليل النتائج أن أصناف الطفيليات المسماة بالخاصة ل CPP و التي تنشط في مراحل التنمية للبيوض، اليرقات والشرايق لها دور فعال في ضبط نمو CPP خاصة الطفيلي للشرايق *Villa brunnea* Beck. (Dipt., Bombyliidae)، والبيوض *Baryscapus servadeii* Domenichini (Hym., Eulophidae). في حالة CPC، يظهر أن معظم الطفيليات التي لها إمكانية العيش على أصناف أخرى من الحشرات الضارة والفطريات لهم فعالية نسبية وضعيفة مقارنة مع طفيل البيوض *Ooencyrtus pityocampae* (Hym., Encyrtidae).

## 1. INTRODUCTION

Les communautés d'ennemis naturels sont connues pour leur contribution dans le contrôle des espèces de lépidoptères herbivores des arbres résineux comme la chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermuller 1775 (Lep., Thaumetopoeidae) (CPP) et la chenille processionnaire du cèdre (CPM), *Thaumetopoea bonjeani* Powell 1922 (Lep., Thaumetopoeidae). Les études ont montré que la réduction des populations de ces lépidoptères peut dépasser les 50 % dans certaines conditions écologiques (Biliotti, 1958; Royama, 1992; Géri, 1983; Battisti, 1986a; Zamoum *et al.*, 2007; Tarasco *et al.*, 2015). En effet, la position géographique, la structure et le statut de la forêt, la spécificité climatique et l'incidence des changements climatiques sont à même de changer et de modifier la structure et les interactions des communautés d'espèces entomophages mais aussi les fluctuations des populations d'espèces parasitoïdes généralistes et des spécialistes (Gilman *et al.*, 2010).

CPP qui a un développement larvaire hivernal peut être observé dans la majorité des forêts résineuses de pins et de cèdre en Afrique du Nord, en Europe et, dans celles sous influence du climat méditerranéen, au Moyen Orient. Par contre, CPM est une espèce spécifique à *Cedrus atlantica* Manetti qui est présente dans toutes les cédraies de l'Afrique du Nord et à un développement larvaire printanier. Il apparaît, du point de vue phylogénétique que CPM soit proche de *Thaumetopoea pinivora* (Treitschke, 1834) que l'on retrouve en Europe sur le genre *Pinus* (Demolin, 1987). Par ailleurs, l'analyse phylogénétique de Kerdulhé *et al.* (2009) a montré que le complexe *T. pityocampa* - *wilkinsoni* est structuré en trois clades (clade *pityocampa*, clade Nord Est Africain et clade *wilkinsoni*).

PPM et CPM peuvent être distinguées par certaines caractéristiques morphologiques au niveau des œufs, larves, nymphes et adultes (Gachi *et al.*, 1986 & Demolin, 1987). Les caractéristiques communes de ces deux espèces est leur partage d'une niche commune : le cèdre, la vie subsociale, le déplacement en processions des colonies durant l'activité trophique et à la fin du cycle larvaire vers les sites de nymphose et la présence à partir du troisième stade larvaire de poils urticants utilisés comme une défense contre les prédateurs vertébrés. Ces soies constituent une grave menace pour la santé humaine quand ils entrent en contact avec la peau ou d'autres parties du corps (Demolin, 1963 & Battisti *et al.*, 2015).

Les principaux objectifs de cette étude a été d'inventorier les espèces d'ennemis naturels de la PPM et CPM intervenant durant leurs cours cycles de vie, de déterminer la période d'activité pour chaque espèce des ennemis naturels et d'estimer leur aptitude parasitaire.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Lieux d'étude

En général, les forêts algériennes de cèdre sont des forêts mixtes dans lesquelles nous retrouvons une répartition par gradient altitudinal avec en basses altitudes *P. halepensis* et *Quercus suber* qui peuvent également être observés entre 1000 et 1400 mètres (m) en zone semi aride, en moyenne altitude *Quercus ilex* qui peut aller au-delà des 2000 m d'altitude et en haute altitude *Cedrus atlantica*.

L'étude est basée sur des données recueillies à partir des échantillonnages de lots d'œufs, de chenilles et de chrysalides de CPP et CPM dans différentes forêts naturelles de cèdre (tab. 1).

## 2.2. Conditionnement des œufs et des chrysalides

Les échantillonnages sur les parasitoïdes, les prédateurs et les entomopathogènes inféodés à PPM et CPM ont été effectués lors de leurs périodes de culminations entre 1984 et 2013. L'étude a concerné les écophases œufs qui sont déposés sous des branches de cèdre dans le cas des deux espèces, les chenilles matures de stade L5 au moment des déplacements nomadiques et des chrysalides dans les sites d'enfouissement qui ont été prélevés et conditionnés dans les conditions semi-naturelles. Ces manipulations ont permis d'identifier et d'estimer l'incidence des espèces parasitoïdes de microorganismes pathogènes en relation avec les entomomycoses.

**Tableau 1: Caractéristiques des forêts de cèdre d'est en ouest en fonction de leur position géographique, altitude et des espèces de processionnaire étudiées.**

Forêts de cèdre	Lieux	Lattitude	Longitude	Altitude (m)
Ain Antar <sup>1</sup>	Bordj Bounaama (Ouarsenis)	35°53'N	1°38'E	1136
Theniet El Had <sup>1</sup>	National Parc (Tissemsilt)	35°58'N	1°59'E	1453
Chrèa <sup>1</sup>	Ski Club (Blida)	36°25'N	2° 52'E	1497
Tala Guilef <sup>2</sup>	Site touristique (Tizi Ouzou)	36°28'N	3°59'E	1403
Tikjda <sup>1,2</sup>	Hotel Djurdjura (Bouira)	36°26'N	4°7'E	1450
Belezma <sup>1,2</sup>	Col Telmet (Batna)	35°35'N	6°2'E	1628
Chélia <sup>1,2</sup>	Ras Keltoum (Khenchela)	35°19'N	6°38'E	2296

<sup>1</sup>CPP; <sup>2</sup>CPC

Les lots de pontes (N = 30/prélèvement) et les chenilles à la fin du cycle larvaire (N = 100/prélèvement) ont été conditionnés de la manière suivante : dès la collecte, chacune des pontes et des chenilles ont été mises séparément dans des tubes en verre de 8 x 1 centimètre (cm), qui ont été fermés avec du coton aux deux extrémités. De cette façon, il a été possible de déterminer les espèces parasitoïdes et parasites pour les œufs et les chenilles durant la phase aérienne du cycle. Les chrysalides prélevées dans les sites d'enfouissement (N = 100/prélèvement) ont été placés dans des boîtes en plastique de 26,5 x 13,5 x 7,5 cm.

Les observations sur les émergences des différentes espèces de parasitoïdes ont été effectuées durant les périodes d'activités de ces derniers.

L'activité des différentes espèces de prédateurs a été observée occasionnellement dans les forêts.

## 3. RESULTATS

Au même titre que dans d'autres biotopes d'altitude au sud de l'Europe, dans nos stations expérimentales en cédraie, en général, la présence et l'abondance des ennemis naturels de CPP dépend du niveau de populations de l'hôte (Géri, 1983; Battisti & Massutti, 1990 et Pimentel *et al.*, 2006). Les différentes espèces de parasitoïdes et de prédateurs qui ont été identifiées sont reportées avec des informations d'ordre éco-éthologiques dans les tableaux I et II.

### 3.1. Espèces parasitoïdes

- *Baryscapus servadeii* Domenichini (1965) (Hym., Eulophidae)

Cette espèce a été décrite comme étant monophage mais au cours de ces dernières années, elle a été observée dans toutes les cédraies sur PPM. Par contre sur CPM elle a été rencontrée dans les cédraies des Aurès avec une très faible incidence (Gachi *et al.*, 1986 & Demolin, 1987) et au Maroc (El Yousfi, 1989). Elle se reproduit généralement par parthénogenèse thélytoque avec apparition épisodique d'individus mâles.

Le corps des adultes est vert métallique avec des reflets bleuâtres. L'abdomen, allongé, est traversé par deux bandes de couleur violette. Les antennes comprennent 5 articles chez la femelle et 6 articles chez le mâle. Elles sont plus fournies de soies ou chètes et plus longues chez ce dernier. La taille moyenne du corps qui a été mesurée est comprise entre  $1,1 \pm 0,1$  et  $2,2 \pm 0,05$  millimètre (mm).

*B. servadeii* présente deux générations par an, ce qui implique que les individus qui se développent dans les premières pontes de PPM sont capables de pondre à leur tour dans les oeufs des pontes tardives de ce ravageur (Masutti, 1964) mais probablement sur celles de CPM. Dans certains cas dans le sud de la France (Géri, 1980) et en zone semi aride en Algérie (Zamoum, 1998), un fort pourcentage d'individus présentent une diapause de deux années après le dépôt des œufs de PPM.

- *Ooencyrtus pityocampae* Mercet (1921) (Hym., Encyrtidae)

Cette espèce est polyphage et se reproduit par parthénogenèse thélytoque (Masutti, 1964). Au laboratoire, elle se développe dans les oeufs ovariens de PPM et CPM accepte les oeufs de différentes espèces de lépidoptères. Elle a été également rencontrée sur PPM et CPM dans toutes les cédraies algériennes et marocaines.

Les adultes ont un abdomen assez trapu et plus court, avec une taille du corps comprise entre  $0,48 \pm 0,01$  et  $0,74 \pm 0,05$  mm. Les antennes présentent un funicule en 8 articles, le dernier est plus développé et divisé en trois lobes. Les individus mâles portent au niveau des antennes des poils deux fois plus long que ceux des femelles.

Biliotti (1958) a observé que *O. pityocampae* se développe selon deux générations qui peuvent se succéder dans la nature. Les individus de la première, ou individus "prompts", terminent leur développement avant les éclosions des chenilles alors que les larves mûres de la seconde génération entrent en diapause et hivernent à ce stade jusqu'au printemps suivant. Comme pour *B. servadeii*, cette espèce est en mesure de développer une diapause de deux années dans les biotopes de montagnes au sud et au nord de la Méditerranée.

- *Anastatus bifasciatus* Geoffroy (1785) (Hym., Eupelmidae)

Cette espèce est connue des pays du sud de l'Europe et dans les pineraies en basses altitudes (Biliotti, 1958; Masutti, 1964). Dans les cédraies algériennes elle a une faible incidence et n'a été observé que sur PPM. Elle peut évoluer aux dépens d'embryons à différents stades de développement de l'hôte (récents ou âgés).

- *Trichogramma embryophagum* Hartig (1838) (Hym., Trichogrammatidae)

*T. embryophagum* n'a été rencontré que dans les pontes provenant de toutes les cédraies sur PPM et dans la cédraie du Djurdura et des Aurès pour CPM. Son incidence est faible et les émergences des adultes ont été observées à partir du mois de juin. Cette espèce est endoparasite des œufs, polyphage et caractérisée par une polyembryonie. Dans un même œuf, plus de 10 individus peuvent se développer.

- *Phryxe caudata* Rondani (1859) (Dipt., Tachinidae)

Endoparasite, spécifique de PPM, elle est présente dans toutes les cédraies et a deux générations par an sur une même génération de PPM; le premier vol d'adultes est automnal alors que le second est printanier.

Les femelles de première génération de *P. caudata* déposent leurs oeufs prêts à éclore sur le tégument des jeunes chenilles (stades L2 et L3). Les jeunes larves, après éclosion, pénètrent dans la cavité générale et vont se localiser à proximité des troncs trachéens des premiers et surtout des derniers segments abdominaux, pour y provoquer la formation d'une gaine trachéenne secondaire (Biliotti, 1956). Elles marquent alors un arrêt de développement qui dure jusqu'au passage de la mue L4/L5 de l'hôte. L'asticot reprend ensuite son évolution, toujours dans la cavité générale de la chenille. Parvenu à maturité, il sort de celle-ci et se transforme en puppe, soit dans les excréments des chenilles situés à la base du nid d'hiver, soit dans les mailles du tissage du nid. Les pupes donnent les adultes de la deuxième génération printanière, qui après accouplement et maturation des oeufs dans les ovaires, iront pondre sur les chenilles dans les nids ou en processions de nymphose. L'asticot, en L1, restera en arrêt de développement dans les lobules adipeux de la chrysalide et ne reprendra son développement qu'à la fin de la période de diapause de celle-ci, ce qui signifie que si l'hôte suit un cycle pluriannuel, *P. caudata* le respectera. Parvenu à maturité, l'asticot sort de la chrysalide et se transforme en puppe à côté de celle-ci.

- *Compsilura concinnata* Meigen (1824) (Dipt., Tachinidae)

Elle a été rencontrée chez la CPM dans les cédraies du Djurdjura et des Aurès. Il faut noter que contrairement à *P. caudata*, la présence de cet endoparasitoïde polyphage dans les chenilles de PPM engendre une perturbation du comportement social. Dès l'automne les chenilles parasitées se retrouvent souvent moins actives et individualisées à l'extérieur des pré-nids et sur le tissage. Quand l'asticot reprend son évolution au printemps, les chenilles parasitées quittent la colonie en solitaire, le plus souvent bien avant le départ des chenilles en procession ou dans le cas d'un retard du développement larvaire elles ne les accompagnent que très peu de temps dans leur migration.

- *Exorista segregata* Rondani (1859) (Dipt., Tachinidae)

Cette espèce est polyphage et polyvoltine (Du Merle, 1969). En Afrique du nord, elle se développe dans les chenilles de CPM du Djurdjura, des Aurès (Demolin, 1987 & Gachi *et al.* 1986) et marocaines (El Yousfi, 1989). On la rencontre également chez PPM et dans celles de *Lymantria dispar* (Lep., Lymantriidae) dans toutes les cedraies. La femelle, après une période de maturation des oeufs, dépose ces derniers, qui sont prêts à éclore, à l'aide de son oviscaphe membraneux sur les poils ou le tégument des chenilles, particulièrement lorsque celles-ci sont en cours de déplacements en procession de nymphose. Les jeunes larves éclosent rapidement et pénètrent dans la cavité générale de leur l'hôte où elles se développent en 3 stades. L'asticot sort des chenilles, dans la nature, les pupes peuvent être trouvées sous terre à proximité des cadavres. Au laboratoire, après la sortie de l'adulte, le reste du chorion des oeufs est fréquemment retrouvé sur les téguments de la chenille. Ainsi, pour une même chenille parasitée, il a été dénombré jusqu'à 5 oeufs éclos visibles par leur couleur blanche, leur forme ovoïde et leur taille d'environ 1 mm. Ce superparasitisme a déjà été noté sur CPM (Demolin, 1987) et sur les chenilles des derniers stades larvaires de *L. dispar* (Zamoum *et al.*, 2014).

- *Erigorgus femorator* Aubert (1960) (Hym., Ichneumonidae)

Endoparasite, spécifique de PPM (Du Merle, 1969) et il a été détecté dans la majorité des cédraies. Un dimorphisme sexuel très net permet de distinguer facilement le mâle, qui

présente un front et un clypéus de couleur jaunâtre, alors que chez la femelle, ils sont totalement noirs.

Les femelles pondent dans les chenilles des quatrième et cinquième stades larvaires lorsqu'elles sont sur l'arbre, souvent en pénétrant à l'intérieur des nids pour les attaquer. Le développement de la larve a lieu dans la chrysalide, dans laquelle elle se nymphose. L'adulte apparaît à la fin de l'été mais il reste en diapause dans la coque de la chrysalide et n'en émerge qu'au début du printemps suivant. Les chrysalides parasitées par cette espèce se reconnaissent à une légère dilatation de leur abdomen et au noircissement des espaces intersegmentaires.

- *Villa brunnea* Becker (1916) (Dipt., Bombyliidae)

Endoparasite solitaire des chrysalides, elle peut être observée dans toutes les cédraies uniquement chez PPM. L'éco-éthologie de cette espèce a été bien détaillée par Du Merle dans le Mont-Ventoux (sud de la France). Parmi les séquences comportementales étudiées par cet auteur, la plus remarquable est l'existence d'une parade nuptiale des mâles, qui peut se terminer ou non par l'accouplement proprement dit (sélection sexuelle). Les oeufs éclosent au printemps, donnant naissance à des larves qui partent à la recherche d'un hôte qu'elles rencontrent soit sous terre, au stade de prénymphe ou de nymphe, soit dans certains cas, au stade chenille, au cours des déplacements en procession de nymphose. Les planidiums infestent les chrysalides en transperçant les téguments. Après leur pénétration dans la cavité générale de la chrysalide, on observe parfois une réaction de défense de celle-ci par un enkystement du planidium.

Avant de se nymphoser, la larve du troisième stade de *V. brunnea* arrivée à maturité présente une quiescence (entre 15 et 45 jours) et, dans certains cas, une diapause prolongée d'une ou même deux années.

- *Coelichneumon rudis* Boyer de Fonscolombe (1847) Hym., Ichneumonidae)

Un dimorphisme sexuel très net permet de distinguer facilement le mâle par son front de couleur blanche et ses antennes entièrement noires, alors que la femelle possède un front totalement noir et un anneau médian blanc sur les antennes. Les sorties des adultes peuvent être notées durant le mois de mai dans la cédraie de Chréa. Cette période coïncide avec la formation des chrysalides de PPM. Cette espèce a été rencontrée la première fois dans la cédraie de Chréa avec une incidence faible (5 %) par rapport à celle observée au Mont Ventoux par Du Merle (1969) (plus de 20 %) et Tarasco au sud de l'Italie (1995) (plus de 38 %).

- *Conomorium pityocampae* Graham (1992) (Hym., Pteromalidae)

Cette espèce est caractérisée par une faible incidence et une polyembryonie cette espèce a été rencontrée dans les chrysalides de PPM issues d'enfouissement à Chréa et Theniet El Had.

### 3.2. Espèces prédatrices

- *Xanthandrus comtus* Harris (1780) (Dipt., Syrphide) : à la fin novembre, les larves du Syrphide ont été rencontrées dans les nids de PPM dans toutes les cédraies mis à part celles des Aurès. Ce prédateur est habituellement aphidiphage présente une certaine tendance à la polyphagie et même à la saprophagie (Lyon, 1968).

- *Sphodromantis viridis* Forsskal (1775) : attaque les chenilles des deux premiers stades larvaires. Elle a été observée en basse altitude à Chréa à Tikjda à proximité des pré-nids de PPM.

- *Coccinella septempunctata* Linnaeus (1758) : fréquente sur les arbres situés en bordure et souvent situés près des champs agricoles ; consomme les premiers stades larvaires des deux espèces dans toutes les cédraies.
- *Vespa germanica* Fabricius (1793) (Hym., vespidae) consomme occasionnellement les adultes.
- *Ephippiger ephippiger* Fiebig (1784) et *Tettigonia viridissima* Linnaeus (1758) : prédateurs occasionnels des œufs.
- *Crematogaster scutellaris* Olivier (1792) (Hym., Formicidae) : les chenilles sont quelquefois attaquées sur les arbres ou sur le sol alors que les adultes vivants peuvent être dévorés par les colonies de *Leptothorax recedens* Nylander (1856) (Hym., Formicidae).
- *Upupa epops* Linnaeus (1758) : l'activité prédatrice de la huppe (*Upupa epops*) n'a été observée que dans les sites d'enfouissements situés dans les clairières ou en bordure des clairières à la fin du mois d'avril et en début mai au Belezma et Theniet El Had. Cette espèce a été signalée comme étant prédatrice des chrysalides dans les Préalpes vénitiennes (Italie), où son action destructrice peut atteindre 56,5 % (Battisti, 1986a).
- *Parus major* Linnaeus (1758) : à partir du mois de janvier, les chenilles peuvent être consommées par la mésange dans les pineraies et les cédraies du nord.
- *Cyanistes caeruleus* Linnaeus (1758) : elle se nourrit de jeunes chenilles à la fin de l'été particulièrement celles de PPM.

### 3.3. Les principaux microorganismes pathogènes

- Virus (*Smithiavirus pityocampae* et *Borrelina pityocampa*), de bactéries (genre *Clostridium*) : Durant le cycle larvaire les chenilles peuvent être contaminées par ces espèces surtout en hiver et à partir du stade L3-L4. La mortalité des chenilles de PPM due aux maladies peut dépasser 80 % dans certaines conditions spatio-temporelles.
- *Beauveria bassiana* ([Bals-Criv.] Vuillemin, 1912) : cette espèce de mycose est la plus fréquente chez PPM et CPM; elle est observée surtout sur les chenilles au cours des derniers stades larvaires et sous terre au stade chrysalide et a une incidence qui peut dépasser 13%.
- *Poecilomyces fumoso-roseus* (Wize) A.H.S. Br. & G. Sm. (1957), *Metarrhizium* sp. et *Verticillium* sp.: ces entomomycoses ont été également identifiées dans la cédraie de Chréa avec une faible incidence (entre 4 et 5% dans le cas de PPM).
- *Aspergillus* sp. a été retrouvé au niveau des chrysalides de CPM et identifié par le Centre forestier des Laurentides (Canada) avec un taux de plus 10 % de chrysalides de CPM touchées.

**Tableau I: Espèces de parasitoïdes observées sur les principales écophases de développement de CPP et CPC dans les cédraies algériennes.**

Hymenoptera:	Hôtes		Distribution	Ecophases attaqués	Période activité	Efficacité <sup>b</sup>	
	CPP	CPC				CPC	CPP
<i>Baryscapus servadeii</i> (Eulophidae) <sup>a</sup>	x <sup>1</sup>	x <sup>7,8</sup>	Large	Egg	VI-IX	+++	+
<i>Ooencyrtus pityocampae</i> (Encyrtidae) <sup>a</sup>	x <sup>1</sup>	x <sup>5,6,8</sup>	Large	Egg	IV-VI & VII-X	++	+++
<i>Anastatus bifasciatus</i> (Eupelmidae)	x <sup>1</sup>		Large	Egg	VI & IX	+	
<i>Trichogramma embryophagum</i> (Trichogrammatidae) <sup>a</sup>	x <sup>1</sup>	x <sup>5,6,8</sup>	Large	Egg	V-VI & VII	+	+
<i>Pediobius</i> sp. (Eulophidae)	x <sup>4</sup>		limitée	Egg	III & IV	+	
<i>Eupelmus (Macroneura) seculata</i> (Eulophidae)	x <sup>4,7</sup>		limitée	Egg	V-VI-VII	+	
<i>Erigorgus femorator</i> (Ichneumonidae)	x <sup>2,3,4,7,8</sup>		limitée	L4-L5	I-II-III	+++	
<i>Apanteles vestalis</i> (Braconidae)	x <sup>2,3,4,5,6</sup>		limitée	L1-L2	IX-X-XI	+	
<i>Habrocytus chrysos</i> (Chalcidoidea)	x <sup>2,3,4,6,8</sup>		limitée	L4-L5	IV	-	
<i>Dibrachys lignicola</i> (Chalcidoidea)	x <sup>2,3,4,6,8</sup>		limitée	L4-L5	IV	-	
<i>Coelichneumon rudis</i> (Ichneumonidae)	x <sup>4,6</sup>		limitée	P	V-VI	+	
<i>Conomorium pityocampae</i> (Pteromalidae)	x <sup>4,6</sup>		limitée	P	VI-VI	+	
Diptera (Tachinid):							
<i>Phryxe caudata</i> (Tachinidae) <sup>a</sup>	x <sup>1</sup>		Large	L4-L5	IX-X et II-III-IV	+++	
<i>Compsilura concinnata</i> (Tachinidae)	x <sup>1</sup>	x <sup>5,6,8</sup>	limitée	L3-L4	IV-V	++	+
<i>Exorista segregata</i> (Tachinidae)	x <sup>1</sup>	x <sup>5,6,8</sup>	Large	L5	IV	+	+
Diptera (Bombyliidae):							
<i>Villa brunnea</i> (Bombyliidae)	x <sup>1</sup>		Large	L5	VIII-IX	+++	

<sup>a</sup> Espèces mutivolines

<sup>b</sup> Efficacité: +++ (Elevé), ++ (Moyenne), + (Faible), - (Non connu)

Espèce observée dans: <sup>1</sup>Toutes les cédraies, <sup>2</sup> Antar, <sup>3</sup> Theniet El Had, <sup>4</sup> Chréa, <sup>5</sup> Tala Guilef, <sup>6</sup> Tikjda, <sup>7</sup> Belezma, <sup>8</sup> Chélia

**Tableau II: Données éco-éthologiques relatives à quelques espèces de prédateurs de CPP et CPC observées dans les forêts de cèdre.**

Espèces	Hôtes		Distribution	Ecophases attaquées	Période activité	Efficacité
	CPC	CPP				
<i>Xanthandrus comtus</i> Harr. (Dipt. Syrphide)	x <sup>2,3,4,5,6</sup>		Large	L1, L2 & L3	IX-X-XI	moyenne
<i>Scolopendra</i> sp. (Myriapode)	x <sup>2,3,4,5,6,8</sup>		limitée	L5	IV-VII	faible
<i>Sphodromantis viridis</i> (Mantidae)	x <sup>4,6</sup>	x <sup>5,6</sup>	limitée	L1-L2	VIII-IX	faible
<i>Ephippiger ephippiger</i> (Orth. Tettigoniidae)	x <sup>1</sup>	x <sup>2,3,4,5,6</sup>	Large	Pontes	VI-XI	faible
<i>Tettigonia viridissima</i> (Orth. Tettigoniidae)	x <sup>1</sup>	x <sup>2,3,4,5,6</sup>	limitée	Pontes	IV-XI	faible
<i>Coccinella septempunctata</i> (L.) (Col., Coccinellidae)	x <sup>1</sup>	x <sup>1</sup>	Large	L1-L2	VIII-X	faible
<i>Vespa germanica</i> (Hym., vespidae)	x <sup>1</sup>	x <sup>1</sup>	Large	Adultes	VI-IX	faible
<i>Crematogaster scutellaris</i> Ol. (Hym., Formicidae)	x <sup>1</sup>		Large	Adultes	VII-IX	faible
<i>Leptothorax recedens</i> Nyl. (Hym., Formicidae)	x <sup>1</sup>		Large	Adultes	VII-IX	faible
<i>Upupa epops</i> (L.) (Upupidae)	x <sup>1</sup>		limitée	Chrysalides	V-VI	faible
<i>Parus major terrasanctae</i> Hart. (Paridae)	x <sup>1</sup>		limitée	L4 & L5	III-IV	faible
<i>Cyanistes caeruleus</i> (L.) (Paridae)	x <sup>2,3,4</sup>		Large	L1-L5	VIII	moyenne

Espèces observées dans: <sup>1</sup> toutes les cédraies, <sup>2</sup> Antar, <sup>3</sup> Theniet El Had, <sup>4</sup> Chréa, <sup>5</sup> Tala Guilef, <sup>6</sup> Tikjda, <sup>7</sup> Belezma, <sup>8</sup> Chélia

#### 4. DISCUSSION

Il apparaît que le partage de la niche écologique sans compétition active apparente entre les deux espèces du fait que CPP ne se rencontre que dans les biotopes de haute altitude, en ligne de crête, à partir de 1600 m alors que PPM ne peut s'observer qu'en dessous de cette altitude. Il s'agit de noter que PPM est de plus en plus observée dans des stations un peu plus de 1600 m et donc au-delà de ses limites altitudinales habituelles particulièrement dans les cédraies des Aurès. Cette expansion altitudinale de CPP est due à l'augmentation de la température qui contrôle le vol de l'adulte femelle et la survie des chenilles pendant l'hiver (Battisti *et al.*, 2006). En dépit des disparitions périodiques en particulier du fait des hivers défavorables, CPP peut être survivre par le biais de la diapause prolongée au stade de chrysalide sous terre. Notons également que cette aptitude de suivre la diapause prolongée de l'hôte a été également observée, même à des faibles proportions, chez les parasitoïdes des œufs, *P. caudata*, *V. brunnea* et *C. rudis*. Sur la base des prospectives en matière des changements climatiques les cédraies du Djurdjura et des Aurès pourrait faire l'objet de modèle pour les études écologiques et évolutives sur les interactions hôtes-parasitoïdes, les facteurs affectant dynamique de la population de CPP-CPC.

L'analyse du complexe comparée des ennemis naturels montre que celui observé pour CPC est faible avec cinq espèces de parasitoïdes. Par contre, pour celui de PPM avec 16 espèces de parasitoïdes, il comprend, en général, les espèces "clefs" mais il est relativement pauvre dans sa composition spécifique par rapport à celui qui a été noté pour le sud de l'Europe. Cela concerne, au moins, *Meteorus versicolor* (Hym., Braconidae) observé dans de nombreuses provinces espagnoles et dans le Mont Ventoux (Sud de la France); du parasitoïde nymphale *Psychophagus omnivorus* (Hym., Pteromalidae) et d'au moins 7 espèces de diptère citées par Du Merle (1969) comme faisant partie de l'entomocénose parasitaire, d'hyperparasites ou ayant un statut incertain. Du point de vue incidence parasitaire elle apparaît pour l'ensemble des espèces rencontrées, d'après les différents travaux effectués dans le Bassin Méditerranéen être dans les normes par rapport à celle observée au sud de l'Europe.

L'impact des prédateurs avec 12 espèces pour CPP et 5 pour CPC semble, en général, faible par rapport à celui du sud de l'Europe et il reste à être précisé. Des espèces de prédateurs de chenilles observées dans les forêts de pins en Europe n'ont pas été rencontrées comme l'oiseau *Cuculus canorus* et *Corvus pyrrhocorax* (Biliotti, 1958) et les deux coléoptères Carabidae *Carabus graecus* et *Pristonychus* spp. noté par Schmidt *et al.* (1990). La prédation de manière indirecte a été détectée notamment par le comportement de labour du sol par les sangliers (*Sus scrofa*) qui a pour conséquence de remonter à la surface les chrysalides, qui meurent par dessiccation sous l'effet des fortes températures préestivales.

Cependant, la faible composition de ce complexe est la résultante des pressions sélectives qui s'exercent sur l'environnement et sur l'entomocénose parasitaire. En effet, plusieurs auteurs ont signalé les transformations et la disparition des paysages arborés particulièrement à la suite des incendies, l'exploitation irrationnelle des produits forestiers, des changements climatiques et la pollution peuvent avoir des répercussions sur les aptitudes d'adaptation et de survie de certaines espèces du cortège des entomophages.

Il est certain que cette étude devrait être poursuivie, à la fois pour compléter la liste des entomophages inféodés à CPP/CPC complexe dans de nombreuses localités qui restent encore mal connues. Sous un angle pratique, il nous semble également utile de coordonner ces travaux à l'échelle régionale dans le pourtour du Bassin Méditerranéen pour pouvoir apporter les solutions appropriées en matière de protection des cédraies naturelles en Afrique du Nord et au Moyen Orient et celles artificielles installées dans le sud de l'Europe.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Androic M., 1956 - Contribution à l'étude de *Cnethocampa pityocampa* Schiff. Rev. Path. Veg. Ent. Agr, France, **35**, 251-262. N'existe pas dans le texte
- Battisti A., 1986a - *Ricerche bio-ecologiche e demografiche su Thaumetopoea pityocampa (Den. & Schiffermüller) in pinete di Pinus nigra Arnold delle Prealpi orientali*. Thèse de doct., Bologne, Italy, 78p.
- Battisti A., 1986b - Osservazioni sull'attività predatoria dell'Upupa *Upupa epops* a carico della Processionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa*. *Avocetta*, **10**, 119-121.
- Battisti A., Stastny M., Buffo E., Larsson S. 2006. A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*. **12**, 662-671
- Battisti A., Paolucci P., Petrucco Toffolo E., Roques A. 2015 – Comparative structure of the urticating apparatus in processionary moths. In *Processionary moths and climate change : An update*. Ed. Alain Roques INRA France, 427p.
- Biliotti E., 1956 - Biologie de *Phryxe caudata* Rondani (Dipt. Larvaevoridae) parasite de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Rev. Pathol. veg. Entomol. agric. Fr.*, **35**, 50-65.
- Biliotti E., 1958: Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga*. **3** (1), 23-24.
- Demolin G., 1963: Les miroirs urticants de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Rev. zool. Agr. et Appl.* **4**, 1-12.
- Demolin G., 1987 - La processionnaire du cèdre: *Thaumetopoea bonjeani* POWELL. Rapport scientifique et rapport iconographique. Projet: DP-FAO6ALG/83/013. 21p, 30pl.
- Du Merle P., 1969 - Le complexe parasitaire hypogé de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera). *Bol. Serv. Plagas. For.*, **12** (23), 1-5.
- Du Merle P., 1990: Etudier les insectes ravageurs des arbres forestiers: Pourquoi? Comment?... Quelques résultats. *Forêts*, **42**, 4, 23-27. N'existe pas dans le texte.
- El Yousfi M., 1989 – La procesionaria del cedro, *Thaumetopoea bonjeani* Powell. *Bol. Serv. Plagas For.*, **15**, 43-56. N'existe pas dans le texte
- Frerot B., Malosse C., Millat M.C., Demolin G., Martin J.C., Khemici M., Zamoum M., Gachi M., 1990 – Chemical analysis of the sex pheromon glands of *Thaumetopoea bonjeani* Powell (Lepidoptera : Thaumetopoeidae). *J. Appl. Ent.*, **109**, 210-212. N'existe pas dans le texte
- Gachi M., Khemici M., Zamoum M., 1986 – Note sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre, *Thaumetopoea bonjeani* Powell (Lepidoptera, Thaumetopoeidae). *Ann. Rech. For.*, Algérie, **1** (1), 53-63.
- Geri C., 1983 – Dynamique de la processionnaire du pin dans la vallée de Niolo en Corse au cours des cycles 1965-1966, 1967-1968, 1969-1970. Rôle de certains caractères du milieu forestier. *Annals of Forest Sciences*. **40**: 123-156. N'existe pas dans le texte
- Gilman, S.E., Urban, M.C., Tewksbury, J., Gilchrist, G.W., Holt, R.D., 2010. A framework for community interactions under climate change. *Trends in Ecology and Evolution* **25**, 325–331.

- Kerdelhue C., Zane L., Simonato M., Salvato P., Rousselet J., Roques A. & Battisti A. 2009. Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evol. Biol.* 9: 220. DOI: 10.1186/1471-2148-9-220.
- Lyon J.P., 1968 - Contribution à l'étude biologique de *Xanthandrus comtus* (Diptera, Syrphidae). *Ann. Epiphyties*, **19** (4), 683-693.
- Masutti L., 1964 - Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Ann. Cent. Econ. Mont. Ven. Univ. Padova*, **4**, 205-271.
- Masutti L., Battisti A., 1990. *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiff.) in Italy: bionomics and perspectives of integrated control. *J. Appl. Ent.*, **110** (3), 229-234. N'existe pas dans le texte
- Pimentel C., Calvao T., Santos M., Ferreira C., Neves M., Nilsson J. A. 2006 – Establishment and expansion of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep. Notodontidae) population with a shifted life cycle in a production pine forest, Central-Coastal Portugal. *Forest Ecology and Management*, 233, 109-115.
- Pimentel C., Ferreira C. & Nilsson J.A. 2010. Latitudinal gradients and the shaping of life-story traits in a gregarious caterpillars. *J. Linn. Soc.* **100**, 224-236. N'existe pas dans le texte
- Price W.P., 1987 - The role of naturel enemies in insect populations. In : "*Insect outbreaks*" (BARBOSA P. & SCHULTZ J.C., eds), Academic Press, London, 287-307. N'existe pas dans le texte
- Royama T., 1992 – Analytical population dynamics ; ed. Chapman & Hall, 387 p.
- Schmidt G.H., Breuer M., Devkota B., Bellin S., 1990 - Life cycle and natural enemis of *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiff.) in Greece. In: "*Proc. Thaumetopoea - Symp.*" Germany, 36-40.
- Tarasco E., 1995. Morfologia larvale e biologia di *Coelichneumon rudis* (Boyer de Fonscolombe) (Hymenoptera : Ichneumonidae) endoparassitoide delle crisalidi della (*Thaumetopoea pityocampa* (Den. et Schiff.) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae), *Entomologica*, Bari, **29**, 5-51.
- Tarasco E., Triggiano O., Zamoum M., Oreste M., 2015. Natural enemies emerged from *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller) (lepidoptera notodontidae) Pupae in southern Italy. *Redia*, XCVIII, 2015: 103-108.
- Zamoum M., 1998 - *Données sur la bioécologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de Thaumetopoea pityocampa Denis et Schiffermüller. (Lep., Thaumetopoeidae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie).* Thèse de Doct., Univ. des sci. de Rennes I, France, 247 p.
- Zamoum M., Guendouz H., Deia D. 2007. Structure des communautes d'ennemis naturels de *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermüller (Lep., Thaumetopoeidae) sur pin d'Alep en Algerie subsaharienne. *Entomologica: Annali di Entomologia Generale ed Applicata*, Bari, 40: 139-151.
- Zamoum M., Khemici M., Bahmane R., 2014. Gradation et régulation de *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera, Lymantriidae) avec *Bacillus thuringiensis* Berliner var. *kurstaki* dans les subéraies du centre et de l'est algérien. *Rev. Phytprotection*, 94, 13-18.

## **Remerciements**

Les auteurs remercient pour l'identification des espèces rencontrées: Feu MM. Demolin (DR, INRA - Avignon, France) pour les parasitoïdes des chenilles, Feu Du Merle (DR, INRA - Avignon, France) pour les parasitoïdes des chrysalides, Prof. Rasplus (Université d'Orsay, Paris, France) pour ceux des œufs, Prof. Graham (University of Oxford, London- England) pour Trichogrammatidae et le Prof. Tarasco (Université de Bari, Italie) pour les microorganismes pathogènes.

L'étude a été effectuée dans le cadre du programme de coopération scientifique entre l'Institut National de Recherche Forestière d'Algérie et l'Institut National de Recherche Agronomique de France.