

République Algérienne Démocratique et populaire  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ecole Nationale Supérieure Agronomique  
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

## *Thèse*

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat  
en Sciences Agronomiques

## *Thème*

**Recherche écologique et répartition spatio-temporelle de  
la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. dans  
la région de l'Atlas blideen**

Par : Safia SEBTI épouse TOUAHRIA

Devant le jury:

M.	DOUMANDJI S.	Président	Professeur (E.N.S.A)
M.	CHAKALI G.	Directeur de thèse	Professeur (E.N.S.A)
M <sup>me</sup>	BENRIMA A.	Examineur	Professeur (Univ. Blida 1)
M.	HAMMACHE M.	Examineur	Maitre de conférences (E.N.S.A)
M.	BERTELLA N.	Examineur	Maitre de conférences (Univ. Batna)
M.	ZAMOUM M.	Examineur	Maitre de recherche (I.N.R.F)

Soutenu le 26 / 02 / 2015

## **REMERCIEMENTS**

En premier lieu, j'adresse mes plus vifs et sincères remerciements à Monsieur Chakali Gahdab, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'avoir accepté de diriger mes travaux de recherches, j'ai vraiment apprécié de travailler avec vous durant toutes ces années. Vos grandes qualités m'ont toujours amenée à plus de rigueur et de précision dans mon travail. Merci pour vos encouragements, remarques et surtout pour votre disponibilité pour mener à terme ce travail.

Mes sincères remerciements vont à Monsieur Doumandji, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider mon jury. Je tiens également à remercier tous les membres du jury, M. Hammache, Maitre de Conférences à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, M. Bertella, Maitre de conférences à l'université de Batna, M. Zamoum, Maitre de recherche à l'Institut National des Recherches Forestières qui ont accepté de juger ce travail et de l'intérêt qu'ils lui ont porté.

Je remercie très chaleureusement M<sup>me</sup> Benrima Guendouz, Professeur à l'Université Blida1, d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse mais aussi pour ses précieux conseils et son soutien continuels qui ont sans cesse renouvelé mon ardeur à ce travail de recherche.

Sans la contribution de M. Dj. Touahria, Conservateur des forêts de la wilaya d'Aindefla, ce travail n'aurait pu voir le jour, je le remercie pour sa curiosité scientifique, ses suggestions et pour avoir relu et corrigé mon manuscrit. Qu'il en soit vivement remercié.

Je réserve aussi une mention spéciale aux services et agents forestiers, en particulier ceux de la conservation des forêts de Blida et plus spécialement M. Mohamed Selimi, Brigadier des forêts, et M. Abdelghani qui m'ont accompagnée tout au long de mon travail sur terrain, M. Boudjmaa Bergoug, Brigadier chef des forêts, qui m'a beaucoup aidée dans le suivi des émergences et des éclosions au niveau de la station expérimentale à Chréa, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.

Je remercie cordialement M. Dahal Directeur et M. Kala Ingénieur du Parc National de Chréa pour leur collaboration technique.

J'adresse ma profonde reconnaissance à M. A. Battisti, Professeur à l'Université de Padoue (Italie) qui a complété mes références et qui m'a aidée à identifier les espèces de parasitoïdes. Je le remercie aussi pour ses discussions qui m'ont été d'un très grand intérêt dans ma démarche scientifique.

Un grand merci à ma famille, à mes parents pour leurs prières continues, à mes enfants qui m'ont accordée toute leur compréhension et qui m'ont fait preuve de grande patience pour mener à bien mes travaux de recherches.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>PREMIER CHAPITRE : DONNEES SUR LA PROCESSIONNAIRE <i>THAUMETOPOEA PITYOCAMPA</i> SCHIFF. ET SON HOTE <i>CEDRUS ATLANTICA</i> MANETTI</b>	4
<b>1. La processionnaire du pin, <i>Thaumetopoea pityocampa</i></b>	4
1.1 Biosystématique du genre <i>Thaumetopoea</i> .....	4
1.2 Aire de répartition .....	5
1.3 Caractéristiques des écophases .....	6
1.3.1 L'émergence imaginale.....	7
1.3.2 Les pontes.....	8
1.3.3 Le développement larvaire .....	8
1.3.4 Le nid d'hiver .....	9
1.3.5 Les processions de nymphose.....	10
1.3.6 Phase souterraine.....	10
1.4 Dynamique des populations.....	11
1.5 Les facteurs climatiques et le développement de la processionnaire.....	12
1.6 Impact du changement climatique sur l'extension de la processionnaire.....	13
1.7 Les plantes hôtes.....	14
1.8 Les ennemis naturels.....	14
1.9 Protection et prévention.....	15
1.9.1 Dégâts et nuisances.....	15
1.9.2 Moyens de lutte .....	16
<b>2. Le cèdre de L'Atlas <i>Cedrus atlantica</i> Manetti</b>	19
2.1 Taxonomie et aire de répartition.....	19
2.2 Caractéristiques botaniques et dendrologiques.....	21
2.3 Caractéristiques écologiques.....	22
2.4 Régénération naturelle du cèdre .....	23
2.5 Importance économique du cèdre.....	24
2.6 Etat sanitaire du cèdre de l'Atlas.....	25
2.7 Le dépérissement du cèdre.....	26
<b>DEUXIEME CHAPITRE : LA CEDRAIE DU PARC NATIONAL DE CHREA, SITE D'ETUDE</b>	27
1. Les conditions géographiques du Parc National de Chréa.....	27
1.1 Le relief.....	27
1.2 Le réseau hydrographique.....	27
1.3 Structure lithologique.....	28
1.4 La végétation du Parc National de Chréa.....	28

2. Caractéristiques climatiques du Parc National de Chréa .....	28
2.1 Les températures.....	29
2.2 Les précipitations.....	30
2.3 Bilan climatique de la zone d'étude.....	32
2.3.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson.....	32
2.3.2 Le Climagramme d'Emberger .....	33
2.4 La neige.....	34
2.5 L'humidité relative.....	34
2.6 L'insolation.....	34
2.7 Les vents.....	34

## **TROISIEME CHAPITRE : MATERIEL ET METHODES** 35

1 Méthodologie adoptée .....	35
2 Caractérisation des �tats biologiques de la processionnaire du pin.....	35
3 Piégeage sexuel et émergence des papillons.....	35
4 Récolte du matériel biologique .....	39
4.1 Récolte des pontes.....	39
4.2 Examen des pontes.....	41
4.2.1 Examen des écailles maternelles.....	41
4.2.2 Dénombrement des catégories d'œufs.....	41
4.3 Récolte et biométrie des larves.....	42
4.4 Récolte et biométrie des chrysalides.....	43
5. Dénombrement des nids d'hiver .....	44
6 Analyse statistique.....	46

## **QUATRIEME CHAPITRE : RESULTATS** 47

1 Emergence des adultes.....	47
1.1 Variation interannuelle des émergences.....	47
1.2 Variation du rythme de piégeage .....	48
1.3 Variation interannuelle des émergences en fonction de l'altitude.....	49
1.4 Effet de la structure du peuplement sur le rythme de piégeage.....	50
1.5 Période et fréquence des émergences des adultes.....	51
2 Biométrie des papillons mâles.....	53
3 Caractérisation des pontes de <i>T.pityocampa</i> .....	54
3.1 Les écailles maternelles de protection.....	54
3.2 Biométrie des pontes.....	55
3.3 Analyse des pontes.....	56
3.3.1 Dénombrement des œufs par ponte .....	56
3.3.2 Ecllosion des pontes.....	57
3.3.3 Examen des catégories d'œufs.....	59

3.3.4 Dénombrement des catégories d'œufs.....	60
4. Mensuration des stades larvaires et du stade nymphal.....	62
4.1 Biométrie des stades larvaires.....	62
4.2 Biométrie des chrysalides.....	64
4.3 Sexage des chrysalides.....	65
5. Chronologie de développement de <i>T.pityocampa</i> dans la cédraie de Chréa. ....	67
6. Les antagonistes de <i>T.pityocampa</i> .....	69
6.1 Diversité des parasitoïdes embryonnaires.....	69
6.1.1 Synchronisme temporel entre <i>T.pityocampa</i> et ses ooparasitoïdes.....	70
6.1.2 Distribution temporelle des parasitoïdes sur les pontes de <i>T.pityocampa</i> .....	71
6.1.3 Activité parasitaire des espèces oophages.....	71
6.1.4 Evolution temporelle de la régulation des populations œufs .....	73
6.2 Les parasitoïdes du stade nymphal.....	73
6.2.1 Caractérisation des populations nymphales.....	73
6.2.2 Activité des parasitoïdes sur la population larvo-nymphale.....	75
6.3 Les prédateurs de <i>T. pityocampa</i> à Chréa.....	76
7. Dénombrement et répartition des nids d'hiver de <i>T.pityocampa</i> .....	77
7.1 Distribution interannuelle des nids d'hiver.....	77
7.2 Distribution altitudinale des nids d'hiver .....	78
7.3 Distribution des nids d'hiver en fonction de l'exposition.....	79
7.4 Relation altitude, hauteur des arbres et distribution des nids.....	80
<b>CINQUIEME CHAPITRE : DISCUSSION</b>	82
1 Traits comportementaux de <i>T. pityocampa</i> sur le cèdre de l'Atlas.....	82
2 Facteurs de régulation écologique des populations.....	89
3 Progression et dynamique des infestations.....	91

## **CONCLUSION GENERALE**

## **REFERENCES CONSULTEES**

## Liste des tableaux

		P
<b>Tab.1</b>	Températures moyennes mensuelles corrigées pour la période 1995-2010...	29
<b>Tab.2</b>	Précipitations moyennes mensuelles corrigées pour la période 1995-2010...	31
<b>Tab.3</b>	Analyse descriptive des captures de papillons mâles.....	47
<b>Tab.4</b>	Moyennes de piégeage par jour et par piège.....	48
<b>Tab.5</b>	Analyse descriptive des mensurations des papillons mâles.....	53
<b>Tab.6</b>	Analyse descriptive des pontes de <i>T.pityocampa</i> .....	55
<b>Tab.7</b>	Analyse descriptive des œufs de <i>T.pityocampa</i> .....	56
<b>Tab.8</b>	Analyse descriptive catégories d'œufs examinées (année 2010).....	60
<b>Tab.9</b>	Analyse descriptive catégories d'œufs examinées (année 2011).....	60
<b>Tab.10</b>	Analyse descriptive catégories d'œufs examinées (année 2012).....	60
<b>Tab.11</b>	Analyse descriptive catégories d'œufs examinées (année 2013).....	60
<b>Tab.12</b>	Analyse descriptive catégories d'œufs examinées (année 2014).....	60
<b>Tab.13</b>	Analyse descriptive des stades larvaires de <i>T.pityocampa</i> .....	62
<b>Tab.14</b>	Analyse descriptive des longueurs et des largeurs des chrysalides.....	64
<b>Tab.15</b>	Evolution chronologique de <i>T.pityocampa</i> dans la cédraie de Chréa.....	67
<b>Tab.16</b>	Action des parasitoïdes oophages sur la population œufs de <i>T.pityocampa</i> (2010).....	72
<b>Tab.17</b>	Action des parasitoïdes oophages sur la population œufs de <i>T.pityocampa</i> (2011).....	72
<b>Tab.18</b>	Action des parasitoïdes oophages sur la population œufs de <i>T.pityocampa</i> (2012).....	72
<b>Tab.19</b>	Action des parasitoïdes oophages sur la population œufs de <i>T.pityocampa</i> (2013).....	72
<b>Tab.20</b>	Action des parasitoïdes oophages sur la population œufs de <i>T.pityocampa</i> (2014).....	72
<b>Tab.21</b>	Etat biologique des chrysalides issues des enfouissements 2011, 2012,2013	74
<b>Tab.22</b>	Etat biologique des chrysalides mâles et femelles issues des enfouissements 2011, 2012,2013.....	75
<b>Tab.23</b>	Taux de parasitisme des parasitoïdes des Chrysalides de <i>T.pityocampa</i> .....	75
<b>Tab.24</b>	Analyse descriptive de dénombrement des nids d'hiver .....	77
<b>Tab.25</b>	Analyse descriptive de la distribution altitudinale des nids d'hiver.....	78

## Liste des figures

	<b>P</b>
<b>Fig.1</b> Les adultes de <i>T.pityocampa</i> .....	7
<b>Fig.2</b> Le nid d'hiver de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas.....	10
<b>Fig.3</b> Défoliation des jeunes sujets du cèdre de l'Atlas.....	16
<b>Fig.4</b> Localisation de <i>Cedrus atlantica</i> en Algérie.....	20
<b>Fig.5</b> La cédraie du Parc National de Chréa.....	21
<b>Fig.6</b> Variation mensuelles des températures moyennes de 1995-2010 à Chréa.....	30
<b>Fig.7</b> Variation mensuelles des précipitations moyennes de 1995-2010 à Chréa.....	31
<b>Fig.8</b> Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	32
<b>Fig.9</b> Climagramme d'Emberger.....	33
<b>Fig.10</b> Localisation des stations prospectées.....	36
<b>Fig.11</b> Le piège à phéromone avec des papillons mâles piégés.....	36
<b>Fig.12</b> Station des châtaigniers.....	37
<b>Fig.13</b> Station des glaciers.....	38
<b>Fig.14</b> Station des quatre bancs.....	38
<b>Fig.15</b> Récolte des pontes de <i>T.pityocampa</i> à Chréa.....	39
<b>Fig.16</b> Biométrie des pontes.....	40
<b>Fig.17</b> Conditionnement des pontes de <i>T.pityocampa</i> .....	40
<b>Fig.18</b> Ecllosion des chenilles de la processionnaire du pin.....	41
<b>Fig.19</b> Pontes parasitées.....	42
<b>Fig.20</b> Mensuration des chenilles.....	43
<b>Fig.21</b> Les nymphes de <i>T.pityocampa</i> .....	44
<b>Fig.22</b> Emergence au laboratoire d'un papillon femelle.....	44
<b>Fig.23</b> Le dénombrement des nids d'hiver de la processionnaire du pin à Chréa.....	45
<b>Fig.24</b> Le clinomètre Sunnto Tandem.....	45
<b>Fig.25</b> Comparaison des moyennes interannuelles de captures des adultes mâles.....	47
<b>Fig.26</b> Comparaison des moyennes de captures par piège.....	49
<b>Fig.27</b> Comparaison des moyennes de piégeage par station d'altitude.....	50
<b>Fig.28</b> Rythme de piégeage en fonction de la composition du peuplement.....	51
<b>Fig.29</b> Courbe cumulative des émergences de papillons mâles.....	52
<b>Fig.30</b> Fréquence hebdomadaire des captures de papillons mâles.....	52
<b>Fig.31</b> Comparaison des moyennes de longueur des papillons en provenance des trois stations.....	53
<b>Fig.32</b> Comparaison des moyennes d'envergure des papillons en provenance des trois stations.....	54
<b>Fig.33</b> Manchons et écailles de pontes de <i>T. pityocampa</i> sur les rameaux de cèdre....	54
<b>Fig.34</b> Relation entre le nombre d'œufs et la longueur des pontes.....	55
<b>Fig.35</b> Relation entre le nombre d'œufs et le diamètre des pontes.....	56
<b>Fig.36</b> Les taux d'écllosion des pontes de <i>T.pityocampa</i> .....	57
<b>Fig.37</b> Fréquence journalière des écllosions.....	58
<b>Fig.38</b> Courbe cumulative des écllosions.....	58
<b>Fig.39</b> Les catégories d'œufs de <i>T.pityocampa</i> .....	59
<b>Fig.40</b> Pourcentages des catégories d'œufs de <i>T. pityocampa</i> .....	61
<b>Fig.41</b> Les colonies des premiers stades larvaires de <i>T.pityocampa</i> .....	63
<b>Fig.42</b> Les processions aux premiers stades de <i>T.pityocampa</i> .....	63
<b>Fig.43</b> Les Chrysalides de <i>T.pityocampa</i> .....	64

<b>Fig.44</b>	Comparaison des moyennes de longueur et de largeur des chrysalides mâles et femelles de <i>T.pityocampa</i> .....	65
<b>Fig.45</b>	Proportion du sexage des populations nymphales (année 2011).....	65
<b>Fig.46</b>	Proportion du sexage des populations nymphales (année 2012).....	66
<b>Fig.47</b>	Proportion du sexage des populations nymphales (année 2013).....	66
<b>Fig.48</b>	Cycle biologique de <i>T.pityocampa</i> dans la cédraie de Chréa.....	68
<b>Fig.49</b>	Les parasitoïdes oophages de <i>T.pityocampa</i> identifiés sur le cèdre à Chréa.....	69
<b>Fig.50</b>	Synchronisme temporel entre <i>T.pityocampa</i> et ses ooparasitoïdes.....	70
<b>Fig.51</b>	Distribution interannuelle des parasitoïdes oophages sur les pontes de <i>T.pityocampa</i> .....	71
<b>Fig.52</b>	Action des parasitoïdes oophages sur les œufs de <i>T.pityocampa</i> en fonction de la gradation des populations.....	73
<b>Fig.53</b>	Incidence des facteurs de régulation sur la population nymphale de <i>T.pityocampa</i> .....	74
<b>Fig.54</b>	Ephippiger prédateur des pontes de <i>T.pityocampa</i> .....	76
<b>Fig.55</b>	Nids prédaté par ma mésange à Chréa.....	77
<b>Fig.56</b>	Distribution interannuelle des nids d'hiver .....	78
<b>Fig.57</b>	Distribution altitudinale des nids d'hiver.....	79
<b>Fig.58</b>	Distribution des nids d'hiver en fonction de leur exposition sur l'arbre.....	80
<b>Fig.59</b>	Comparaison des moyennes de nids et des hauteurs des arbres dans les deux classes d'altitude.....	81

## INTRODUCTION

En Algérie le patrimoine forestier couvre une superficie de 4,15 millions d'hectares, soit un taux de boisement de 11% pour le Nord du pays. La forêt qui comporte un capital sur pied assez pauvre ne représente que 1,3 millions d'hectares et le reste constitue les maquis, les garrigues et les terres improductives aux potentialités forestières. Les principales essences qui caractérisent les sylves algériennes sont le pin d'Alep, le pin maritime, le cèdre et les feuillues à base de chêne vert, de chêne-liège, de chêne zeen et de chêne afarès (D.G.F, 2004).

Les forêts de cèdre font partie des écosystèmes méditerranéens qui jouent un rôle primordial dans l'équilibre des régions montagneuses du Nord-Africain. En Algérie, les cédraies suscitent un intérêt exceptionnel qui s'oriente vers la sauvegarde et l'extension. La nécessité de protéger le cèdre est toujours placée en amont des programmes forestiers. C'est ainsi que la majorité des cédraies se trouvent dans des parcs nationaux. De nombreux auteurs ont signalé que le cèdre de l'Atlas est devenu hors de son aire naturelle, l'essence de base pour la revalorisation et la reconstitution des forêts improductives ou dégradées et la restauration des montagnes dénudées (Roques, 1983 ; Toth, 1990).

Malgré les facultés adaptives qui caractérisent les arbres de cèdre (Toth, 1990), il est confronté à de nombreux problèmes de santé. Les attaques des ravageurs, défoliateurs et xylophages ont affaibli les arbres surtout ceux qui se trouvent dans des conditions climatiques déficientes. A cela s'ajoute l'effet sous jacent de la désertification et du déficit hydrique qui influe défavorablement sur la croissance des arbres et sur la régénération naturelle. Le dépérissement des forêts des Aurès en est la preuve très éloquente. Les observations des professionnels de la direction générale des forêts confirment l'existence de ce fléau pratiquement dans toutes les cédraies Algériennes. Il est la résultante de l'interaction des différents facteurs de stress biotique et abiotique.

Les changements globaux constituent un autre facteur de fragilisation des systèmes naturels méditerranéens. Les premiers signes de ce changement sont déjà ressentis au niveau des fonctions des écosystèmes sylvatiques. Les observations récentes tendent à montrer que les populations d'insectes forestiers méditerranéens commencent déjà à répondre aux changements climatiques (Moore et Allard, 2008). La diversité entomologique des peuplements de cèdre est très riche et renferme une multitude

d'espèces d'insectes ravageurs. Certains chercheurs imputent le dépérissement des cédraies aux attaques répétées et non traitées à temps de ces insectes nuisibles. Les défoliateurs sont les espèces les plus redoutables des ravageurs forestiers. Leur effets sur la croissance et la production des essences forestières ont été soulignés depuis longtemps par de nombreux auteurs (Grison, 1972; Hewitt et Ayres, 1975 ; Dumerle, 1988; Becker *et al.*, 1990; Van Hees, 1997). Les résultats des auteurs précités se rejoignent sur les conséquences des attaques de ces insectes phyllophages. En effet, les défeuillaisons répétées provoquent des pertes d'accroissement des arbres fortement touchées, et occasionnent des dégâts importants aux jeunes plantations et à la régénération. En Algérie, deux espèces de processionnaire sont impliquées dans les défoliations de cèdre (Bertella, 1987 ; Gachi, 1998). Il s'agit de *Thaumetopoea bonjeani* Powel qui reste peu abondante du fait qu'elle soit spécifique au cèdre, et de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff qui entraîne des dégâts conséquents aux forêts de pin et de cèdre de l'Atlas à cause de sa grande valence écologique. Les bilans établis ces dernières années, par les services des forêts font constater de fortes infestations des peuplements de cèdre. Les populations de la processionnaire, *T.pityocampa* ont fortement augmenté dans la cédraie du Parc National de Chréa. De nombreuses études (M'zibri, 1991 ; Graf et M'zibri, 1994 ; El Yousfi, 1994 ; Sbabdji, 2009) ont montré l'impact des défoliations de la processionnaire sur la productivité du cèdre. En 1979, la processionnaire du pin a attaqué 54000 hectares de cèdre au Maroc dont, 20000 hectares ont été défeuillés à plus de 50% et 4000 hectares ont été totalement défeuillés (El Yousfi, 1994).

*Thaumetopoea pityocampa* a fait l'objet d'un effort considérable de recherche afin de réguler ses populations. Démolin (1969,1971 et 1987) ; Bertella (1987) ; Zamoum (1998) ; Zamoum *et al.*, (2005) se sont penchés sur l'étude des facteurs de fluctuation d'abondance et de variation de cycle, sur le complexe d'ennemis naturels et sur les essais de lutte biologique dans les pineraies. Ces études poursuivies depuis plusieurs années ont permis d'accumuler une somme considérable de renseignements sur ce prédateur. Les programmes de lutte basés sur les différents moyens de contrôle ont permis de circonscrire les infestations dans certaines régions notamment celles renfermant les forêts de pin , mais le problème demeure posé dans les cédraies. La localisation de ces forêts dans des sites protégés a limité les possibilités d'interventions et la cédraie de l'Atlas blideen en est un exemple. Les gestionnaires forestiers sont confrontés à de nombreuses difficultés qui réduisent les méthodes de traitement. L'utilisation de la lutte biologique à base de

*B.thuringiensis*, n'est pas préconisée dans la région de Chréa en raison de la concentration de population. Quant aux méthodes mécaniques, elles restent insuffisantes pour ramener les populations de ravageur à un niveau inférieur au seuil de nuisibilité.

En outre, l'insuffisance des données sur les populations de la processionnaire dans la région de l'Atlas blideen, la fréquence des infestations et leur caractère invasif enregistrés ces dernières années dans les formations de cèdre à Chréa et le recours aux traitements ponctuels en absence des renseignements sur l'ensemble des interactions écologiques n'ont pas permis d'élaborer des programmes de lutte intégrée en fonction des contingences de l'environnement naturel.

L'objectif principal de cette étude est de fournir un maximum de données sur la processionnaire qui sévit dans les peuplements du cèdre de l'Atlas blideen, afin de développer des méthodes d'intervention qui permettent de réduire l'intensité et la fréquence des pullulations de cet insecte, d'assurer la préservation intégrale du site protégé, et sans effets secondaires sur l'homme et sur le milieu naturel en général. Cette étude se fixe comme but d'approcher en détail la biologie de cette espèce dans son milieu naturel pour renforcer et compléter les recherches scientifiques qui sont les seules capables de prédire l'évolution démographique de ce défoliateur. L'élargissement des connaissances et l'actualisation des données disponibles sont impératifs compte tenu des modifications du milieu et probablement des perturbations engendrées par les changements climatiques. Ces derniers peuvent modifier la synchronie saisonnière entre la processionnaire et ses ennemis naturels (van Asch *et al.*, 2007; Stireman *et al.*, 2005).

L'étude menée s'inscrit dans la continuité de notre investigation antérieure, qui a fourni des résultats jugés concluants et méritant d'être poursuivis et développés par des données spatiotemporelles étalées et plus approfondies.

L'intérêt de cette étude est d'une part, d'approfondir les connaissances sur la chronologie de développement et sur l'écologie de la processionnaire *T.pityocampa*, et d'autre part de suivre la dynamique de l'espèce au cours de sa gradation 2010-2014 dans le Parc National de Chréa. Ces connaissances vont permettre de statuer sur les mécanismes de gestion de ce ravageur et de prédire les risques à l'échelle de l'écosystème forestier à travers une stratégie globale qui assure une protection durable de la cédraie de l'Atlas blideen.

## PREMIER CHAPITRE

### DONNEES SUR LA PROCESSIONNAIRE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* SCHIFF. ET SON HOTE CEDRUS ATLANTICA MANETTI

#### 1. La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*

##### 1.1 Biosystématique du genre *Thaumetopoea*

*Thaumetopoea* est l'unique genre de la famille de *Thaumetopoeidae*, il est constitué de 9 espèces de processionnaires (Agenjo, 1941) vivant dans la région méditerranéenne :

*T. pityocampa* (Schiff),

*T. solitaria* (Freyer),

*T. processionea* (Linneo),

*T. bonjeani* (Powell),

*T. pinivora* (Treitschke),

*T. herculeana* (Rambur),

*T. jordana* (Staudinger),

*T. wilkinsoni* (Tams),

*T. cheela* (Moore) qui est décrite en Inde (El Yousfi, 1989).

Les espèces de processionnaires inféodées aux résineux de la région méditerranéenne, cohabitent ensembles et parfois partagent le même végétal hôte. De nombreux chercheurs (Démolin *et al.*, 1994) soulignent la confusion taxonomique entre les différentes races géographiques. Ces défoliateurs possèdent une grande similitude dans les caractères morphologique, trophique et comportemental. Les espèces appartenant au genre *Thaumetopoea* partagent stratégiquement une grande partie du cortège des ennemis naturels. La similitude des phéromones sexuelles et la possibilité d'interfécondité ont prêté confusion entre *T. pityocampa* et *T. wilkinsoni* (Démolin *et al.*, 1994). Une autre confusion a existé depuis longtemps en Algérie et au Maroc entre *T. pityocampa* et *T. bonjeani* du fait qu'elles peuvent vivre sympatriquement sur le cèdre de l'Atlas (Démolin *et al.*, 1994). Ces similitudes ont permis de supposer qu'il existe un lien phylogénétique entre les différentes

espèces méditerranéennes. Les études récentes de phylogéographie (Kerdelhue *et al.*, 2009) ont montré que généralement, la spécialisation par plante-hôte est le moteur principal de la différenciation des populations phytophages. Les individus se reproduisent très souvent avec leurs congénères ayant les mêmes préférences d'hôtes. Ceci conduit à des formations de races d'hôtes spécialisées au sein des populations polyphages.

Les études de la structure phylogéographique du complexe d'espèces du genre *Thaumetopoea* menées sur l'ensemble du pourtour méditerranéen pour caractériser le degré de divergence entre certaines espèces, à savoir *T.pityocampa* et *T. wilkinsoni* et préciser les aires de leur distribution, ainsi que les zones de contact potentielles, ont montré que ces espèces appartiennent à trois clades majeurs fortement différenciés sur l'ensemble de la Méditerranée, un clade présent en Europe (Est de la Grèce, la France, l'Italie et une partie des Balkans) et dans une partie du Maghreb (Maroc et Sud de l'Algérie), ce qui pourrait correspondre à *T. pityocampa sensu stricto* ou clade *pityocampa*; un second clade regroupe les populations de Chypre, Turquie, Liban, et pourrait correspondre à *T. wilkinsoni* ou clade *wilkinsoni*. Un troisième clade comprend les individus d'une partie de l'Algérie, de Tunisie et de Libye, et ne correspond à aucune entité taxonomique connue c'est le clade ENA ou Eastern-North - Africa. D'autre part, des études biosystématiques prenant en compte la biologie des espèces, les phéromones et les critères morphologiques et anatomiques, convergent toutes pour permettre de penser que les espèces *T.pinivora*, *T.bonjeani*, *T.libanotica*, vivant en cédraie turque (sous le nom de *T.solitaria*) seraient des races géographiques d'une même espèce. Les différences constatées seraient que l'expression d'une forte variabilité intraspécifique apparue à la suite d'isolements forcés de plusieurs populations, repliés en altitude, ou à une latitude plus nordique, à la suite d'un recul important des glaciations, les obligeant de s'inféoder soit au cèdre (Afrique du nord) soit au pin (Europe) (Démolin *et al.*, 1994).

## **1.2 Aire de répartition**

La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* est le principal ravageur frondicole des espèces forestières des genres *Pinus et Cedrus*. Elle a été mentionnée depuis plus de deux cents ans et décrite pour la première fois par Denis et Shiffermuller en 1776 (Agenjo, 1941). Son aire s'étend de l'Europe centrale et méridionale jusqu'en Afrique du Nord et au Proche-Orient. Elle est présente dans l'ensemble du bassin méditerranéen, et s'observe dans les forêts résineuses de pin et de cèdre. Elle atteint, en France, la limite Nord de son aire d'extension et en Algérie, le barrage vert est sa limite sud. Ses

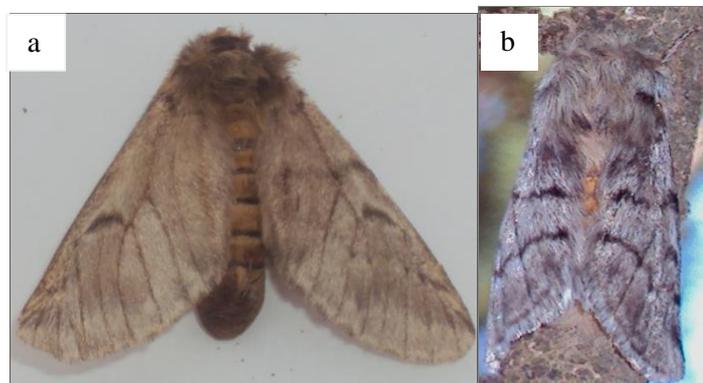
pullulations sont temporaires avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements (Zamoum, 1998) et (Zamoum, 2002). La présence et l'intensité de ses dégâts sont étroitement dépendants des caractéristiques climatiques locales (température et ensoleillement). L'évolution réelle de l'aire de répartition entre 1969 et 1996 a été étudiée par Démolin *et al.*, (1996), qui montrent une progression de l'insecte vers les latitudes Nord. Cette progression est liée selon les auteurs précités au réchauffement climatique et ensuite confirmée par Goussard *et al.*, (1998), et Hodar *et al.*, (2003), qui constatent une progression en altitude de l'espèce.

### **1.3 Caractéristiques des écophases**

*Thaumetopoea pityocampa* est caractérisée par un cycle annuel mais parfois il peut s'étendre sur plusieurs années, selon les conditions environnementales en particulier la température et l'insolation. Il comprend deux phases, l'une aérienne s'effectuant sur l'arbre et qui correspond au développement larvaire, et l'autre est souterraine concernant la prénymphe et la nymphe (Huchon et Démolin, 1970). La sortie des papillons s'effectue durant l'été entre les mois de juin et de septembre selon le climat. Après l'accouplement des adultes, le mâle meurt un à deux jours après. La femelle s'envole et pond en moyenne 100 à 300 œufs sur des aiguilles de pin ou des rameaux de cèdre, puis elle meurt à son tour. Les chenilles éclosent 30 à 45 jours après la ponte. Elles se nourrissent des aiguilles de l'arbre. Au cours de leur croissance, les chenilles changent de couleur et se couvrent de plus en plus de poils. En automne, elles construisent un abri en soie, sur l'arbre pour passer l'hiver. Au printemps, la colonie quitte l'abri et se dirige vers le sol pour la nymphe. Cette dernière se déroule à environ 10 cm de profondeur, et la nymphe entre en diapause qui s'arrête toujours un mois avant la sortie des adultes. Certaines nymphes et parfois même la totalité des nymphes peuvent ne pas se transformer en adultes l'année de la nymphe, la diapause s'étendant alors jusqu'à l'année suivante et parfois au de-là (Robredo, 1963). Deux semaines plus tard, dans le sol, les processionnaires tissent des cocons individuels et se transforment en chrysalides. Elles restent dans cet état pendant plusieurs mois ou parfois plusieurs années selon les régions (Zamoum *et al.*, 2005). Au bout de quelques mois, chaque chrysalide se métamorphose en papillon et sortent de la terre en marquant le début d'un autre cycle.

### 1.3.1 L'émergence imaginale

Les dates d'émergence qui caractérisent le début du cycle varient en fonction de l'altitude, de la latitude et des conditions climatiques. Elles tendront à se situer à l'époque la plus favorable pour qu'il ait survie de la descendance. Cette date est maintenue par la diapause qui assure un rythme annuel précis. La sortie des adultes a lieu au cours des mois de juillet et d'août. Les mâles émergent environ une demi-heure avant les femelles. Les imagos sortent du cocon grâce à la présence de crêtes sclérifiées (canthus) situées sur leurs têtes qui permettent de trouer l'enveloppe de la chrysalide (Démolin, 1969b). Morphologiquement, les deux sexes se ressemblent. L'envergure alaire des femelles est de 36 à 49 mm, celle des mâles est de 31 à 39. Les antennes sont filiformes chez la femelle et pectinée chez le mâle. Les deux sexes ont un thorax poilu. L'abdomen des mâles est velu et pointu. Les ailes antérieures sont gris cendré terne et les ailes postérieures sont blanches, à franges grises, avec une tache noire caractéristique au niveau de la région anale. Les mâles se distinguent néanmoins des femelles par leur petite taille (figure 1). Les papillons sont nocturnes et éphémères. Le mâle peut voler jusqu'à 50 kilomètres et la femelle ne dépasse pas une distance de 3 à 4 kilomètres. A la sortie de terre, les papillons vont vers un lieu surélevé pour déployer leurs ailes pendant quelques minutes. A la tombée de la nuit, l'activité des papillons commence. Les femelles cherchent une zone de repos. Quelques heures après, elles se placent dans une position d'appel en émettant une phéromone spécifique (Guerrero *et al.*, 1981), appelé la pityolure. Les papillons mâles attirés par la phéromone sexuelle s'envolent à la recherche des femelles. Après l'accouplement qui dure environ une heure, les deux papillons se séparent. Les femelles fécondées s'envolent et choisissent un arbre pour pondre pendant une durée de trois ou quatre heures (Démolin, 1969b).



**Figure1** : Les adultes de *T. pityocampa* (a : femelle, b : mâle) à Chréa (*original 2011*)

### 1.3.2 Les pontes

Les femelles de *T. pityocampa* pondent sur les aiguilles et les rameaux des arbres les plus proches. En l'absence de site favorable, elle pourra parcourir plusieurs kilomètres pour conquérir d'autres territoires (Gachi, 1996). Elle ne dépose ses œufs sur d'autres essences qu'en ultime recours (Démolin, 1969c). La distance à parcourir entre le lieu d'accouplement et le lieu de ponte ne semble pas constituer une limite pour le choix de l'hôte. La femelle peut en effet parcourir des distances de plusieurs kilomètres, ce qui facilite l'extension rapide du foyer d'infestation (Démolin, 1969b). Elle dépose tous ses œufs en une seule fois sous forme de manchon de 1 à 5 centimètres de longueur autour de deux ou plusieurs aiguilles de pin ou en plaque sur la partie basse de petits rameaux de cèdre. Les œufs pondus sont recouverts par des écailles qui proviennent de l'extrémité de l'abdomen de la femelle. Selon Démolin (1969), le premier critère de ponte chez la femelle est le diamètre des aiguilles. Une étude plus récente attribue la préférence à la présence de substances volatiles émanant des tissus des aiguilles, comme le limonène (Tibéri *et al.*, 1999). Les pontes comptent en fonction du stade de gradation de la population et selon les conditions d'alimentation des chenilles de 70 à 300 œufs par femelle (Démolin, 1969b ; Gachi, 1996). De nombreuses causes, notamment la densité et la qualité des aiguilles, peuvent intervenir et entraîner la malformation des pontes (Démolin, 1969). Les écailles recouvrant les pontes sont de couleur gris argenté à brun jaunâtre, brillants. L'œuf a une forme sphérique, et de couleur blanche.

### 1.3.3 Le développement larvaire

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

1969b). Les chenilles des trois premiers stades édifient des pré-nids en soie sur les aiguilles (Dajoz, 1998) et se déplacent de branche en branche en étant reliées entre elles par des fils de soie. Dans ces pré-nids on trouve après une dizaine de jours les exuvies du premier stade, 20 jours plus tard, les chenilles évoluent vers le second stade. Au troisième stade, les touffes de poiles urticants rougeâtres apparaissent par paire sur le côté dorsal de chaque segment de la chenille. Ces poiles sont libérés lors des déplacements ou bien quand les chenilles se sentent en danger. A la fin de l'automne, les chenilles tissent sur la partie la plus ensoleillée de l'arbre un nid d'hiver qui sert d'accumulateur de la chaleur pour les derniers stades. A chaque stade larvaire, les chenilles entrent dans une période de mue où elles cessent de s'alimenter. Au printemps, le cinquième stade forme des processions de nymphos. Toutes les chenilles d'une même ponte, descendent et s'enterrent pour se nymphoser dans un cocon en une chrysalide diaposante. La durée des stades larvaires dépend du climat. Plus l'hiver sera de longue durée, plus la vitesse d'évolution larvaire est diminuée principalement au quatrième stade (Démolin, 1971).

#### **1.3.4 Le nid d'hiver**

Dès l'arrivée des premiers froids, les chenilles, tissent sur les extrémités des branches exposées au soleil, une bourse de soie volumineuse appelée le nid d'hiver (Gachi, 1996). Ce nid est plus ou moins piriforme, de 10 à 15 cm de diamètre. Il comprend deux enveloppes superposées, une interne d'épaisseur importante et une externe plus lâche, qui a un rôle de superstructure, sans aucun orifice de sortie. Les chenilles se faufilent à travers les mailles du tissage pour sortir la nuit et s'alimenter en se déplaçant en procession suivant un fil de soie et réintègrent les bourses pendant la journée. Les crottes s'accumulent à la partie inférieure du nid. Cette structure représente un facteur de survie pour les colonies de chenilles, car il permet non seulement l'effet de masse mais une compensation thermique (Démolin, 1967b). Il peut y faire jusqu'à 20°C de plus qu'à l'extérieur (figure 2).



**Figure 2:** Le nid d'hiver de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas  
(*Originale, 2011*)

### **1.3.5 Les processions de nymphose**

Les processions de nymphose, apparaissent entre les mois de février et de mai. Les chenilles peuvent se déplacer jusqu'à 40 mètres (Démolin, 1971). La colonie se dirige vers une zone éclairée à la recherche d'un endroit où le terrain est à la fois ensoleillé et meuble. Les chenilles se regroupent et s'enfouissent selon une profondeur variant de 5 à 20 centimètres. L'enfouissement, n'est pas toujours définitif (Dajoz, 1998). Si les conditions d'espace et de température ne sont pas réunies, les chenilles peuvent ressortir pour chercher une zone plus propice.

### **1.3.6 Phase souterraine**

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

de couleur brun rouge, légèrement brillante. En cas de température trop basse ou trop élevée au moment de la morphogénèse, la diapause peut être prolongée et peut durer jusqu'à cinq ans (Markalas, 1989). Le taux de diapause prolongée est pratiquement nul en zone méditerranéenne et avoisine 100% dans les montagnes Corses (Billiotti *et al.*, 1964). Cette variabilité est un problème important pour l'organisation de la lutte contre la processionnaire du pin.

#### **1.4 Dynamique des populations**

Les populations de la processionnaire du pin se caractérisent par des invasions cycliques et des gradations d'une durée de 3 à 6 ans pendant les quelles la densité de la population larvaire augmente et la zone d'infestation s'accroît. Il existe des gradations des populations de processionnaires sur des intervalles de 7 à 10 ans. Sur 2-3 ans la densité des chenilles augmente très rapidement pour atteindre une culmination qui dure 2-3 ans, on assiste à une défoliation très importante des arbres attaqués, puis la densité régresse pour atteindre un seuil de latence avant une nouvelle gradation. A la fin de celles -ci, la densité de population devient trop importante pour que chaque individu puisse se développer. La défoliation totale des arbres entraîne une famine générale qui se termine par la mort d'un très grand nombre de chenilles. Geri (1983) a mené une étude sur plusieurs années concernant la dynamique des populations de *T. pityocampa* dans les montagnes corses, et une seconde en Sologne (Geri *et al.*, 1996). Il a noté des phases de culmination, de régression, puis de latence qui marque la transition avant une nouvelle invasion. Ces cycles sont, d'après Démolin *et al.* (1998), très bien corrélés aux variations climatiques. Les principaux facteurs responsables des fluctuations des populations sont d'après Démolin(1970) le climat, la nourriture et les prédateurs. Une étude menée en Italie a permis de montrer que suite à une défoliation totale causée par la processionnaire du pin dans un peuplement de pin noir, on pouvait assister l'année suivante à une forte diminution de la population de chenilles (Battisti, 1988). Ce phénomène pourrait selon l'auteur provenir de la diminution de la quantité et de la qualité de feuillage. En fin, le parasitisme semble avoir un impact important notamment en fin de gradation (Martin *et al.*, 2001).

## 1.5 Les facteurs climatiques et le développement de la processionnaire

Parmi les facteurs climatiques qui peuvent impacter significativement la biologie de la processionnaire du pin, les températures minimales du mois de janvier et l'insolation annuelle. L'action de ces paramètres a été clairement établie par Démolin (1969b, 1987) qui a noté que les gradations de ce ravageur étaient en priorité liées aux facteurs climatiques (Démolin, 1969b). L'auteur précité note que les fortes ou basses températures peuvent provoquer des perturbations physiologiques importantes, pouvant aller jusqu'à l'arrêt de l'alimentation. Cette dernière étant nocturne, est conditionnée par la succession d'une température supérieure à 9 °C dans le nid durant le jour et d'une température de l'air supérieure à 0 °C la nuit suivante. L'insolation et l'effet de masse interviennent pour compenser les baisses de températures et pour permettre à la processionnaire une évolution larvaire hivernale. La processionnaire présente deux seuils thermiques qui affectent directement la survie de ses populations. En effet les températures supérieures à 32 °C sont extrêmement néfastes pour les œufs en incubation ou pour les chenilles en cours d'évolution. Elles sont le plus souvent à l'origine des mortalités physiologiques. À des températures en dessous de -16°C les chenilles meurent. Quant aux processions, elles n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10°C et 22°C. Aux températures inférieures, les chenilles restent groupées à la surface du sol et ne s'enfouissent que lorsque les températures sont favorables (Démolin, 1969b). Dans les régions à été chaud ou la température moyenne des maximums mensuels dépasse 25°C, les adultes émergent tardivement afin d'assurer à leur descendance un optimum thermique vital. Pour résister pendant l'hiver aux températures très basses, les chenilles doivent être suffisamment évoluées pour supporter, par effet de masse les minimums absolus dépassant -10 °C. Ce qui implique que les adultes doivent pondre très tôt (Démolin, 1969b). En latitude nordique et en altitude, la durée du développement larvaire devient plus importante, et ceci au détriment de la diapause nymphale. Dans le cas où l'hiver se prolonge, l'évolution larvaire peut être ralentie, ce qui ne permet pas aux adultes de sortir à la date requise même si la diapause est de durée nulle. Pendant toute leur évolution, les chenilles enregistrent ces ralentissements de développement, si ces derniers dépassent une certaine limite, il ya renforcement de la diapause et passage potentiel sur le rythme biennal. Si les ralentissements se poursuivent, il peut y avoir passage sur le rythme triennal et même quadriennal (Démolin, 1969b). Dans le cas des excès thermiques, le principe est le même, sauf que les enchainements des cycles pluriennaux sont plus complexes mais moins

fréquents. Les températures élevées jouent surtout par étalement des distributions autour des dates de calages du cycle annuel. Les chenilles pendant leur évolution ont donc la possibilité d'intervenir sur la diapause qui déterminera la date de la sortie de l'adulte et cela en fonction de l'intégration des facteurs défavorables à leur évolution optimale (Démolin, 1969b).

## **1.6 Impact du changement climatique sur l'extension de la processionnaire**

L'action de climat est notable sur la distribution géographique et l'abondance des Arthropodes et le nombre de leurs générations annuelles (Huffaker *et al.*, 1999). Chez ces espèces, du printemps à l'automne, la température détermine l'initiation des processus vitaux tel que la croissance, l'alimentation, la mobilité, la reproduction et le développement (Roy *et al.*, 2002). Les changements climatiques, matérialisées par des alternances de périodes sèches et des périodes de fortes précipitations, avec des épisodes extrêmes de sécheresse, entraîneront une déstabilisation des écosystèmes locaux. Les climatologues soulignent qu'une hausse des températures de deux degrés se traduit par une migration de 600 kilomètres vers le Nord et de 330 mètres en altitude chez les lépidoptères. Ce réchauffement va engendrer de fortes extensions des aires potentielles pour les espèces de prédateurs dont la survie hivernale est limitée par les basses températures (Patterson *et al.*, 1999) tel est le cas de la processionnaire du pin. Plusieurs équipes de chercheurs ont observé une extension de l'aire de répartition de cette espèce. Elle réagit rapidement aux altérations du climat, ce qui en fait un parfait model d'étude (Battisti *et al.*, 2006). Cette espèce opère depuis le début des années 90 un mouvement progressif et continu vers le Nord qui concorde avec l'augmentation constatée des températures en hiver (Rousselet *et al.*, 2010). Originellement distribué sur l'ensemble du pourtour méditerranéen, la processionnaire du pin a connu récemment une expansion spectaculaire en altitude et en latitude (Battisti *et al.*, 2006). La disparition des températures défavorables au développement de la processionnaire a favorisé sa progression en latitude (vers le Nord de la France) mais aussi en altitude (dans les Alpes italiennes, les Pyrénées et le Massif central). La vitesse de progression de l'insecte va dépendre de ses capacités naturelles à coloniser les zones à climats plus favorables et de son adaptation aux modifications créées par l'homme. En plus les changements de l'aire de distribution, peut entraîner un changement d'hôtes et des décalages du cycle, comme au Portugal où des chenilles se développent en été (Kerdelhue *et al.*, 2009).

## 1.7 Les plantes hôtes

La processionnaire du pin s'attaque à toutes les espèces de pins de la région méditerranéenne, et occasionnellement aux cèdres. Elle montre néanmoins des préférences, particulièrement lorsque la femelle est en présence de plusieurs essences. Son comportement alimentaire a permis l'établissement de ses préférences pour certaines essences dont l'ordre est le suivant (Démolin, 1969c) :

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

Démolin (1969), note que cet ordre s'explique par le fait que le premier critère de ponte de la femelle est le diamètre des aiguilles. La plante hôte influe aussi sur le développement larvaire. C'est ainsi que la survie des chenilles est supérieure sur *Pinus sylvestris* et le *Pinus nigra* que sur le *Pinus pinaster* et *Pinus halepensis* (Montoya, 1984). Dans des essais de plein champ dans le Nord de la Grèce, les larves se sont développées plus rapidement sur *Pinus radiata* que sur *Pinus pinea* (Avtiz, 1986). Néanmoins ces différences ne s'appliquent pas en dehors de la zone observée. Ainsi le *Pinus pinaster* n'est pas très attaqué dans le Sud de la France et en Espagne mais il est significativement attaqué dans les Landes en France. *Cedrus atlantica* n'est pas ciblé en France, mais porte des grosses colonies en Afrique du Nord (Geri, 1980).

## 1.8 Les ennemis naturels

Les principaux prédateurs et parasitoïdes de *T.pityocampa* sont décrits par plusieurs auteurs : (Biliotti, 1958; Biliotti *et al.*, 1965 ; Cadahia *et al.*, 1967 ; Démolin, 1967a ; Du merle, 1969; Bellin *et al.*, 1990). Ils peuvent avoir un impact très important sur les populations. Quatre types sont signalés selon leur niche écologique : œufs, chenilles, chrysalides ou papillons. Parmi les prédateurs naturels on compte un bon nombre

d'Hyménoptères (Halperin, 1990 ; Tibéri, 1990 ; Tsankov *et al.*, 1995), et de Diptères parasites. Le principal prédateur des chenilles est le grand calosome, un Coléoptère vivant ordinairement sur le sol. C'est la larve de calosome, qui en fait la plus grosse consommation. Elle monte parfois aux arbres pour chasser ses proies. La Mésange bleue, (*Parus caeruleus*), est considérée aussi comme une grande consommatrice de chenilles. Les études réalisées sur les taux de parasitisme ou de prédation dans toute l'aire de répartition de la processionnaire du pin montrent que dans certaines régions notamment en France, le taux de pontes attaquées peut atteindre 100 %, alors que celui d'œufs détruits atteint 28 % (Biliotti, 1958). Schmidt *et al.*, (1999) ont constaté sur la péninsule ibérique un taux de parasitisme des pontes variant de 11,3 à 31,7 %, alors que Way *et al.*, (1999) ont observé dans le même temps une régulation naturelle des populations de processionnaires du pin par une fourmi *Linepithema humile*.

## **1.9 Protection et prévention**

### **1.9.1 Dégâts et nuisances**

La processionnaire du pin *T.pityocampa* est le ravageur le plus redoutable des forêts de la région méditerranéenne (Cadahia *et al.*, 1975). Elle s'observe dans les forêts de pins et de cèdres en Afrique du Nord. Dès l'éclosion, la processionnaire du pin commence à se nourrir des aiguilles de son hôte (figure 3). Les larves des deux premiers stades dévorent les aiguilles à proximité des zones de pontes et engendrent des dégâts caractéristiques sous forme de bouquets d'aiguilles jaunes puis rousses. Les chenilles du troisième au cinquième stade consomment souvent la totalité des aiguilles. Une colonie utilise 1,5 à 2 Kg (en poids sec) d'aiguilles (Fraval, 2007). Cette défoliation provoque des pertes de croissance par diminution du pouvoir photosynthétique et les sujets attaqués deviennent alors très sensibles aux insectes xylophages et aux maladies. Les défoliations privent l'arbre de toutes ou une partie de ses capacités de photosynthèse, il en résulte une perte de croissance importante en cas de défoliations répétées. Cadahia et Insua (1970) soulignent que les pertes en croissance et en volume sont de 14 et 33% pour des infestations légères et fortes respectivement. Bouchon et Thot (1971) ont démontré que les forêts de conifères de *Pinus nigra* périodiquement ciblées, perdent environ 45% de leur volume en 50 ans. Lemoine (1977) a identifié une réduction de la croissance de la circonférence de 30% après une attaque sur *Pinus pinaster*. Chez les *Pinus nigra*, suite à la défoliation provoquée par *T.pityocampa*, l'anneau de croissance correspondant à l'année suivante n'apparaît pas, ce qui provoque, une réduction de 35% de la croissance radiale (Laurent-Hervouet, 1986).

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



**Figure 3:** Défoliations des jeunes sujets du cèdre de l'Atlas  
(Originale, 2010)

### 1.9.2 Moyens de lutte

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

### ➤ **Lutte mécanique**

Son importance en termes de surfaces traitées est très faible, cette technique basée sur l'échenillage biologique est néanmoins très utilisée pour les arbres isolés, dans les parcs et les jardins, où les densités de population de chenilles sont faibles. L'intervention par la récolte des pontes s'effectue en été avant l'éclosion des œufs. Ceux-ci sont en effet repérables grâce à la couleur de leur chaton gris caractéristique à l'extrémité des rameaux, et sont souvent localisées sur les branches basses de l'arbre. L'opération consiste à couper les branches infectées et les brûler. Dès la fin de l'été, et dès l'apparition des pré-nids et du début de construction des nids d'hiver, il est possible d'appliquer la même méthode : couper les branches infectées avec un sécateur et les brûler. Cette méthode est très efficace, elle permet la destruction intégrale des nids, mais peut s'avérer délicate à mettre en œuvre, notamment pour les nids situés à des hauteurs élevées sur les arbres de grande taille.

### ➤ **Lutte chimique**

Elle se limite aujourd'hui à des interventions de faible ampleur ou de rattrapage. L'insecticide utilisé dans ce cas est généralement à base de Diflubenzuron, régulateur de croissance qui perturbe le processus de mue larvaire (Martin, 2005).

### ➤ **La lutte sylvicole**

L'opération des pratiques sylvicoles consiste à planter des essences d'arbres qui ne sont pas sensibles à l'insecte considéré. Les peuplements forestiers mélangés subissent en général moins de dégâts d'herbivores que les peuplements purs. Cette diversification réduit généralement la colonisation par la processionnaire du pin et favorise le cortège parasitaire. C'est une méthode de lutte naturelle et efficace (Martin, 2005).

### ➤ **La lutte biologique**

Les mésanges sont des oiseaux sédentaires qui se nourrissent d'insectes dont la processionnaire du pin. L'utilisation de cette interaction comme moyen de lutte se fait en facilitant l'implantation des mésanges par des nichoirs. L'utilisation d'insecticides biologiques à base de *Bacillus thuringiensis* couvre actuellement presque 100% des surfaces traitées contre la processionnaire du pin. Il s'agit d'une bactérie Gram positif capable de produire des toxines insecticides. L'activité de *Bacillus thuringiensis* est surtout basée sur la production de toxines durant la phase de sporulation du développement de la bactérie. L'ingestion des toxines présentes à la surface du feuillage conduit à la mort des chenilles. Actuellement, seuls les trois premiers stades larvaires sont généralement visés

par ce type de traitement. Il semble que le *Bacillus thuringiensis* est aussi efficace contre les chenilles du quatrième et le début du cinquième stade (Martin *et al*, 2001). L'application du produit se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires. Elle doit être effectuée avant les processions : entre le mois de décembre et février. La lutte par l'utilisation des phéromones sexuelles est utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges pour une capture massive des mâles de la processionnaire ou pour un suivi de la dynamique de ses populations. Elle peut aussi être employée, sans piège, pour engendrer une confusion sexuelle afin de réduire les chances de rencontres des partenaires. La diminution des femelles fécondées va induire une réduction de la descendance (Martin *et al*, 2001).

## 2. Le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti

### 2.1 Taxonomie et aire de répartition

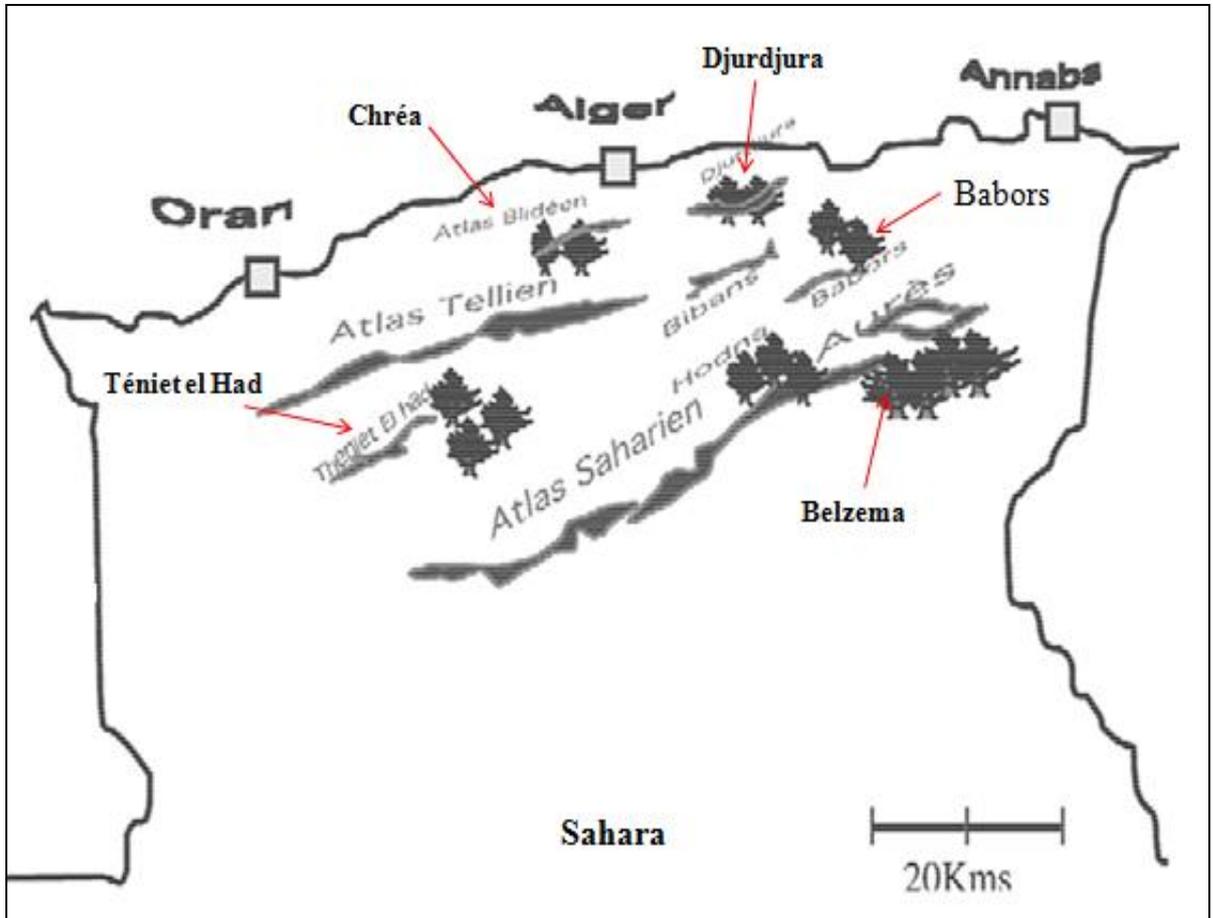
La plupart des auteurs (Quezel ,1980) ; Bariteau et Ferrandes ,1992) classent les cèdres en quatre espèces différentes. Essentiellement montagnardes, ces espèces se répartissent en quatre zones géographiques différentes (Nedjahi, 1988).

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

Les études taxonomiques et phylogénétiques récentes basant sur des marqueurs génétiques, ont démontré que le genre *Cedrus* comprend trois espèces, *Cedrus atlantica*, *Cedrus deodara* et *Cedrus libani*, qui lui-même englobe trois sous espèces : *Cedrus libani* spp.*libani* (Liban), *Cedrus libani* spp.*stenocoma* (Turquie) et *Cedrus libani* spp.*brevifolia* (Chypre) (Sabatier *et al.*, 2003).

L'aire naturelle du cèdre de l'Atlas est très disjointe. Il occupe les montagnes de l'Afrique du Nord et plus précisément celles du Maroc et de l'Algérie (Boudy, 1950) ; (M'hirit, 1982); (Panetsos *et al.*, 1994). Le Maroc détient la plus grande surface occupée par le cèdre, sa superficie est estimée à 130000 ha. La cédraie marocaine se localise dans deux régions bien distinctes : le Rif avec une superficie de 16000 ha, le moyen Atlas et le grand Atlas avec 116000 ha (Toth, 1990). En Algérie, l'aire du cèdre est très morcelée, ce morcellement s'explique par les grands changements climatiques survenus durant le quaternaire récent. Les peuplements les plus importants se rencontrent dans les Aurès, mais d'autres cédraies colonisent les massifs montagneux de l'Ouarsenis, de l'Atlas Blideen, des Babors et du Hodna (Abdessemed, 1981) ; (Derridj, 1990) ; (Benabid, 1993) ; (M'hirit, 1994). Les cédraies de l'Algérie couvrent 30.000 ha soit 1,7 % de la superficie forestière du pays (Nedjahi, 1988). Ces peuplements se trouvent dans deux régions écologiques différentes ; les populations des régions mésophiles de l'Atlas tellien et les populations régions xérophiles de l'Atlas saharien (Nedjahi, 1988). Les cédraies de l'Atlas tellien se rencontrent dans le massif de l'Ouarsenis (1100 ha), l'Atlas blideen (1 200 ha à Chréa), le Djurdjura (2 000 ha) ainsi que dans les Babors et Tababors (1300 ha). Dans l'Atlas

saharien, elles sont localisées principalement dans les massifs de Belzema et des Aurès (17 000 ha) ainsi que dans les monts du Hodna (8 000 ha) (Bentouati, 1999) (figures 4 et 5).



**Figure 4 :** Localisation de *Cedrus atlantica* en Algérie



**Figure 5** : La cédraie du Parc National de Chréa (*Originale, 2011*)

## **2.2 Caractéristiques botaniques et dendrologiques**

Le cèdre de l'Atlas, est un arbre de grande taille, sa hauteur moyenne est de 40 m mais peut dépasser 50 m, et sa circonférence peut atteindre de 2   3 m (M'hirit, 2006). Il possède un port droit, une ramure horizontale. Les branches ne sont pas étagées en verticilles comme chez le sapin : elles naissent isolument sur le tronc et portent une multitude de petits rameaux. La cime est trapue et prend une forme tabulaire à un âge avancé (Boudy, 1952). Le f t puissant se termine par une flèche très souple qui se recourbe et cède à la moindre brise. L'écorce est de couleur grise, formée de petites écailles lisses qui deviennent crevass es avec l'âge (Toth, 1981). Les feuilles, en aiguilles, sont réunies en petits bouquets aux sommets de courts rameaux, elles ont de 1 à 2 cm de long. Elles sont vertes ou glauques et vivent généralement 3 ans (Boudy, 1952). Le cône est cylindrique de 5 à 8 cm de long, vert bleuâtre avant maturité puis brun (Toth, 1982; Nedjahi, 1988). Il mûrit en 2 ans. Il se d articule au contact de l'humidité (Boudy, 1950). Le système racinaire est extrêmement puissant, assurant la stabilité de l'arbre. La

longévité du cèdre est très remarquable, il peut dépasser 600 ans. Il peut donner des graines fertiles jusqu' à un âge avancé. La fructification de l'arbre commence vers 35 à 40 ans, et les cônes sont abondants à partir de 60 ans (Boudy, 1952). La fécondation des fleurs se fait en automne et le cône est mur à l'automne de la 3<sup>em</sup> année. La graine épandue passe l'hiver en stratification sous la neige. Toth (1978), montre l'importance du gel pour la désarticulation et la dissémination des graines. L'absence des gelées à faible altitude pouvant compromettre la régénération des peuplements.

### **2.3 Caractéristiques écologiques**

C'est une essence à tempérament montagnard et continental. Le cèdre est robuste dans les conditions optimales. Il supporte à la fois l'ombre et la lumière. Il peut rester longtemps sous le couvert du chêne-vert pour repartir vigoureusement dès qu'il est dégagé. Il est sensible à l'insolation dans son premier âge. Les étés très secs peuvent compromettre son existence (M'hirit, 2006). Situé essentiellement à l'étage montagnard méditerranéen, le cèdre occupe les tranches altitudinales comprises entre 1000 et 2500 m. En Algérie, Le cèdre apparait généralement à partir de 1000 m (Djurdjura) jusqu'à 2000m (Babors). Pujos (1964) distingue trois types de cédraies selon l'altitude :

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

Quezel (1980) estime que l'optimum du cèdre se situe en climat humide à hiver froid. Cette zone correspond à des températures moyennes comprises entre 8, 5°C et 11°C et à une pluviométrie annuelle égale à 900 mm. Il supporte des températures très basses en hiver. Quezel (1980) précise également que le cèdre tolère en peuplements naturels des valeurs de m comprises entre - 1 et -8°C, et des températures hautes allant de 20 à 39 °C. Cependant, il est moins résistant en période juvénile (Boudy, 1950 ; M'hirit, 1982). La répartition de la cédraie en Afrique du Nord dans le climatogramme d'Emberger indique que le cèdre se situe dans les climats humides à hiver frais, humides à hiver froid, subhumides à hiver froid et semi-arides froids. Selon Boudy (1955), le Cèdre croît entre les tranches pluviométriques comprises entre 440 et 1403mm. En Algérie, les cédraies sèches ne reçoivent qu'une pluviométrie comprise entre 500 et 700mm/an, par contre celles de l'Ouarsenis, Djurdjura et Chréa peuvent recevoir des quantités variant de 1100 à 2100mm/an.

Le cèdre s'installe sur divers types de substrats (Boudy, 1950 ; Quezel, 1976 ; Benabid, 1982). Quezel (1980) souligne que les Cédraies sont en général localisées sur substrats calcaires mais précise que cette prédominance n'est due qu'à la rareté des autres substrats sur les hautes montagnes méditerranéennes. La constitution physique du sol a un rôle plus déterminant. Le cèdre a une prédilection marquée pour les sols meubles ou caillouteux. Il redoute les terrains mouilleux et les cuvettes argileuses mal drainées. Quant à l'exposition, elle joue un rôle très important dans la répartition des précipitations et la variation des températures. Les cédraies bienvenantes en Algérie et au Maroc se rencontrent sur les expositions Nord et Nord-ouest qui bénéficient des vents chargés de pluies et sont épargnées des vents de Sirocco (Abdessemed, 1981).

#### **2.4 Régénération naturelle du cèdre**

La régénération du cèdre repose sur une série de processus écophysologiques complexes faisant intervenir plusieurs facteurs du milieu au cours des différentes phases de son développement. Boudy (1950), (1952) ; Lepoutre (1961), (1963), (1964) ; Lepoutre et Pujos (1963); Toth (1978), (1982), (1984) ; Till (1985), Derridj (1990) et Malki (1992) ont montré l'influence des facteurs climatiques, écologiques et édaphiques ainsi que leurs interactions sur la régénération naturelle. Après la désarticulation des cônes imbibés d'eau du fait de l'alternance gel-dégel, la dissémination intervient généralement la première quinzaine de décembre et parfois plus tard en fonction des températures. La plupart des semis s'installent autour des semenciers ou dans leurs environs sur une distance variable selon la hauteur de l'arbre, la topographie du milieu, la vitesse et la direction du vent. La germination et la croissance des semis ne sont possibles qu'au delà d'une température moyenne de l'air de 6 à 7°C. L'altitude et l'exposition jouent un rôle considérable sur la germination des graines du cèdre. En effet à l'exposition Sud et Sud -est, la germination risque d'être précoce mais les jeunes semis peuvent disparaître sous l'effet de la sécheresse. Par contre aux expositions Nord et Nord-ouest la germination est tardive et la survie des plantules est possible pendant la saison estivale.

Le rôle du substrat sur la régénération du cèdre est prépondérant. Le dynamisme de la régénération et le taux de réussite sont fortement liés au type du sol. La régénération s'opère avec une grande vigueur sur les sols meubles et suffisamment profonds, pour être capables de retenir l'eau en saison sèche (Boudy, 1952). Sur sol calcaire compacte ou à peine fissuré les semis résistent rarement. Le tapis herbacé peut compromettre le maintien des jeunes semis s'il est dense sous l'effet de la concurrence imposée par le feutrage

radiculaire des plantes herbacées. Les interventions sylvicoles sont des pratiques nécessaires pour aérer les peuplements et isoler les portes graines, car la fructification est rare dans les peuplements serrés. Ezzahiri *et al.*, (2000) expliquent l'absence de régénération par la brièveté de la période de régénération, et l'absence de toute opération sylvicole, ce qui rend la régénération très capricieuse.

## **2.5 Importance économique du cèdre**

Le cèdre est une essence capable de remplir plusieurs rôles socioéconomiques (Toth, 1990). Il forme depuis son existence une source vitale des populations du fait de ses qualités remarquables : sa longévité, sa résistance à la compression et sa bonne production de bois (Benhalima, 2004). Le bois de cèdre est tendre, odorant, mi lourd, brun rosé, se conserve bien en grumes et est facile à scier. Ces caractères supérieurs lui assurent toutes sorte d'utilisation à savoir construction des chalets de montagne, menuiserie, charpente, poteaux, placage intérieur, meubles rustiques. Les produits d'éclaircies peuvent être utilisés en papeterie (M'hirit, 2006). Le cèdre convient très bien à la distillation en donnant une huile essentielle employée en pharmacie et parfumerie. Elle est antiseptique aux vertus cicatrisantes, décongestionnant les voies respiratoires, tonifiant le cuir chevelu, résorbant la cellulite et répulsive pour les mites et les moustiques. Le cèdre bénéficie d'une grande facilité de régénération naturelle dans les étages de chêne vert en Afrique du Nord et chêne pubescent en France, assurant ainsi la pérennité des peuplements et permettant des reboisements économiques (M'hirit, 2006). Il joue un rôle important dans la protection des peuplements contre l'incendie grâce à son feuillage peu inflammable (Aussenac *et al.*, 1981) Il maintient également l'équilibre biologique en protégeant et en améliorant le sol (Toth, 1981). Ces qualités d'adaptations a priori aux conditions climatiques et édaphiques de la zone méditerranéenne justifient son choix dans les reboisements (Toth, 1990); (Bariteau et Ferrandes, 1992).

## 2.6 Etat sanitaire du cèdre de l'Atlas

La cédraie algérienne comme toutes les forêts méditerranéennes est soumise en permanence à des agressions d'origine biotique et abiotique, face auxquelles les boisements naturels malgré leurs facultés de résistance trouvent des difficultés pour se maintenir. Ces forêts se trouvent dans des conditions climatiques très sévères caractérisées par des phases de sécheresse prolongée. Ces facteurs conjugués aux attaques des différents ravageurs nuisibles peuvent infliger aux peuplements des dégâts considérables. Le cèdre possède ses insectes spécifiques dont certains lui sont strictement liés et d'autres proviennent des végétaux existants dans son milieu (M'hirit, 2006).

Les insectes défoliateurs ont fait l'objet de nombreux travaux. Deux espèces de processionnaire sont signalées en Algérie : *T. pityocampa* et *T. bonjeani* qui se nourrissent pendant la vie larvaire des aiguilles des arbres. Ces espèces peuvent causer des dégâts significatifs, en cas d'une défoliation complète et répétée, notamment sur les jeunes peuplements (Démolin et Martin, 1989). La tordeuse du cèdre de l'Atlas d'Algérie *Epinotia algeriensis* peut pulluler et constituer un danger permanent (M'hirit, 2006). Elle a été décrite à Chréa au Sud de Blida par Fabre (1994). Parmi les insectes suceurs piqueurs, deux pucerons sont spécifiques du genre *Cedrus*. Le *Cedrobium laportei* décrit en Algérie est largement répandu sur le cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord. Il absorbe la sève au niveau des rameaux et des extrémités des branches. Quant aux insectes xylophages, plusieurs espèces sont signalées en Algérie et au Maroc. L'effet de ces espèces xylophages se manifeste en général, par le flétrissement des aiguilles. Si les attaques sont massives, l'écorce se détache de l'aubier et suivit par le dessèchement et le dépérissement général et progressif de la partie concernée de l'arbre (Mouna, 1982). Les insectes des organes reproducteurs sont également présents, dont certains attaquent les inflorescences mâles et femelles et d'autres sont des ravageurs des cônes et de graines. Roques (1983) souligne que les différentes données biologiques sur le *Megastigmus pinsapinis*, principal insecte ravageur des graines restent imprécises en raison du peu d'importance accordée à ce parasite. Les champignons pathogènes sont des ennemis redoutables du cèdre de l'Atlas. Ils sont responsables de la pourriture blanche du cèdre dite maladie de Mjej et de la pourriture cubique du cèdre dite maladie du Saboun (Boudy, 1950); (M'hirit, 2006).

Dans les peuplements de cèdre, les incendies sont peu fréquents (Toth, 1971). Le cèdre survit généralement au feu, qui ne brûle que les arbres secs sur pieds ou gisants. Les arbres flambés, s'ils ne meurent pas deviennent très sensibles aux attaques des différents agresseurs notamment, les champignons pathogènes, et leur fructification est arrêtée pour plusieurs années (Boudy, 1952). El Yousfi (1994) note que les incendiés donnent la mort aux jeunes plants et les reboisements sont compromis.

Le caractère de sédentarisation des troupeaux est très préoccupant, il s'installe de plus en plus au détriment des potentialités pastorales des cédraies. Le parcours du bétail agit directement sur la régénération lorsque les bêtes piétinent et broutent les semis et indirectement lorsque elles tassent le sol (M'hirit, 2006). L'action anthropique quant à elle, se manifeste par les coupes illicites et les défrichements qui restent les plus dangereux du cèdre de l'Atlas (Abdessemed, 1981; El Yousfi, 1994).

## **2.7 Le dépérissement du cèdre**

Parmi les menaces qui pèsent sur les forêts du cèdre, le phénomène de dépérissement qui constitue un véritable problème de santé pouvant conduire à des situations irrémédiables. En Algérie ce sont les forêts de l'Atlas saharien qui souffrent de ce fléau (Bentouati *et al.*, 2006). Ces peuplements fragilisés par les conditions xériques et soumis aux influences sahariennes sont prédisposés au processus d'altération sanitaire. Les experts attribuent le dépérissement à l'effet cumulé de plusieurs facteurs de stress agissant de façon durable et permanente sur le peuplement et conduisant souvent à une issue fatale des arbres (PNB, 2005). Mais, le déficit hydrique résultant d'une sécheresse prononcée et persistante reste le facteur majeur dans le déclenchement de ce phénomène (Bentouati *et al.*, 2006). Actuellement avec les changements climatiques, le dépérissement pourrait s'accroître et gagner les cédraies de la région tellienne (Demarteau *et al.*, 2007). Quelques soient le facteur impliqué, la situation actuelle dénonce d'inquiétants problèmes de dépérissement touchant des superficies considérables des forêts des Aurès. Les études menées dans ce cadre n'ont pas fournis des résultats concluants et le problème demeure complexe, non aisément identifiables et hiérarchisables (Mouna, 1994). Pour protéger les cédraies il est impératif de se pencher sur la gestion des risques notamment la lutte contre toutes les formes de bioagressions qui peuvent aggraver l'état de santé des arbres en situation de stress abiotique.

## **DEUXIEME CHAPITRE**

### **LA CEDRAIE DU PARC NATIONAL DE CHREA, SITE D'ETUDE**

#### **1. Les conditions géographiques du Parc National de Chréa**

Le Parc National de Chréa est une région montagneuse qui forme la partie centrale de l'Atlas blideen. Il s'étend sur les flancs Nord et Sud de l'Atlas Blideen d'orientation Sud-ouest et Nord-est, entre les latitudes Nord  $36^{\circ} 19' / 36^{\circ} 30'$  et les longitudes Est  $2^{\circ} 38' / 3^{\circ} 02'$ . Il couvre une superficie de 26587 hectares et s'étire sur une longueur de 40 Km et une largeur variable de 7 à 14 kilomètres. Il est limité au Nord par la plaine de Mitidja et au Sud par l'oued Melah. Administrativement, il chevauche entre les communes des wilayas de Blida, de Médéa et d'Aindefla.

##### **1.1 Le relief**

L'Atlas blideen est une région montagneuse de plissement alpin. Il regroupe le relief montagneux composé respectivement d'Est en Ouest des monts de Hammam Melouane, des crêtes de Chréa et des monts de Mouzaia. Sa ligne de crête principale oscille entre 1400 et 1600 mètres d'altitude dont le point le plus élevé culmine à 1629m. Le relief est très accidenté et la déclivité dépasse très souvent les 20% et parfois, elle est de 60%. Le territoire du Parc National de Chréa se distingue par trois ensembles topographiques : Le premier concerne l'anticlinal de l'Atlas blideen constitué d'Ouest en Est par les djebels de Tamezguida, de Mouzaia, de Djemâa, de Guerroumène et de Feroukha. Le deuxième ensemble concerne les contreforts partant de la ligne de crête principale et s'orientant soit vers le Sud soit vers le Nord. Le dernier ensemble, regroupe les zones relativement plates et faiblement inclinées.

##### **1.2 Le réseau hydrographique**

Le Parc National de Chréa est caractérisé par un réseau hydrographique très dense, constitué d'une multitude de cours d'eaux qui s'éparpillent en toutes directions, mais en générale, leur orientation est du Sud-ouest au Nord-est. Deux bassins versants chevauchent sur le territoire du Parc National de Chréa. Il s'agit du bassin versant de l'oued Mazafran qui est drainé vers l'ouest par Oued Chiffa et ses affluents et le bassin versant d'oued El Harrach drainé vers l'Est par Oued Boumâane et ses affluents.

### 1.3 Structure lithologique

De point de vue lithologique, l'Atlas blideen est très homogène, il est constitué essentiellement de schistes durs et très siliceux du crétacé inférieur sans fossiles et d'éboulis de pentes de même origine, pauvre en éléments nutritifs (Faurel, 1947). Les sols de montagne sont caractérisés par l'importance des éléments grossiers : cailloux et graviers de nature siliceuse très faible en proportion de calcaire, de phosphore, et de chlore, très perméables, boueux en surface et durs après la sécheresse (Halimi, 1980).

### 1.4 La végétation du Parc National de Chréa

De point de vue phytosociologique, la végétation de l'Atlas blideen est composée des séries du cèdre, du chêne vert, du chêne zeen, de chêne liège et la série repisylve. Ces unités botaniques se regroupent dans trois étages bioclimatiques qui se succèdent dans le sens vertical et déterminent un étagement typique de la végétation

- ▶ **L'étage supra-méditerranéen** : Correspond à l'étage bioclimatique des hautes montagnes et occupe les altitudes allant de 1300 à 1600 m. Dans cette tranche, le Cèdre se trouve dans son optimum, ou il forme une futaie équienne.
- ▶ **L'étage méso-méditerranéen** : correspond à l'étage bioclimatique subhumide et humide, localisé entre les altitudes allant de 800 à 1400m. Dans cet étage se trouve la chênaie sous forme d'un taillis de 6 à 8 mètres et donne un maquis très dense.
- ▶ **L'étage thermoméditerranéen** : Il s'étend en bioclimat subhumide chaud, entre 200 et 700m et se caractérise par la présence de peuplements purs de pin d'Alep sur le versant méridional, et le thuya sous forme de maquis très denses. La strate arbustive est dominée par l'oléolentisque.

## 2 Caractéristiques climatiques du Parc National de Chréa :

Le climat est un facteur écologique de première importance qui exerce un effet notable sur les populations d'insectes herbivores. Son action est à la fois directe et indirecte, car il conditionne aussi le développement des arbres qui servent de biotopes aux insectes phytophages. Les modifications du climat en général déterminent pour une grande part la répartition, le développement, l'activité et les pullulations des insectes (Hmimina, 1986). Villemant (2006) souligne que les étés chauds raccourcissent la durée du développement, ce qui favorise l'explosion des populations.

Pour mieux appréhender les variations climatiques de la zone d'étude qui se situe dans la partie centrale du Parc National de Chréa et qui correspond à la zone de la Cédraie, nous avons exploité les données climatiques fournies par l'Office National Météorologique de Dar El-Beida. L'absence de station météorologique au niveau du Parc National de Chréa nous a amené à prendre en considération les données de la station de Médéa la plus proche et qui se trouve à 1030m d'altitude. Les valeurs relatives aux différentes variables climatiques ont subi des corrections afin de pallier à la différence d'altitude entre la zone d'étude et l'emplacement de la station de référence. Les corrections ont été effectuées selon les relations proposées par Seltzer (1946). La correction des gradients pluviométrique et thermique a été faite par extrapolation. Pour 100 m d'altitude, les températures maxima (M) et (minima(m)) diminuent respectivement de 0,7°C et de 0,4 °C et la pluviométrie augmente de 40 mm en exposition Nord pour la même tranche altitudinale.

## 2.1 Les températures

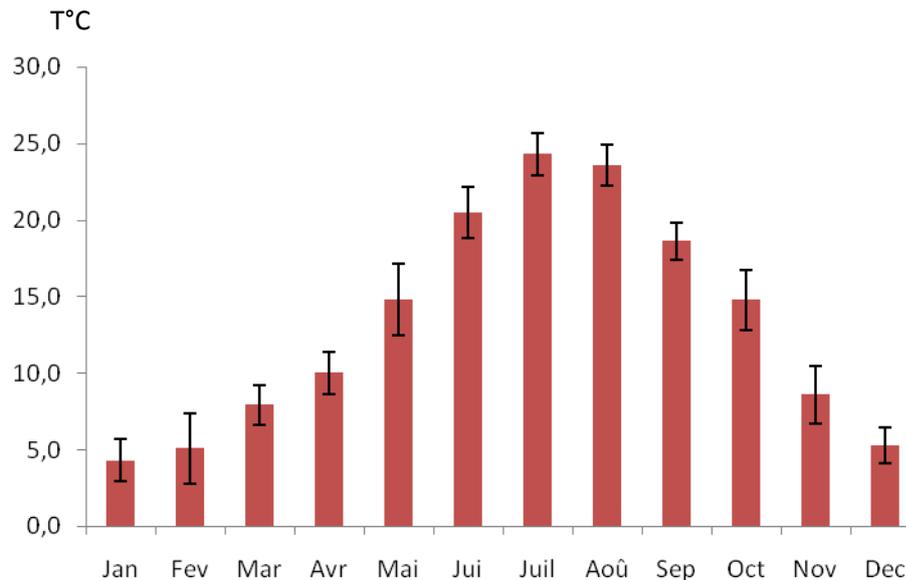
Les températures contrôlent l'ensemble des phénomènes métaboliques, et conditionne la répartition de la totalité des espèces, et des communautés d'êtres vivants de la biosphère (Ramade, 2003). Elle agit sur le comportement et peut intervenir comme facteur de mortalité. Williams et Liebhold (1995) ; Ayres et Lombardero (2000); Harrington *et al.*, (2001) ; Bale *et al.*, (2002) considèrent qu'une hausse des températures dans les limites vitales des espèces, implique une accélération de leur développement. Chararas (1982) précise que la température exerce son influence de façon constante sur tous les stades d'évolution de l'insecte. Afin de tirer plus de renseignements et compléter les données relatives aux facteurs du milieu, nous avons considéré les températures moyennes, mensuelles, maximales et minimales de la période allant de 1995 à 2010. Les valeurs corrigées sont consignées dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Températures moyennes mensuelles corrigées pour la période 1995-2010

	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>Tmin (°C)</b>	2,6	3,2	5,5	6,7	10,7	16,5	19,75	19,5	14,9	11,7	6,3	3,8
<b>Tmax (°C)</b>	6,02	7,7	10,9	12,7	17,77	24,62	28,4	27,9	22,2	17,6	10,3	7,2
<b>Moy (°C)</b>	4,3	5,1	7,9	10,0	14,8	20,5	24,3	23,6	18,6	14,8	8,6	5,3
<b>E-Type</b>	1,38	2,29	1,31	1,37	2,34	1,68	1,38	1,34	1,20	1,96	1,89	1,8

(ONM, modifié)

Les moyennes mensuelles des températures enregistrées dans le Parc National de Chr ea pendant l'hiver sont de 4,3 à 5,5 C. La saison estivale est caract eris ee par des moyennes comprises entre 20,5  C et 24,1 C. Les écarts types sont plus marquées en automne et en hiver et au mois de mai la valeur est plus significative. La figure 6 illustre les variations des moyennes mensuelles.



**Figure 6 :** Variations mensuelles des temp eratures moyennes de 1995 à 2010 à Chr ea

## 2.2 Les pr ecipitations

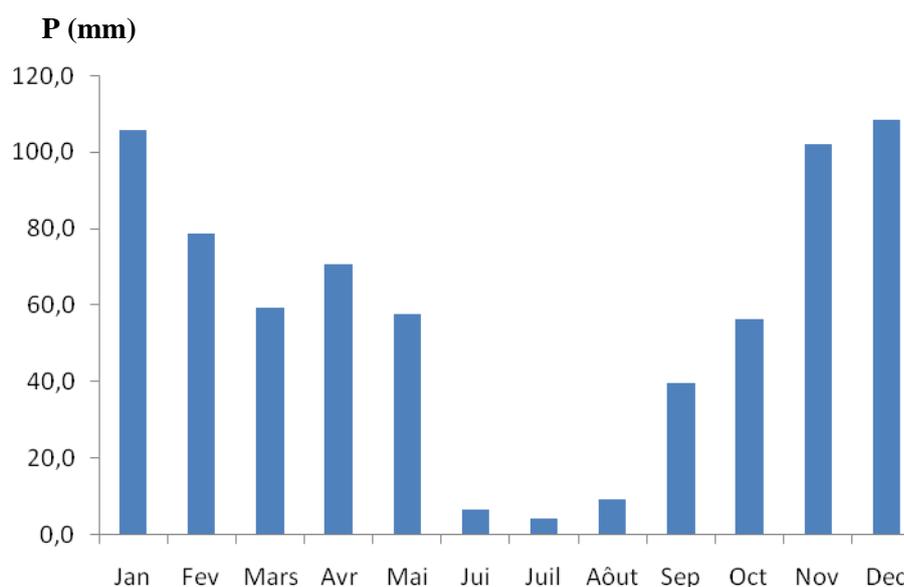
L'humidité relative intervient beaucoup plus en cr eant un milieu favorable ou non   l'insecte qu'en modifiant l'intensité de ses ph enom nes vitaux. Chaque espèce a des exigences particulières à l'égard de ce facteur. Ainsi les insectes phytophages exigent une humidité relative assez  lev ee (Hmimina, 1986). Les valeurs pluviométriques du Parc National de Chr ea sont port ees dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Moyennes mensuelles des précipitations corrigées pour la période 1995-2010**

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
<b>1995</b>	203,6	25,6	140,2	11,6	8,4	21	0	8,8	42,4	71,9	57,9	79,5	670,9
<b>1996</b>	98,4	188,8	60,7	144,6	44,1	20,2	15,4	5,4	29,8	32,1	8,4	68,9	716,8
<b>1997</b>	58,4	20,6	7,3	94,1	24,7	0,6	0	32	16,4	70,7	199,2	101,2	625,2
<b>1998</b>	29,4	77,1	25	116	170,8	5,8	0	1,9	34,6	40,4	95,6	58,5	655,1
<b>1999</b>	132,2	114,8	76,4	16,1	23,7	5,8	0	15,4	12,1	46,6	69,2	193,6	705,9
<b>2000</b>	11	2,9	7,5	38,2	22,3	0	0	1,4	17,1	78,9	119,7	41,7	340,7
<b>2001</b>	219,9	51,2	3	90,1	32,1	0,2	0	1,5	47,1	4,3	74,5	65,3	589,2
<b>2002</b>	72,4	27,2	67,9	36,8	20,2	0,5	7,5	12,4	9,9	28,5	159,7	155,9	598,9
<b>2003</b>	235,6	187,2	10,7	111,9	39	6,7	4,3	24,7	58,8	77,6	139,4	157,3	1053,2
<b>2004</b>	72,6	55,8	74,4	63	101,1	7,8	3,2	4,1	29,3	39,9	114,9	147,6	713,7
<b>2005</b>	100,9	95,7	56,9	19,7	1,4	2,2	0	0	36,9	111,3	13,9	120,6	559,5
<b>2006</b>	104,7	135,2	45,2	19,3	228,3	4,8	5,3	5,1	58,9	6,4	21,1	149,9	784,2
<b>2007</b>	24,8	78,5	123,2	171,9	34,1	4	17,8	10,9	69,2	71,8	201,4	75	882,6
<b>2008</b>	47,5	15,4	81,9	25,7	58,6	14,9	6,5	0	59,7	91,6	128,1	137,8	667,7
<b>2009</b>	190,8	26,4	80,4	133	48,2	0	9	6,9	90,3	18,5	89,8	96,7	790
<b>2010</b>	86,4	154,1	89,1	36,5	63,2	9,6	0	19,9	24,4	110,4	137,6	81,5	812,7
<b>Moy.</b>	<b>105,5</b>	<b>78,5</b>	<b>59,3</b>	<b>70,5</b>	<b>57,5</b>	<b>6,5</b>	<b>4,3</b>	<b>9,4</b>	<b>39,8</b>	<b>56,3</b>	<b>101,9</b>	<b>108,1</b>	<b>697,6</b>
<b>E.T.</b>	<b>71.67</b>	<b>61.63</b>	<b>41.12</b>	<b>52.36</b>	<b>61.18</b>	<b>6.84</b>	<b>5.73</b>	<b>9.41</b>	<b>22.8</b>	<b>34.1</b>	<b>59.7</b>	<b>44.2</b>	<b>71.67</b>

(ONM, modifié)

L'exploitation des données relatives à la pluviométrie enregistrée durant la période considérée permet d'observer une nette variabilité mensuelle et annuelle. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant l'hiver et les mois de janvier et décembre restent les plus pluvieux. L'été cumule les plus faibles quantités de précipitations qui ne dépassent pas 10mm. La figure 7 représente les variations des moyennes mensuelles dans la zone d'étude.

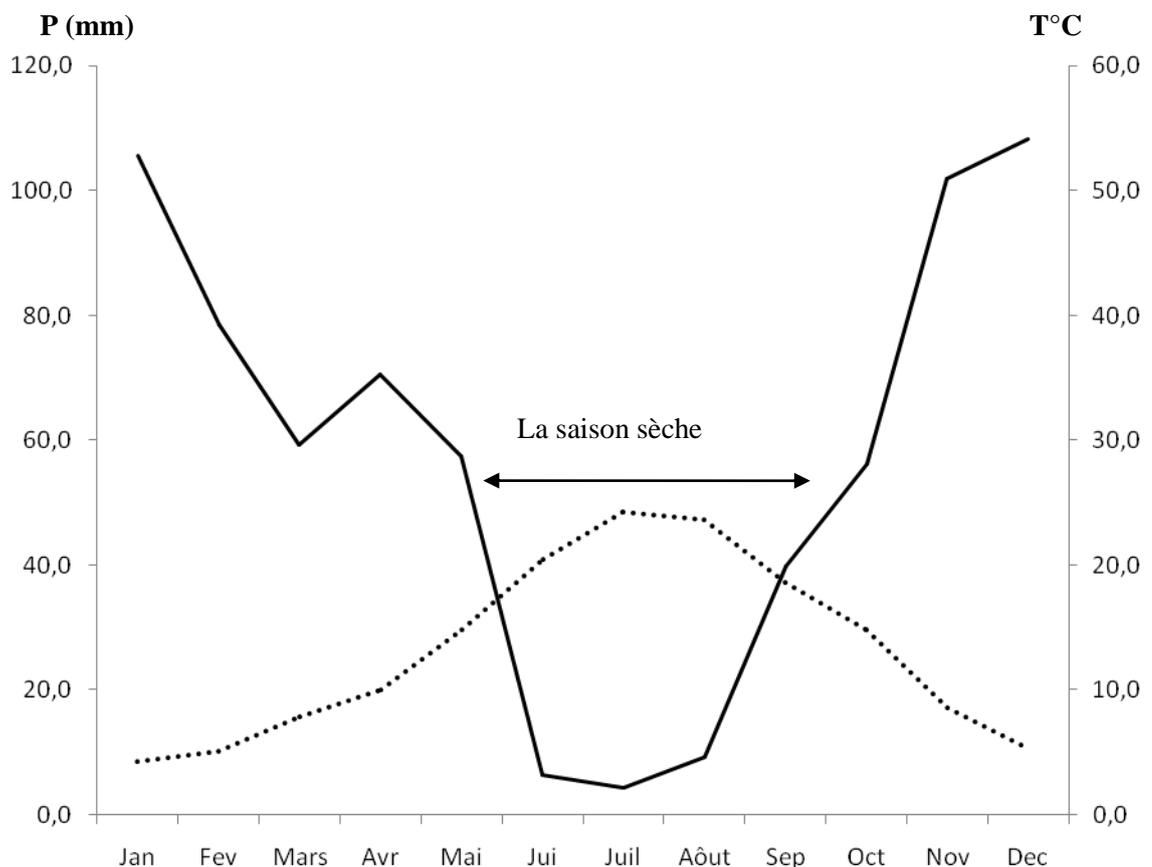
**Figure 7 : Variations mensuelles des précipitations moyennes de 1995 à 2010 à Chréa**

## 2.3 Bilan climatique de la zone d'étude

La plupart des formules synthétiques proposées par les auteurs combinent les températures et les précipitations pour caractériser le climat des milieux continentaux. Ainsi l'élaboration de diagramme ombrothermique de Gaussen et le climagramme d'Emberger permet de définir respectivement la période sèche et l'étage bioclimatique d'une région.

### 2.3.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

L'examen du diagramme ombrothermique de la station d'étude indique que le Parc National de Chréa est caractérisé par une période sèche qui dure presque trois mois et demi, elle débute du mois de juin et se prolonge jusqu'à la mi-septembre. Quant à la période humide, elle s'étale de la deuxième quinzaine du mois de septembre jusqu'à la fin du mois de mai (figure 8).



**Figure 8 :** Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen  
(Période : 1995-2010)

### 2.3.2 Le Climagramme d'Emberger

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

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

Où :

Q : Quotient pluviothermique d'Emberger

M : Températures moyennes des maxima du mois le plus chaud

m : Températures moyennes des minima du mois le plus froid

P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

Pour la station de Chréa qui correspond à la zone d'étude, le quotient pluviothermique **Q** est égal à **91.6**. Cette valeur nous a permis de positionner la cédraie de Chréa dans l'étage bioclimatique sub humide à hiver frais (Figure 9).

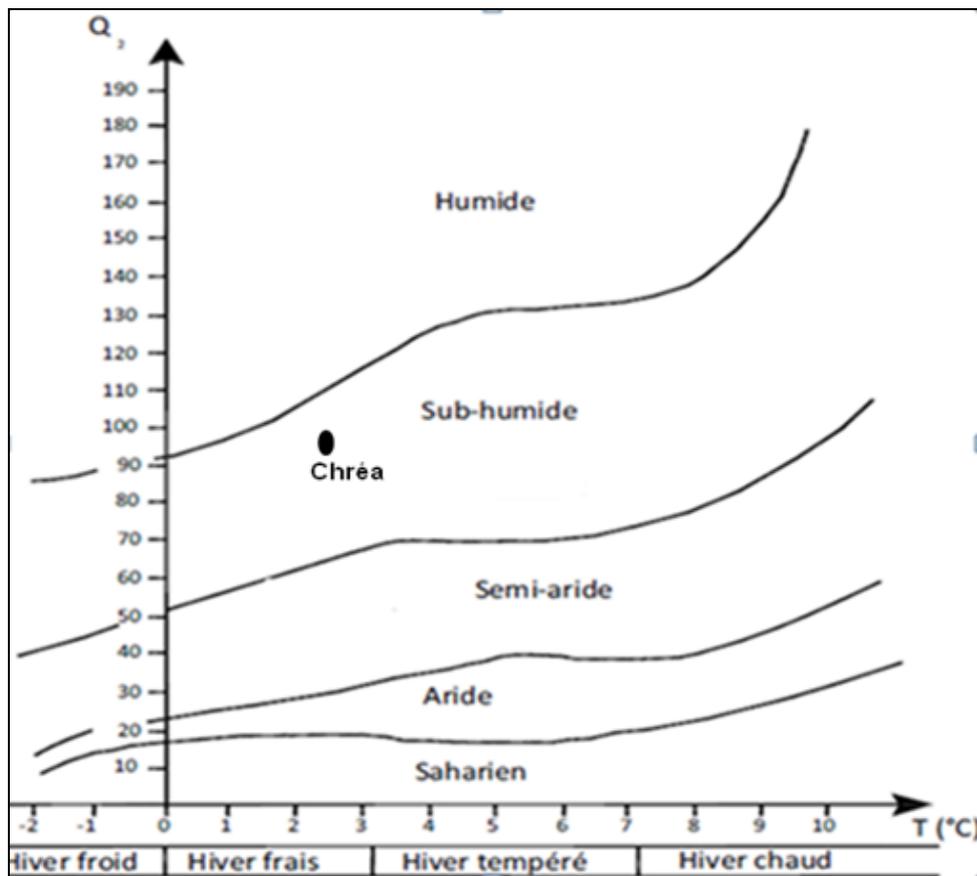


Figure 9 : Climagramme d'Emberger

## **2.4 La neige**

Selon Halimi (1980), l'enneigement de l'Atlas blideen est conditionné par l'altitude. Les chutes de neige sont à partir de 400 mètres d'altitude, le nombre de jour de neige est variable et sa couche variée en moyenne de 15 à 20 cm et atteint parfois 50 cm. L'importance des chutes de neige dans les monts de L'Atlas blideen est observée en mois de janvier et de mars.

## **2.5 L'humidité relative**

Le taux d'humidité dans les hauteurs de l'Atlas blideen est élevé sous l'effet conjugué de l'altitude et de la mer. La moyenne annuelle est de 70% selon Halimi (1980).

## **2.6 L'insolation**

Il s'agit de l'insolation effective qui représente la période durant laquelle le soleil a brillé. La montagne de Chréa reçoit annuellement une moyenne de 205 heures d'insolation.

## **2.7 Les vents**

En altitude les vents soufflent de direction Est ou Nord-est avec une vitesse moyenne de 40 Km/h. En ce qui concerne le sirocco, il se manifeste une à trois fois par an.

## TROISIEME CHAPITRE

### MATERIEL ET METHODES

#### 1. Méthodologie adoptée

Afin de recueillir un maximum de données ayant trait à la biologie de la processionnaire *T. pityocampa* et aux facteurs écologiques régissant sa distribution et modulant ses fluctuations transcycliques, nous avons adopté une démarche scientifique axée sur trois aspects distincts. Le premier porte sur la caractérisation des populations de la processionnaire *T.pityocampa* évoluant sur le cèdre de l'Atlas, le deuxième concerne l'estimation des facteurs de régulation biologique dans le contrôle des populations, et le troisième est relatif à l'extension et la dynamique des infestations de ce défoliateur dans la région du Parc National de Chréa.

#### 2. Caractérisation des états biologiques de la processionnaire du pin

Depuis juin 2010 jusqu'à août 2014, des observations périodiques ont été conduites pour suivre régulièrement les différentes étapes de développement de la processionnaire du pin. Ce travail avait comme objectif de suivre le comportement de l'espèce dans son biotope naturel, de repérer les dates des différents stades biologiques et de rechercher les ennemis naturels.

#### 3. Piégeage sexuel et émergence des papillons

Pour noter les premiers adultes émergents de *T.pityocampa* et contrôler la population, nous avons installé deux pièges à phéromones par station pendant cinq années consécutives (2010-2014) (figure10). Les stations retenues se trouvent à trois altitudes (Tableau 3). Le diffuseur de phéromone est de référence (PH-931-1RR). Le piège de modèle (INRA) utilisé est composé d'un entonnoir avec une plaque engluée, un panier ajouré pour permettre le placement de la capsule de phéromone et un opercule pour la fermeture (figure 11). La capsule est renouvelée tous les 15 jours. Les phéromones nous ont été fournies par la Conservation des Forêts de Blida, la Direction du Parc National de Chréa et l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach. La campagne de capture débute à partir de la deuxième quinzaine du mois de juin jusqu'au 30 septembre de l'année considérée. Les contrôles et les relevés ont été effectués un jour sur deux. Après

le dénombrement des papillons capturés, nous avons procédé par station à leur mensuration en longueur et en envergure à l'aide d'un pied à coulisse électronique.



**Figure 10: Localisation des stations prospectées**

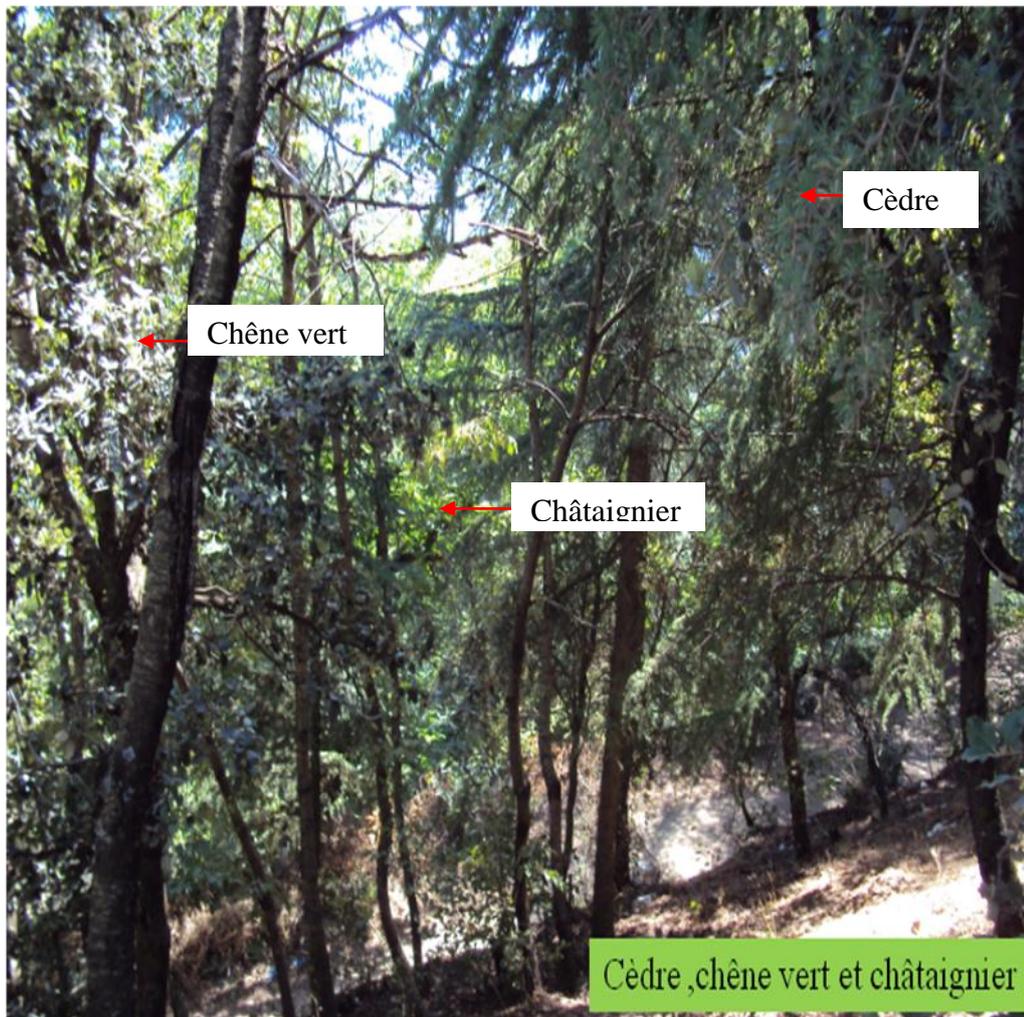
**Tableau 3 :** Caractéristiques des sites prospectés.

Stations	Altitudes(m)	Expositions	Coordonnée
Les Châtaigniers	1000	Nord-est	36° 26' 50" N et 2°52'18"E
Les glacières	1200	Nord-est	36°26' 26" N et 2°52'40"E
Les quatre bancs	1400 et plus	Nord et Sud	36°26' 3,5"N et 2°53'20,6"E



**Figure 11 :** Le piège à phéromone avec des papillons mâles piégés (*Originale* ,2010)

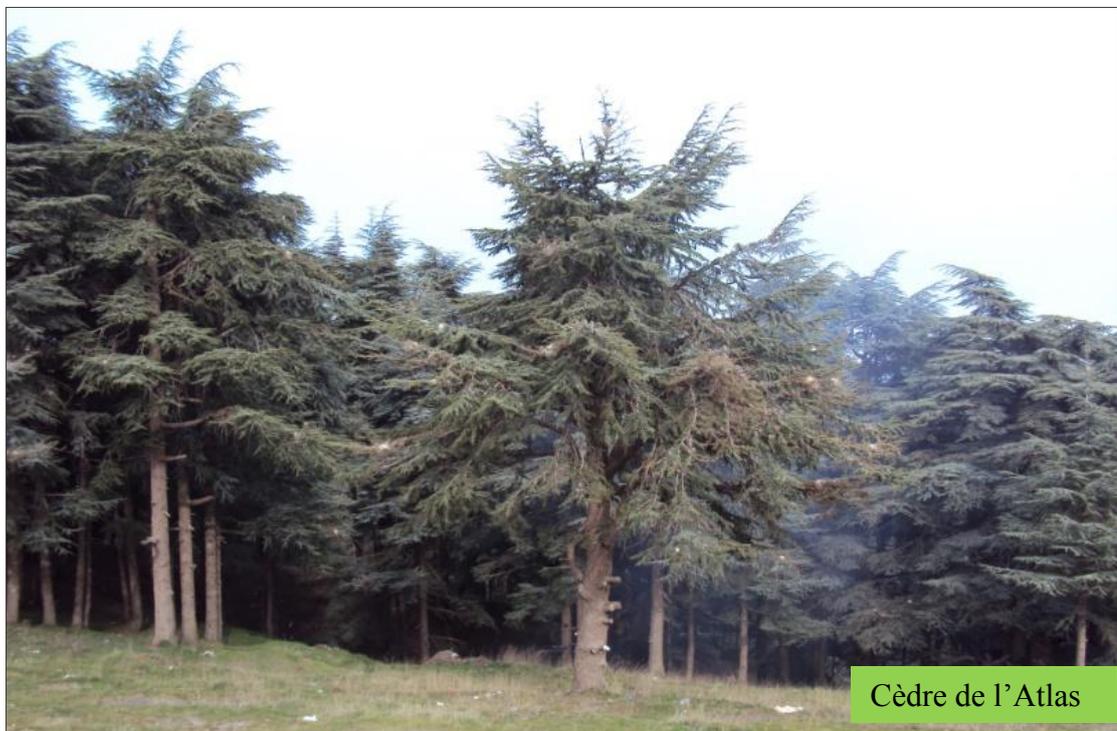
De point de vue végétation, la station des châtaigniers est caractérisée par un mélange de peuplement formé de châtaignier, de chêne vert et de cèdre mais, à dominance chêne vert. Les glaciers renferment un mélange de cèdre et de chêne vert à dominance cèdre, et la station des quatre bancs correspond à la cédraie pure (figures 12, 13,14).



**Figure 12** : Station des châtaigniers (*Originale* ,2010)



**Figure 13** : Station des glaciers (*Originale* ,2011)



**Figure 14** : Station des quatre bancs (*Originale* ,2011)

#### 4. Récolte du matériel biologique

Après le repérage et la localisation de différentes écophases, nous avons procédé à la récolte du matériel biologique qui correspond à chaque stade de développement biologique de la processionnaire *T.pityocampa*.

##### 4.1 Récolte des pontes

L'opération de récolte des pontes a été conduite systématiquement après la capture des premiers papillons. Elle a été effectuée d'une manière aléatoire dans la cédraie pure d'altitude après la détection des premiers vols des adultes entre les mois de juin et d'août de chaque année d'observation (figure 15). Un effectif de 100 pontes est récolté à hauteur d'homme à partir des arbres répartis sur un transect de l'ordre de 400 mètres. Avant le conditionnement du matériel biologique, la longueur et la largeur de chaque ponte sont notées (figure 16). Les échantillons mesurés ont été conservés individuellement dans des tubes à essai bouchés à l'aide du coton fin pour assurer l'aération. Les tubes sont numérotés et mis en observation dans la station forestière située à l'intérieure du peuplement prospecté. Le matériel biologique ainsi préparé est contrôlé quotidiennement pour suivre les éclosions des chenilles et l'émergence des parasitoïdes et relever les températures journalières (Figure 17).



**Figure 15** : Récolte des pontes de *T.pityocampa* à Chréa (Originale, 2010)



**Figure 16** : Biométrie des pontes



**Figure 17** : Conditionnement des pontes de *T.pityocampa* (Originale, 2011)

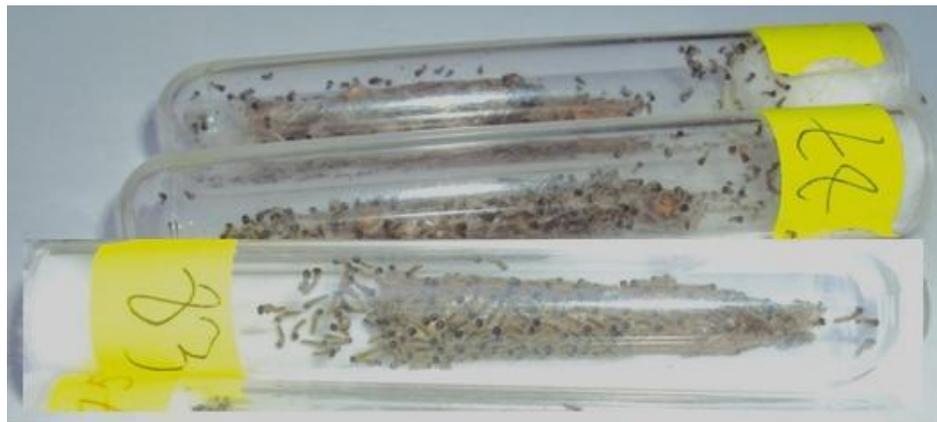
## 4.2 Examen des pontes

### 4.2.1 Examen des écailles maternelles

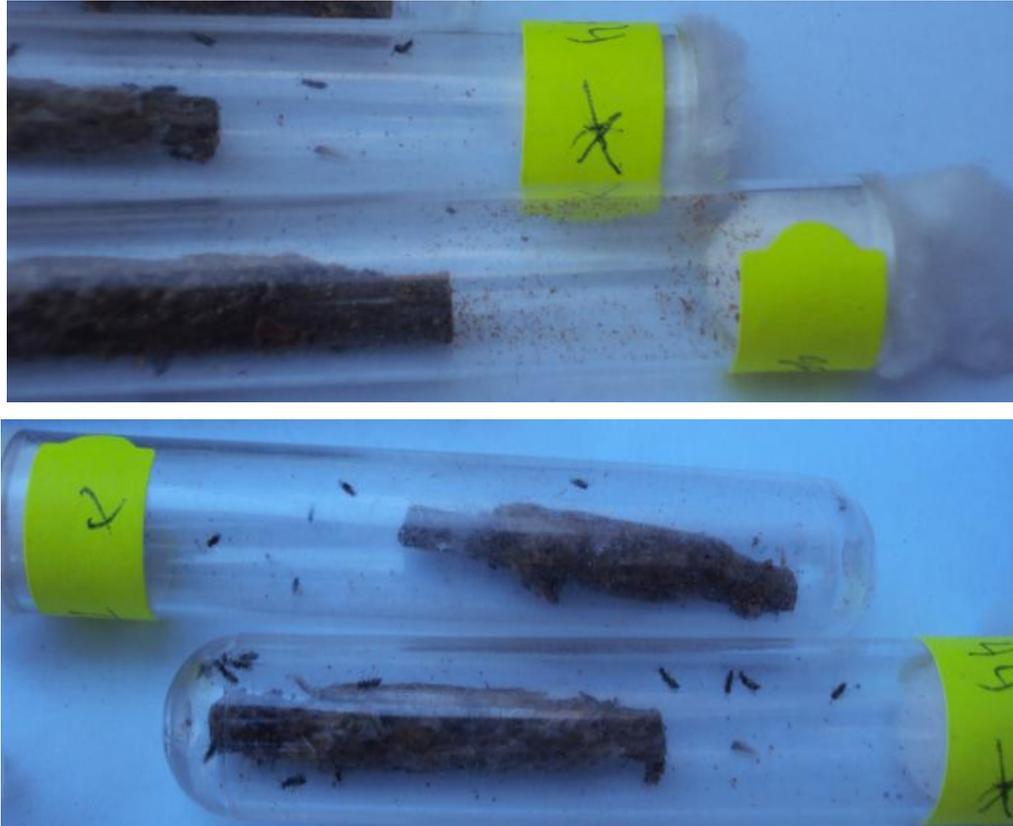
Des écailles provenant de l'extrémité abdominales des femelles ont été prélevées à partir d'une centaine de pontes. Ces écailles ont été examinées à l'aide d'une loupe binoculaire et comparées aux résultats obtenus sur pin d'Alep par Zamoum (1998) dans la région semi aride de Djelfa.

### 4.2.2 Dénombrement des catégories d'œufs

Après l'éclosion des chenilles (figure 18), les manchons ont été écaillés à l'aide d'un ruban adhésif afin de procéder au dénombrement des différentes catégories d'œufs ; non éclos, éclos, et ceux ayant des trous de sortie de parasites. Les parasitoïdes des œufs émergés ont été retirés immédiatement et séparés dans des tubes en plastique pour la détermination (figure 19).



**Figure 18** : Eclosion des chenilles de la processionnaire du pin  
(Originale, 2011)



**Figure 19** : Pontes parasitées (*Originale, 2010*)

### **4.3 Récolte et biométrie des larves**

Au cours de leur développement, des lots de chenilles des divers stades sont récoltés et préparés au laboratoire pour une mensuration de longueurs et de largeurs maximales de leur capsule céphalique. Les larves du premier stade ont été récupérées après l'éclosion des pontes au laboratoire et mesurées à l'aide d'un stéréoscope à camera intégrée. Les chenilles du second au cinquième stade ont été récoltées, pendant l'automne, l'hiver et le printemps au fur et à mesure de l'évolution de la population. Le matériel biologique relatif à chaque stade a été prélevé à partir d'une dizaine de colonies et mesurés à l'aide d'un pied à coulisse électronique (figure 20).



**Figure 20** : Mensuration des chenilles (*Originale, 2011*)

#### **4.4 Récolte et biométrie des chrysalides**

Pour récolter les chrysalides, nous avons repéré les lieux d'enfouissement pendant les processions de nymphose des années 2011, 2012, 2013, ensuite vers la fin mai et avant les sorties des adultes, des dizaines de lots de chrysalides ont été déterrés et nettoyés sous un jet d'eau pour écarter les nymphes mortes et mycosées (figure 21). Après l'élimination des cocons, les individus viables sont triés par sexe numérotés et conditionnés individuellement dans des flacons en plastique transparent. Chaque flacon est recouvert par un tissu à mailles fines pour assurer l'aération et permettre le piégeage d'éventuels parasitoïdes. Le matériel biologique ainsi préparé est placé au laboratoire et contrôlé quotidiennement pour noter les émergences des papillons adultes et identifier les parasites du stade nymphal de *T.pityocampa* (figure 22). Ce dispositif expérimental a été appliqué pendant toute la période d'investigation. Seules les chrysalides de la première année d'observation ont subi des mensurations en longueur et en largeur maximale pour caractériser la population nymphale de la processionnaire du pin.



**Figure 21:** Les nymphes de *T. pityocampa* (Originale, 2011)



**Figure 22:** Emergence au laboratoire d'un papillon femelle (Originale, 2011)

## 5. Dénombrement des nids d'hiver

Pour étudier la dynamique des infestations, un dénombrement des nids d'hiver a été effectué pendant quatre années successives de 2011 à 2014 (figure 23). Deux tranches altitudinales ont été retenues. La première allant de 1000 à 1200 mètres renfermant un mélange très dense de cèdre et de chêne vert et la deuxième de 1200 à 1400 mètres

renfermant les peuplements purs de cèdre avec de bonnes conditions d'ensoleillement . Un effectif de 400 arbres a été échantillonné par tranche d'altitude, soit 800 arbres au total. Pour le comptage des nids, nous avons pris en considération, systématiquement un arbre sur deux suivant un transect linéaire. Pour chaque arbre, nous avons noté la hauteur des arbres, le nombre de nids et l'exposition de leur site d'emplacement sur l'arbre. Le transect a été choisi à environ 4m à l'intérieur des peuplements à cause de la forte déclivité du terrain. Les mesures de la hauteur des nids et des arbres ont été déterminées par un clinomètre « Suunto Tandem » (figure 24).



**Figure 23:** Le dénombrement des nids d'hiver de la processionnaire du pin à Chréa



**Figure 24:** Le clinomètre Suunto Tandem (*Originale, 2011*)

## 6. Analyse statistique

Les données statistiques ont été soumises à une série d'analyses réalisée par les logiciels Excel, Statistica version 8.0. La caractérisation des populations de *T. pityocampa*, fait intervenir deux groupes de variables : Les variables caractérisant l'insecte et les variables liées aux conditions environnementales qui peuvent agir sur l'évolution de la processionnaire. Les variables considérées sur l'insecte incluent toutes les données de mensurations des écophases, les données relatives à l'examen des pontes, et le dénombrement des nids d'hiver. L'action des parasites, l'altitude, l'exposition et la hauteur des arbres sont les variables liées au milieu environnement. Des analyses statistiques simples ont été appliquées. Elles se sont montrées suffisantes dans une grande partie des cas considérés. L'analyse descriptive, la comparaison des moyennes par des analyses de variance ont permis de caractériser les populations dans leur ensemble en relation avec les variables retenues. L'analyse des régressions simples a été effectuée pour tirer les corrélations et déduire les équations qui décrivent significativement les relations entre le nombre d'œufs et la taille des pontes. L'analyse croisée qui dérive de l'analyse canonique a été appliqué pour caractériser l'effet de la composition du peuplement sur le rythme de piégeage des papillons mâles dans la cédraie de Chréa.

# QUATRIEME CHAPITRE

## RESULTATS

### 1. Emergence des adultes

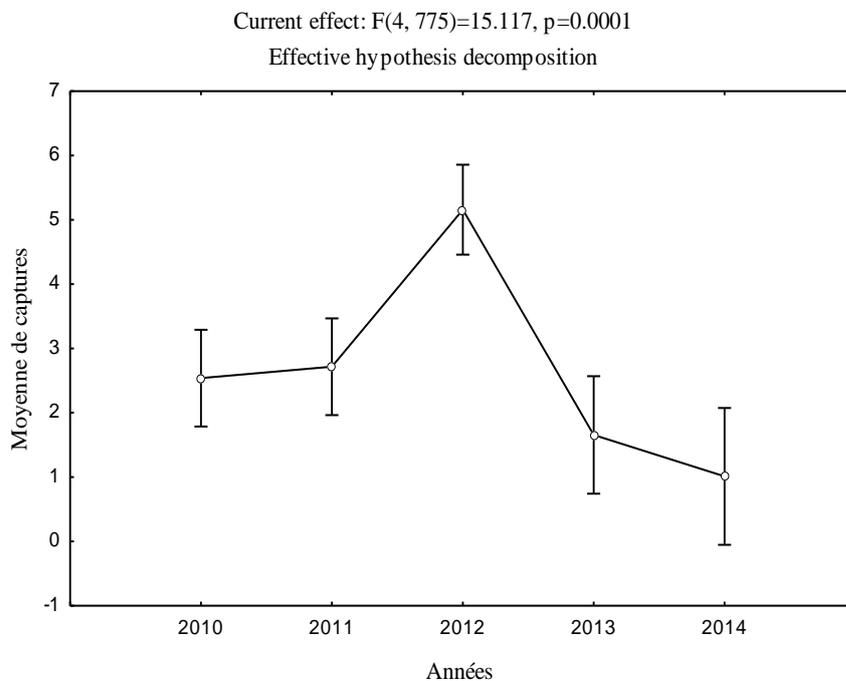
#### 1.1 Variation interannuelle des émergences

Le tableau 3 regroupe les effectifs des captures des papillons mâles cumulés pendant les années d'observation.

**Tableau 3** : Analyse descriptive des captures de papillons mâles

	2010	2011	2012	2013	2014
Effectif des captures piège 1	160	186	372	133	91
Effectif des captures piège 2	297	303	701	69	49
Moyenne des captures	228,5	244,5	536,5	101	70
Valeurs extrêmes	0-39	0-39	0-45	0-15	0-3

La comparaison des moyennes des captures des adultes mâles met en évidence une différence très hautement significative dans la distribution temporelle des adultes mâles (figure 25). Cette variation interannuelle retrace la gradation de l'insecte dans la cédraie de Chréa.



**Figure 25** : Comparaison des moyennes interannuelles de captures des adultes mâles

## 1.2 Variation du rythme de piégeage

Les résultats du piégeage sexuel des adultes mâles reportés dans le tableau 4 montrent une variation dans les moyennes du piégeage par jour et par piège. Cette différence est probablement liée aux sites d'emplacement des pièges. Les moyennes calculées pour le deuxième piège placé à l'intérieur du peuplement affichent des valeurs nettement élevées pour les années 2010, 2011, 2012 qui marquent la gradation de l'espèce. Les moyennes caractérisant le premier piège installé sur des arbres proches de la périphérie du boisement sont significatives à partir de 2013 et dénoncent un repliement de la population.

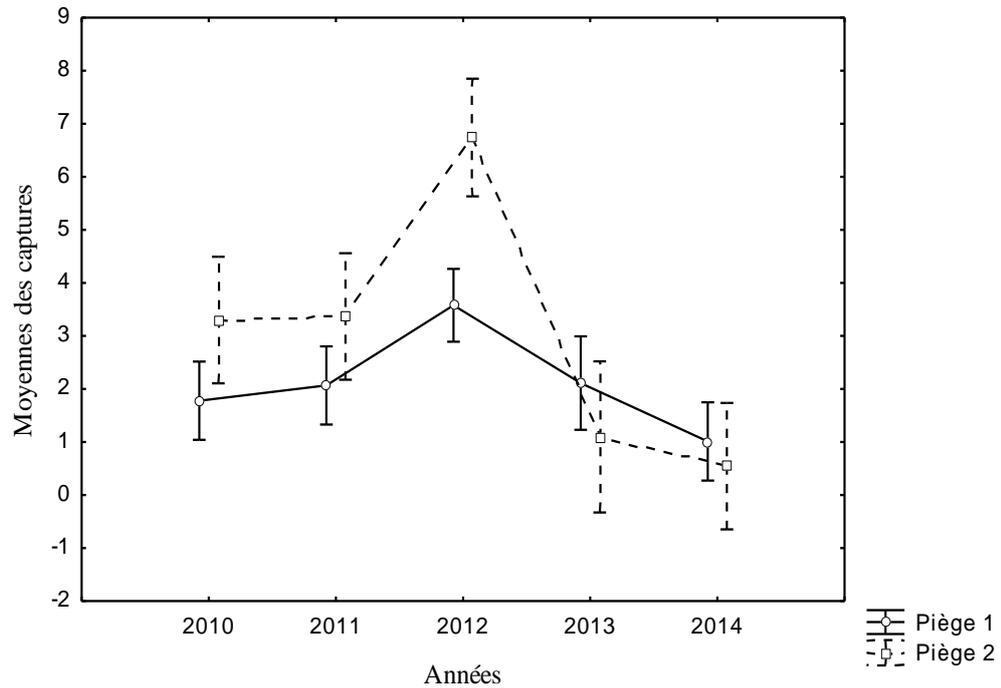
**Tableau 4 :** Moyennes du piégeage par jour et par piège

Années d'observation	Période de capture	Nombre moyen de papillons par piège et par jour	
		Piège 1	Piège 2
2010	15 juin au 30 septembre	1,77 ± 0,28	3,30 ± 0,60
2011	15 juin au 30 septembre	2,06 ± 0,30	3,36 ± 0,58
2012	15 juin au 30 septembre	3,57 ± 0,57	6,74 ± 0,88
2013	15 juin au 30 septembre	2,11 ± 0,35	1,09 ± 0,21
2014	15 juin au 30 septembre	1,01 ± 0,08	0,54 ± 0,06

La comparaison des moyennes de piégeage par piège et par jour durant la période d'étude montre que la variation est très hautement significative (figure 26). Cette différence interannuelle permet de supposer que la distribution de l'insecte dans l'espace est en relation avec les niveaux de populations initiales.

Wilks lambda=.85344, F(8, 862)=8.8857, p=0.0001

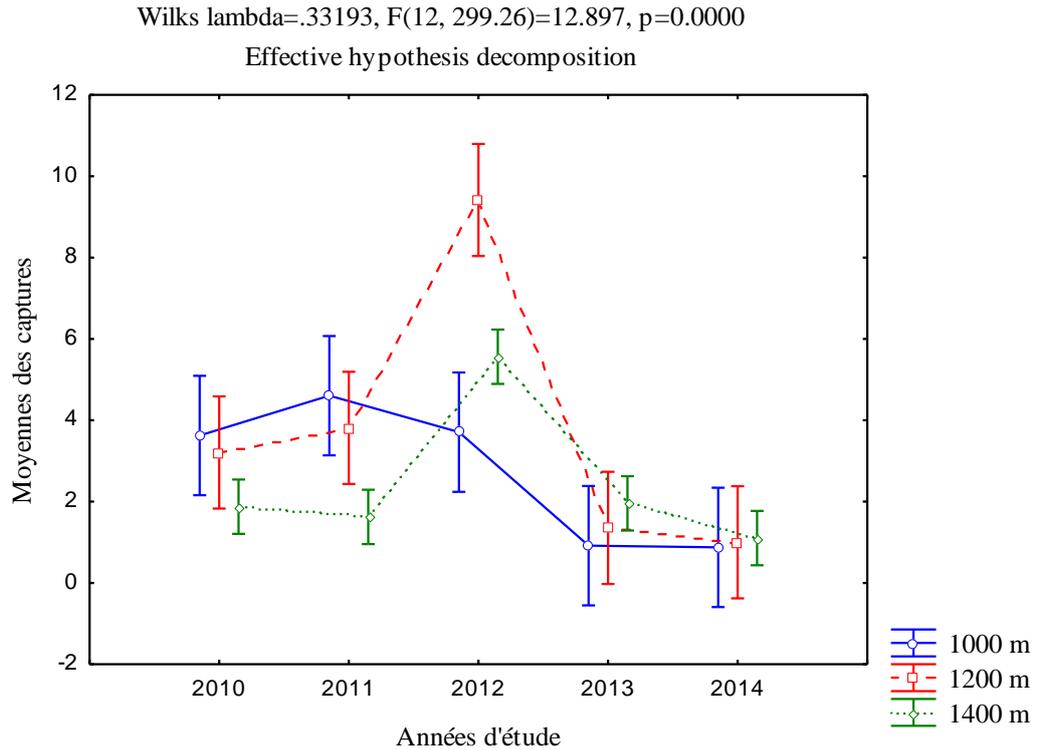
Effective hypothesis decomposition



**Figure 26** : Comparaison des moyennes de capture par piège

### 1.3 Variation interannuelle des émergences en fonction de l'altitude

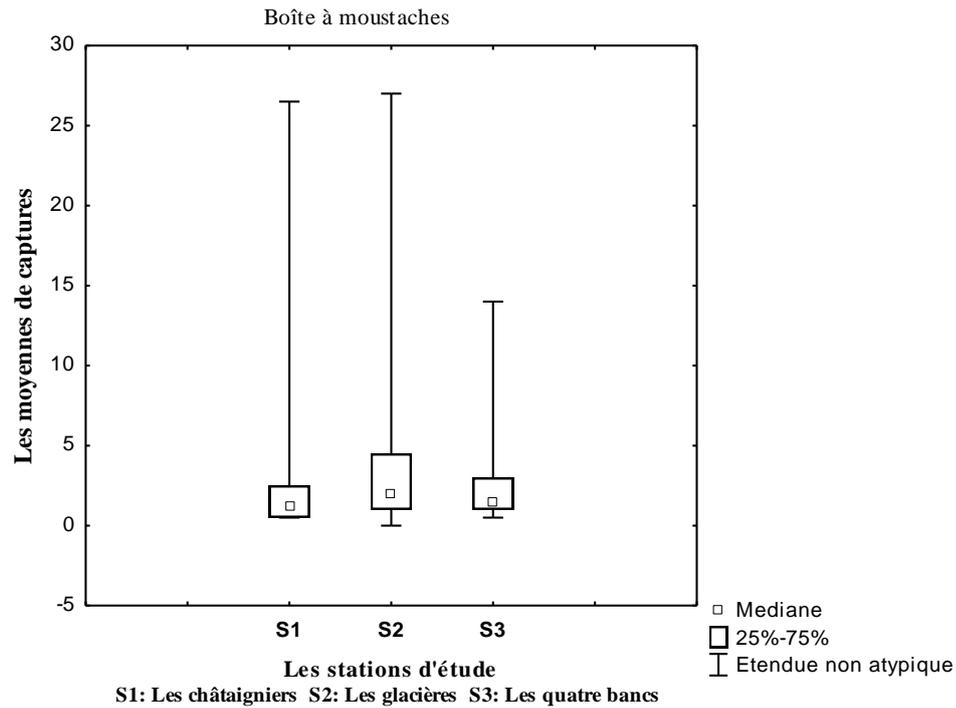
La comparaison des moyennes de captures par station fait ressortir une différence très hautement significative entre les trois biotopes prospectés (figure 27). Les moyennes des captures dans la station des Châtaigniers (1000m) sont élevées par rapport aux autres stations pendant les années de gradation (2010,2011, 2012), elles varient de 3,6 à 4,6. Dans la station des Glacières (1200m) les captures sont plus significatives et atteignent leur maximum avec une moyenne de 9,4 pendant le pic de culmination de l'année 2012. La station des quatre bancs qui correspond aux peuplements purs de cèdre dont l'altitude est supérieure à 1400m affiche des moyennes plus significatives après la régression des niveaux de populations avec des valeurs de 1,9 et 1 respectivement pour les années 2013 et 2014.



**Figure 27 :** Comparaison des moyennes de piégeage par station d'altitude

#### 1.4 Effet de la structure du peuplement sur le rythme de piégeage

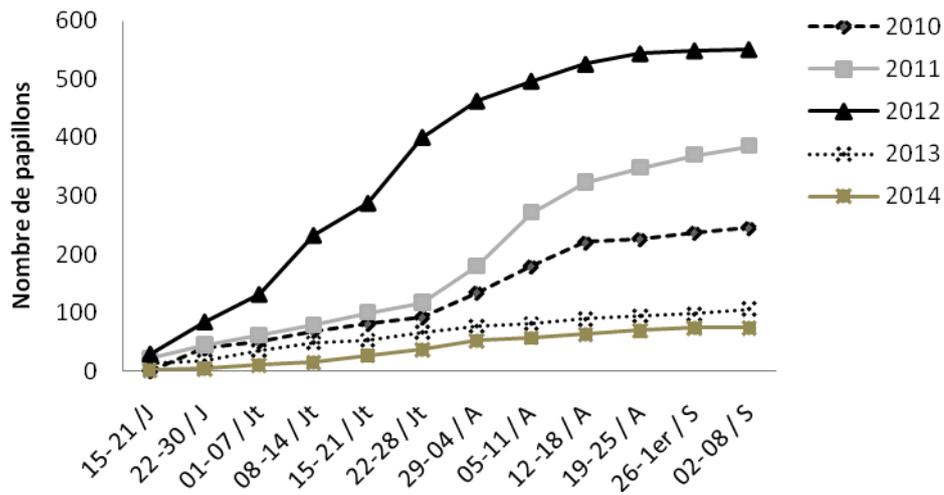
L'examen de la figure 28 illustrant les rapports de l'analyse croisée entre la structure des peuplements des stations prospectées et le nombre de piégeage par jour montre une grande hétérogénéité dans la dispersion des valeurs de captures et une variabilité dans le rythme de piégeage, mais les médianes dans les trois sites sont proches. La médiane des captures dans la station mixte des châtaigniers est de 1,25 et les 50% des valeurs de cette station sont comprises entre 0,5 et 2,5 avec un maximum de capture de 26,5 papillons par jour. Dans la station des glaciers qui renferme un mélange de cèdre et de Chêne vert, la médiane des captures est de 2 papillons dont les 50 % des valeurs varient de 1 à 4,5 avec une étendue allant de 0 à 27 papillons capturés. La station des quatre Bancs correspondant à la cédraie pure est caractérisée par une dispersion exprimée par des valeurs variant entre 0,5 et 14 papillons capturés par jours, une valeur médiane de 1,5 dont 50 % de captures contiennent 1 à 3 papillons. Ceci montre que le peuplement a un effet sous-jacent sur la distribution des papillons de la processionnaire du pin dans la cédraie de Chréa.



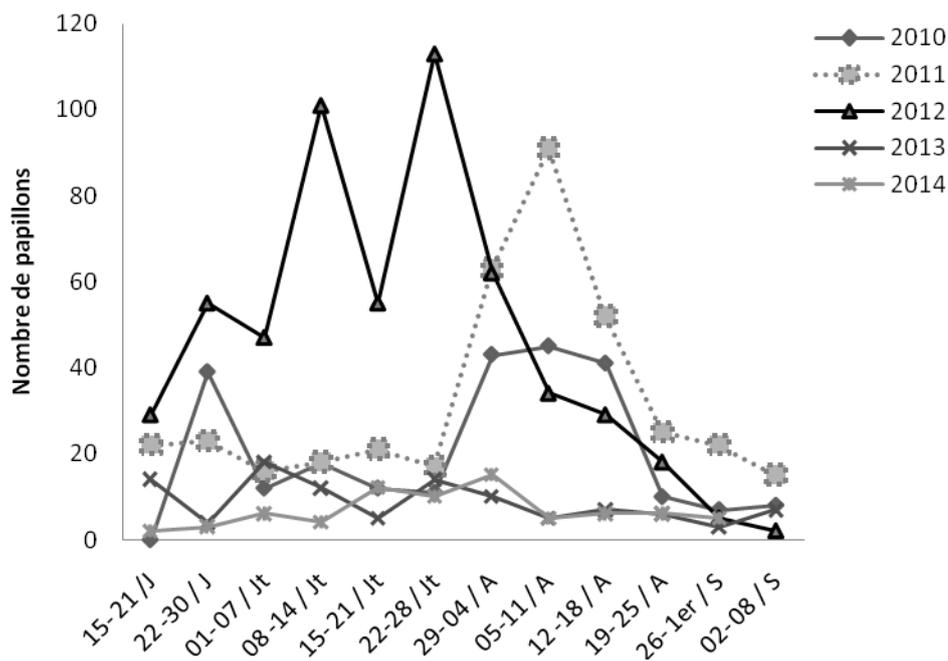
**Figure 28** : Rythme de piégeage en fonction de la composition de peuplement

### 1.5 Période et fréquence des émergences des adultes

Les résultats pluriannuels synthétisés par la courbe cumulative (figure 29) montrent que la période total de vol se situe entre le 15 juin et le 2 septembre. La variation interannuelle est faible, elle n'a pas affectée les dates d'émergences observées à Chréa. Le vol principal qui correspond à 50 % des émergences et qui permet de caler le cycle se situe entre le 29 juillet et 4 août pour toutes les années d'observation sauf l'année 2012 où le cycle est caractérisé par une date de calage plus précoce située entre le 15 et le 29 juillet. Les fréquences journalières des captures sont variables d'une année à l'autre. Les années 2011 et 2012 sont distingués par des fréquences élevées ce qui peut être lié à la densité des populations et probablement aux conditions météorologiques (figure 30).



**Figure 29** : Courbe cumulative des émergences de papillons mâles



**Figure 30** : Fréquence hebdomadaire des captures de papillons mâles

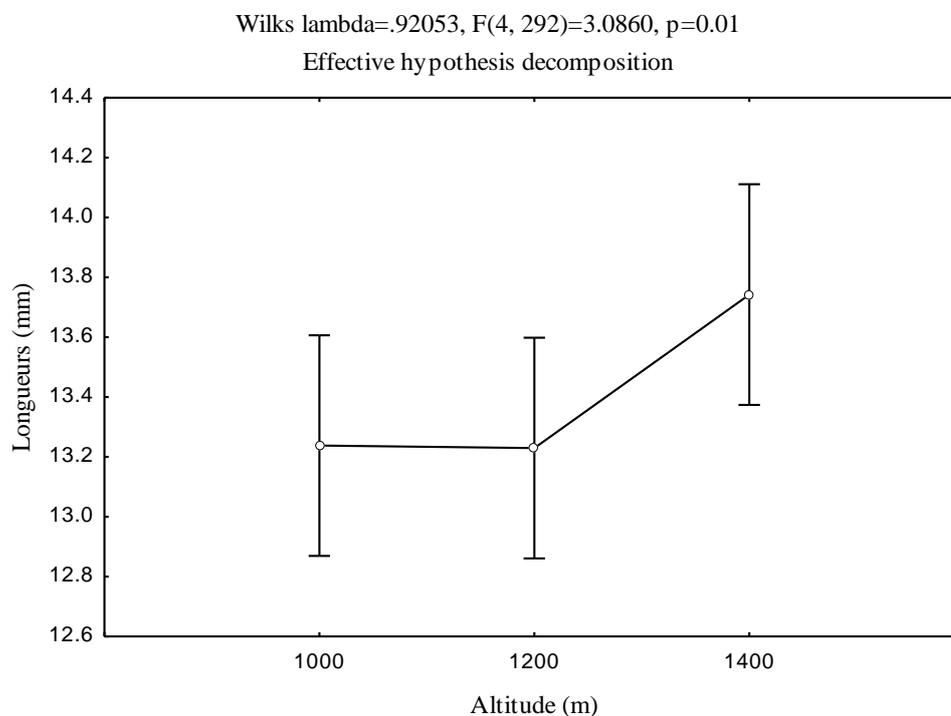
## 2 Biométrie des papillons mâles

Les mensurations de longueur et d'envergure ont porté sur des lots de 50 papillons par stations. Le tableau 5 regroupe la synthèse des données de mensurations.

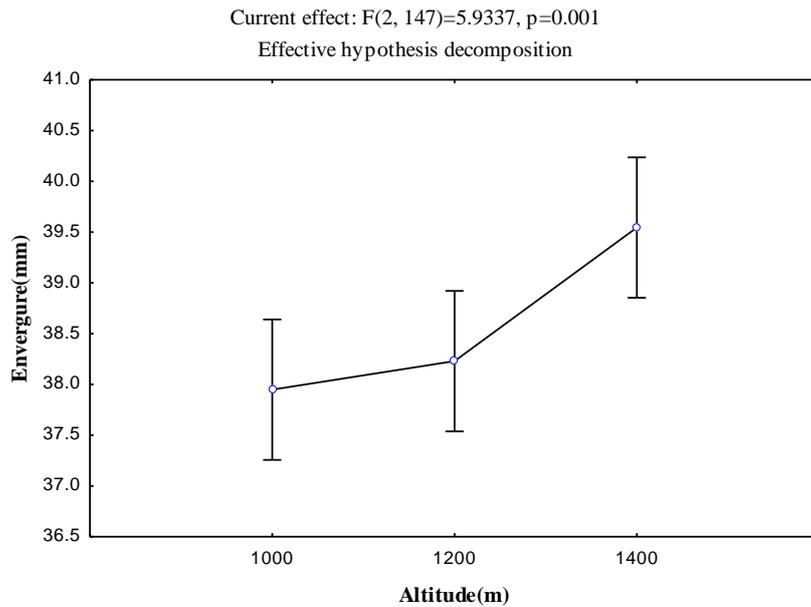
**Tableau 5:** Analyse descriptive des mensurations des papillons mâles

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

L'analyse des résultats obtenus dans le tableau montre que les papillons capturés ont une longueur moyenne de 13,40 mm et une envergure moyenne de 38,57 mm avec des écarts-types respectifs de 1,33 et de 2,55. La comparaison des moyennes de longueur et d'envergure des papillons des trois stations (figures 31 et 32) montre une différence significative pour les mensurations de longueur ( $p=0,01$ ) et une différence hautement significative pour les mensurations d'envergure ( $p=0,001$ ).



**Figure 31:** Comparaison des moyennes de longueur des papillons en provenance des trois stations



**Figure 32 :** Comparaison des moyennes d'envergure des papillons en provenance des trois stations.

### 3 Caractérisation des pontes de *T.pityocampa*

#### 3.1 Les écailles maternelles de protection

Les pontes de la processionnaire du pin déposées sur les rameaux de cèdre sont recouvertes par des écailles de taille réduite et de couleur variable en parfaite homochromie avec les rameaux de cèdre (figure 33).



**Figure 33:** Manchons et écailles de ponte de *T.pityocampa* sur les rameaux de cèdre  
**a :** Ecaille des manchons brun jaunâtre **b :** Ecaille des manchons gris argenté

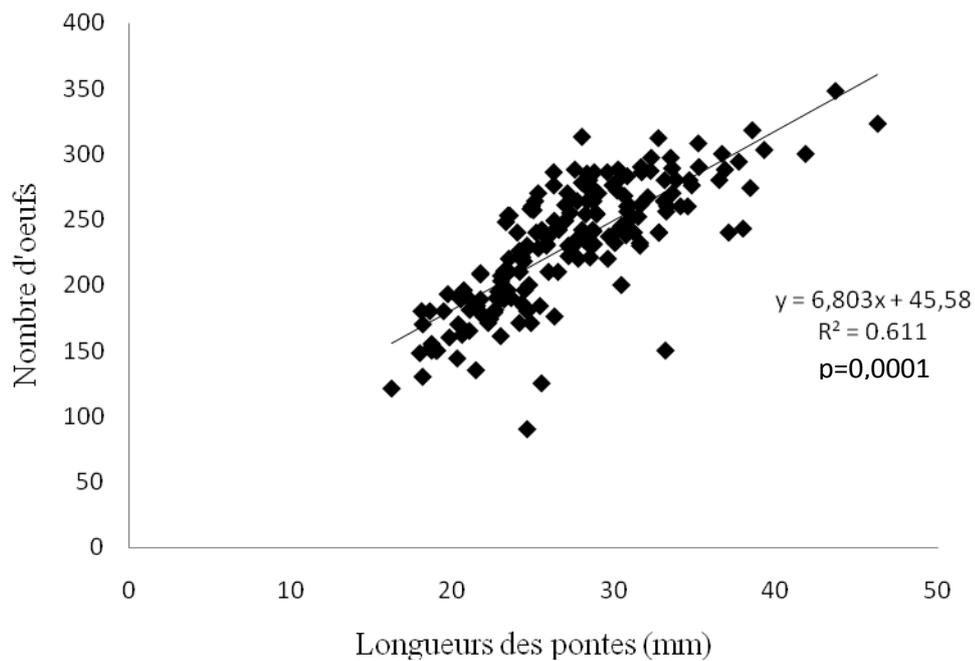
### 3.2 Biométrie des pontes

Les résultats des mensurations des pontes sont reportés dans le tableau 6.

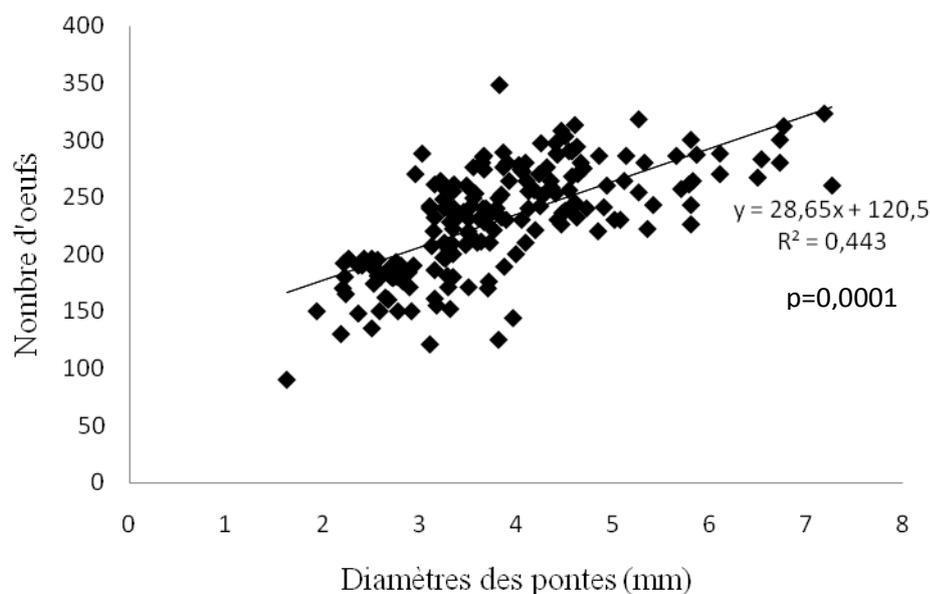
**Tableau 6:** Analyse descriptive des pontes *T. pityocampa*

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

Les pontes récoltées sont déposées soit sous forme d'ooplaque sur les rameaux épais, soit enroulées autour des rameaux de petites dimensions. Leur longueur moyenne est de 27,3 mm avec un diamètre moyen de 3,8 mm. L'analyse de la régression linéaire illustrée par les figures 34 et 35, met en évidence une corrélation très hautement significative entre le nombre d'œufs et les deux variables considérées.



**Figure 34:** Relation entre le nombre d'œufs et la longueur des pontes



**Figure 35:** Relation entre le nombre d'œufs et le diamètre des pontes

Zamoum (1998) a noté qu'il existe une relation entre les longueurs des aiguilles et des rameaux et le nombre d'œufs et que les coefficients de corrélation entre ces paramètres sont hautement significatifs. En ce qui concerne les diamètres des pontes, ils sont en relation avec les diamètres du support végétal selon Démolin (1969) qui précise aussi que le diamètre des aiguilles du pin doit être compris entre 1,6 et 2 mm pour permettre aux femelles de pondre sans contraintes.

### 3.3 Analyse des pontes

#### 3.3.1 Dénombrement des œufs par ponte

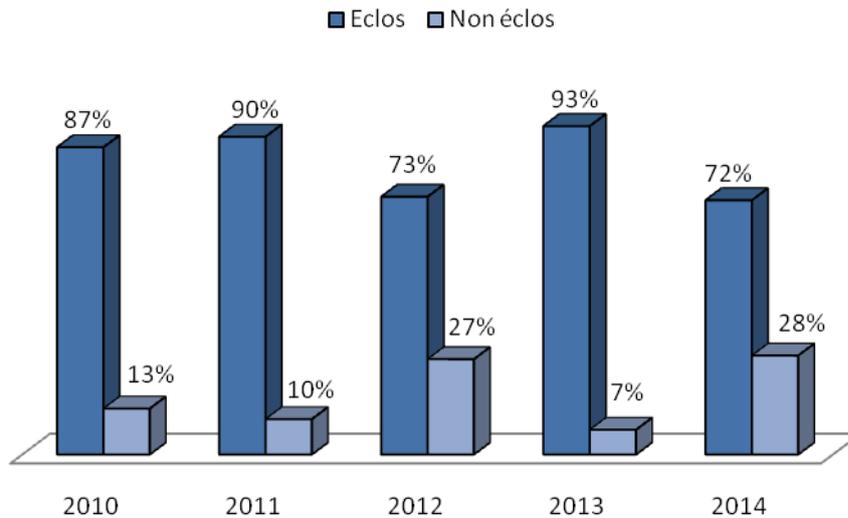
Les résultats de comptage des œufs de 100 échantillons de ponte par année d'observation sont regroupés dans le tableau 7.

**Tableau 7 :** Analyse descriptive des œufs de *T.pityocampa*

	2010	2011	2012	2013	2014
Effectif des pontes analysées	100	100	100	100	100
Nombre total d'œufs	22558	23755	18755	18429	17133
Effectif moyen /ponte	225,5	237,5	220,7	196,2	196,9
Ecart-type	46,9	45,2	41,4	42,2	54,9
Valeurs extrêmes	90-312	121-348	74-331	80-289	63-287

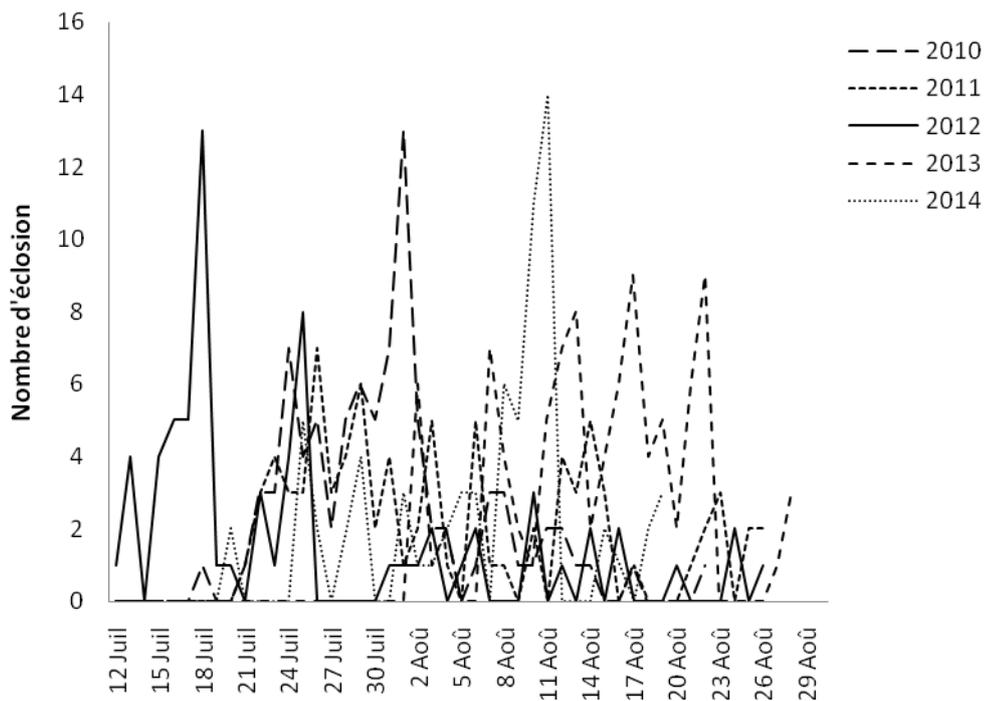
### 3.3.2 Eclosion des pontes

Les résultats pluriannuels portant sur les observations des pontes montrent que les taux d'éclosion sont élevés, en revanche les taux des pontes non écloses sont faibles (figure 36). Il est important de noter que nous avons considéré une ponte comme éclosée dès qu'on observe la sortie de la première larve.

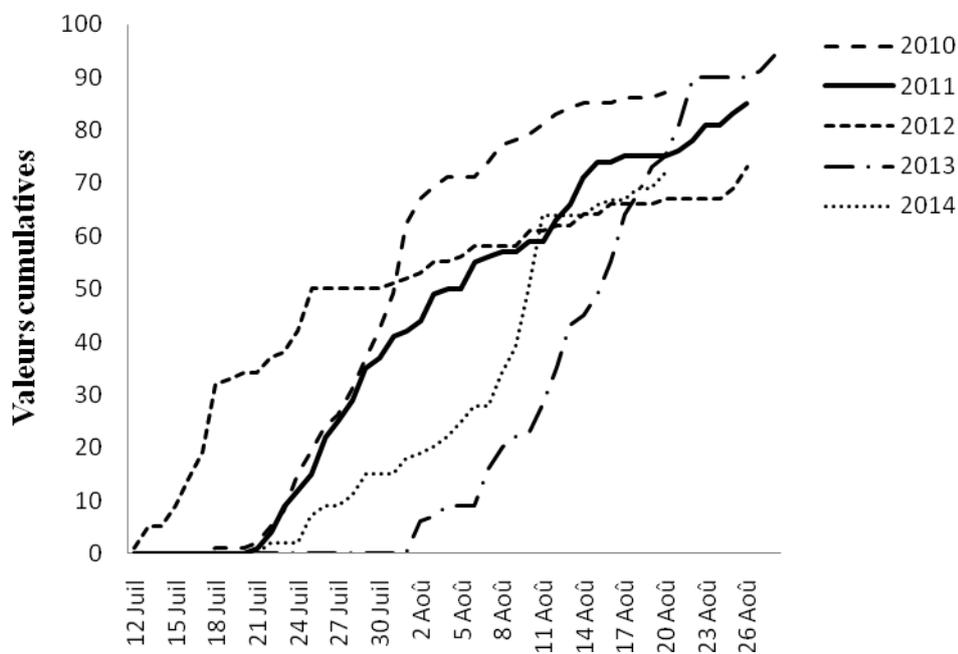


**Figure 36:** Les taux d'éclosion des pontes de *T. pityocampa*

La fréquence journalière des éclosions illustrée par la figure 37 montre que le rythme des éclosions des chenilles est irrégulier et la variabilité est notée à chaque année d'observation. Les résultats antérieurs (Sebti, 2011) ont montré que la fréquence des éclosions est étroitement liée aux températures journalières. Les journées chaudes sont caractérisées par un faible nombre d'éclosion. Démolin (1987) a précisé que l'éclosion se déclenche lorsque la somme des températures moyennes journalières à l'éclosion avoisine 780°C. Les premières éclosions sont notées entre le 18 et 21 juillet sauf pour les années 2012 et 2013 où le début des éclosions est observé respectivement le 12 et le 30 juillet. La coïncidence des dates des premières émergences des adultes avec les dates des premières éclosions permet de conclure que la durée d'incubation des œufs est de quatre semaines (figure 38).



**Figure 37 :** Fréquence journalière des éclosions

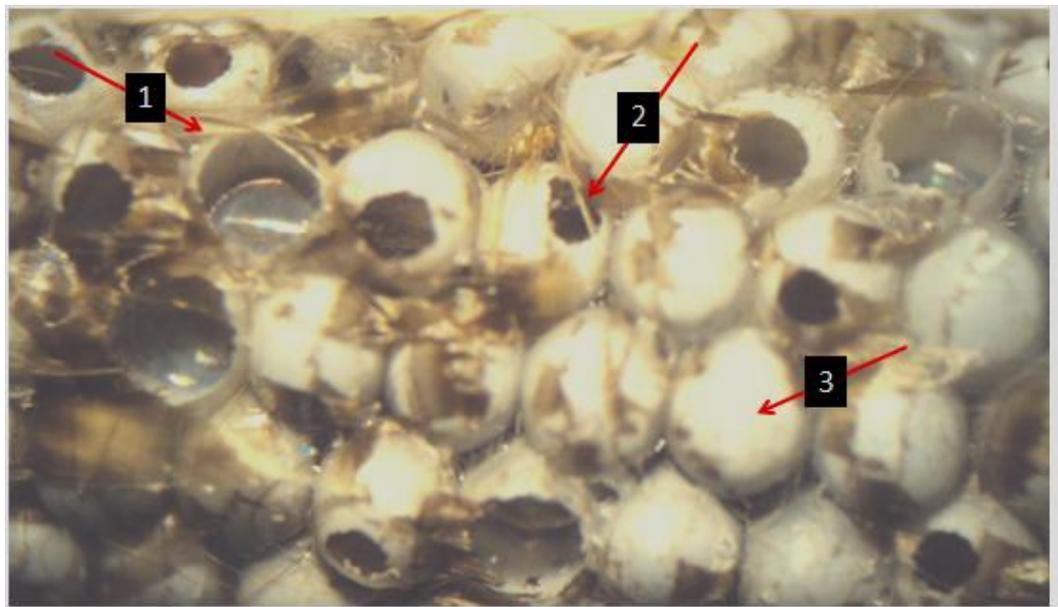


**Figure 38:** Courbe cumulative des éclosions

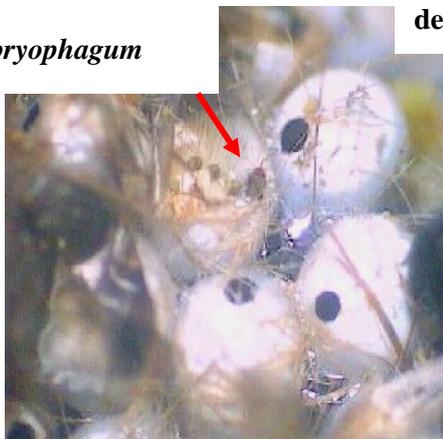
### 3.3.3 Examen des catégories d'œufs

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

- Œuf percé d'un gros trou qui correspond à la sortie de la chenille
- Œuf percé d'un petit trou qui correspond à la sortie d'un parasite oophage
- Œuf percé d'un très petit trou qui correspond à la sortie de *Trichogramma embryophagum*
- Œuf non éclos est alors ouvert, il contient soit un parasitoïde en diapause, soit une larve morte (figure 39).



Trou de sortie de  
*T.embryophagum*



Trou de sortie  
de *B.servadeii*



Trou de sortie  
d'*O.pityocampae*



Figure 39 : les catégories d'œufs de *T.pityocampa* (Originale ,2011)

### 3.3.4 Dénombrement des catégories d'œufs

Les résultats du dénombrement des catégories d'œufs effectué sur les populations des années 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, sont consignés dans les tableaux 8, 9, 10, 11 et 12.

**Tableau 8:** Analyse descriptive des catégories d'œufs examinés (année 2010)

	<b>Effectif total</b>	<b>moyenne</b>	<b>%</b>	<b>Valeurs extrêmes</b>
<b>Œufs éclos</b>	20340	203,4	90,1	27-312
<b>Œufs non éclos</b>	1195	11,9	5,29	0-160
<b>Œufs parasités</b>	1023	10,24	4,53	0-215

**Tableau 9:** Analyse descriptive des catégories d'œufs examinés (année 2011)

	<b>Effectif total</b>	<b>moyenne</b>	<b>%</b>	<b>Valeurs extrêmes</b>
<b>Œufs éclos</b>	21181	211,8	89,1	19-334
<b>Œufs non éclos</b>	1660	16,6	6,9	0-134
<b>Œufs parasités</b>	918	9,18	3,8	0-173

**Tableau 10:** Analyse descriptive des catégories d'œufs examinés (année 2012)

	<b>Effectif total</b>	<b>moyenne</b>	<b>%</b>	<b>Valeurs extrêmes</b>
<b>Œufs éclos</b>	8218	96,1	43,8	0-276
<b>Œufs non éclos</b>	8599	101,4	45,8	0-273
<b>Œufs parasités</b>	1938	22,8	10,3	0-230

**Tableau 11:** Analyse descriptive des catégories d'œufs examinés (année 2013)

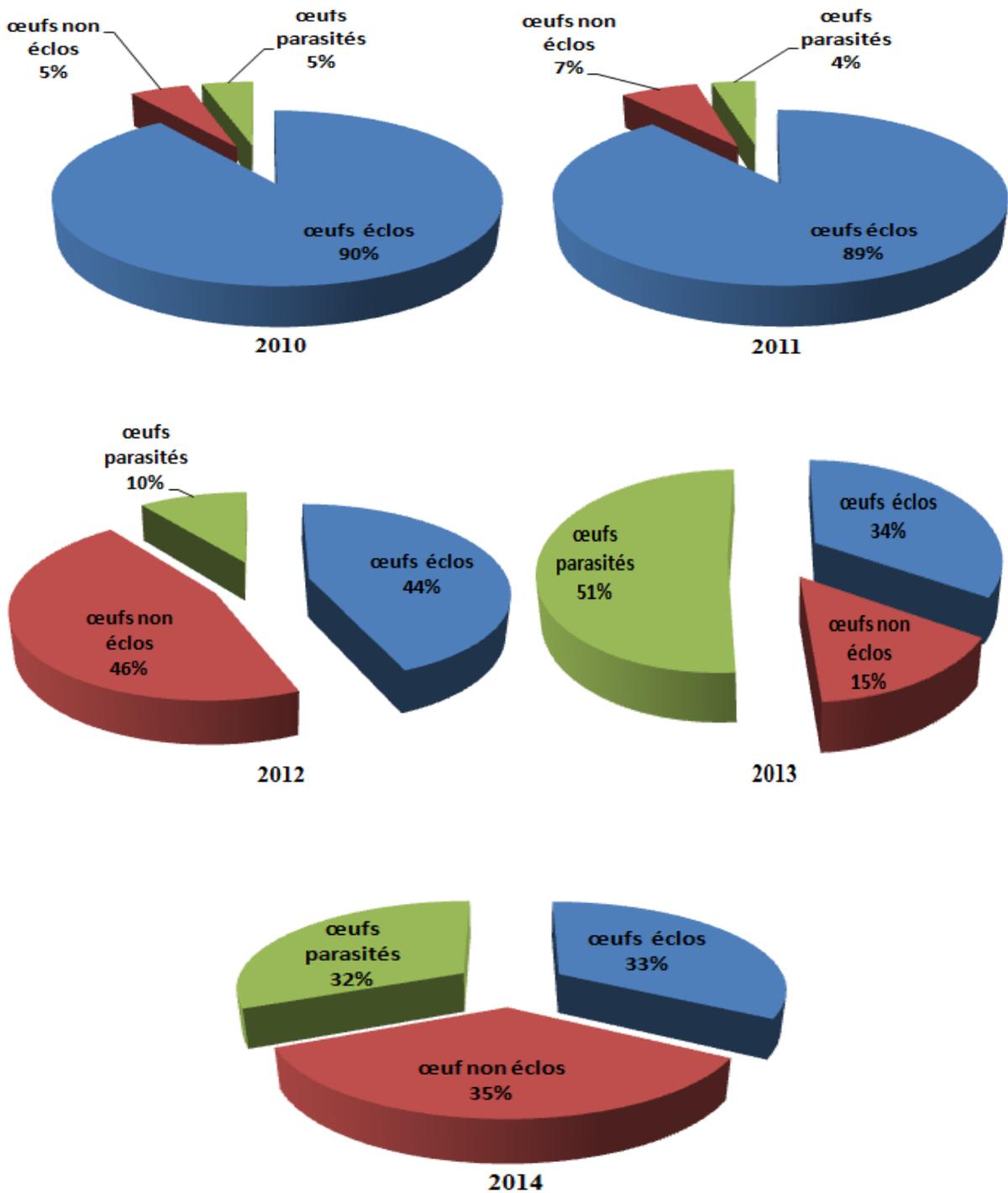
	<b>Effectif total</b>	<b>moyenne</b>	<b>%</b>	<b>Valeurs extrêmes</b>
<b>Œufs éclos</b>	6260	65,2	33,9	0-229
<b>Œufs non éclos</b>	2744	28,5	14,8	0-244
<b>Œufs parasités</b>	9425	98,1	51,1	0-233

**Tableau 12:** Analyse descriptive des catégories d'œufs examinés (année 2014)

	<b>Effectif total</b>	<b>moyenne</b>	<b>%</b>	<b>Valeurs extrêmes</b>
<b>Œufs éclos</b>	5711	66,2	33,3	4-242
<b>Œufs non éclos</b>	6011	73	35,08	3-176
<b>Œufs parasités</b>	5411	60,7	31,58	0-119

Les taux d'éclosion des œufs de la processionnaire du pin sont très élevés en 2010 et 2011, avec des pourcentages respectifs de 90 % et 89,2%. Cette phase de gradation est marquée aussi par de très faible taux d'œufs parasités. L'année 2012 est caractérisée par un taux d'œuf non éclos de 45,8% avec une augmentation du taux des œufs parasités à 10,3 %.

Les années 2013 et 2014 se distinguent par des faibles taux d'œufs éclos qui ne dépassent pas 34 %. Cependant l'année 2013 se différencie par une activité parasitaire accentuée avec un taux de 51%. En 2014, la population semble être éprouvée, les pourcentages des œufs non éclos et parasités sont respectivement de 35% et de 31,5% (figure 40).



**Figure 40** : Pourcentages des catégories d'œufs de *T.pityocampa*

## 4. Mensuration des stades larvaires et du stade nymphal

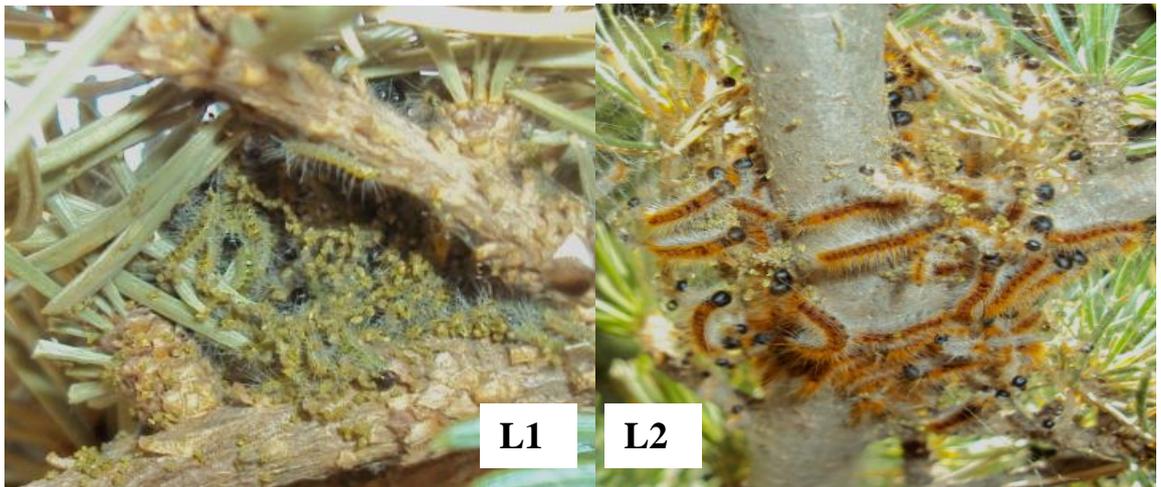
### 4.1 Biométrie des stades larvaires

Un effectif de 100 chenilles de chaque stade a été prélevé à partir d'une dizaine de colonies. Cette opération s'est effectuée tout au long du cycle, depuis le mois d'août jusqu'au mois de mai. Les mensurations des chenilles des cinq stades larvaires sont reportées dans le tableau 13.

**Tableau 13** : Analyse descriptive des stades larvaires de *T. pityocampa*

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

Les larves du premier stade possèdent une longueur comprise entre 3 et 4,41 mm avec une moyenne de 3,60 mm, la largeur de la capsule céphalique varie de 0,63 à 1,14 mm dont la valeur moyenne est de 0,91 mm. Au deuxième stade les larves mesurent entre 10,30 et 13,65 mm de longueur avec une moyenne de 12,28 mm. A ce stade la largeur de la capsule céphalique mesure 1,52 mm de moyenne. Le troisième stade se caractérise par une longueur comprise entre 16,5 et 24,5 mm, soit une moyenne de 20,80 mm, la capsule est de 2 à 2,9 mm de largeur et la moyenne est de 2,49 mm. Quant aux quatrième et cinquièmes stades, les moyennes des longueurs sont respectivement de 27,14 mm et de 33,92 mm, les longueurs extrêmes sont de 23 à 33,92 mm et de 27,08 à 38,82 mm. Les largeurs des capsules céphaliques varient entre 3,11 et 4,69 mm pour le quatrième stade et entre 3,35 et 4,89 pour le dernier stade, et les moyennes respectives sont de 3,90 mm et de 4,17 mm. Au cours de leur croissance, les chenilles changent de couleur et se couvrent de plus en plus de poils. Elles restent groupées en colonie et partent se nourrir en procession. Chaque déplacement donne lieu à l'élaboration d'un nid temporaire servant à la fois de refuge et de crottoir (figures 41 et 42).



**Figure 41:** Les colonies des premiers stades larvaires de *T. pityocampa* (Originales, 2010)



**Figure 42:** Les processions aux premiers stades de *T. pityocampa* (Originale, 2010)

a : L1, b : L2

## 4.2 Biométrie des chrysalides

Les résultats de l'analyse descriptive des mensurations de longueurs et de largeurs des chrysalides mâles et femelles sont regroupés dans le tableau 14.

**Tableau 14 :** Analyse descriptive de longueur et de largeur des chrysalides

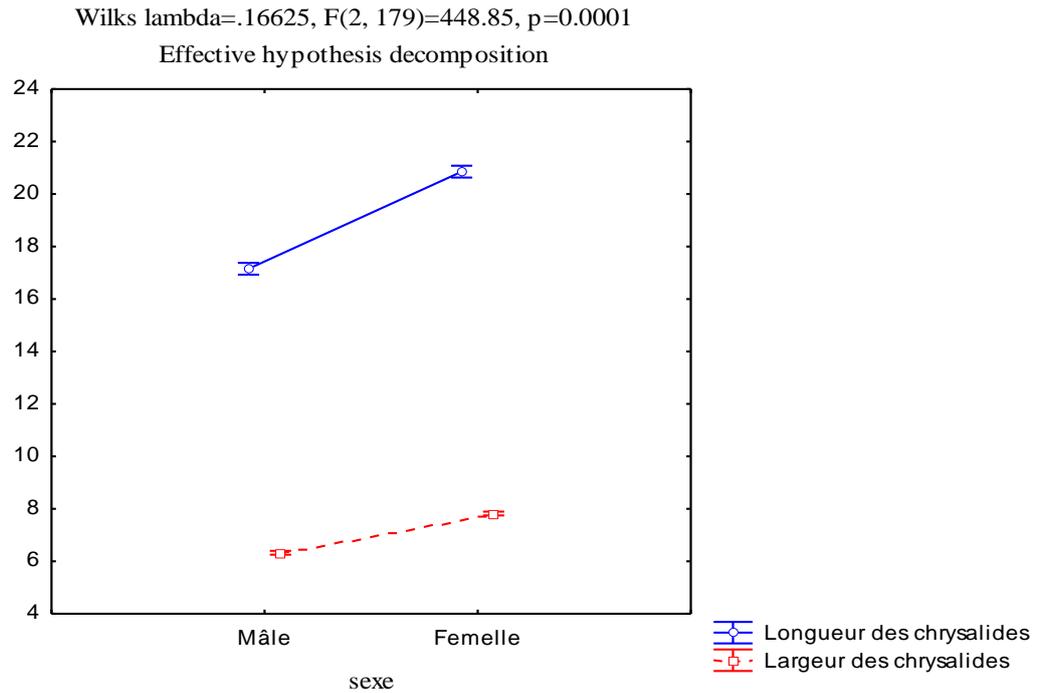
	Chrysalides femelles		Chrysalides mâles	
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)
Effectif	102	102	88	88
moyenne	20,83 ± 1,22	7,81 ± 0,38	17,24 ± 0,84	6,34 ± 0,29
Valeurs extrêmes	17,80 -22,90	7,01 -8,60	15,02 -18,62	5,53 -6,99

L'analyse de tableau montre que les femelles ont une longueur moyenne de 20,82 mm et une largeur moyenne maximale de 7,82 mm. Les mâles mesurent en moyenne 17,24 mm de longueur et 6,34 mm en largeur (figure 43).



**Figure 43:** Les chrysalides de *T. pityocampa* (Originale, 2011)

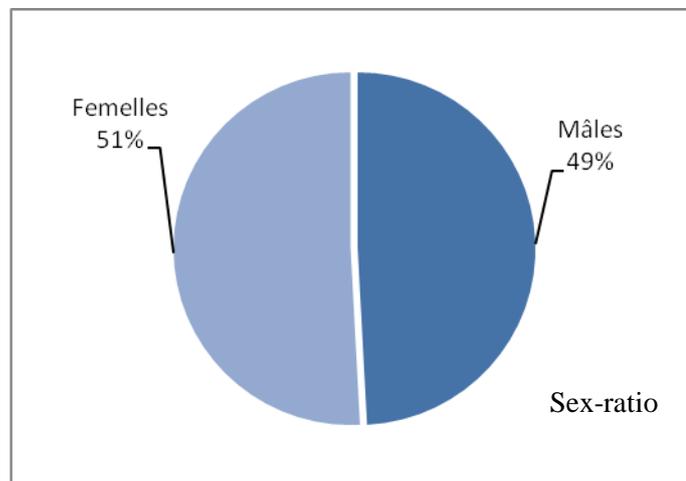
La comparaison des moyennes de longueur et de largeur des chrysalides mâles et femelles montre une nette différence entre les mensurations des deux sexes avec une probabilité calculée très hautement significative ( $p=0,0001$ ) (figure 44).



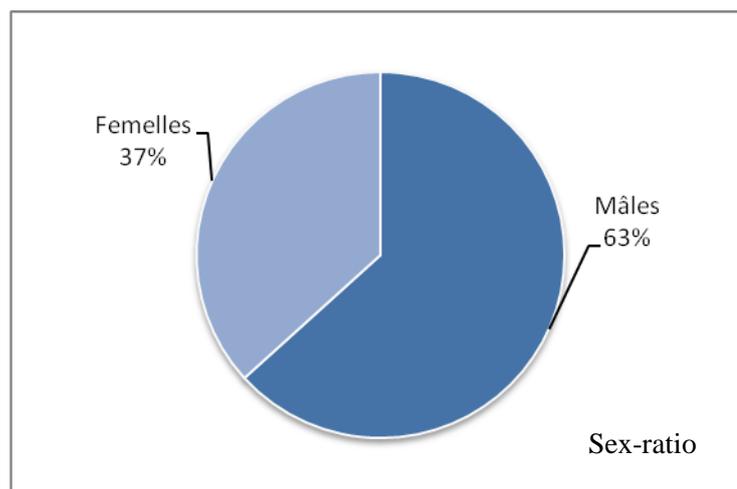
**Figure 44 :** Comparaison des moyennes de longueur et de largeur des chrysalides mâles et femelles de *T.pityocampa*

### 4.3 Sexage des chrysalides

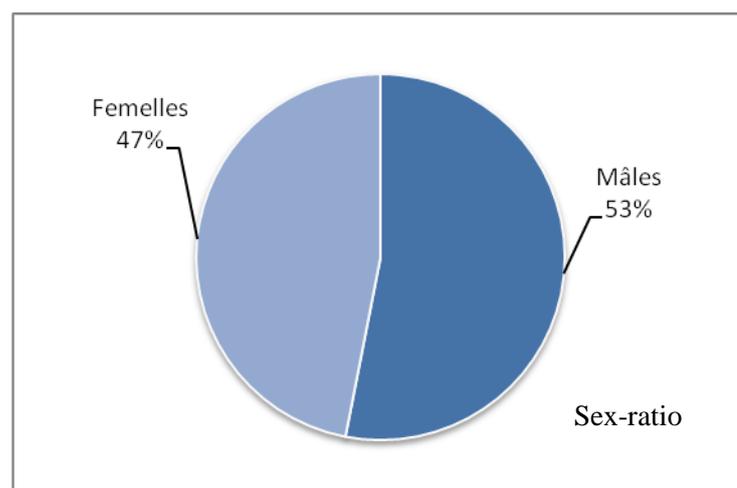
Le sexage de *T.pityocampa* a été effectué sur les populations de chrysalides des années 2011, 2012, 2013. Les effectifs des échantillons sexés pour les trois années considérées sont respectivement de 179, 509, 262 nymphes. Les figures 45, 46 et 47 représentent les proportions des mâles et femelles calculées au stade nymphal. Il est à rappeler que le sex-ratio est obtenu par le rapport nombre de mâles / nombre de femelles.



**Figure 45:** Proportion du sexage des populations nymphales (année 2011)



**Figure 46:** Proportion du sexage des populations nymphales (année 2012)



**Figure 47:** Proportion du sexage des populations nymphales (année 2013)

Le sexage des chrysalides de la processionnaire du pin durant les trois années d'observation montre que, l'année 2011 est caractérisée par un sex-ratio de 0,96 en faveur des femelles. Les sex-ratios consécutifs aux années 2012 et 2013 sont en faveur des mâles avec des valeurs respectives de 1,7 et 1,1 ce qui dénoterait que les populations sont déséquilibrées et leur potentiel gradologique est affecté.

## 5. Chronologie de développement de *T.pityocampa* dans la cédraie de Chréa

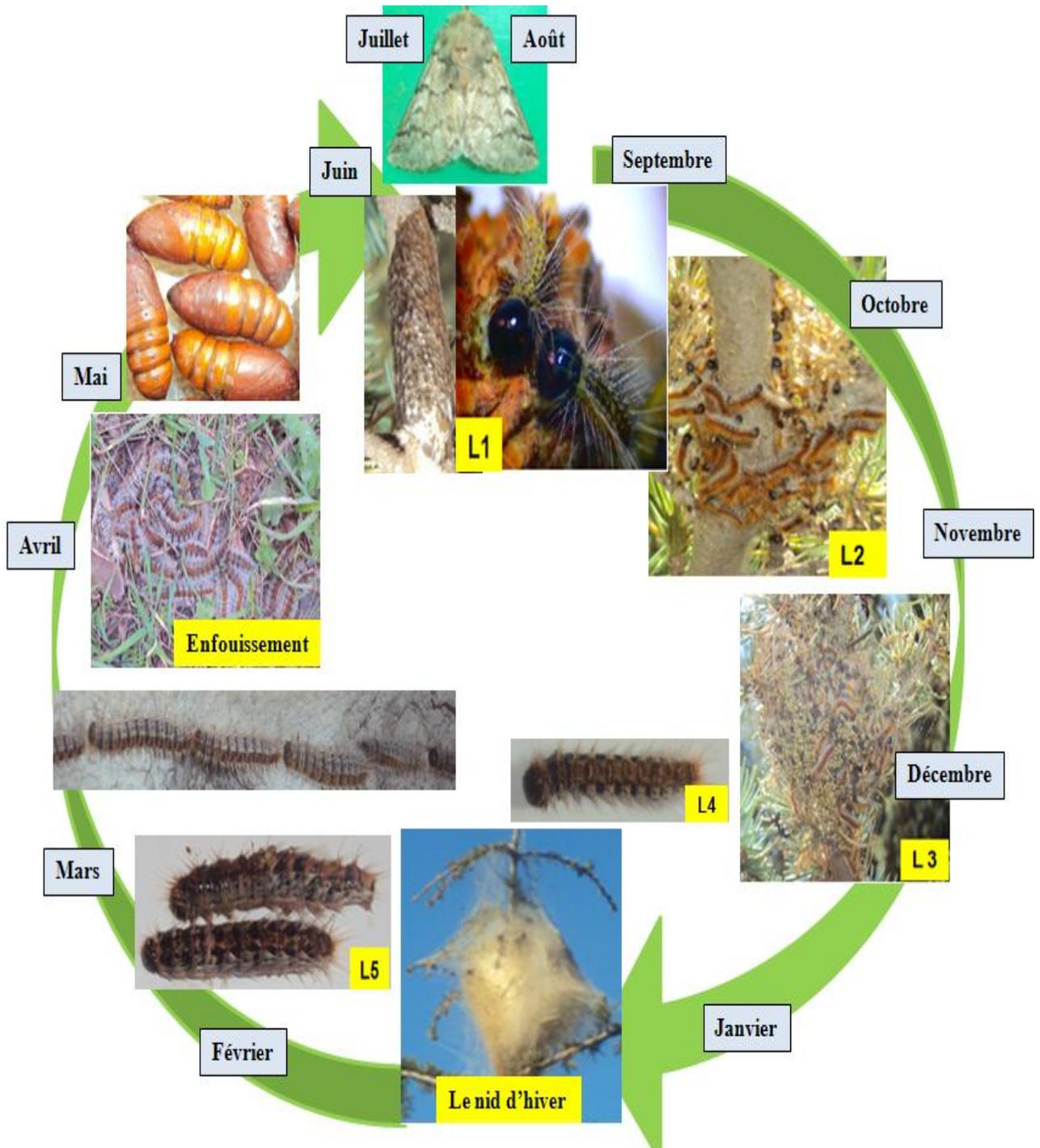
Les observations pluriannuelles effectuées périodiquement durant la période allant de 2010 à 2014 dans la cédraie du Parc National de Chréa ont permis de décrire la distribution spatiotemporelle de l'insecte en relation avec les caractéristiques environnementales de son biotope. Le tableau 15 synthétise l'évolution des écophases de la processionnaire au cours du temps dans les peuplements du cèdre de l'Atlas blideen.

**Tableau 15 :** Evolution chronologique de *T. pityocampa* dans la cédraie de Chréa

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

La processionnaire *T.pityocampa* présente une seule génération par an. Son évolution s'étale sur toute l'année dont la répartition temporelle des populations œufs, larvaires et adultes est fonction de la saisonnalité. Une faible variabilité interannuelle est notée dans le timing des différents stades de développement. Les premières émergences des adultes et le dépôt des pontes ont été noté à partir du 15 juin. Le premier stade, correspondant à la date des premières éclosions, est noté entre le 12 et 30 juillet. Le second stade est repéré entre les mois d'août et octobre, où les chenilles se regroupent à l'aisselle des aiguilles du cèdre pour s'alimenter. A ce stade, elles forment sur les branches de petites dimensions des processions caractéristiques et acquièrent une couleur d'un brun roux. Les larves du troisième stade sont observées à partir de la deuxième décade de septembre. A cette époque, les premiers nids d'hiver commencent à apparaître sur les couronnes des arbres. La mue qui marque le passage vers le quatrième stade s'effectue dans le nid d'hiver. Elle est repérée à la première semaine du mois de novembre. Le cinquième et dernier stade, a

été noté dès la fin janvier de l'année suivante. Les premières processions de nymphose sont observées le 13 mars et se sont poursuivies jusqu'à la deuxième décade du mois de juin avec un maximum de descente observé entre la fin avril et le début mai. La figure 48 illustre les différentes écophases de *T.pityocampa* dans la cédraie de Chréa.



**Figure 48:** Cycle biologique de *T. pityocampa* dans la cédraie de Chréa

## 6. Les antagonistes de *T.pityocampa*

### 6.1 Diversité des parasitoïdes embryonnaires

L'analyse des pontes effectuée sur les échantillons récoltés en mois de juillet et d'août de chaque année d'observation dans la cédraie de Chréa durant toute la période d'investigation a mis en évidence la présence de trois parasitoïdes oophages appartenant aux Hyménoptères chalcidiens (figure 49).



*Baryscapus servadeii* (a: mâle, b: Femelle)



*Ooencyrtus pityocampae*



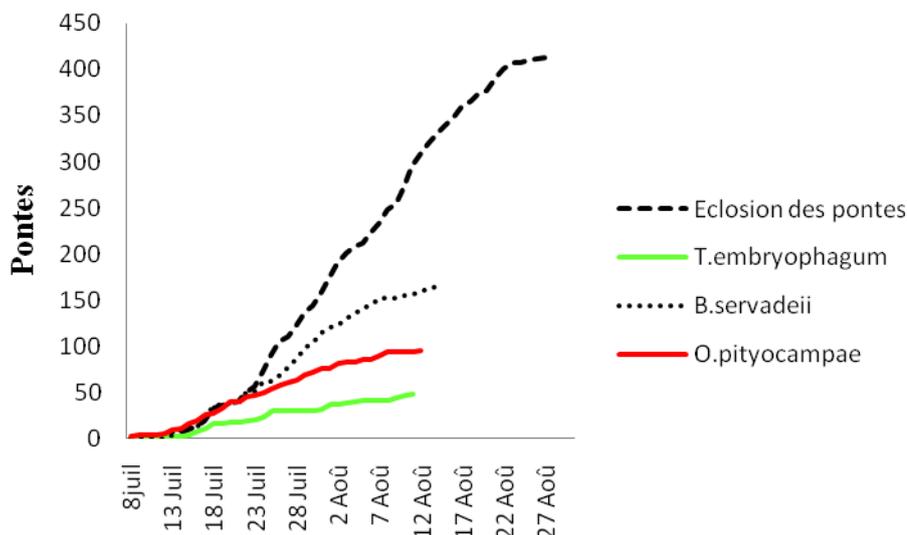
*Trichogramma embryophagum*

**Figure 49** : Les parasitoïdes oophages de *T. pityocampa* identifiés sur le cèdre à Chréa

*Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae* sont largement présents en Algérie. Bertella (1987) et Zamoum (1998) ont décrit leur action dans les pinèdes des zones semi arides du pays. Les mêmes espèces ont été signalées par Battisti (1989) en Italie, par Schmidt *et al.*, (1997) au Maroc, par Tsankov *et al.*, (1999) en Grèce, Par Pérez-Contreras *et al.*, (2004) en Espagne et par Arnaldo et Torres (2006) au Portugal. *Trichogramma embryophagum* est moins fréquent. En Algérie sa présence a été signalée par Bertella (1987) sur les pontes de *T.pityocampa* à Batna et par Gachi (1989) sur les pontes de *T.bonjeani* à Belzema. Avci (2003) et Pimentel (2004) ont noté son action respectivement en Turquie et au Portugal.

### 6.1.1 Synchronisme temporel entre *T.pityocampa* et ses ooparasitoïdes

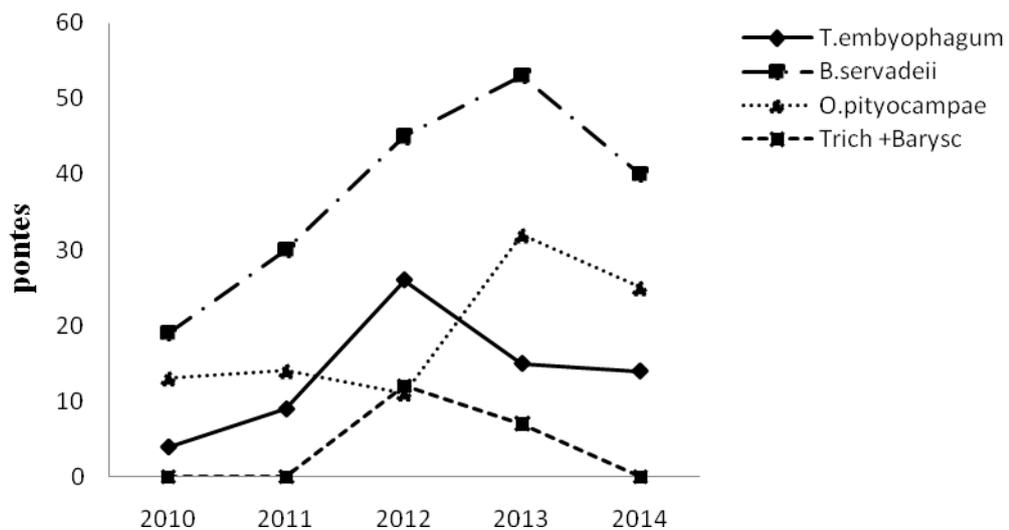
Les résultats interannuels portant sur les observations des pontes en relation avec les émergences des parasitoïdes ont permis de noter une synchronie temporelle entre *T.pityocampa* et ses parasitoïdes oophages. Cette synchronie va impacter les interactions interspécifiques qui vont s'établir entre les antagonistes et leur hôte. Les dates d'émergence des trois parasitoïdes ne sont pas très éloignées. Cependant *T.embryophagum* et *O.pityocampae* sont plus précoces par rapport à *B.servadeii* qui fait son apparition quelques jours après (figure 50).



**Figure 50** : Synchronisme temporel entre *T.pityocampa* et ses ooparasitoïdes

### 6.1.2 Distribution temporelle des parasitoïdes sur les pontes de *T.pityocampa*

Une variation interannuelle est notée dans la distribution spatiotemporelle des trois parasitoïdes identifiés (figure 51). La variabilité de l'activité parasitaire de ces espèces oophages en fonction du temps traduit l'effet sous-jacent des différentes interactions au niveau de la biocénose des antagonistes embryonnaires. Les résultats pluriannuels montrent que l'activité de *B.servadeii* sur les pontes est nettement dominante par rapport aux autres espèces. Son activité suit la gradation de l'hôte et atteint son maximum en 2013 avec 53 pontes parasitées. Une alternance spatiotemporelle caractérise l'interaction entre *T.embryophagum* et *O.pityocampae*. L'action parasitaire chez *T.embryophagum* est marquée pendant le pic de culmination des populations en 2012 avec 26 pontes infestées, par contre *O.pityocampae* devient plus actif à partir de 2013 avec 32 pontes attaquées en 2013 et 25 en 2014.



**Figure 51** : Distribution interannuelle des parasitoïdes oophages sur les pontes de *T.pityocampa*

### 6.1.3 Activité parasitaire des espèces oophages

L'analyse des tableaux 16, 17, 18, 19 et 20 montre que *T.embryophagum* affiche des taux de parasitisme plus marqués en 2010 et 2011 avec des valeurs respectifs de 43 % et de 51%. *B.servadeii* qui est spécifique à la processionnaire du pin présente une action parasitaire très active à partir de 2012 où les taux d'œufs détruits par cette espèce

calculés pour les années 2012, 2013 et 2014 sont respectivement de 60,9% ,79%, 57,3%. L'impact de l'espèce *O. pityocampae* varie en fonction de la distribution des autres parasitoïdes, et les taux notés pendant la période d'observation sont restés faibles par rapport aux autres espèces.

**Tableau 16:** Action des parasitoïdes oophages sur la population œuf de *T.pityocampa* (2010)

Parasitoïdes	Nombre de pontes	Nombre d'œufs parasités	Pourcentage
<i>Trichogramma embryophagum</i>	4	440	43 %
<i>Baryscapus servadeii</i>	19	363	35,5%
<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	13	220	21,5%
Total	36	1023	100%

**Tableau 17 :** Action des parasitoïdes oophages sur la population œuf de *T.pityocampa* (2011)

Parasitoïdes	Nombre de pontes	Nombre d'œufs parasités	Pourcentage
<i>Trichogramma embryophagum</i>	9	467	51 %
<i>Baryscapus servadeii</i>	30	274	30 %
<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	14	177	19 %
Total	53	918	100%

**Tableau 18:** Action des parasitoïdes oophages sur la population œuf de *T.pityocampa* (2012)

Parasitoïdes	Nombre de pontes	Nombre d'œufs parasités	Pourcentage
<i>Trichogramma embryophagum</i>	26	386	19,91%
<i>Baryscapus servadeii</i>	45	1181	60,93%
<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	11	371	19,14%
Total	82	1938	100%

**Tableau 19:** Action des parasitoïdes oophages sur la population œuf de *T.pityocampa* (2013)

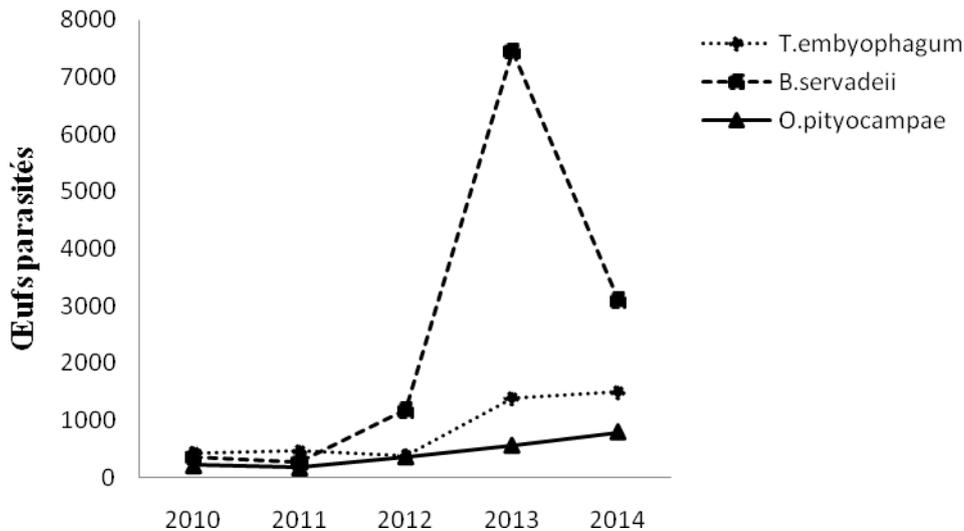
Parasitoïdes	Nombre de pontes	Nombre d'œufs parasités	Pourcentage
<i>Trichogramma embryophagum</i>	15	1403	15 %
<i>Baryscapus servadeii</i>	53	7457	79 %
<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	32	565	6%
Total	100	9425	100%

**Tableau 20 :** Action des parasitoïdes oophages sur la population œuf de *T.pityocampa* (2014)

Parasitoïdes	Nombre de pontes	Nombre d'œufs parasités	Pourcentage
<i>Trichogramma embryophagum</i>	14	1510	27,9%
<i>Baryscapus servadeii</i>	40	3105	57,3%
<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	25	796	14,8%
Total	79	5411	100%

### 6.1.4 Evolution temporelle de la régulation des populations œufs

La figure 52 montre que, l'incidence parasitaire des espèces oophages reste faible pendant la phase de progradation des populations de la processionnaire notée en 2011 et 2012. L'effet des parasitoïdes augmente avec la culmination des populations observée en 2012 et devient plus marqué pendant la phase de régression avec une forte activité de *B.servadeii*.



**Figure 52:** Action des parasitoïdes oophages sur les œufs de *T.pityocampa* en fonction de la gradation des populations

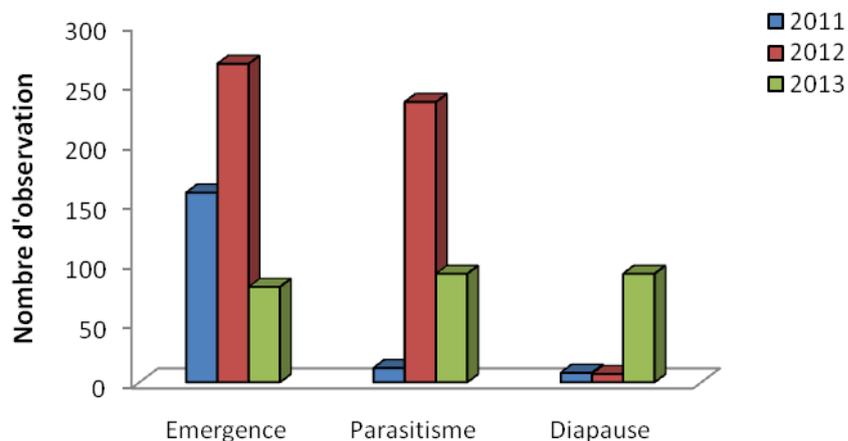
## 6.2 Les parasitoïdes du stade nymphal

### 6.2.1 Caractérisation des populations nymphales

Les résultats des observations pluriannuelles effectuées sur l'état des chrysalides conditionnées au laboratoire sont regroupés dans le tableau 21. Les taux calculés des émergences des papillons et les différents états biologiques de chrysalides montrent une variation interannuelle modulée par les facteurs du milieu et les performances intrinsèques de la population nymphale. Les taux élevés des émergences caractérisent 2011 (88,8 %), ils résultent de l'absence de diapause prolongée et de la faible incidence des parasitoïdes. L'année 2012 se distingue par un taux de parasitisme de 46,1% et une diminution des émergences (52,5%). La population de 2013 est caractérisée par des taux de diapause et de parasitisme similaires (34,7%) avec une réduction des émergences (30,5%) (figure 53.).

**Tableau 21:** Etat biologique des chrysalides issues des enfouissements 2011,2012 et 2013

	2011	
	Effectif	Pourcentage %
Emergence	159	88,8
Chrysalides parasitées	12	6,7
Chrysalides en diapause	0	0
Chrysalides mortes	8	4,5
Total	179	100%
2012		
Emergence	267	52,50
Chrysalides parasitées	235	46,10
Chrysalides en diapause	7	1,40
Chrysalides mortes	0	0
Total	509	100%
2013		
Emergence	80	30,53
Chrysalides parasitées	91	34,73
Chrysalides en diapause	91	34,73
Chrysalides mortes	0	0
Total	262	100%



**Figure 53 :** Incidence des facteurs de régulation sur la population nymphale de *T.pityocampa*

La caractérisation de la population des chrysalides mâles et femelles illustrée dans le tableau 22 fait ressortir une variabilité dans les états biologiques des individus des deux sexes. Les taux d'émergence des femelles est de 46,3 % contre 42,4% des mâles en 2011. En 2012, les mâles émergés et parasités présentent des taux respectifs de 31% et de 30,8%. Ensuite la proportion des individus diapausants augmente chez les deux sexes en 2013 dont les taux sont de 19,8% pour les mâles et de 14,8 % pour les femelles.

**Tableau 22 :** Etat biologique des chrysalides mâles et femelles issus des enfouissements 2011, 2012 et 2013

	2011			
	Mâles		Femelles	
	Effectif	%	Effectif	%
Emergence	76	42,45	83	46,36
Chrysalides parasitées	5	2,8	7	3,91
Chrysalides en diapause	0	0	0	0
Chrysalides mortes	7	3,9	1	0,55
	2012			
	Mâles		Femelles	
	Effectif	%	Effectif	%
Emergence	158	31,04	109	21,41
Chrysalides parasitées	157	30,84	78	15,32
Chrysalides en diapause	7	1,37	0	0
Chrysalides mortes	0	0	0	0
	2013			
	Mâles		Femelles	
	Effectif	%	Effectif	%
Emergence	45	17,17	35	13,35
Chrysalides parasitées	42	16,03	49	18,70
Chrysalides en diapause	52	19,84	39	14,88
Chrysalides mortes	0	0	0	0

### 6.2.2 Activité des parasitoïdes sur la population larvo-nymphale

Deux parasitoïdes ont été identifiées sur les chrysalides de la processionnaire du pin à Chréa. Il s'agit de *Villa brunnea* (Diptera, Bombyliidae) et *Phryxe caudata* (Diptera, Tachinidae) (tableau 23).

**Tableau 23 :** Taux de parasitisme des parasitoïdes des chrysalides de *T.pityocampa*

	2011		2012		2013	
	<i>V.brunnea</i>	<i>P.caudata</i>	<i>V.brunnea</i>	<i>P.caudata</i>	<i>V.brunnea</i>	<i>P.caudata</i>
Effectif des chrysalides	7	5	134	101	60	31
Taux de parasitisme(%)	3,9%	2,8%	26,3%	19,8%	22,9%	11,8%

La comparaison des taux de parasitismes des deux espèces montre une variation dans leur action qui liée d'une part aux niveaux des populations de l'insecte et d'autre part aux performances des parasitoïdes. La régulation des populations nymphales par *Villa brunnea* est de 26,6 % en 2012 et de 22,9% en 2013. Quant au *Phryxe caudata*, il parvient à parasiter 19,8 % individus en 2012% et 11,8% en 2013.

### 6.3 Les prédateurs de *T. pityocampa* à Chréa

Pendant la récolte des pontes, au mois de juillet et d'août, nous avons observé une espèce d'*Ephippiger* sur les pontes de *T. pityocampa* dans la cédraie du Parc National de Chréa. . Démolin et Delmas (1967 a) ont remarqué que les éphippigères, en règle générale phytophage, peuvent dévorer jusqu'à 40 % des pontes entièrement et partiellement plus de 23% (figure 54).



**Figure 54:** *Ephippiger* prédateur des pontes de *T. pityocampa*  
(Originale ,2010)

Au cours de l'opération de comptage des nids, en hiver 2010 /2011, nous avons constaté que certains nids portent de grands trous (figure 55). Ces derniers sont l'œuvre des oiseaux prédateurs de chenilles de *T.pityocampa*. Les mésanges figurent parmi les espèces qui sont capables de dénicher et de se nourrir des larves de la processionnaire (Martin, 2005). La prédation avienne a un effet maximum sur les stades larvaires. Elle permet de maintenir la population à faible densité, mais son effet n'est plus décelable au- delà de  $10^6$  chenilles à l'hectare (Barbaro, 2008).



**Figure 55:** Nid prédaté par les oiseaux à Chréa  
(Originale, 2011)

## 7. Dénombrement et répartition des nids d'hiver de *T.pityocampa*

### 7.1 Distribution interannuelle des nids d'hiver

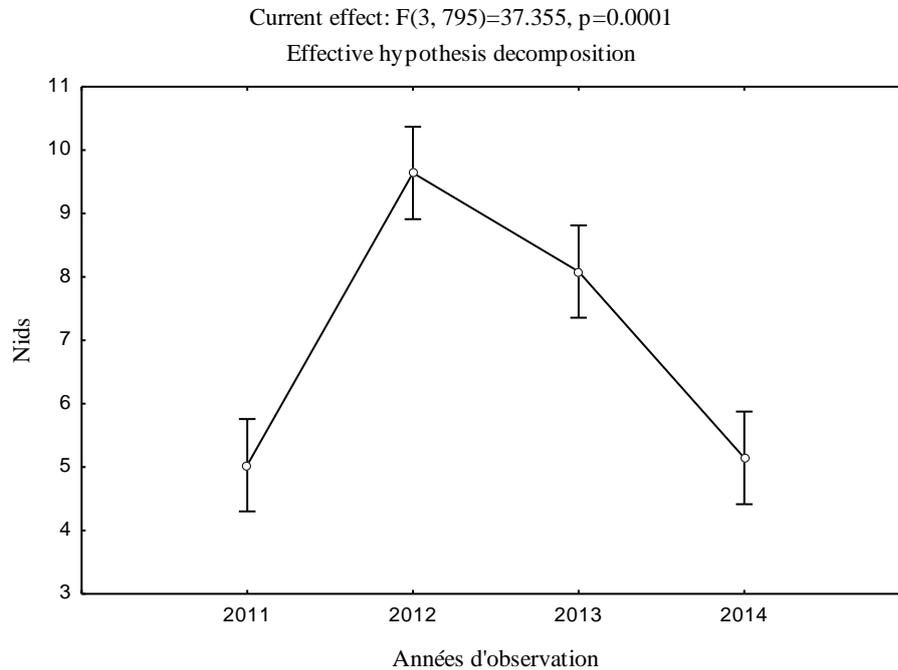
Une variation interannuelle est observée dans la distribution des nids d'hiver (Tableau 24). Les valeurs de comptage retracent le profil de progression de la processionnaire dans la région de Chréa. Un total de 5580 nids est dénombré soit 7 nids par arbre.

**Tableau 24 :** Analyse descriptive de dénombrement des nids d'hiver

Année	Effectifs des arbres échantillonnés	Effectif total des nids	Nombre moyen de nids par arbre	Valeurs extrêmes
2011	200	1006	5,03±4,2	0-21
2012	200	1928	9,64±6,9	1-55
2013	200	1617	8,08±5,3	1-46
2014	200	1029	5,14±3,9	0-20

La comparaison des nombres moyens de nids d'hiver par arbre et par année met en évidence une variation interannuelle très hautement significative (figure56). L'effectif de la population a nettement progressé entre 2011 et 2012 et l'aspect invasif de l'infestation est bien antérieur à 2011. Le pic de culmination est noté en 2012, dont le nombre moyen de nids par arbre est de 9,64. Les écart-type calculés sont conséquents et variables. Cette

variation interannuelle montre que la gradation dépasse quatre années. Les valeurs moyennes calculées pour les années de 2013 et 2014 restent significatives et 2014 semble être l'année de rétrogradation.



**Figure 56** : Distribution interannuelle des nids d'hiver

## 7.2 Distribution altitudinale des nids d'hiver

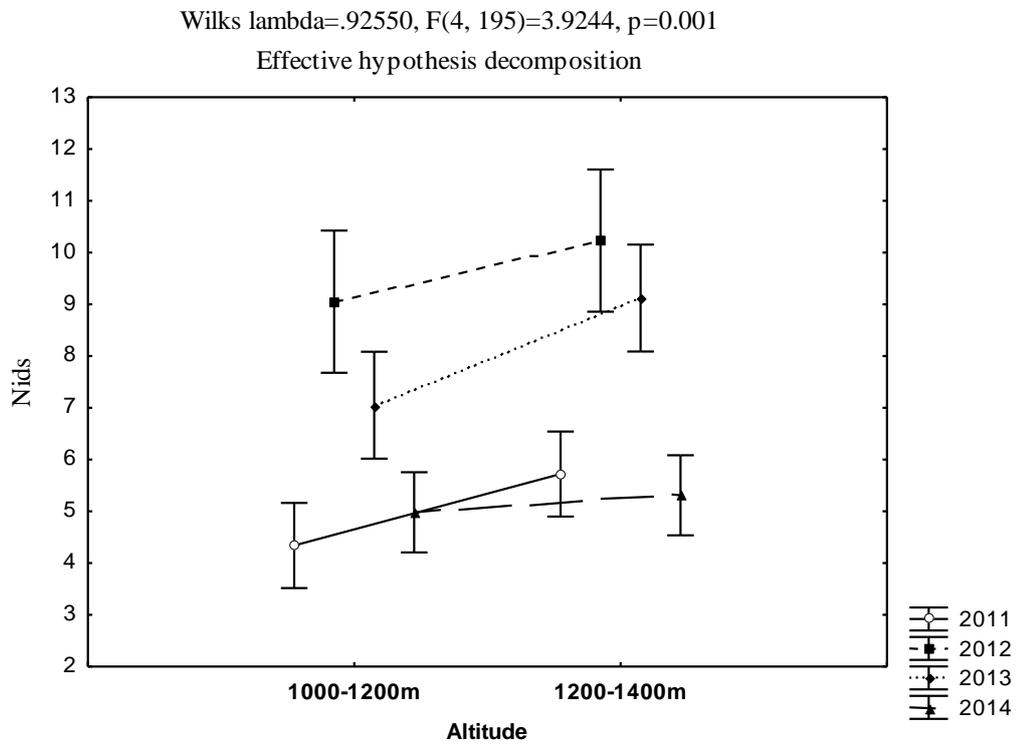
Le nombre total de nids recensés dans la première tranche (1000-1200 mètres) pour les quatre années d'observation est de 2542 avec une moyenne de 6,3 nids par arbre. Pour la deuxième tranche (1200-1400 mètres) l'effectif des nids s'élève à 3038 avec un nombre moyen de 7,5 nids par arbre (tableau 25).

Tableau 25 : Analyse descriptive de la distribution altitudinale des nids d'hiver

Année	1000-1200m				1200-1400m			
	Nombre d'arbres	Nb total des nids	Nombre moyen/arbre	Valeurs extrême	Nombre d'arbres	Nb total des nids	Nombre moyen/arbre	Valeurs extrême
2011	100	434	4,34 ± 3,8	0-14	100	572	5,72 ± 4,4	0-21
2012	100	905	9,05 ± 5,9	1-35	100	1023	10,2 ± 7,8	1-55
2013	100	705	7,05 ± 3,7	1-22	100	912	9,12 ± 6,4	1-46
2014	100	498	4,9 ± 3,8	0-17	100	531	5,31 ± 3,9	0-20

Le résultat de l'analyse de la variance de la figure 57, montre une différence très hautement significative entre les deux classes d'altitude ( $p= 0,0001$ ). L'effet positif de l'altitude sur la distribution des nids est noté pendant les quatre années d'observation. Les

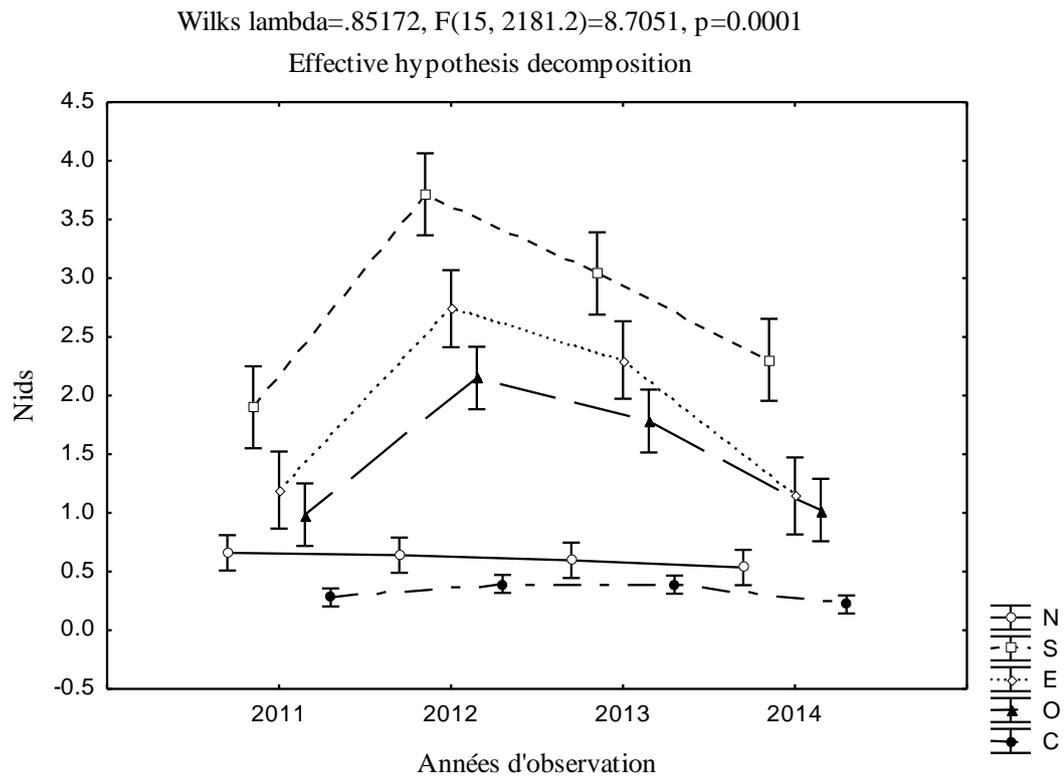
niveaux de population sont très significatifs dans la deuxième classe d'altitude traduisant la progression verticale de la processionnaire du pin dans la cédraie d'altitude de Chréa.



**Figure 57:** distribution altitudinale des nids d'hiver

### 7.3 Distribution des nids d'hiver en fonction de l'exposition

Les résultats illustrés par la figure 58 montrent que les sites à exposition Sud restent les plus favorables pour la construction des nids d'hiver dans la cédraie de Chréa. A un degré moins, l'exposition Est offre des conditions propices. La construction des nids sur les bourgeons terminaux des arbres est observée dans les peuplements fermés pour assurer une meilleure insolation.



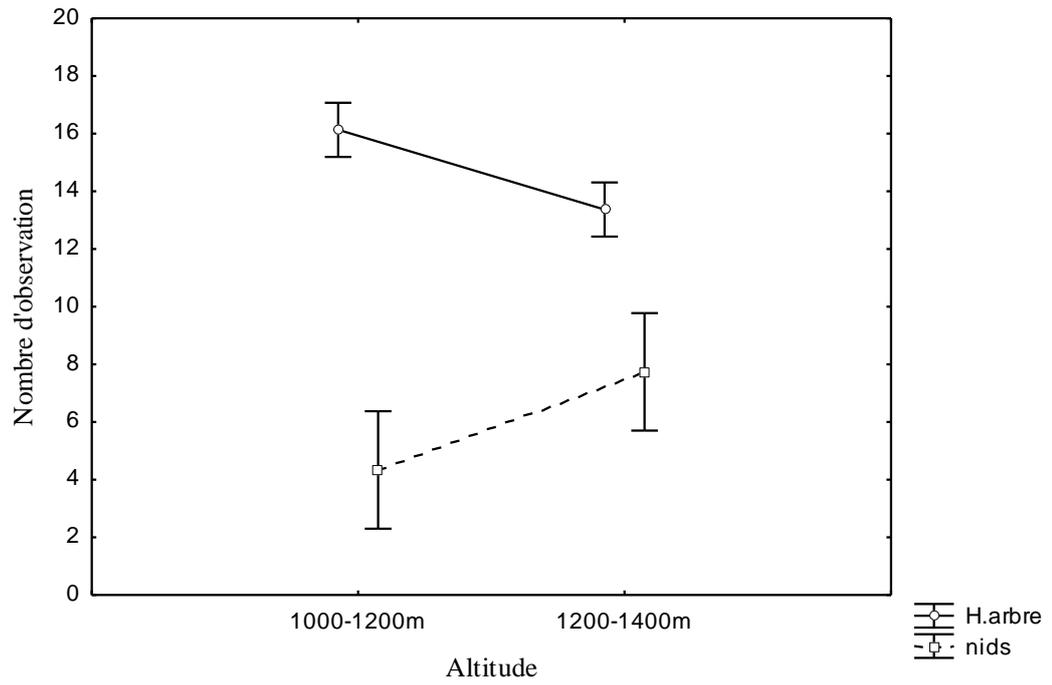
**Figure 58** : distribution des nids d’hiver en fonction de leur exposition sur l’arbre  
S : Sud, E : Est, O: Ouest, N : Nord, C : Centre

#### 7.4 Relation l’altitude, hauteur des arbres et distribution des nids

L’analyse de la variance a été appliquée pour déterminer l’effet de l’altitude sur la répartition des nids d’hiver en relation avec la hauteur des arbres. Les résultats obtenus montrent que l’altitude influe de manière différente sur les deux paramètres. Avec une probabilité très hautement significative (figure 59).

Wilks lambda=.90056, F(2, 197)=10.876, p=0.0001

Effective hypothesis decomposition



**Figure 59** : Comparaison des moyennes de nids et des hauteurs des arbres dans les deux classes d'altitude

## CINQUIEME CHAPITRE

### DISCUSSION

#### 1. Traits comportementaux de *T. pityocampa* sur le cèdre de l'Atlas

La période d'envol des populations adultes de *T. pityocampa* évoluant sur le cèdre de l'Atlas blideen montre une faible variation interannuelle et les dates sont maintenues pendant toute la période d'observation. Par ailleurs le rythme des émergences est très contrasté dans les biotopes prospectés. Le caractère précoce ou tardif des émergences des adultes mâles est en effet tributaire de l'altitude des peuplements. La précocité de l'émergence nettement remarquable dans ces sites élevés de l'Atlas blideen traduit une adaptation particulière chez cette population. L'abaque établi pour l'Algérie du Nord par Khemici *et al.* (1988) montre que les premières émergences des adultes chez les populations de *T. pityocampa* présentes dans les massifs forestiers d'altitude (plus de 1000 mètres) se situent vers la première semaine de juillet, et entre la deuxième semaine de juillet et le début août pour les altitudes moyennes allant jusqu'à 1000 mètres, et enfin vers la deuxième semaine du mois d'août dans les zones côtières. Dans la région subsaharienne de Djelfa, Zamoum (1998) relève deux périodes de vol chez cette population. La première du début juillet jusqu'à la fin octobre dans les boisements de Moudjbara, et la seconde s'étale entre la première décade de juillet et la seconde décade d'octobre dans la forêt naturelle de Senalba Chergui. Au Maroc, Questienne et Miermont (1978) soulignent que l'envol des adultes de la processionnaire débute à la mi-juillet et dure un mois dans la cédraie d'altitude et se situe entre septembre et octobre pour les populations côtières. Dans le Sud-ouest de la France, la date d'émergence des papillons a lieu entre la fin des mois de juin et d'août selon les régions (Démolin, 1969). La même période d'émergence est notée dans les pinèdes du Nord-ouest de l'Italie (Toffolo *et al.*, 2010). Les écarts constatés dans les dates d'émergences des populations de la processionnaire du pin pourraient être imputés à plusieurs causes et restent très discutables. Lavalee *et al.* (1988) attribuent la différence aux variations météorologiques, Du Merle (1985) à la densité des adultes, Sanders (1983) ; Einhorn *et al.* (1983) à l'emplacement des pièges dans la forêt. Ils notent que l'installation des pièges à l'intérieur ou à l'extérieur des peuplements forestiers peut influencer sur le rythme des captures. D'autre part Cuevas *et al.*, (1983) et Einhorn *et al.*, (1983) soulignent que le piégeage des adultes mâles augmente

souvent avec la dose de phéromone. La période totale du vol des papillons mâles comptabilisé dans la cédraie de Chréa est de 80 jours, alors que Zamoum (1998) note des périodes variables de 69 à 118 jours dans les pineraies de Djelfa. Démolin (1987) ; Khemici *et al* (1988) et Zamoum (1998) expliquent la différence d'étendue de la période de capture entre les populations de la processionnaire du pin par l'effet de l'altitude qui agit sur les conditions climatiques notamment au niveau des sites d'enfouissement, ainsi les zones ombragées peuvent impacter l'émergence en ralentissant la morphogénèse des adultes. Le vol qui correspond à 50% des captures des papillons mâle se situe entre le 29 juillet et le 4 août dans la cédraie de Chréa. Dans la pineraie semi-aride de Djelfa, le vol central est plus tardif, il est observé entre le 5 et le 16 août (Zamoum, 1998). La pinède de la région de Djelfa et la cédraie de Chréa, se situent à des altitudes très comparables mais se trouvent dans des bioclimats différents ce qui peut expliquer la différence entre les dates d'émergence et l'étendue de la période de l'envol des deux populations de la processionnaire dans leur biotope.

La variation interannuelle notée dans l'effectif des papillons capturés retrace le schéma de l'évolution démographique des populations de l'insecte. Cette gradation est modulée par les conditions stationnelles et la disponibilité des ressources. Les paramètres de variations auxquelles sont soumises les populations sont liées aussi aux facteurs intrinsèques, imposés par la structure ou la taille des populations elles-mêmes (Sather, 1997 ; Newton, 1998 ; Gaillard *et al.*, 2000). La fluctuation de la densité des populations de la processionnaire observée à Chréa peut être considérer comme une réponse de l'insecte à la variabilité temporelle du milieu et interpréter ses capacités de survie. Il ressort que cette gradation est une gestion du compromis entre les différents traits comportementaux de la processionnaire du pin. A l'échelle stationnelle les niveaux de populations adultes ne semble pas corroborer avec le nombre des pontes relevées. Une nette différence est constatée entre les effectifs des captures et ceux des pontes. En effet les pontes sont rares entre 1000 et 1200 mètres d'altitude. Une forte abondance est notée à partir de 1400 mètres dans la cédraie pure. Cela pourrait être lié soit à une forte présence des femelles qui limitent les captures par l'attraction phéromonale des pièges (Démolin *et al* ; 1985) soit au déplacement des populations adultes vers les biotopes les plus élevés (Geri, 1983). Cette stratégie de dispersion résulte d'une adaptation qui permet à l'insecte d'optimiser la variabilité de l'environnement.

Les données de la littérature sur la biométrie des papillons de la processionnaire du pin ne sont pas très divergeant, puisque la variabilité existe au sein d'une même population. En général l'envergure alaire des mâles vivants dans les pinèdes méditerranéennes est comprise entre 31-39 mm (Démolin, 1969 ; Cadahía *et al.* ; 1975) alors que les valeurs relevées sur les populations de la cédraie sont plus significatives et se situent entre 30 et 45 mm. Dans le cas des populations de *T. Pityocampa*, la variabilité est vraisemblablement liée aux valeurs intrinsèques de l'insecte. Démolin (1969b) et Battisti *et al.*, (2006) s'accordent que les différences constatées entre le poids et la longueur des femelles peuvent être expliquées au moins par le déficit thermique dû à la mauvaise ou à l'absence de la structuration des nids d'hiver qui entraîne un investissement énergétique dans l'activité séricigène, au nombre faible de chenilles par colonie qui limite l'effet de masse et de grégarisme connu chez cette espèce. Les auteurs précités précisent également que ces facteurs pourraient provoquer des perturbations dans le comportement alimentaire des chenilles. A l'échelle des stations d'étude à Chréa, l'importance de la structure du peuplement forestier a un effet sous-jacent sur le développement de la processionnaire sur cèdre. Les papillons en provenance des stations homogènes ou le cèdre est à l'état pur, ont des longueurs et des envergures significatives par rapport aux individus des stations mixtes. A ce sujet, Siemann *et al.* (1998) notent que les peuplements homogènes fournissent un habitat plus adapté pour les espèces défoliatrices.

Démolin (1969) note que les femelles de la processionnaire déposent rarement leur ponte sur les rameaux de cèdre. Elles utilisent ce résineux que lorsque le taux d'infestation des pins est important. Contrairement, dans le massif de Chréa, le cèdre constitue un choix de prédilection pour le dépôt des œufs chez la processionnaire du pin. Ce choix n'est pas aléatoire car la sélection de l'arbre hôte est appréhendée comme une stratégie chez les insectes à durée de vie limitée (Hassell et Southwood, 1978 ; Mangel, 1987). La femelle choisie le site de ponte qui peut maximiser la survie larvaire à travers la quantité des ressources disponibles (Tilman, 1980 ; 1982). D'autre part, la composition chimique constitue un indice majeur dans le processus de sélection de l'hôte (Courtney et Kibota, 1991). Ceci permet de supposer que la population de *T.pityocampa* sévissant dans la région de Chréa peut constituer un groupe distinct caractérisé par son végétal hôte.

La comparaison entre les caractéristiques morphologiques des pontes déposées sur cèdre et sur les pins permet de soulever à priori quelques divergences. Il faut noter également que la variabilité existe chez la même population et ce en dépit de la plante

hôte. Les écailles protectrices des œufs déposés sur les rameaux de cèdre à Chréa sont de taille réduite avec deux différentes couleurs, des pontes de couleur brun clair et des pontes d'un gris argenté. Zamoum (1998) souligne que les écailles recouvrant les pontes de la processionnaire sur le pin d'Alep en Algérie sont plus larges, de forme arrondie et de couleur jaune dorée dans les peuplements artificiels et noirâtre ou miellée dans les peuplements naturels. Démolin (1970) précise que les écailles sont beige-clair sur les aiguilles des pins en France. Cette diversité dans l'aspect phénotypique existe aussi au niveau des écailles chez la même femelle (Démolin *et al.* , 1994).

La corrélation positive notée entre la longueur de ponte et le nombre d'œufs renseigne sur le potentiel reproductif de l'insecte. La longueur des pontes récoltées dans la cédraie de Chréa varie de 16 à 46mm. Dans la région semi aride de Djelfa la longueur des pontes sur les aiguilles de pin d'Alep est comprise entre 30 et 40 mm (Zamoum, 1998). Mangel (1989) précise que la taille de ponte représente le nombre d'œufs déposés par acte. Cette taille est une réponse adaptative aux variations de la qualité et de la quantité des ressources disponibles chez la plante nourricière (Parker et Begon, 1986 ; Freese et Zwölfer. ,1996). D'autre part les études de la biologie évolutive considèrent que le nombre d'œufs pondus dans un site est un trait d'histoire de vie fondamental chez les insectes phytophages et les parasitoïdes (Stamp, 1980; Courtney, 1984). Ce nombre conditionne l'intensité de la compétition larvaire qui affecte le niveau de population et le fitness des individus (Klomp, 1964; Hawley, 1985; Mangel *et al.*, 1994).

Les femelles de la processionnaire en provenance du cèdre de l'Atlas à Chréa pondent en moyenne 215 œufs par ponte. Les études conduites par de Bertella (1987) et Zamoum (1998), dans les pineraies de l'Atlas saharien et la de région sub littoral de Meftah mettent en évidence des moyennes respectives de 130 et de 190 selon les régions prospectées. Les moyennes notées au Maroc sur *Pinus pinaster* (Schmidt *et al.*; 1997), en Espagne sur *Pinus halepensis* (Pérez Contreras, 2004), en Italie (Tiberi, 1980), en Turquie (Mirchev *et al* ; 2007) et en montagnes Corses sur *Pinus nigra* (Geri ,1980) varient de 175 à 231 œufs par ponte. Les variations interannuelles du nombre d'œufs par ponte sont maintenues autour des moyennes calculées (Tiberi, 1978 ; Geri, 1983). En effet, le nombre d'œufs décrit les performances qui expriment l'énergie allouée à la reproduction par les femelles. Une optimisation de l'effort reproducteur au cours de la vie des individus va déterminer la dynamique des populations futures.

Plusieurs travaux confirment que l'éclosion des chenilles survient de 4 à 6 semaines après la ponte (Huchon et Démolin, 1970 ; Schmidt, 1989 ; Dajoz, 1998). Dans la cédraie pure d'altitude de Chréa, l'éclosion des œufs est parvenue juste après 4 semaines d'incubation. Les premières éclosions de chenilles ont été notées dès le début de la deuxième décennie de juillet, et se sont poursuivies jusqu'à la troisième décennie de septembre. Sur le pin d'Alep, en zone semi-aride à Batna (Bertella ,1987) et à Djelfa (Zamoum ,1998) les éclosions sont plus tardives et sont observées entre la fin août jusqu'à la première décennie d'octobre. Au Sud-est d'Alger à Meftah, en zone subhumide les éclosions parviennent à trois semaines plus tard (Bertella ,1987). Les écarts constatés sont liés aux variations climatiques locales. Le timing des éclosions est en fait une stratégie et une adaptation qui permet aux jeunes chenilles d'échapper aux aléas du climat. En haute altitude les températures très basses du début de l'automne est un danger qui guète les chenilles à l'éclosion (Khemici *et al* ; 1988). A l'inverse, dans les sites de basse altitude, les températures supérieures à 25°C constituent un risque vital pour les larves néonates (Démolin, 1969).

Le taux d'éclosion des chenilles de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas à Chréa varie en fonction de la gradation de l'espèce. Il atteint son maximum pendant la phase de progradation des populations, avec une valeur de 89,6%. Ce Taux traduit en fait les capacités de reproduction et la dynamique des adultes chez cette population (Démolin *et al.*, 1985). Après la phase de pullulation, les taux diminuent significativement suite aux différents facteurs de stress biotiques et abiotiques pour atteindre 33%. Cette dynamique se trouve sous la dépendance des variabilités temporelle et spatiale qui conduisent à un abaissement des la population.

En terme de comparaison, les résultats obtenus sur les différentes espèces du pin ne sont pas très divergeants. En Algérie, les taux d'éclosion observés dans les pinèdes par Bertella (1987), Tsankov *et al* (1995) et Zamoum (1998) sont respectivement de 74%, de 55,8% et de 70 %. Au Maroc, Questienne et Miermont (1978) notent un pourcentage de 80%. Dans le Sud de la France, en montagnes Corses le taux dépasse 60% (Geri ,1980) et en Italie les valeurs observées par Battisti (1986) varient en moyenne de 31,9 à 65,2%. Les travaux de Démolin et Millet (1981) ont souligné que les vols tardifs après le mois de juillet ne donnent pas de descendance chez les populations de *T.pityocampa* vivant sur le pin noir d'Autriche. Cependant, les éclosions des pontes déposées tout au long de la période de vol marquent une abondance dans les peuplements de cèdre de l'Atlas à Chréa.

La biométrie des différents stades larvaires de la processionnaire sur cèdre présente des valeurs extrêmes montrant le degré de variabilité au sein des populations larvaires. La longueur moyenne des chenilles au dernier stade est de 34 mm et peut atteindre une valeur extrême de 39 mm. Führer et Huang (1979) rapportent que les ressources nutritives de la plante hôte influent sur le développement larvaire des insectes défoliateurs. Certains modèles d'optimisation démontrent que la qualité et la quantité des réserves nutritives du support nourricier doivent permettre à l'insecte herbivore de réaliser convenablement son cycle vital, et assurer la survie de sa progéniture (Janieke, 1990). Chez les populations de *T.pityocampa*, le développement est lié aussi à l'effet de groupe qui caractérise les populations larvaires en agissant sur l'activité métabolique et la vitesse de croissance. Ainsi le poids moyen d'une chenille augmente rapidement lorsqu'elle est placée parmi ses congénères que si elle est isolée (Dajoz, 1998).

Le développement des stades larvaires de la processionnaire du pin dans la cédraie de Chréa est caractérisé par un chevauchement temporel. Après l'émergence des adultes et les éclosions qui s'ensuivent, la durée moyenne de développement larvaire est de 15 jours respectivement pour le premier et le second stade, d'environ 30 jours pour le troisième stade et de 60 jours respectivement pour le quatrième et cinquième stade. Ces résultats sont comparables à ceux de Démolin (1969c) et Dajoz (1998). Il ressort que la période de développement de ces stades larvaires de *T.pityocampa* dans la cédraie de Chréa est de 9 mois. Dans les pinèdes algériennes, cette période est de 10 mois pour les populations d'altitude, seulement de 6 mois pour celles du littoral et de 7 à 8 mois pour les régions continentales (Khemici *et al.*, 1988). Au Maroc dans les cédraies du Rif et de Moyen Atlas, Questienne et Miermont (1978) notent une évolution comparable aux données recueillies (9 à 10 mois). La même durée est notée par Démolin et Huchon (1970) au Sud-est de la France dans les peuplements de pins d'altitude, alors que sur le littoral, ces auteurs précisent que cette durée se limite entre 5 et 6 mois. Cette variation de la durée de croissance des larves de différentes régions géographiques est attribuée selon Huchon et Démolin (1970) à la rigueur de l'hiver et des dates d'émergence.

Les processions de nymphose observées dans la cédraie de Chréa sont notées à partir du mois de mars jusqu'au fin juin. Le maximum de descente est situé entre les mois d'avril et de mai. Dans les pineraies de la zone semi aride de Djelfa, les processions sont plus précoces, de février à mai (Zamoum, 1998). Dans les montagnes Corses les processions sont notées seulement en mai et juin (Geri et Miller, 1985).

Les départs en procession observés par Démolin (1971) dans les peuplements du pin noir au mont Ventoux, sont repérés entre les mois de mars et de mai. En Italie, dans les boisements de *Pinus radiata* et de *Pinus pinaster*, les départs sont signalés dès la fin du mois de mars, avec une période étalée sur 48 jours (Buxton, 1990). Certains auteurs lient cette variation dans les dates de départ en procession au microclimat local et au manque de nourriture (Démolin, 1971; Battisti, 1988). A ce sujet, Avtzis (1986), dans le Nord de la Grèce montre que la maturation des chenilles et le départ en processions dépendent étroitement de l'espèce de pin. Ainsi les descentes commencent au début du mois de février dans pinèdes de *Pinus radiata*, et 30 jours après dans les pinèdes à *Pinus brutia*, à *Pinus halepensis* et à *Pinus maritima* et 60 jours après dans les pinèdes de *Pinus pinea*.

Les variations du sex-ratio chez la processionnaire est une réponse aux fluctuations environnementales auxquelles sont soumises les populations de l'espèce. Fisher (1930) rapporte que ces variations sont liées à la sélection naturelle qui implique des mécanismes d'ajustement tendant à stabiliser les populations. Les niveaux stables de *T. pityocampa* sont généralement caractérisés par un sex-ratio proche de 1 (Démolin, 1969b). Dans ce contexte, Williams (1979) souligne qu'à l'équilibre évolutif, un sex-ratio équilibré sera considéré comme un caractère neutre. Le biais du sex-ratio en faveur des mâles est observé chez les populations éprouvées. Ce déséquilibre apparaît donc comme stratégie dans le temps et dans l'espace, anticipant l'intensité de la compétition intraspécifique entre individus (Silk, 1983). La sélection naturelle sous l'effet des facteurs intrinsèques et extrinsèques tend à favoriser l'investissement parental qui ajuste le sex-ratio et stabilise la population (Kolman, 1960 ; Werren et Charnov, 1978).

Les résultats pluriannuels observés sur les populations nymphales de *T. pityocampa* supposent que la diapause joue un rôle notable dans des intergradations de l'insecte. La proportion des individus en diapause prolongée est insignifiante pendant les premières phases de gradation. Cette proportion devient plus conséquente lorsque la densité de la population constitue un facteur limitant induisant ainsi la diapause prolongée pour stabiliser l'effectif des populations. L'induction de ce processus biologique apparaît chez la processionnaire du pin comme mécanisme contrôlant la relation survie et environnement. Ce résultat reste discutable quant à ceux obtenus par d'autres auteurs. En effet, dans la région semi-aride de Djelfa, Zamoum (1998) a lié l'existence de cycles pluriannaux surtout biennaux à l'excès des températures maximales. Par contre chez les populations des montagnes Corse, le déficit thermique est impliqué dans l'induction de la diapause d'un

an au moins (Démolin, 1969). Dans le sud de la France, au monts Ventoux, la diapause concerne les populations tardives. Au dessus de 1000 mètres, les conditions climatiques deviennent limitantes, ce qui prolonge la diapause et permet le passage potentiel aux cycles pluriennaux (Geri & Miller, 1985). Les résultats obtenus par Masutti et Battisti (1990) en Italie rapportent que les pressions exercées par le climat et la nourriture conduisent à un ralentissement dans les prises alimentaires des chenilles de *T.pityocampa* provoquant un arrêt de développement prolongé. Ainsi les peuplements fortement defeuillés affecte les ressources nutritives et induisent le passage aux cycles pluriennaux comme il a été observé en Italie sur pin (Battisti, 1988).

## 2. Facteurs de régulation écologique des populations

La variation interannuelle caractérisant l'activité des parasitoïde des trois espèces oophages répertoriées sur la population œufs de *T.pityocampa* dans la cédraie de l'Atlas blideen semble bien dépendre de la distribution initiale des populations de ravageur pendant les phases de sa gradation. Les taux de parasitismes pendant la phase de pré culmination sont faibles, ce qui renforce le potentiel gradologique de la population via l'acquisition des performances offrant à l'insecte de nouvelles possibilités de dispersion. L'activité parasitaire se manifeste par des taux plus marqués après l'abaissement des niveaux de la population. Ceci permet de supposer que les interactions ne seront à la faveur des parasitoïdes que lorsque la population est exposée aux effets défavorables de la pullulation. Les études pluriannuelles menées par Masutti (1964), Geri (1980), Tiberi (1978) et Battisti (1989) ont conclu que l'impacte des parasitoïdes est plus élevé avant et après la culmination de *T.pityocampa*. L'effet comparé de l'action parasitaire chez les trois Hyménoptères oophages fait ressortir la complexité du réseau d'interactions interspécifiques qui s'est établie par la synchronie des cycles des espèces impliquées. En effet *B.servadeii* marque une abondance pendant toute les phases de gradation de l'hôte. La spécificité de son action parasitaire vis-à-vis des œufs de *T.pityocampa* facilite son infiltration à travers les écailles protectrices (Démolin, 1968 ; Tiberi, 1980). Les mêmes résultats sont constatés par Geri (1980) en montagne Corse, par Bellin *et al.* (1990) en Grèce, par Schmidt *et al.* (1997) au Maroc. Par contre Tiberi (1990) a signalé une forte activité de ce parasitoïde en phase de rétrogradation. Zamoum (1998) lié la dominance de *B.servadeii* à l'abondance des pontes et à la structure du peuplement forestier. La polyphagie d'*O.pityocampae* favorise la dispersion de son action parasitaire et les résultats relatifs à sa fréquence sont contrastés. En effet, cette espèce affiche un parasitisme plus

actif en phase de rétrogradation à Chréa, mais en Italie, Tiberi (1990) a noté sa prédominance en phase de progradation. Dans les pineraies de Djelfa, Zamoum (1998) décrit un effet régulateur d'*O.pityocampae* en relation avec l'abondance des pontes de la processionnaire et Mirchev *et al.* (2007) a noté sa dominance par rapport à *B.servadeii* en Turquie. L'activité de *T.embryophagum* est plus marquée après la culmination des populations. Son pouvoir régulateur est significatif sur les œufs par rapport au nombre de pontes parasitées qui reste faible. Biliotti+ (1958) attribue cette contrainte aux écailles protectrices qui entravent le succès parasitaire. Néanmoins, les résultats de Daniel *et al.*, (2003) ont signalé une forte abondance de cette espèce en Italie. A l'échelle des interactions interspécifiques, nos observations interannuelles font ressortir une forte structuration spatiotemporelle entre *Trichogramma* et *Ooencyrtus*. Les fluctuations d'abondance de ces espèces sont inversement proportionnelles. Cette structuration peut se concevoir comme une stratégie chez ces espèces qui se caractérisent par leur faculté de distinguer les hôtes parasités (Safavi, 1958) pour éviter le super parasitisme. Par ailleurs les résultats obtenus par Battisti (1989) ont souligné qu'*O.pityocampae* est plus actif sur les œufs âgés alors que *B.servadeii* préfère les pontes fraîchement déposées.

Le cortège des antagonistes larvo-nymphal impliqué dans la régulation des effectifs de la processionnaire du pin à Chréa est pauvre dans sa composition. Les résultats des observations pluriannuelles portées sur les populations des chrysalides ont permis d'identifier deux parasitoïdes. Il s'agit de *Phryxe caudata* et *Villa brunnea*. Ces espèces sont notées par Zamoum (1998) dans les biotopes semi arides de Djelfa avec une autre espèce de tachinaire *Exorista segregata*. Bertella (1987) n'a signalé que *Villa brunnea* à Batna. En termes de régulation, le taux de mortalité imputé à l'action parasitaire ne dépasse pas 30% dans sa globalité et la variation interannuelle est le résultat de la fluctuation des niveaux de population. L'action parasitaire atteint son maximum en phase de culmination car l'effectif élevé des chenilles en procession de nymphose augmente les coïncidences spatiales avec les parasitoïdes (Zamoum, 1998). Le processus de parasitisme ne présente pas une spécificité liée au sexe. Les taux notés varient en fonction du sex-ratio qui fluctue selon la densité de la population. Le comportement parasitaire des deux espèces impose une variabilité dans leur activité. *Phryxe caudata* qui est un parasitoïde larvaire, son incidence se manifeste durant le pic des culminations, mais les taux obtenus restent faibles par rapport aux valeurs notées par Démolin (1971) au monts-Ventoux (50%) et Geri (1980) en Corse (45%). Cette faible action parasitaire est vraisemblablement imposée par les

facteurs de sélection de l'hôte, car ce parasitoïde pond sur des chenilles qui sont le plus souvent parasitées ou présentant des troubles physiologiques (Démolin, 1971). L'impact parasitaire est aussi faible chez *Villa brunnea* (17,5%) et le meilleur taux de régulation coïncide avec les épisodes de pullulation des populations nymphales. Ces résultats rejoignent ceux de Bertella (1987) qui a estimé l'activité à 19% à Batna. Néanmoins, l'activité parasitaire de cette espèce est plus accentuée dans la région semi aride de Djelfa d'après les taux (36,6%) notés par Zamoum (1998). Cette variabilité stationnelle est en liaison avec les caractéristiques des sites d'enfouissement. Les sites situés au pied d'arbres favorisent la synchronie spatiale entre le Bombyliide et son hôte. La même variabilité est signalée en France dans les Mont-Ventoux (Du merle, 1970) et les montagnes Corse (Geri, 1980) dont les taux sont variables de 10 à 50 %.

A l'échelle écologique, les interactions interspécifiques semblent en faveur de *Villa brunnea*. Les performances de cette espèce qui est spécifique aux chrysalides sont liées à ses valeurs adaptatives. La fertilité de ses femelles, la grande longévité de ses adultes et son super parasitisme sont autant de facteurs qui favorisent l'infestation des colonies enfouies et augmentent le succès de parasitisme (Du merle, 1964a ; 1971). D'autre part l'absence des capacités discriminatoires chez *villa brunnea* produit un effet de multiparasitisme qui serait à son avantage ce qui explique son supériorité par rapport à *Phryxe caudata* (Biliotti, 1956).

### **3. Progression et dynamique des infestations**

Le nid d'hiver est une étape de grande importance pour les populations larvaires de la processionnaire du pin. Une bonne structuration de nid d'hiver maximiserait les chances de survie des chenilles et par conséquent maintenir la population. Une variation interannuelle caractérise la distribution des nids d'hiver sous l'effet de l'altitude et des conditions climatiques qui en découlent. Cette variabilité est également liée à la structure des peuplements forestiers du massif de Chréa. Entre 2011 et 2014 le nombre moyen de nids quantifié par arbre est de 6,33 dans la tranche altitudinale de 1000 à 1200 mètres et de 7,59 entre 1200 à 1400 mètres. A l'Est de l'Algérie, Bertella (1987) note une moyenne de 1,32 nid par arbre dans les boisements de pin d'Alep localisés entre 1000 et 1400 mètres à Batna. Dans les pinèdes des zones semi-arides de Djelfa, l'effectif moyen de nids évalué par Zamoum (1998) est de 2,8 nids par arbre. Les dénombrements conduits sur plusieurs années dans les vallées d'altitude corses mettent en évidence des effectifs moyens variant de 2,04 à 7,53 selon le niveau de population de l'insecte (Geri, 1983).

Les déplacements de la processionnaire vers les hautes altitudes sont vraisemblablement favorisés par les conditions climatiques et les capacités de dispersion de *T.pityocampa*. La température est le facteur écologique le plus limitant. Cette variable climatique conditionne directement le cycle de vie des insectes et leurs performances alimentaires (Bale *et al.*, 2002 ; Bergot *et al.*, 2004 ; Battisti *et al.*, 2005). Le climat méditerranéen, quoique favorable au développement de la processionnaire, présente de fortes chaleurs estivales qui peuvent provoquer de forte mortalité des larves à l'émergence. Dans ce contexte, Démolin (1969) a lié le déplacement des populations de la processionnaire en altitude aux températures élevées de l'été. Cependant le phénomène de réchauffement climatique a accéléré la dispersion en altitude et en latitude. A ce sujet les résultats de nombreux auteurs se rejoignent et se corroborent (Démolin *et al.*, 1996 ; Marçais *et al.*, 2000 ; Lebourgeois *et al.*, 2001 ; Root *et al.*, 2003 ; Battisti *et al.*, 2005). L'augmentation des températures avantage les insectes qui n'ont pas de diapause hivernale (Sinclair *et al.*, 2003). Ces insectes ont montré une réponse positive aux effets de réchauffement global. Ainsi, la processionnaire du pin a étendu son aire de répartition géographique, ce qui propage l'infestation et accentue les défoliations des arbres (Walther *et al.*, 2002 ; Root *et al.*, 2003). Parmi les conséquences générées par ces progressions, le déséquilibre des interactions écologiques et plus particulièrement la désynchronisation temporelle entre le *T.pityocampa* et ses ennemis naturels (Thomson *et al.*, 2010).

Le choix de sites d'emplacement des nids conditionne le maintien des populations larvaires pendant l'hiver. Pour réussir cette étape, la processionnaire du pin adopte une stratégie qui lui permet d'optimiser tous les facteurs du milieu à son développement. L'exposition à choisir pour construire le nid d'hiver, doit procurer à la colonie des conditions optimales d'ensoleillement. Dans la cédraie de Chréa, la distribution des nids en fonction de l'exposition des sites d'emplacement est très significative. L'exposition Sud sont les plus favorables à la construction des nids. A ce propos Démolin (1969) a noté que les sites les plus ensoleillés de l'arbre sont les plus recherchés par la processionnaire du pin. La prépondérance des expositions Sud est confirmée dans la région semi aride de l'Algérie par les travaux de Bertella (1987) et de Zamoum(1998). Des résultats similaires ont été rapportés par Geri (1984) ; Geri *et al.* (1985) ; Breuer *et al.* (1989). Les emplacements à exposition Est et Ouest sont aussi conséquents à Chréa. Ils semblent aussi offrir de bonnes conditions thermiques pour les larves de la processionnaire. Les sites à orientation Nord sont moins présents et localisés dans les peuplements de crêtes.

Les nids se trouvant sur l'extrémité apicale au centre de l'arbre sont construits lorsque les chenilles ne parviennent pas à choisir une exposition favorable, ils sont observés sur les arbres mal ensoleillés dans les peuplements denses. A l'échelle du peuplement forestier les observations montrent que les formations denses composées d'arbres élevés sont peu attractifs et par conséquent moins attaqués par la processionnaire (Démolin, 1969 ; Geri ,1983).

Le caractère cyclique des pullulations de *T.pityocampa* permet de constater la succession des phases de progression et de régression du niveau de population (Schvester, 1985). Cette alternance de phase est une stratégie biodémographique qui implique les traits d'histoire de vie de l'insecte. L'abondance des nids d'hiver reflète le fort succès à l'éclosion des chenilles. Une forte augmentation des niveaux de populations est notée au cours de l'hiver 2010-2011. Cette progradation est vraisemblablement liée aux conditions stationnelles favorables et aux ressources alimentaires. En effet la disponibilité des ressources suppose une mobilisation énergétique rapide et par conséquent un taux de croissance élevé (Gillon ,1976). La hausse marquée des niveaux de populations s'est fortement accentuée pour atteindre le pic de culmination au cours de l'hiver 2011-2012. La phase de régression est marquée à partir de l'hiver 2013-2014. Ce type de fluctuation est noté par de nombreux auteurs dans la région méditerranéenne (Questienne et Miermont, 1978 ; Graf et M'zibri ,1994 ; Sbabdji ,2012). Ces variations qui caractérisent la dynamique des infestations de la processionnaire dans la cédraie de Chréa peuvent être liées à de nombreux facteurs. D'après Démolin (1969) les principaux facteurs responsables de fluctuations des populations sont, le climat, la nourriture et la prédation. Le déclin de la population après le pic de culmination est consécutif aux effets de la compétition intraspécifique qui diminue le potentiel gradologique de la population. Battisti (1988) souligne qu'après une forte défoliation, la composition chimique des aiguilles est sensiblement affectée. Ce phénomène pourrait selon l'auteur entraîner une forte mortalité larvaire. Les mêmes conclusions sont notées par Geri(1988), Baltensweiler et Fischlin (1998), Basquier-Barre (1999). Ces auteurs ont conclu que les défoliations des arbres induisent la synthèse de métabolites répulsifs rendant le nouveau feuillage toxique. Ces mécanismes de défense développés par les arbres constituent un facteur de taille dans le déclin des populations d'herbivores (Kaitaneimi *et al.*, 1999).

## CONCLUSION GENERALE

La répartition spatiotemporelle des populations de la processionnaire du pin dans la cédraie de l'Atlas blideen est le résultat d'une permanente dynamique impliquant une forte adaptation aux variabilités environnementales. Cet insecte défoliateur montre des capacités évolutives qui traduisent en fait des performances acquises via sa dépendance envers sa plante hôte. Les fluctuations transcycliques caractérisant sa dynamique reflète une gestion de compromis qui tend à maximiser le fitness des individus et par conséquent maintenir la survie des populations. La gradation 2010-2014 de la processionnaire du pin a permis d'appréhender son comportement qui semble bien lié à ses valeurs intrinsèques. Ces dernières jouent un rôle important dans l'optimisation des différents facteurs écologiques pouvant agir sur son cycle biologique. La disponibilité des ressources et l'absence des contraintes notamment climatiques ont renforcé le potentiel gradologique de l'espèce, et la régression consécutive aux différents facteurs de déclin observée à partir de 2013 n'a pas pu ramener les effectifs à un niveau écologiquement acceptable. Ces invasions sont bien antérieures à 2010 ce qui supposerait un caractère cyclique marqué avec des intervalles plus étalées.

La dynamique de la processionnaire dans la cédraie de Chréa est étroitement liée à l'existence d'une population adulte très active. Le piégeage sexuel des papillons mâles a mis en évidence une dispersion spatiale hétérogène mais caractéristique qui traduit un comportement écologique visant la maximisation des chances de survie chez la population. En effet, le faible nombre de papillons mâles capturés en haute altitude est compensé par une abondance des pontes qui suppose une densité élevée des femelles. Ceci, semble en relation avec le choix de site de ponte qui relève de l'interaction hôte -insecte. Les femelles choisissent les sites qui assurent un bon développement larvaire. Ce choix est une stratégie chez les insectes qui conditionne directement le taux d'accroissement des populations. En basse altitude, la densité et l'hétérogénéité des peuplements forestiers sont des facteurs qui font obstacles aux femelles ce qui réduit l'infestation des arbres. La variation notée dans les mensurations des papillons mâles à l'échelle stationnelle fait ressortir l'effet sous jacent de la structure des formations forestières sur le développement des individus. Ainsi les peuplements homogènes de cèdre offrent des meilleures possibilités de point de vue habitat et ressources nutritives.

L'abondance des pontes est un trait d'une grande importance dans le maintien des populations de la processionnaire. Il figure parmi les indices biologiques qui peuvent fournir des données cruciales sur la dispersion des populations futures. Quelque soit la phase de gradation, le nombre de pontes déposés sur les rameaux de cèdre reste considérable. Il montre fort bien le succès reproducteur qui se concrétise par une densité populationnelle capable de contraindre les différents facteurs de stress. D'autre part, le nombre moyen d'œufs par ponte est assez élevé, il représente en fait les réserves accumulées pendant l'évolution larvaire et la quantité d'énergie allouée à la reproduction. La fertilité des femelles de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas est un indice d'une dynamique bien adaptée aux sources de variation.

Les taux d'éclosion sont très élevés lorsque les effectifs des populations sont en équilibre avec les ressources disponibles. Les facteurs de réduction qui peuvent agir sur le succès à l'éclosion se manifestent après les épisodes de pullulations. Ils sont induits par l'intensité de la compétition larvaire qui diminue le fitness des adultes en affectant les paramètres de fécondité ce qui explique le taux élevé des œufs non viables.

Les tests biométriques de différents stades larvaires ont permis de caractériser les populations de la processionnaire dans la cédraie de Chréa. Les mensurations effectuées sur la longueur des chenilles et la largeur de leur capsule céphalique et qui s'ajustent avec les cinq stades décrits chez cette espèce présentent des valeurs très significatives. Cela dénote un bon développement physiologique qui serait en relation avec la qualité nutritionnelle des aiguilles de cèdre. Ce développement larvaire s'effectue sur une durée de 9 mois. Les niveaux de populations modérés sont marqués par un sex-ratio proche de 1. Après la culmination, le biais du sex-ratio en faveur des mâles est la caractéristique des populations en déséquilibre. Cet écart entre les effectifs mâles et femelles est un mécanisme qui tend à stabiliser les effectifs des populations en agissant sur la reproduction.

Le suivi du vol des papillons par les pièges à phéromones a permis de statuer sur la période des émergences des adultes dans la cédraie de Chréa. Cette période s'étale sur plus de deux mois et demi. La date du vol principale se situe entre la fin juillet et le début août. Les éclosions des chenilles sont précoces dans la cédraie de Chréa. Elles ont été observées pendant la deuxième décennie du mois de juillet. Les dates de déclenchement des stades larvaires sont tributaires du microclimat ce qui se traduit par le chevauchement de

différents stades. Les variations interannuelles ne sont pas très dispersées. Ceci conduit à un cycle relativement stable. La durée de diapause qui autorégule le cycle pour maintenir le rythme annuel n'est pas affecté dans sa globalité malgré la désynchronisation des processions de nymphose. Cependant ce mécanisme biologique se prolonge chez les populations éprouvées de la phase de rétrogradation. Il semble être induit par des processus physiologiques existant chez les individus stressés.

La régulation naturelle de la processionnaire du pin est assurée par la présence simultanée de différentes espèces entomophages. Cette interférence complexifié le réseau d'interactions interspécifiques ce qui réduit l'action parasitaire. Trois espèces de parasitoïdes constituent le cortège des antagonistes embryonnaires de *T.pityocampa* sur le cèdre de l'Atlas. Il s'agit de *T.embryophagum*, *B.servadeii* et *O.pityocampae*. Ces espèces sont caractérisées par des taux de parasitisme variables et une efficacité fluctuante en fonction de la distribution spatiotemporelle des populations de l'hôte. Dans la cédraie de Chréa *B.servadeii* est le plus abondant avec un effet plus conséquent sur les œufs de la processionnaire. La régulation imputée aux *T.embryophagum* et *O.pityocampae* demeure appréciable malgré les obstacles engendrés par les écailles des pontes et la compétition interspécifique. Quant aux antagonistes des stades larvo-nymphal, ils se limitent à *P.caudata* et *V.brunnea*. Leur action est plus marquée après la culmination avec des taux modulés par les niveaux des populations larvaires et nymphales.

L'estimation des niveaux de populations larvaires par le dénombrement des nids d'hiver fourni des données quantitatives qui permettent de comprendre la dynamique des infestations et les facteurs contribuant à leur déclin. L'abondance des nids d'hiver dans la cédraie d'altitude peut être considérée comme un résultat conjoint d'une capacité de dispersion et d'une modification significative du potentiel d'établissement des populations migrantes consécutivement aux conditions climatiques favorables. Cette faculté de dispersion chez *T.pityocampa* peut engendrer des effets cumulatifs se répercutant sur ses compétiteurs, et ses ennemis naturels mais également sur l'arbre hôte.

La dynamique spatiotemporelle de la processionnaire du pin dans la cédraie de Chréa est particulièrement liée à ses potentialités adaptifs et à ses capacités de dispersion. Ces caractéristiques ont procuré aux populations des performances leur permettant d'intégrer tous les facteurs du milieu à leur développement. A cela s'ajoute l'effet de la plante hôte qui est implicitement impliquée dans le moteur évolutif de l'insecte. Cette

coévolution est peut être consécutive à une spécialisation de cette population vers le cèdre de l'Atlas.

L'étude menée dans la cédraie de l'Atlas blideen a permis de statuer sur les traits qui retracent le cycle évolutif de l'insecte en relation avec toute la composante de son écosystème, mais la complexité des rapports écologiques demande davantage des explorations surtout à l'échelle des interactions interspécifiques gravitant autour de l'hôte – phytophage – antagoniste naturel. Dans ce contexte il serait d'un grand intérêt de se pencher sur les aspects gouvernant les mécanismes de régulation de cette espèce pour un contrôle biologique plus efficace.

## REFERENCES CONSULTEES

1. **Abdessemed K., 1981** : Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif des Aurès et de Belzema : étude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. *Thèse doct. Ing. Fac. St. Jérôme*, Marseille. 199 p.
2. **Agenjo R., 1941** : Monographie de la famille des *Thaumetopoeidae* (Lep.). *Eos*, 17, 69-128.
3. **Arnaldo P.S., Tortes L.M., 2006**: Effect of different hosts on *Thaumetopoea pityocampa* populations in northeast Portugal. *Phytoparasitica*, 34(5), pp: 523-530.
4. **Aussenac G., Granier A., Gross P., 1981**: Etude de la croissance en hauteur du cèdre "utilisation d'un appareillage de mesure automatique" *Ann.Sci.forest.*, 38:301-316.
5. **Avci M., 2003**: Parasitism of egg-batches of the cedar processionary moth *Traumatocampa ispartaensis* in Turkey. *Phytoparasitica*, 31(2), pp: 118-123.
6. **Avtzis N., 1986**: Development of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in relation to food consumption. *Forest Ecology and Management* 15, 65-68.
7. **Ayres M.P., Lombardero M.J., 2000**: assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The science of the total environment* 262:263-286.
9. **Bale J. S., Masters G. J., Hodkinson I. D., Awmack C., Bezemer T M., Brown V. K., Butterfield J., Buse A., Coulson J .C., Farrar J., Good J. E. G., Harrington R., Hartley S., Jonest H., Lindroth R. L., Press M. C., Symrnioudis I., Watt A. D., Whittaker J. B., 2002**: Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8(1): 1–16.
10. **Baltensweiler W., Fischlin A., 1988**: The larch budmothing the alps. in: dynamics of forest insect population, edited by Alan A .Berryman, *Plenum*, New York, pp.332-353.
11. **Barbaro L., 2008** : Les oiseaux insectivores prédateurs de la processionnaire du pin. Colloque « *Insectes et changement climatique* » Micropolis (Aveyron).
12. **Bariteau M., Ferrandès P., 1992** : Les Cèdres. In : Amélioration des espèces végétales cultivées, chap. 8 : les espèces forestières / A. Gallais, H. Bannerot, *Eds.- 1992*. - pp. 733-743.
13. **Basquier-Barre F., Milsant F., Geri C., 1999** : Incidence du feuillage de pin sylvestre sur la survie et le comportement des larves de *Diprion pini* L (*Hymenoptera : Diprionidae*).Rôle des monoterpènes. *Ann.Soc.Entomol.Fr. (N.S)* ,35 (suppl.):165-168.
14. **Battisti A., 1986** : Osservazioni sull'attività predatoria dell'upupa *upupa epopsnei* confronti della processionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa*. *Avocetta* 10: 119-121.
15. **Battisti A., 1988**: host-plant relationships and population dynamics of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermüller). *J. Appl. Ent.* 105: 393-402.
16. **Battisti A., 1989**: field studies on the behaviour of two egg parasitoids of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *J. Appl. ent.*105, 393-402.
17. **Battisti A., Stastny M., Buffo E., Larsson S. 2006**: A rapid altitudinal range expansion in the pine recessionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global change biology*, 12: 662–671.
18. **Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., Larsson S., 2005**: Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures, *ecological applications*, 15: 2084-2096.

19. **Becker M., Braker O.U., Kenk G., Schneider O., Schweingruber F.H., 1990** : Aspects des houppiers et croissance des arbres au cours des dernières décennies dans la région frontalière d'Allemagne, de France et de Suisse. *rev.for.fr.* xlii (3) :284-300.
20. **Bellin S., Schmidt, G.H., Douma-Petridou E. 1990**: Structure, ooparasitoid spectrum and rate of parasitism of egg batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) in Greece. *J. Appl. Entomol.* 110:113-120.
21. **Benabid A., 1982** : Etudes phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). *Thèse Doctorat Es-Sciences, Faculté Sciences et Techniques St-Jérôme-Marseille.* 199 p+Annexes.
22. **Benabid A., 1993** : Biogéographie, phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *silva méditerranéenne actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas.* Ifran (Maroc). 7-11 juin 1993. pp : 62-69.
23. **Benhalima S., 2004** : Les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* (endl.) carrière dans le haut et le moyen Atlas (Maroc). *thèse doc.Univ. Moh. v- Agdal, Rabat,* 107 p.
24. **Bentouati A., Oudjehih B., 1999** : Premières études de la croissance et de la productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belzema (Aurès-Algérie). *forêt méditerranéenne*, t. xx, (2) : 115-119.
25. **Bentouati A., Bariteau M., 2006** : Réflexion sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne* t.xxvii, n°4, décembre 2006.
26. **Bergot M., Cloppet E., Perarnaud V., Deque M., Marcais B., Desprez-Loustau M.L., 2004** : Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Global change biology.* 10: 1539–1552.
27. **Bertella N., 1987** : Bio écologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) dans quelques régions d'Algérie. *Thèse magister Sci. Agr. Institut National Agronomique El-Harrach-Algérie,* 110 p.
28. **Biliotti E., 1956** : Biologie de *Phryxe caudata* Rondani (Dipt., larvoevoridae). Parasite de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Revue de pathologie végétale et d'entomologie agricole de France*, vol. 35, n° 1, 1956, pp. 50-65.
29. **Biliotti E., 1958** : Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera). *Entomophaga.* 3(1) : 23-34.
30. **Biliotti E., Démolin G., Ham R., 1964** : Caractères de la diapause nymphale Chez *Thaumetopoea pityocampa*. *C. R. Acad. Sci. Paris.* 258 : 706-707.
31. **Biliotti E., Demolin G., Du merle P., 1965** : Parasitisme de la processionnaire du pin par *Villa quinquefasciata* Wied. apud Meig. (Diptère, Bombyliidae). Importance du comportement de ponte du parasite. *Annales des Epiphyties* 16, 279-288.
32. **Bouchon J., Toth J., 1971** : Étude préliminaire sur les pertes de production des pinèdes soumises aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Ann. Sc.For.*28(3):323-340.
33. **Boudy P., 1950** : Economie forestière Nord Africaine : Monographie et traitements des essences forestières. *Éd. Larose, T 2(II), Paris,* 878 p.
34. **Boudy P., 1952** : Guide du forestier en Afrique du Nord .Les essences Forestières .*Edition la maison rustique,* 505 p.
35. **Boudy P., 1955** : Economie forestière nord-africaine : Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. *Éd. Larose, T (4), Paris,* 483 p.
36. **Breuer M., Devkota B., Douma P. E., Koutsaftikis A., Schmid T. G. H., 1989**: Studies on the exposition and temperature of nests of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) in Greece. *Journal of Applied Entomology,* 107, 370-375.

37. **Buxton R.D., 1990:** The influence of host tree species on timing of pupation of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep., *Thaumetopoeidae*) and its exposure to parasitism by *Phryxe caudata* Rond. (Dipt., *Larvaevoridae*). *Journal of Applied Entomology*, 109: 302-310.
38. **Cadahia D., Démolin G., Biliotti E., 1967 :** *Meteorus versicolor* var. *decoloratus*, nouveau parasite de *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga* 12, 355-361.
39. **Cadahia D., Insua A., 1970:** Estimate of the damage caused by *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. in replantings of *Pinus radiata* D. Don. *First meeting of the Working Party on Integrated Control in Mediterranean Pine Forests*, 13, 159-171.
40. **Cadahia D., Enriquez., L., Sanchez A., 1975 :** Attraction sexuelle chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* 1, 1-11.
41. **Chararas C., 1982 :** Les insectes parasites des forêts. *Ed. Chararas*, Paris, 297p.
42. **Courtney S.P., 1984:** The evolution of egg clustering by butterflies and other insects. *The American Naturalist* 123: 276-281.
43. **Courtney S.P., Kibota T.T., 1991:** Mother doesn't know best: selection of hosts by ovipositing insects. In : *Insect-plant interactions, Bernays E.A. (Ed.)*, Boca Raton, Florida, CRC Press 2 : 161-187.
44. **Cuevas P., Montoya R., Belles X., Camps F., Coll J., Guerrero A., Riba M., 1983:** Initial field trials with the synthetic sex pheromone of the processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiff.). *Journal of Chemical Ecology* 9:85-93.
45. **Dajoz R. 1998 :** Les insectes et la forêt. *ed. Lavoisier Tec &Doc*. 594 p. Paris
46. **Daniel Z., Battisti A., Klaus hellrigl K., Minerbi S., 2006** –Egg parasitoids of the pine processionary moth and their occurrence in Venosta/Vinschgau. *Forest. Observer*. vol. 2/3 2006: 81 – 88.
47. **D.G.F., 2004:** Direction générale des forêts : La mise en œuvre de la convention de Lutte contre la désertification. *Rapport National*.33p.
48. **Demarteau M., Francois L., Cheddadi R., Roche E., 2007:** Responses of *Cedrus atlantica* when faced with past and future climatic changes. *Geo.Eco. Trop*, 31:105-146.
49. **Démolin G., Delmas J.C., 1967a** - Les éphippigères (Orthoptères :Tettigoniidae) prédateurs occasionnels, mais importants de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Entomophaga*. 12(4) :399-401.
50. **Démolin G., 1967b :** Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver – activité de tissage. *C. R.V<sup>e</sup> congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux*. pp 69-77.
51. **Démolin G., Rive JL., 1968 :** La processionnaire du pin en Tunisie. *Ann.I.N.R.F.Tunis*, Vol. 1, Fasc.1.
52. **Démolin G ., 1969:** Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Ann. Sci. Forest*. 26(1) : 81 102.
53. **Démolin G., 1969b :** Bioecologica de la processionnaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Incidencia de los factores climaticos. *Bol. Serv. Plagas Forest*. 23 : 9-24.
54. **Démolin G., 1969c :** La processionnaire du pin. *Note d'information sur la biologie et sur les techniques de lutte*.
55. **Démolin G., 1970 :** Programa ecologico internacional sobre la procesionaria del pino. *Bol. Serv. Plagas Forest*. 13 : 111-117.

56. **Démolin G., 1971** : Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*) pendant la période des processions de nymphose - Répercussions sur l'efficacité des parasites. *Ann. Zool. – Écol. Anim.* Hors série : 33-56.
57. **Démolin G., Millet A., 1981**: Testing of insecticides against the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*). Comparative action of four commercial preparations: Bactospein, Dipel, Thuricide and Dimilin (diflubenzuron). *Annales des Sciences Forestières*, 38, 389-404.
58. **Démolin G., Martin J. C., Brun C., 1985**: Essais d'attraction sexuelle, hors de la forêt, des mâles de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lep., Thaumetopoeidae*). *Exp. Coll. INRA, " Pheromone sexuelle "*. Valence. 14 p.
59. **Démolin G., 1987** : La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au Mont-Ventoux. *Etude Vauclusiennes*, n°spécial, 3,157-173.
60. **Démolin G., Martin J.C., 1989** : Essais d'efficacité du *Foray 48B* sur la chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. au troisième stade larvaire de son développement. Incidence de l'action simultanée de *Xanthandrus comtus* Harr. (*Diptera, Syrphidae*). C.R.interne, *Inst.Nat. de la Rech.Agr.* (Avignon), 12 p.
61. **Démolin G., Frerot B., Chambon J.P., Martin J. C., 1994**: Réflexion Biosystématique sur toutes les processionnaires du genre *Thaumetopoea* (*Lep., Thaumetopoeidae*), considérées comme ravageurs importants des cèdres *Cedrus libani* Barel et *Cedrus atlantica* Manetti sur le pourtour du bassin méditerranéen. *Annales des Recherches Forestières Maroc*, 2, 577-591.
62. **Démolin G., Abgrall J.F., Bouhot-Delduc L., 1996** : Evolution de l'aire de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiff. (*Lep., Thaumetopoeidae*) en France. *Les cahiers du DSF*, 1, 26-28
63. **Démolin G., Bouhot-Delduc L., Abgrall J.F., 1998** : Dynamique des populations de la chenille processionnaire du pin et climat. *Les cahiers du DSF, 1-1997(La Santé des Forêts (France) en 1997)*, Min. Agri. Pêche (*DERF*), Paris, pp.49-51.
64. **Derridj A., 1990** : Etude des populations de *Cedrus atlantica*. Manetti en Algérie. *Thèse Doct. Université de Toulouse* .282 p.
65. **Du merle P., 1964a** : Cycle biologique d'un diptère Bombyliidae du genre *Villa* sur *Thaumetopoea pityocampa* C.R.Acad.Sci., Paris, 259,1657-1659.
66. **Du merle P., 1969** : Le complexe parasitaire hypogé de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*). *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* 13, 131-132.
67. **Du merle P., 1970** :Biologie et écologie d'un diptère Bombyliidae, *Villa brunnea* Becker, parasite de la processionnaire du pin. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 3, N° hors série, 111-116.
68. **Du merle P., 1971** : Sur quelques facteurs régissant l'efficacité de *Villa brunnea* Beck. (*Dipt. Bombyliidae*) dans la régulation des populations de *Thaumetopoeidae*. *Ann. Zool. Ecol.Anim.* N° hors série, 57-66.
69. **Du merle P., 1985** : Piégeage sexuel de tortrix L. (*Lep., Tortricidae*) en montagne méditerranéenne. II. Relation entre le nombre de capture et le niveau des populations. Rendement des pièges. *Z. angew. Entomol.*, 100,272-289.
70. **Du merle P., 1988** : Quelques problèmes de diagnostic posés par les insectes défoliateurs forestiers. *Rev.Forest.Française*, n°spécial, 40,118-123.
71. **Einhorn J., Menassier P., Michelot D., Riom J., 1983** : Piégeage sexuel de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lep., Notodontidae*) par des attractifs de synthèse. Premier essais dans le sud-ouest de la France. *Agronomie*, 3 (6) ,499-505.

72. **El Yousfi M., 1989:** La procesionaria del cedro, *Thaumetopoea bonjeani* Powell. *Bol. San. Veg. Plagas*, 15: 43-56.
73. **El Yousfi M., 1994 :** La santé du Cèdre de l'Atlas au Maroc. *Ann. Rech. For.*, T (27): 593-611.
74. **Ezzahiri M., Belghazi B., 2000 :** Synthèse de quelques résultats sur la régénération du cèdre de l'Atlas au moyen Atlas (Maroc). *Science et changements planétaire, Sécheresse*. 11 (2) : 79-89.
75. **Fabre J.P., 1994 :** Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaux de l'aire naturelle des Cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier. *Ann. Rech. For.*, T (27): 539-551.
76. **Faurel L., 1947 :** Note sur la Cédraie de L'Atlas de Blida, ses sols et ses associations végétales. *Bull.d'Hist. Nat. D'Afrique du Nord*, pp.474-477.
77. **Fisher R.A., 1930:** The genetical theory of natural selection. Oxford: Oxford University Press.
78. **Fraival A., 2007 :** Les processionnaires 1<sup>ères</sup> partie- La processionnaire du pin. *Insectes* n°147, pp : 35-39.
79. **Freese G., Zwölfer H., 1996:** The problem of optimal clutch size in a tritrophic system: the oviposition strategy of the thistle gallfly *Urophora cardui* (Diptera, Tephritidae). *Oecologia* 108: 293-302.
80. **Führer. Huang P., 1979:** Zur Nahrungsqualität von fichtennadeln für forstliche schadinsekten .12.variabilität der Nadelhautstruktur.*Z. Angew. Entomol.* 88:231-245.
81. **Gachi M., 1989 :** Eco-biologie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjeani* Powel. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) en Algérie. *Séminaire International de Biologie*. Constantine. Mai 1989,13p.
82. **Gachi M., 1996 :** La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Conférence. Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S.Jijel.17pp.
83. **Gachi M., 1998 :** La processionnaire du cèdre (*Thaumetopoea bonjeani* Powel.). *Journées d'étude en entomologie et pathologie forestière*. INRF. Mai 1998.pp : 25-32.
84. **Gaillard J. M., Festa-Bianchet M., Yoccoz N.G., Loison A., Toigo C., 2000:** Temporal variation in fitness component and population dynamics of large herbivores'. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 31,367-393.
85. **Geri C., 1980 :** Application des méthodes d'études démécologiques aux insectes défoliateurs forestiers. Cas de *Diprion pini* L. (Hymenoptère, Diprionidae). Dynamique des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lépidoptère, Thaumetopoeidae) dans l'île de Corse. *Thèse doct. Etat. Orsey, Université Paris-Sud*, 260p.
86. **Geri C., 1983 :** Répartition et évolution des populations de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., (Lep., Thaumetopoeidae) dans les montagnes corses. *Acta OEcologica – OEcol. Applic.* 4(3) : 247-268.
87. **Geri C., 1984:** Distribution and evolution of populations of the pine processionary, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep., Thaumetopoeidae) in the Corsican mountains. II. Relations between populations and the physical and forest environment. *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*, 5 : 3-22.
88. **Geri C., Miller C., 1985:** Evaluation of the populations of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) in Mont Ventoux, France. *Annales des Sciences Forestières*, 42 : 143-183.

89. **Geri C., Saintonge F.X., de Villebonne D., Goussard F., 1996** : Observation sur l'évolution récente des populations de processionnaire du pin en Sologne. Les cahiers du DSF, 1.1996 (La santé des Forêts (France) en 1995). *Min.Agri.Pêche Alim.* (DERF), Paris, pp55-56.
90. **Gillon Y., 1976**: Strategie démographique chez les insectes, leurs processus biologique. *Bulletin de la société Zoologique de France*, 1976,101(4), p.653-670.
91. **Goussard F., Saintonge F.X., Geri C., Auger-Rozenberg M. A., Pasquier B.F., Rousselet J., 1998**: Increasing risk of damage by the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. in the Central Region following climatic change. *Actes de la IV Conférence Internationale Francophone d'Entomologie, Saint Malo, France, 5-9 juillet 1998*, 35, 341-343.
92. **Graf, P., M'zibri, M., 1994** : L'infestation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) par la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) au Maroc et son impact sur la productivité. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27: 613-624.
93. **Grison P., 1972** : Observation sur l'impact des insectes défoliateurs sur la productivité primaire, in : Productivité des écosystèmes forestiers. *Actes du colloque de Bruxelles, Collection, Ecologie et conservation*, 4: 369-375.
94. **Guerrero A., Camps F., Coll J., Riba M., 1981**: Identification of a potential sex pheromone of the processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae). *Tetrahedron Lett.* 22(21): 2013-2016.
95. **Halimi A., 1980** : L'Atlas Blideen, climat et étages végétaux. *OPU*. Alger, 523 p.
96. **Halperin J., 1990**: Life history of *Thaumetopoea* spp. (Lep., *Thaumetopoeidae*) in Israel. *Journal of Applied Entomology*, 110:1- 6.
97. **Harrington R., Fleming R.A., Woiod I.P., 2001**: Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*, n° 3, pp. 233-240.
98. **Hassell M. P., Southwood T.R.E., 1978**: Foraging strategies of insects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 9: 75-98.
99. **Hawley A.W. 1985**: The effect of larval density on adult longevity of a mosquito, *Aedes sierrensis* : epidemiological consequences. *Journal of Animal Ecology* 54 : 955-964.
100. **Hewitt HG., Ayres PG., 1975**: Change in CO<sub>2</sub> and water vapour exchange rates in leave of *Quercus robur* infected by *Microsphaera alphitoides* (powdery mildew). *Physiol. Plant. Pathol.*7: 127-137.
101. **Hmimina M., 1986** : Stratégies d'occupation des cultures et d'hivernation chez *Helicouerpa armigera* HB (Lep., *Noctuidae*): essai de modélisation prévisionnelle. *Thèse de Doctorat ès Sciences*. Université de Marseille (St Jérôme), 184p.
102. **Hódar J A., Castro J., Zamora R., 2003**: Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biol. Cons.* 110: 123-129.
103. **Huchon H., Démolin G., 1970** : La bio écologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle-Dispersion actuelle. *Rev. For. Fr.* N° spécial « La lutte biologique en forêt », 220-234.
104. **Huffaker C., Erryman A., Turchin P., 1999**: *Dynamics and regulation of insect populations*. C. B. Huffaker et A. P. Gutierrez [eds.], *Ecological entomology, 2e edition*, Wiley, New York. 269-305.
105. **Janieke J., 1990**: Host specialization in phytophagous insects. *Annual reviews of ecological systems*. 21:243-273.

106. **Kaitaniemi P., Ruohomaki K., Tammari T., Haukioja E., 1999:** Induced resistance of host tree foliage during and after a natural insect outbreak. *Anim.Ecol*, 68,382-389.
107. **Kerdelhue C., Zane L., Simonato M., Salvato P., Rousselet J., Roques A., Battisti A., 2009 :** Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC. Evolutionary Biology* 9: 220.
108. **Khemici M., Zamoum M., Démolin G., 1988 :** Ecologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (*Lep., Thaumetopoeidae*) en Algérie. Incidence du climat sur le comportement de l'insecte. *Ann. Rech. For Algérie*, 3 (3) : 67-77.
109. **Klomp H., 1964:** Intraspecific competition and the regulation of insect numbers. *Annual Review of Entomology* 9: 17-40.
110. **Kolman W.A., 1960:** The mechanism of natural selection for the sex ratio. *Amer.Natur.*94:373-377.
111. **Laurent-Hervouet N., 1986 :** Mesure des pertes de croissance radiale sur quelques espèces de *Pinus* dues à deux défoliateurs forestiers.I.Cas de la processionnaire du pin en région méditerranéenne. *Ann.Sci.For.*43(2) : 239-262.
112. **Lavalee R ., Regniere J ., Moristte J ., 1988 :** Influence de la température et des précipitations sur le vol des mâles de *Zeiraphera canadiensis* en plantation d'épinette blanches. *Phytoprotection*, 69,99-103.
113. **Lebourgeois F., Granier A., Breda N., 2001 :** Une analyse des changements régionaux en France entre 1956 et1997. Réflexions et conséquences pour les écosystèmes forestiers. *Ann.For.Sci.*58, pp.733-754.
114. **Lemoine B., 1977:** Contribution to the measuring of production losses caused by the processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) to maritime pine in the Landes of Gascony. *Annales des Sciences Forestieres*, 34, 205-214.
115. **Lepoutre B., 1961 :** Recherche sur les conditions édaphiques de la régénération des cédraies marocaines. *Ann. Rech .For. Maroc*, T .6 Fasc.2. Rabat : 21p.
116. **Lepoutre B., 1963 -** Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas Marocain.*O.R.S.T.O.M. Coll. Réf.* 11063.
117. **Lepoutre B., Pujos A., 1963 :** Facteurs climatiques déterminants les conditions de germination et installation des plantules de cèdre. *Ann.Rech.For. Maroc .T7Rap* 62-63 120p.
118. **Lepoutre B., 1964 :** Premier essai de système sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas marocain. *Ann. Rech. For. Au Maroc. Tome VII. Pp:* 157-163.
119. **Malki H., 1992 :** Contribution à l'étude de l'influence du l'Atlas dans les monts de Belzema (Algérie).*Thèse Doct.* Université de Paris Sorbonne.
120. **Mangel M., 1987:** Oviposition site selection and clutch size in insects. *Journal of Mathematical Biology* 25: 1-22.
121. **Mangel M. 1989:** Evolution of host selection in parasitoids: does the state of the Parasitoid matter? *The American Naturalist* 133: 688-705.
122. **Mangel M., Rosenheim J.A., Alder F.R., 1994:** Clutch size offspring performance and intergenerational fitness. *Behavioural Ecology* 5: 412-417.
123. **Marcais B., Bouhot-Delduc L., Le Tacon F., 2000:** Effet possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts .*Rev.For.Fr.*52, n° spécial, pp.99-118.
124. **Markalas S., 1989:** Influence of soil moisture on the mortality, fecundity and diapause of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *J. Appl. Ent.* 107: 211-215.
125. **Martin J C., Mazet R., 2001:** Winter control of pine processionary caterpillar. *Phytoma*, 540, 32-35.

126. **Martin J.C., 2005** : La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). *Biologie et protection des forêts*. INRA. 61p.
127. **Masutti L., 1964** : Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Ann. Cent. Mont. Ven. Univ.* Padova, 4, 205-271.
128. **Masutti L., Battisti A., 1990**: *Thaumetopoea Pityocampa* (Den. & Schiff.) in Italy Bionomics and Perspectives of Integrated Control. *Journal of Applied Entomology* 110: 229-234.
129. **M'hirit O., 1982** : Etudes écologiques et forestières des cédraies du Rif marocain : Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production de cèdre de l'Atlas. *Ann.Rech.For.Maroc* 2 (1) - 499p.
130. **M'hirit O., 1994** : Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Méditerranéenne "le Cèdre". *Ann. Rech. For. Maroc*. T(27) : 3-21.
131. **M'hirit O., 2006** : Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps. Éd. MARDAGA. 288 p.
132. **Mirchev P., Tsankov G., Avci M., Matova M., 2007**: Study of some aspects of ecology of pine processionary Moth, *Thaumetopoea pityocampa* (den. & Schiff.) (Lep., *Thaumetopoeidae*) and its egg parasitoids in turkey. *Silva Balcanica*, 8 (1)- 2007.
133. **Montoya R., 1984**: Description of a new type of trap to catch males of the pine processionary. *Boletín de la Estación Central de Ecología*, 13, 99-103.
134. **Moore B., Allard G. 2008**: Climate change impacts on forest Heath. *Document de travail sur la santé des forêts et la biosécurité FBS/34E*. Rome, Italie, FAO.
135. **Mouna M., 1982** : Recherches écologiques sur le peuplement frondicole des insectes du cèdre (*Cedrus atlantica* Man.) dans le Moyen Atlas marocain. *Thèse Doct. de Spécialité, Fac. des Sciences St. Jérôme Marseille*: 1-121.
136. **Mouna M., 1994** : Etat des connaissances sur l'entomofaune du Cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, T(27) : 513-526.
137. **M'zibri, M., 1991** : Bioécologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep., *Thaumetopoeidae*) et son impact sur la productivité du cèdre *Cedrus atlantica* M. dans le rif central (Forêt d'Iguermelt). *PhD Thesis*, University of Rabat, Morocco.
138. **Nejahi A., 1988** : La cédraie de Chréa (Atlas blideen) phénologie, Productivité Régénération. *Thèse Doct.* Université de Nancy spécialité Biol.Vég et flore, p173.
139. **Newton I., 1998**: Population Limitation in birds. *Academic Press*, London.
140. **Panetsos K.S., Scaltsoyiannes A., Tsaktsira M., 1994**: Genetic variation in Allozymes of *Cedrus libani* A. Rich. and *Cedrus atlantica* Mannetti. *Ann. Rech. For.*, T (27):419-434.
141. **Parker G.A., Begon M., 1986**: Optimal egg size and clutch size: effects of environment and maternal phenotype. *The American Naturalist* 128: 573-592.
142. **Patterson D T., et al. 1999**: Weeds, Insects and Diseases. *Climatic Change*. 43 (4) : 711-727.
143. **Pérez-Contreras T., Solerj J., 2004**: Egg parasitoids select for large clutch sizes and covering layers in pine processionary moths (*Thaumetopoea pityocampa*). *Ann. Zool. Fennici* 41: In press.
144. **Pimentel C.S.M.G., 2004**: Pine Processionary Moth (*Thaumetopoea pityocampa*) and Great Tit (*Parus major*) in Portugal: Population Dynamics and Interactions. *Thèse Doctorat*, Univer. Nova de Lisboa, Portugal, 267p.
145. **P.N.B-CF., 2005** : Rapport sur le plan de sauvegarde de la cédraie de la wilaya de Batna, 26 p.

146. **Pujos A., 1964** : Le milieu de la cédraie marocaine. *Ann.Rech.For.* Maroc Tome 8. p198.
147. **Questienne P., Miermont Y., 1978** : Contribution à la connaissance *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Etude de la chenille processionnaire du pin et du cèdre au Maroc. *Ann. Rev. For. Maroc*, Mai 1978. 151-233.
148. **Quezel P., 1976** : Les forêts du pourtour méditerranéen, *Notes techniques M.A.B.2 UNESCO* .Paris. Pp9-34.
149. **Quezel P., 1980** : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. In PESSON : *Actualités d'écologie forestières*. Paris, Bordas. 205-256.
150. **Ramade F., 2003** : Éléments d'écologie - Écologie fondamentale. 3ème édition. 690 p.
151. **Robredo F., 1963** : La nymphose chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* 12, 122-129.
152. **Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., Pounds, J.A., 2003**: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421, 57-6.
153. **Roques A., 1983** : *Les insectes ravageurs des cônes et grains de conifères en France*. Ed. I.N.R.A., Paris, 135p.
154. **Rousselet J., Zhao R., Argal D., Simonato M., Battisti A., Roques A., Kerdelhue C., 2010** : The role of topography in structuring the demographic history of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera Notodontidae). *Journal of Biogeography*, 37, 1478–1490.
155. **Roy M., Brodeur J., Cloutier C., 2002**: Relationship Between Temperature and Developmental Rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and Its Prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). *Environmental Entomology*. 31 (1): 177-187.
156. **Sabatier S., Baradat P., Barthelemy D., 2003**: Intra- and interspecific variations of polycyclism in young trees of *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex. Carrière and *Cedrus libani* A.Rich (Pinaceae). *Ann. For.Sci.*, 60: 19-29.
157. **Safavi M., 1968** : Etude biologique et écologique des hyménoptères parasites des œufs des punaises des céréales. *Entomophaga* 13 :381-495.
158. **Sanders C.J., 1983**: Local dispersal of male spruce budworm (*Lepidoptera, Tortricidae*) moths determined by mark, release, and recapture. *Can. Ent.* 115: 1065-1070.
159. **Sather B. E., 1997**: Environmental stochasticity and population dynamics of large herbivores: a search for mechanisms. *Trends in Ecology & Evolution* 12, 143-149.
160. **Sbadjji M., El Hadi O., Haddad A., Kadik B., Lambs L., 2009**: Cedar tree growth (*Cedrus atlantica* Manetti) in Chréa National Park, Algeria, and the influence of defoliation by the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Rev. Ecol.* 64: 323–332.
161. **Sbadjji M., 2012** : Etude des infestations de la cédraie de Chréa par la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff: description spatiotemporelle et relations arbre-défoliateur. *Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques*, E.N.S.A., 115p.
162. **Schmidt G.H., 1989**: Life cycles of *Thaumetopoea* species distributed in different regions of Europe, north Africa and near east. In: Schmidt.G.H. (Ed.). On biology and control of *Thaumetopoea* spp.: 20-34. *Proceedings of the Thaumetopoea –symposium 1989*, University of Hannover.
163. **Schmidt G.H., Mirchev R., et Tsankov G., 1997**: The Egg Parasitoids of *Thaumetopoea pityocampa* in the Atlas Mountains near Marrakech (Morocco). *Phytoparasitica* 25(4). Pp: 275-281.

164. **Schmidt G.H., Tanzen E., Bellin S., 1999:** Structure of egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. And Schiff.) (*Lep., Thaumetopoeidae*), egg parasitoids and rate of egg parasitism on the Iberian Peninsula. *J. Appl. Ent.* 123 : 449-458.
165. **Schvester D., 1985 :** Les insectes et la forêt française. *Rev. For. Fr.* 37, n° spécial, pp.45-64.
166. **Sebti S., 2011 :** Caractéristiques biologiques et écologiques de la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (*Lepidoptera : Thaumetopoeidae*) sur le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti dans le Parc National de Chrèa. *Thèse Magister.Sci.Agr.* Université de Saad Dahleb Blida, 128p.
167. **Seltzer P., 1946 :** Le climat de l'Algérie. *Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie*. université d'Alger 217p.
168. **Siemann E., Tilman D., Haarstad J., Ritchie M., 1998:** Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *American Naturalist* 152: 738-750.
169. **Silk J.B., 1983-** Local resource competition and facultative adjustment of sex ratios in relation to competitive abilities. *Am. Nat* 121:56-66.
170. **Sinclair, B.J., Vernon, P., Klok, C.J., Chown, S.L., 2003:** Insects at low temperatures: an ecological perspective. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 257-262.
171. **Stamp N.E., 1980:** Egg deposition patterns in butterflies: why do some species cluster their eggs rather than deposit them singly? *The American Naturalist* 115: 367-380.
172. **Stireman J.O., Dyer LA., Janzen D.H., Singer M.S., Li J.T., Marquis R.J., Ricklefs R.E., Gentry G.L., Hallwachs W., Coley P.D., Barone J.A., Greeney H.F., Connahs H., Barbosa P., Morais H.C., Diniz I.R.. 2005:** Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: Implications of global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. United States of America. 2005;102:17384–17387.
173. **Thomson L.J., Macfadyen S., Hoffmann A.A., 2010:** Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biol. Control* 52:296-306.
174. **Tiberi R., 1978:** Notizie preliminary sull' incidenza dei parassiti oofagi nelle popolazioni di Prozessionaria del Pino in giovani pinete dell'Italia centrale. – *Redia*, 61: 487-501.
175. **Tiberi R., 1980:** Modificazioni della distribuzione dei parassiti oofagi in ovature di *Thaumetopoea pityocampa*, conseguenti al potenziamento artificiale di *Tetrastichus servadeii* Dom. *Redia* 63: 307-321.
176. **Tiberi R., 1990:** Egg parasitoids of the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (*Lep., Thaumetopoeidae*) in Italy: Distribution and activity indifferent areas. *J. Appl. Entomol.* 110:14-18.
177. **Tiberi R., Niccoli A., Curini M., Epifano F., Marcotullio M.C., Rosati O., 1999 :** The role of monoterpene composition in *Pinus ssp.* needles, in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica*. 27(4): 263-272.
178. **Till C., 1985 :** Recherches dendrochronologiques sur le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) carrière) au Maroc. *Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université Catholique de Louvain*, 231 p et annexes, inédit.
179. **Tilman W., 1980:** Resources: a graphical mechanistic approach to competition and predation. *The American Naturalist* 116: 362 - 393.
180. **Tilman D., 1982:** Resource, competition and community structure. Princeton, *Princeton University Press*.
181. **Toffolo P., Bernardinelli I., Stergulc F., Battisti A., 2010:** Climate change and expansion of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*, in northern Italy. IUFRO Working Party 7.03.10 *Proceedings of the Workshop 2006*, Gmunden /Austria.
182. **Toth J., 1971 :** Le cèdre (*Cedrus atlantica* M) en France. *Bull. Vulg. For.* n° 4. pp 1-20.

183. **Toth J., 1978** : Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M) dans le sud de la France *Thèse.Doct.Ing.Fac.Sci.St Jérôme*, Marseille, 196 p.
184. **Toth J., 1981** : Contribution à l'étude monographique du cèdre méditerranéen, *ed. INRA.Station d'Avignon*.25p.
185. **Toth J., 1982** : Analyse de la croissance juvénile sur trois essences résineuses –cèdre-pin noir et pin de salzmann dans le reboisement de Belbezet (GARA).*Forêt méditerranéenne* 4(2) :143-146.
186. **Toth J., 1984** : La prévision des possibilités de récoltes de cônes de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). *Bull. Tech.* N° 15 O.N.F. Pp: 39-51.
187. **Toth J., 1990** : Le cèdre III. Intérêt paysage. Cédraie touristique. *Forêt privée*. 195. 8p.
188. **Tsankov G., Schmidt G.H., Mirchev P., 1995**: Impact of parasitoids in egg batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff) in Alegria. *Boll. Zool. agr. Bachic.* Ser.II, 27(1), 53-60.
189. **Tsankov G., Douma- Petridou E., Merchev P., Georgie G., et Koutsaftikis A., 1999**: Spectrum of egg parasitoids and rate of parasitism of egg batches of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) in the northern Peloponnes/ Greece. *J. Ent. Soc. Res.* 1(2), pp: 1-8.
190. **Van Asch M., van Tienderen P.H., Holleman L.J.M. and Visser M. 2007**: Predicting adaptation of phenology in response to climate change, an insect herbivore example. *Global Change Biology*, 13: 1596-1604.
191. **Van Hees A.F.M., 1997**: Growth and morphology of dedunculate Oak (*Q.robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Ann Sci.For.* 54:9-18.
192. **Villemant C., 2006** : Bilan de la situation de *Lymantria dispar* dans l'ouest du bassin méditerranéen. *Act. Congrès. Inter. Ento.Némat. Inst. Agro.* El Harrach. Alger. pp: 101-114.
193. **Walther G. R., E. Post P., Convey A., Menzel C., Parmesan T. J. C., Beebee J. M., Fromentin O., Hoegh-Guldberg F., Bairlein F., 2002**: Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389–395.
194. **Werren J.H., Charnov E.L., 1978**- Facultative sex ratios and population dynamics. *Nature* 272,349-350.
195. **Williams G C., 1979** – The question of adaptive sex ratio in outcrosses vertebrates. *Pro R Soc Lond.* B205:567-80.
196. **Williams D W., Liebhold A M., 1995** - Herbivorous insects and global change: potential changes in the spatial distribution of forest defoliator outbreaks. *Journal of Biogeography* 22(4–5): 665–671.
197. **Zamoum M., 1998** - Données sur la bio écologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller (*Lep., Thaumetopoeidae*) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie). *Thèse de Doctorat, Univ. Des sciences de Rennes I, France*, 247 p.
198. **Zamoum M., 2002** : Quelques éléments pour la préservation de la santé des forêts en Algérie. *Revue de la forêt algérienne*, n° 4, juil.2002, 4-7.
199. **Zamoum M., Démolin G., Martin J.C., 2005** : Lutte contre la processionnaire du pin : que deviennent les chenilles survivantes après un traitement au *Bt* aux stades L3 et L4. *Phytoma – la défense des végétaux*, 585 : 38-41.

## ملخص.

الدراسة التي أجريت في الحظيرة الوطنية للشريعة تتعلق بالتوزيع الزماني و المكاني لشعوب يسروع الصنوبر الجرار. الدراسة تتمحور حول ثلاثة جوانب الصفات السلوكية و الديناميكية للحشرة من خلال المراقبة لعدة سنوات لدورة حياة شعوبها خلال التدرج 2010-2014 , والعوامل البيئية المعنية في التنظيم الطبيعي وإمكانية الانتشار في غابة الارز بالشريعة. تظهر التغيرات بين السنوات على دورية تتميز بفترات ممتدة. التوزيع الإرتفاعي للأفراد غير متجانس. كثافة الفراشات منخفضة في المحطات العالية لكن كمية التبييض مرتفعة بالنسبة للمواقع الأخرى. الاختلاف لوحظ في قياسات البالغين من الذكور واليرقات ممل يظهر التأثير الكامن للنبات المضيف . و يرتبط معدل القفص بكثافة الأفراد والموارد المتاحة. عدد البيض مرتفعا و يدور حول نفس المعدل خلال جميع مراحل التدرج. تكون عملية الضبط الطبيعي معتبرة بعد مراحل التكاثر السريع. يتأثر المجمع الطفيلي بالتداخل الناجم عن التعايش الزماني و المكاني بين مختلف الطفيليات. ثلاث طفيليات بيضيه و اثنان يرقيه تعمل على الضبط الطبيعي ليسروع الصنوبر الجرار. نشاط هذه الطفيليات يزداد مع زيادة كثافة الافراد. ان احصاء الاعشاش الشتوية سمح بتقييم مستويات شعوب اليرقات. تمتاز ه ذه المستويات بارتفاع عددها في المواقع العالية. ان تقدم يسروع الصنوبر الجرار بفضل الظروف المناخية الملائمة يزيد من انتشار الحشرة. ان تحليل المعطيات سمح بمعرفة تطور تدرج الحشرة غابة أرز الاطلس البلدي. مرحلة التضاعف ليسروع الصنوبر الجرار بدأت قبل 2010 . وتم بلوغ الذروة 2012 . انخفضت مستويات الشعوب نسبيا لكنها بقيت مرتفعة ايكولوجيا

الكلمات الافتتاحية : يسروع الصنوبر الجرار , الارز الاطلسي , التدرج . الاطلس البلدي

# Recherche écologique et répartition spatio-temporelle de la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. dans la région de l'Atlas blideen

---

## Résumé.

L'étude conduite dans le Parc National de Chréa porte sur la répartition spatio-temporelle des populations de *T.pityocampa*. Elle s'articule autour de trois aspects : les traits comportementaux de l'insecte et sa dynamique à travers le suivi pluriannuel du cycle biologique des populations lors de la gradation 2010 -2014, les facteurs écologiques impliqués dans la régulation naturelle et le potentiel de dispersion retraçant la dynamique des infestations dans la cédraie de Chréa. Les fluctuations interannuelles mettent en évidence un caractère cyclique caractérisé par des intervalles étalés. La distribution altitudinale des populations est hétérogène. La densité des papillons adultes est faible dans les stations élevées, mais les pontes marquent une abondance par rapport aux autres sites. La variation notée dans les mensurations des adultes mâles et des larves montrent l'effet sous jacent de la plante hôte et sa structure spatiale. Le taux d'éclosion est lié à la densité des populations et aux ressources disponibles. Le nombre d'œuf reste élevé et maintenu autour de la moyenne pendant toutes les phases de gradation.

L'incidence de la régulation naturelle sur la processionnaire du pin est plus significative après les épisodes de pullulation. La valence écologique du complexe parasitaire est impactée par les interférences qui résultent de la coexistence spatiotemporelle des différents antagonistes naturels. Trois parasitoïdes oophages, et deux parasitoïdes larvo-nymphals sont impliqués dans la régulation de la processionnaire du pin. L'activité de ces espèces augmente avec les niveaux de populations. Le dénombrement de nids d'hiver a permis d'évaluer les niveaux de populations larvaires et de retracer le profil de leur progression. Les niveaux de populations larvaires sont significativement élevés dans les sites d'altitude prospectés. La progression altitudinale de la processionnaire du pin est concrétisée par l'abondance des pontes et des nids d'hiver dans la cédraie pure. Ces déplacements de la processionnaire vers les hautes altitudes qui sont favorisés par les conditions climatiques ont tendance à augmenter les foyers d'infestation et les capacités de dispersion du ravageur. L'analyse de données recueillies a permis de synthétiser l'évolution de la gradation de *T.pityocampa* dans la cédraie de l'Atlas blideen. La phase de progradation de la processionnaire du pin dans la cédraie de Chréa est antérieure à 2010. Le pic de culmination est atteint en 2012. Les niveaux de populations ont relativement régressé à partir de 2013, mais la densité reste écologiquement significative.

**Les mots clés :** Processionnaire, Cèdre de l'Atlas, Gradation, Atlas blideen.

# Ecological research and spatio-temporal distribution of pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff in the blidean Atlas area

---

## **Abstract.**

This study concerns the spatial and temporal distribution of *T.pityocampa* populations in the cedar forest of blidean Atlas. It's focuses on three aspects: the behavioral traits of the insect and its dynamics through multi-year monitoring of the populations life cycle during periods 2010 -2014, ecological factors involved in the natural regulation and potential of dispersion tracing the dynamics of infestations in the Chr ea Cedar Forest. Interannual fluctuations show a cyclical nature which characterized by spread intervals. The altitudinal population distribution is heterogeneous. The density of processionary moth is low in high stations, but the number of egg batches mark abundance compared to other sites. The variation noted in the measurements of the male adults and larvae show the underlying effect of the host plant and its spatial structure. The hatching rate is related to the population density and the available resources. The number of egg remains high and maintained around the mean during all the infestation phases. The impact of the natural regulation of the pine processionary is more significant after the episodes of outbreaks. Ecological valence of parasitic complex is impacted by interference resulting from the coexistence of different spatial and temporal natural antagonists. Three egg parasitoids and two larvo-nymphals parasitoids are involved in the pine processionary regulation. The activity of these species increases with population levels.

The enumeration of winter nests has allowed assessing the levels of larval populations and traces the profile of their progress. Levels of larval populations are significantly higher in altitude prospected sites. The progression of the altitudinal pine processionary is materialized by the abundance of egg batches and winter nests in altitudinal cedar forest. These processionary movements to high altitudes that are favored by the climatic conditions will increase the infestation and the pest abilities dispersal. The multi-annual analysis of data has allowed synthesizing the evolution of the *T.pityocampa* infestation in the cedar forest of blidean Atlas. The progradation phase of the pine processionary moth in the Chr ea cedar forest is prior to 2010. The peak of culmination is reached in 2012. The population levels have regressed relatively from 2013, but the density remains ecologically high.

**Key words:** Processionary pine, Atlas cedar, Gradation, Atlas blidean.