

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

Département De Biotechnologie

THÈSE DE DOCTORAT

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Biopesticides et gestion phytosanitaire

LES POPULATIONS DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN
(*THAUMETOPOEA PITYOCAMPA SHIFF*, LEPIDOPTERE :
THAUMETOPOEIDAE) DANS LA FRANGE LITTORALE OUEST
ALGERIENNE : INCIDENCE DES ESSENCES FORESTIÈRES ET DU
PARASITISME.

Par

Khaled BOUZAR – ESSAIDI

Devant le jury composé de :

Mr. S.A. SNOUSSI	Professeur, U. S.D. Blida1	Président
Mr. F. BOUNACEUR	Professeur, C U Tissemsilt	Examineur
M ^{me} N. CHEBOUTI MEZIOU	Professeur, U. M.B. Boumèrdes	Examineur
M ^{me} R. BELGUENDOZ	Docteur, MCA, U. S.D. Blida1	Examineur
M ^{me} F. MARNICHE	Professeur, ENSV El-Harrach Alger	Examineur
M ^{me} L. ALLAL BENFEKIH	Professeur, U. S.D. Blida1	Directeur de thèse

Blida, Septembre 2021

RESUME

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est le principal insecte défoliateur des pins et du cèdre dans le pourtour méditerranéen. Il est particulièrement nécessaire de veiller à maintenir la biodiversité des auxiliaires, organismes indispensables à l'équilibre écologique des populations du ravageur.

Notre étude est menée sur 450 pontes de *T. pityocampa* en provenance des régions à pin d'Alep et de cèdre, réparties dans les peuplements forestiers de la wilaya de Tipaza, Ain-Defla et de Parc national de Theniet El-Had wilaya de Tissemsilt, où cinq stations ont été choisies dans chaque région, et de chaque station, trente pontes ont été examinées où il ressort que les espèces hyménoptères *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae* sont les plus actives alors que *Trichogramma embryophagum* est plus rare.

L'analyse descriptive des longueurs des pontes de la processionnaire sur les pinèdes a montré une signification plus conséquente ($3,16 \pm 0,31$) que celles des pontes récoltées en cédraies, les longueurs des pontes mesurées exposées du côté sud des stations étudiées sont un peu longues par rapport aux autres stations. Les pontes en provenance des 15 sites prospectés révèlent un nombre total de 87908 œufs, avec une moyenne de 195 ± 2.4 œufs par ponte. Le taux de parasitisme calculé est très différents entre les stations prospectées, soit un taux de 11,60 % dans les populations échantillonnées. Ainsi que le taux de parasitisme global de chaque espèce de parasitoïde embryonnaire était de 8,7% pour *B. servadeii* et de 3,6% pour *O. pityocampae*. Le parasitisme de *B. servadeii* a dépassé celui d'*O. pityocampae* dans 13 des 15 sites forestiers étudiés. Les taux de parasitisme différaient significativement entre les trois régions, Ces taux étaient plus élevés à Tipaza ($15,8\% \pm 0,2$), comparativement à ceux de la cédraie de Theniet El-Had, ($13,3\% \pm 0,2$) et à ceux enregistrés dans les pinèdes de Ain-Defla, ($7,6\% \pm 0,1$).

Sur la base des résultats obtenus, une lutte alternative à base de l'espèce *Ooencyrtus pityocampa* s'avère très nécessaire.

Mots clés : Processionnaire du Pin, Ponte, Parasitoïdes, Pin d'Alep, cèdre.

ABSTRACT

The pine processionary, *T. pityocampa* is the main insect defoliator of pines and cedars around the Mediterranean. It is particularly necessary to take care to maintain the biodiversity of the auxiliaries, organisms essential to the ecological balance of the populations of the pest.

Our study is carried out on 450 eggs mass *T. pityocampa* from the Aleppo pine and cedar regions, distributed in forest stands of the wilaya of Tipaza, Ain-Defla and the National Park of Theniet El-Had wilaya of Tissemsilt, where five stations were chosen in each region, and from each station, thirty eggs mass were examined where it emerges that the hymenoptera species *Baryscapus servadeii* and *Ooencyrtus pityocampae* are the most active while *Trichogramma embryophagum* is rarer.

The descriptive analysis of the egg-laying lengths of the processionary on the Aleppo pine showed a more consistent significance (3.16 ± 0.31) than those of the egg-laying collected in cedar groves, the lengths of the egg-laying measured exposed on the south side of the stations studied are a bit long compared to the other stations. The eggs mass from the 15 sites surveyed revealed a total number of 87908 eggs, with an average of 195 ± 2.4 eggs per egg mass. The calculated parasitism rate is very different between the stations surveyed, ie a rate of 11.60% in the populations sampled. As well as the overall parasitism rate of each species of embryonic parasitoid was 8.7% for *B. servadeii* and 3.6% for *O. pityocampae*. The parasitism of *B. servadeii* has exceeded that of *O. pityocampae* in 13 of the 15 forest sites studied. The parasitism rates differed significantly between the three regions. These rates were higher in Tipaza ($15.8\% \pm 0.2$), compared to those of the cedar grove of Theniet El-Had, ($13.3\% \pm 0.2$) and those recorded in the pine forests of Ain-Defla, ($7.6\% \pm 0.1$).

Based on the results obtained, an alternative control based on the species *Ooencyrtus pityocampa* is very necessary.

Key words: Pine processionary, eggs mass, Parasitoids, Aleppo pine, cedar.

ملخص

موكب الصنوبر ، *Thaumetopoea pityocampa* ، هو المسبب الرئيسي للحشرات في اضرار أشجار الصنوبر والأرز حول البحر الأبيض المتوسط. من الضروري بشكل خاص الاهتمام بالحفاظ على التنوع البيولوجي للمساعدات ، الكائنات الحية الضرورية للتوازن البيئي لمجموعات الآفة.

اجريت دراستنا على 450 كتلة البيض *T. pityocampa* من مناطق الصنوبر والأرز الحلبي ، موزعة في المناطق غابات بولاية تيبازة وعين الدفلة والمنتزه الوطني بثنية الحد بولاية تيسمسيلت ، حيث تم اختيار خمس محطات في كل منطقة ، ومن كل محطة ، تم فحص ثلاثين كتلة البيض حيث تبين أن أنواع غشاء البكارة *Baryscapus servadeii* و *Ooencyrtus pityocampa* هي الأكثر نشاطاً بينما *Trichogramma embryophagum* نادرة.

اظهر التحليل الوصفي لأطوال كتلة البيض لموكب دودة الجرارة على صنوبر الحلبي دلالة أكثر اتساقاً ($3,16 \pm 0,31$) من تلك الخاصة بوضع كتلة البيض الذي تم جمعه في بساتين الأرز ، حيث تم قياس أطوال كتلة البيض المكشوفة على الجانب الجنوبي من المحطات المدروسة طويل قليلاً مقارنة بالمحطات الأخرى. كشفت كتلة البيض من 15 موقعاً تم مسحها عن إجمالي عدد 87908 بيضة، بمتوسط 195 ± 2.4 بيضة لكل كتلة بيضة. وكذلك كان معدل التطفل الإجمالي لكل نوع من الطفيليات الجنينية 8.7% ل *B. servadeii* و 3.6% ل *O. pityocampae*. تجاوز تطفل *B. servadeii* التطفل على *O. pityocampae* في 13 من أصل 15 موقعاً للغابات تمت دراستها. اختلفت معدلات التطفل بشكل كبير بين المناطق الثلاث ، حيث كانت هذه المعدلات أعلى في تيبازة (15.8 ± 0.2) ، مقارنة بمثلياتها في المنتزه الوطني أرز ثنية الحد (13.3 ± 0.2) وتلك المسجلة في غابات الصنوبر عين الدفلة (7.6 ± 0.1). يختلف معدل التطفل المحسوب بشكل كبير بين المحطات التي تم مسحها اي 11,60% في التجمعات التي تم أخذ عينات منها.

بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها ، فإن التحكم البديل القائم على الأنواع *O. pityocampa* ضروري للغاية.

الكلمات المفتاحية: دودة الجرارة لصنوبر ، كتلة البيض ، طفيليات ، صنوبر الحلبي ، الأرز

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui m'a comblé de ses bienfaits et m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude et mes plus vifs remerciements respectueux à ma promotrice M^{me} **Allal-Benfekih L**, Professeur à l'université Saad Dahleb de Blida, pour m'avoir accepté et dirigé ce modeste travail de Doctorat, pour ses conseils, ses orientations et ses encouragements.

Je tiens également à présenter mes sincères remerciements à M^r **S.A. Snoussi**, Professeur à l'université Saad Dahleb de BLIDA, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Mes remerciements s'adressent à M^r. **F. Bounaceur**, Professeur à l'université de Tissemsilt, M^{me} **N. Chebouti Meziou**, Professeur à l'université de Boumerdès, M^{me} **R. Belguendouz** Docteur à l'université Saad Dahleb de BLIDA et M^{me} **F. Marniche**, Professeur à l'école nationale supérieure de Vétérinaire d'El-Harrach-Alger- qui m'ont honoré par leur participation au jury et de juger ce travail.

Ma profonde gratitude et ma reconnaissance vont à M^{me} **Manuela Branco** professeur à l'Université Lisbonne (Portugal) et M^r **Andrea Battisti** professeur à l'Université Padova (Italie) pour l'intérêt qu'ils ont accordé à ce travail, leurs orientations et leurs discussions qui m'ont beaucoup intéressé dans ma démarche scientifique.

Je remercie ainsi M^r **G. Chakali**, Professeur à l'école nationale supérieure Agronomique El-Harrach-Alger- pour son aide et ses conseils.

J'adresse mes remerciements également à M^r le professeur **M. Zamoum** et M^r **M. Gachi** de l'INRF-Alger- pour avoir mis à ma disposition une documentation très intéressante.

Je remercie ainsi, M^r **A. Merouche** docteur à l'Université de khemis-Miliana pour son aide et ses conseils.

Je voudrais également remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail, telles que les responsables de la conservation des forêts de Tipaza et Ain-Defla ainsi que les responsables du parc national de Theniet El-Had.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A La mémoire de mon père qui n'a pas eu le temps d'apprécier ce travail, que dieu le tout puissant lui accorde sa sainte miséricorde et l'accueillir dans son vaste paradis – inchaAllah -

A ma mère à laquelle je témoigne toute ma reconnaissance pour son sacrifice et son encouragement durant mes études qu'Allah la protège ;

A ma femme pour son soutien morale tout au long de la préparation de ce mémoire, qu'Allah la protège et la garde à ses enfants et à la famille ;

A mes enfants qui ont su se comporter dans les moments pénibles de la rédaction de ce travail ; qu'Allah les protèges et leur promet les jours meilleurs ;

Et enfin, à tous mes amis(es) et mes collègues et toutes les personnes qui me connaissent de près ou de loin.

KHALED BOUZAR ESSAIDI

TABLE DES MATIÈRES

RESUME

ABSTRACT

ملخص

REMERCIEMENTS

DEDICACES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE.....	17
Chapitre 1 : La processionnaire du pin (<i>Thaumetopoea pityocampa schiff</i>) : principal ravageur des pins et des cèdres.....	21
1.1. Aperçu historique des espèces du genre <i>Thaumetopoea</i>	21
1.2. Position systématique.....	22
1.3. Aire de répartition de <i>T. pityocampae</i>	23
1.4. Plantes hôtes et stratégie du choix.....	25
1.5. Cycle biologique.....	26
1.5.1. Phase aérienne.....	27
1.5.1.1. Stade adulte.....	27
1.5.1.2. La ponte.....	29
1.5.1.3. Développement larvaire.....	30
1.5.1.4. Structure du nid d'hiver.....	32
1.5.1.5. Les processions et leur évolution.....	33
1.5.2. Phase souterraine.....	34
1.5.2.1. La nymphose.....	34
1.5.2.2. La diapause.....	35
1.6. Facteurs influençant le développement de la processionnaire du Pin.....	35
1.6.1. Facteurs abiotiques.....	36
1.6.1.1. Ensoleillement et photopériode.....	36
1.6.1.2. Température.....	36
1.6.1.3. Altitude et latitude.....	37
1.6.2. Facteurs biotiques - Ennemis naturels	38

CHAPITRE 2 : Données générales sur les plantes hôtes : <i>Pinus halepensis</i> Miller et <i>Cedrus atlantica</i> Manetti	40
2.1. le Pin d'Alep.....	40
2.1.1. Systématique du Pin d'Alep.....	40
2.1.2. Caractéristiques botaniques et dendrologiques.....	41
2.1.3. Caractéristiques écologiques du Pin d'Alep.....	42
2.1.4. Associations du pin d'Alep.....	42
2.1.5. Répartition géographique.....	43
2.1.5.1. Dans le monde.....	43
2.1.5.2. En Algérie.....	44
2.1.6. Les ennemis du pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	45
2.1.6.1. Les incendies.....	45
2.1.6.2. Les maladies du pin d'Alep.....	45
2.2. le cèdre de l'Atlas.....	46
2.2.1. Historique et Position taxonomique.....	46
2.2.2. Caractéristiques botaniques et dendrologiques.....	47
2.2.3. Caractéristiques écologiques.....	48
2.2.4. Importance économique	48
2.2.5. Aire de répartition et superficie	49
2.2.6. Les ennemis du cèdre de l'Atlas <i>Cedrus atlantica</i> Manetti.....	50
2.2.6.1. Les Incendies.....	50
2.2.6.2. Les maladies du cèdre de l'Atlas.....	50
Chapitre 3 : Matériels et méthodes	51
3.1. Présentation des régions d'étude.....	51
3.1.1. Région de Tipaza.....	51
3.1.1.1. Situation géographique.....	51
3.1.1.2. Répartition des superficies forestières par essence.....	52
3.1.2. Région d'Ain-Defla.....	53
3.1.2.1. Situation géographique.....	53
3.1.2.2. Répartition des superficies forestières par essence.....	53
3.1.3. Parc national de Theniet El-Had.....	54
3.1.3.1. Situation géographique.....	54
3.1.3.2. Diversité floristique de parc national de Theniet El-Had.....	55

3.2. Caractéristiques climatiques des régions d'études.....	57
3.2.1. La pluviométrie.....	57
3.2.2. Les températures.....	58
3.2.3. Diagramme Ombrothermique.....	59
3.2.4. Climagramme d'Emberger.....	60
3.3. Présentation des sites d'étude.....	61
3.3.1. Sites étudiés dans la région de Tipaza.....	61
3.3.2. Sites étudiés dans la région d'Aïn-Defla.....	63
3.3.3. Sites étudiés dans la cédraie du PN de Théniet El-Had.....	64
3.3.4. Autres sites d'étude considérés.....	66
3.4. Méthodologie d'étude sur le terrain.....	67
3.4.1. Captures des papillons dans la région de Tipaza..	67
3.4.2. Échantillonnage des pontes	69
3.4.3. Échantillonnage des nids.....	69
3.4.4. Etude de la végétation associée aux pinèdes étudiées de la région de Tipaza.....	70
3.5. Méthodologie au laboratoire.....	70
3.5.1. Dénombrement des catégories d'œufs de <i>T. pytiocampa</i>	70
3.5.2. Etude de l'émergence et de la longévité des parasitoïdes embryonnaires.....	71
3.5.3. Etude des parasitoïdes larvaires de la processionnaire du Pin dans la région de Tipaza en 2018.....	71
3.6. Paramètres étudiés et méthodes d'analyse.....	72
3.6.1. Analyse de la composition floristique des sites forestiers de Tipaza en 2017- 2018.....	72
3.6.2. Analyse spatiale de l'occupation des sols dans les régions d'étude.....	72
3.6.3. Analyses statistiques.....	74
3.6.3.1. Analyses descriptives et test post-hoc.....	74
3.6.3.2. Analyses de la fécondité et du parasitisme par l'utilisation des Modèles linéaires généralisés.....	75
Chapitre 4 : Résultats.....	77
4.1. Activité de la processionnaire du pin dans les pinèdes de Tipaza en 2017-2018	77
4.1.1. Analyse de la végétation des stations forestières étudiées.....	77
4.1.2. Captures des papillons et périodes d'émergence.....	81

4.1.3. Niveaux d'infestation et distribution des nids.....	82
4.1.4. Développement larvaire de la processionnaire du pin en 2017-2018.....	83
4.1.5. Cycle interprétatif de la processionnaire dans la région de Tipaza en 2017-2018.....	86
4.2. Analyse des pontes de la processionnaire dans les trois régions d'étude durant la période 2017-2019.....	87
4.2.1. Analyse des effectifs des pontes.....	87
4.2.2. Analyse des longueurs des pontes.....	90
4.2.3. Analyse des catégories d'œufs.....	92
4.2.3.1. Analyse des œufs éclos.....	92
4.2.3.2. Analyse des œufs non éclos.....	93
4.2.3.3. Analyse des œufs parasités.....	94
4.3. Analyse du Parasitisme embryonnaire.....	98
4.3.1. Taux de parasitisme embryonnaire global.....	99
4.3.2. Effet des facteurs stationnels sur le taux de parasitisme.....	101
4.3.3. Relation entre le parasitisme et le couvert forestier.....	103
4.3.5. Chronologie des émergences des parasitoïdes embryonnaires	105
4.3.5.1. Suivi et analyse des émergences de <i>Baryscapus servadeii</i> à partir des pontes provenant des trois régions d'étude.....	105
4.3.5.2. Suivi et analyse des émergences d' <i>Ooencyrtus pityocampae</i> à partir des pontes provenant des trois régions d'étude.....	109
4.3.5.3. Analyse comparée des émergences des deux espèces de parasitoïdes à partir des pontes provenant des trois régions d'étude.....	113
4.3.5.3.1. Région de Tipaza.....	113
4.3.5.3.2. Région d'Ain-Defla.....	113
4.3.5.3.3. Région de Theniet El-Had.....	114
4.3.6. Longévité de <i>Baryscapus servadeii</i> et <i>Ooencyrtus pityocampae</i> dans la région de Tipaza.....	114
4.3.6.1. <i>Baryscapus servadeii</i>	114
4.3.6.2. <i>Ooencyrtus pityocampae</i>	115
4.4. Analyse du Parasitisme larvaire dans la région de Tipaza.....	116
4.4.1. Espèces et effectifs des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes récoltées dans les pinèdes de la région de Tipaza.....	116

4.4.2. Variation temporelle et comparaison des effectifs des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes récoltées de chaque station.....	120
4.4.2.1 <i>Villa brunnea</i> Becker (1916) (Dipt., Bombyliidae).....	121
4.4.2.2 <i>Phryxe caudata</i> Rondani (1859) (Dipt., Tachinidae).....	122
Chapitre 5 : Discussion	124
5.1. Activité de la processionnaire du pin sur la frange littorale de Tipaza.....	124
5.2. Impact du parasitisme embryonnaire.....	126
5.3. Diversité des parasitoïdes larvaires recueillies de la région de Tipaza.....	132
Conclusion générale et perspectives	135
Références bibliographiques	138
Annexe	157

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Aire de répartition de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> et <i>Thaumetopoea wilkinsoni</i> en relation avec leurs plantes hôtes.....	24
Figure 1.2	Distribution géographique des clades de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> / <i>Thaumetopoea wilkinsoni</i>	25
Figure 1.3	Cycle biologique moyen de la processionnaire du pin.....	27
Figure 1.4	Différence de taille des adultes de papillons (1 = femelle et 2 = mâle) de <i>T. pityocampa</i> émergés dans les conditions expérimentales (Originale, 2018).....	28
Figure 1.5	Accouplement des papillons de processionnaires du pin et femelle déposant ses œufs à la base des aiguilles.....	29
Figure 1.6	Pontes de la processionnaire du pin (a) sur pin d'Alep, forêt de Sidi-Rached, 2017 (b) sur le cèdre de l'Atlas, parc national de Theniet El-Had, 2019. (Originale).....	30
Figure 1.7	Les différents stades larvaires de la processionnaire de pin <i>T. pityocampa</i> forêt de Sidi Rached, Tipaza - (Originale, 2017/2018).....	32
Figure 1.8	(a) Structure du nid d'hiver sur pin d'Alep, forêt de Kolea sud. (Originale 2018). (b) Structure du nid d'hiver sur le cèdre de l'Atlas parc national de Theniet El-Had (Originale 2020).....	33
Figure 1.9	Chenilles processionnaires du pin (<i>T. pityocampa</i>) en « procession » (Originale, 2018).....	34
Figure 1.10	Fin de la procession et début d'enfouissement en forêt de Sidi-Rached - Tipaza- (Originale, 2018).....	34
Figure 1.11	(a) Chrysalide femelle et (b) Chrysalide mâle extraites de leur cocon (Originale, 2018).....	35
Figure 1.12	Disparités géographiques du cycle de la processionnaire du pin DEMOLIN (1969).....	38
Figure 1.13	La chrysalide de la Processionnaire du pin (<i>T. pityocampa</i>) parasitée par le champignon : <i>Cordyceps militaris</i> (Originale 2018).....	40
Figure 2.1	Forêt du Pin d'Alep : (a) Kolea Nord et (b) Sidi-Rached (Originale, 2017)...	41
Figure 2.2	Aire de répartition de pin d'Alep dans la région méditerranéenne.....	44
Figure 2.3	Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie.....	45

Figure 2.4	Peuplement de <i>cedrus atlantica</i> du parc national de Theniet El Had (Originale, 2019).....	47
Figure 2.5	Aire de distribution du cèdre de l'Atlas.....	50
Figure 3.1	Situation géographique de la wilaya de Tipaza (Google Earth, 2019).....	52
Figure 3.2	Situation géographique de la wilaya d'Ain-Defla (Google earth, 2019).....	53
Figure 3.3a	Localisation géographique du parc national de Theniet El-Had.....	54
Figure 3.3b	Situation géographique du parc national de Theniet El-Had (Google earth, 2020).	55
Figure 3.4.	Variation des moyennes des précipitations mensuelles des régions étudiées.....	58
Figure 3.5	Variations mensuelles des températures moyennes des régions étudiées...	59
Figure 3.6.	Diagramme ombrothermique de Gaussen des régions étudiées.....	59
Figure 3.7.	Localisation des régions étudiées (Tipaza, Ain-Defla et Theniet El-Had) dans le Climagramme d'Emberger.....	60
Figure 3.8.	Localisation des stations prospectées dans la région de Tipaza. Echelle: 1/400000.....	62
Figure 3.9	Forêts de pin d'Alep étudiées dans la région de Tipaza (Originale, 2017).	62
Figure 3.10	Localisation des stations forestières prospectées à travers la wilaya d'Ain-Defla (Google earth, 2019). Echelle: 1/400000.....	63
Figure 3.11	Forêts de pin d'Alep étudiées dans la région d'Ain-Defla (Originale, 2018)	64
Figure 3.12	Localisation des stations étudiées dans le parc national de Theniet El-Had (Google earth, 2019).....	65
Figure 3.13	Forêt du cèdre de l'Atlas du Parc national de Theniet El-Had (Original, 2020).....	65
Figure 3.14	Localisation globale des sites d'échantillonnage dans le nord algérien (les symboles en triangles : verts - Tipaza, jaunes - Ain-Defla, bleus - Theniet El-Had, représentent respectivement les données personnelles en 2017-2019 et en cercles les données de Bouchou en 2012).....	67
Figure 3.15	Pose des pièges à phéromone pour le piégeage des papillons de <i>T. pityocampa</i> sur les sites d'étude de la région de Tipaza (Originale, 2017)...	68
Figure 3.16	Illustration de la délimitation des types d'occupation des sols, dans la zone tampon de 300 m, [imagerie mondiale ArcGis (a) site de Tipaza (région de Tipaza), (b) Site de Djebel Doui (région Ain-Defla), (c) site Nord Haut (région de Theniet El-Had)].....	74

Figure 4.1a.	Analyse totale des relevés floristiques en fonction des espèces par AFC dans les différentes stations étudiées.....	79
Figure 4.1b.	Projection des variables espèces de plantes rencontrées dans les pinèdes étudiées, sur le plan d'ordination de la DCA (Detrended Correspondance Analysis) et Classification hiérarchique (CAH).....	80
Figure 4.2	Variabilité des captures des papillons de <i>T. pityocampa</i> dans les différentes stations forestières étudiées.....	81
Figure 4.3	Courbe cumulative des émergences des papillons de <i>T. pityocampa</i> dans les stations forestières de la région de Tipaza en 2017.....	82
Figure 4.4	Distribution moyenne des nids de la processionnaire dans la région de Tipaza, (S : exposition sud, N : exposition nord).....	82
Figure 4.5	Variabilité du taux d'infestation dans les différentes stations forestières étudiées.....	83
Figure 4.6	Phénologie larvaire de la processionnaire du pin dans les pineraies de la région de Tipaza selon l'exposition.....	84
Figure 4.7	Variabilité comparée des périodes larvaires de <i>T. pityocampa</i> dans les pinèdes étudiées de la région de Tipaza selon leur exposition.....	86
Figure 4.8	Cycle interprétatif moyen de <i>T. pityocampa</i> dans les pinèdes étudiées dans la région de Tipaza en 2017/2018.....	87
Figure 4.9	Manchons de ponte avec Œufs éclos, œufs non éclos et œufs parasités (Originale, 2017, forêt de Tipaza).....	92
Figure 4.10	Pourcentages des catégories d'œufs de <i>T. pityocampae</i> dans les 15 sites forestiers étudiés.....	97
Figure 4.11	<i>B. servadeii</i> Domenichini (Originale, 2017 forêt Tipaza).....	98
Figure 4.12	<i>O. pityocampae</i> Mercet (Originale, 2017 forêt Tipaza).....	99
Figure 4.13	Taux de parasitisme des deux espèces de parasitoïdes oophages dans les sites d'étude de 2017 à 2019.....	100
Figure 4.14	Relation entre le pourcentage de parasitisme par <i>B. servadeii</i> et la densité des nids, exprimée en nombre moyen de nids par arbre (n = 15 sites, données 2017-2019).....	102
Figure 4.15	Relation entre le taux de parasitisme par <i>O. pityocampae</i> et le couvert forestier (cercles noirs n = 27: sites échantillonnés en 2017-2019, triangles n=12 : sites étudiés par Bouchou, [29]). Les données ont été ajustées par un modèle exponentiel,	104

avec l'équation $y = 0,685 e^{0,016x}$; $R^2 = 0,278$, $P = 0,005$

Figure 4.16	Courbes cumulatives et chronologie des émergences de <i>B. servadeii</i> dans la région de Tipaza en 2017.....	106
Figure 4.17	Courbes cumulatives et chronologie des émergences de <i>B. servadeii</i> dans la région d'Aïn-Defla en 2018.....	107
Figure 4.18	Courbes cumulatives et chronologie des émergences de <i>B. servadeii</i> dans la région du PN de Theniet El Had en 2019.....	108
Figure 4.19	Courbes cumulatives et chronologie des émergences d' <i>O. pityocampae</i> dans la région Tipaza en 2017.....	110
Figure 4.20	Courbes cumulatives et chronologie des émergences d' <i>O. pityocampae</i> dans la région d'Ain-Defla en 2018.....	111
Figure 4.21	Courbes cumulatives et chronologie des émergences d' <i>O. pityocampae</i> dans la région du PN de Theniet El Had en 2019.....	112
Figure 4.22	Longévité du parasitoïde <i>B. servadeii</i> dans les stations étudiées de la région de Tipaza.....	115
Figure 4.23	Représentation de la longévité du parasitoïde <i>O. pityocampae</i> par station..	116
Figure 4.24	Adultes de <i>Villa brunnea</i> observées en conditions expérimentales (Originale, 2018).....	117
Figure 4.25	Individus de la 1 ^{ère} génération de <i>Phryxe caudata</i> déposant leurs œufs sur le tégument des jeunes chenilles L2 de la processionnaire (forêt de Sidi-Rached, Tipaza-) (Originale, 2017).....	117
Figure 4.26	Individus de la 2 ^{ème} génération de <i>Phryxe caudata</i> parasitant les chenilles âgées de la processionnaire du pin dans la forêt de Sidi-Rached, Tipaza- (Originale, 2018).	118
Figure 4.27	Chrysalides de la processionnaire et adultes de la 1 ^{ère} génération de <i>Phryxe caudata</i> en 2018, dans les conditions expérimentales (Originale, 2018).....	118
Figure 4.28	Parasitoïdes adultes Phoridae en conditions expérimentales (Originale, 2018).....	119
Figure 4.29	Variation du nombre global des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes en provenance de chaque pinède étudiée dans la région de Tipaza en 2018.....	120
Figure 4.30	Variation temporelle des effectifs des parasitoïdes larvaires de <i>T.</i>	120

	<i>pityocampa</i> émergés en conditions expérimentales.....	
Tableau 1.1	Les ennemis naturels de la processionnaire du pin.....	39
Tableau 2.1	Répartition du pin d'Alep dans quelques pays méditerranéens.....	44
Tableau 3.1	Répartition des superficies forestières par essence dans la région de Tipaza.....	52
Tableau 3.2	Répartition des superficies forestières par essence dans la région Ain- Defla.....	54
Tableau 3.3	Paramètres descriptifs des stations d'étude de la région de Tipaza.....	63
Tableau 3.4	Paramètres descriptifs des stations d'étude de la région d'Ain-Defla.	64
Tableau 3.5	Paramètres descriptifs des stations d'étude dans la cédraie du PN de Theniet El-Had.....	66
Tableau 3.6	Principales caractéristiques environnementales des sites étudiés en 2012 par BOUCHOU [29] (les hauteurs des arbres n'étaient pas disponibles).....	66
Tableau 4.1	Description floristique des pinèdes étudiées dans la région de Tipaza.....	77
Tableau 4.2	ANOVA de l'effectif des papillons mâles capturés par station.....	81
Tableau 4.3	Intervalles des périodes larvaires de la processionnaire dans la région de Tipaza.....	85
Tableau 4.4	Durées respectives (en jours) des périodes larvaires de la processionnaire dans les stations forestières étudiées.....	86
Tableau 4.5	Analyse descriptive des effectifs des œufs dans les différents sites d'étude (moyennes et écartypes, les lettres entre parenthèses représentent des groupes homogènes différents).....	88
Tableau 4.6	Analyse de variance de l'effectif total des œufs.....	89
Tableau 4.7	Analyse descriptive des longueurs des pontes de la processionnaire du pin au niveau des sites et des régions d'étude, (moyennes et écartypes, les lettres entre parenthèses représentent des groupes homogènes différents, ni=30; N=450).....	90
Tableau 4.8	Analyse de variance comparant les longueurs des pontes mesurées dans les sites étudiées.....	91
Tableau 4.9	ANOVA de la comparaison des moyennes des œufs éclos de la processionnaire entre les stations étudiées.....	93
Tableau 4.10	ANOVA de la comparaison des moyennes des œufs non éclos de la processionnaire entre les stations étudiées.....	94

Tableau 4.11	ANOVA de la comparaison des moyennes des œufs parasités de la processionnaire entre les stations étudiées.....	95
Tableau 4.12	Analyse descriptive des catégories d'œufs observés au niveau des pontes collectées des pinèdes et cédraies étudiées (moyennes et écartypes + lettres représentant des groupes homogènes différents).....	96
Tableau 4.13	Effet du facteur site (région) sur l'abondance totale des parasitoïdes de chaque espèce (GLM avec distribution binômiale négative, la fécondité a été utilisé comme covariable).....	101
Tableau 4.14	Résultats de la relation entre le parasitisme moyen par site (n = 15), l'orientation et la pente topographiques (effets fixes) (modèle mixte linéaire généralisé, avec distribution gaussienne Les données sur le parasitisme ont été transformées en log).....	102
Tableau 4.15	Couverture d'occupation du sol (%) dans les régions étudiées (Moyenne et (écart-type), (nSU): Nombre total de parcelles d'utilisation des terres contribuant à chaque type d'utilisation des terres dans chaque région).....	103
Tableau 4.16	Effet du couvert forestier sur le parasitisme moyen par <i>B. servadeii</i> ou <i>O. pityocampae</i> (GLM, distribution gaussienne, le facteur sondage (enquête) a été considéré pour différencier entre les deux périodes d'échantillonnage, au niveau des sites étudiés par Bouchou (2015) (n = 12) et nos relevés personnels (2017-2019) (n = 15).).....	104
Tableau 4.17	Test des échantillons appariés entre <i>B. servadeii</i> et <i>O. pityocampae</i> dans chaque station de la région de Tipaza.....	113
Tableau 4.18	Test des échantillons appariés entre <i>B. servadeii</i> (<i>Br</i>) et <i>Oo. pityocampae</i> (<i>Oo</i>) dans chaque station dans la région d'Ain-Defla.....	113
Tableau 4.19	Test des échantillons appariés entre <i>B. servadeii</i> (<i>Br</i>) et <i>O. pityocampae</i> (<i>Oo</i>) dans chaque station de la cédraie de Theniet El-Had (C : centre, NH : nord haut, NB : nord bas, SH : sud haut, SB : sud bas).....	114
Tableau 4.20	Nombre des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes en provenance de chaque station.....	119
Tableau 4.21	Analyse descriptive des effectifs du parasitoïde larvaire <i>Villa brunnea</i>	121
Tableau 4.22	ANOVA Analyse de variance de l'effectif des parasitoïdes larvaires totaux de <i>Villa brunnea</i>	121
Tableau 4.23	Analyse descriptive des effectifs du parasitoïde larvaire <i>Phryxe caudata</i>	122
Tableau 4.24	ANOVA Analyse de variance de l'effectif des parasitoïdes larvaires totaux de <i>Phryxe caudata</i>	122

INTRODUCTION GENERALE

La superficie forestière des pays méditerranéens représente environ deux pour cent de la surface forestière mondiale soit 4 033 millions d'hectares, dont plus de 50 pour cent sont concentrés en Espagne, en France et en Turquie [1].

La forêt algérienne, élément de cet ensemble, a un intérêt essentiel dans l'équilibre écologique, climatique et socio-économique des régions rurales en particulier et du pays en général. Sa répartition géographique joue un rôle très déterminant dans la protection de la nature contre les phénomènes d'érosion et de la désertification [2].

Au nord de l'Algérie, les formations forestières occupent 10%, environ 250 000 km², de la superficie totale du pays. Les forêts et maquis couvrent 4,1 millions d'hectares avec un taux de boisement de 16,4%. L'essence prédominante est le pin d'Alep qui occupe 881 000 ha et se rencontre principalement dans les zones semi arides [3].

La préservation du patrimoine forestier contre les insectes nuisibles en particulier les attaques parasitaires, bien que cycliques, constitue une menace majeure pour les peuplements forestiers, causant parfois des dégâts impressionnants en l'absence de traitement adéquat.

Parmi les parasites menaçant les forêts Algériennes, la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera; Thaumetopoeidae, demeure le parasite le plus dévastateur touchant les peuplements résineux du genre *Pinus* et *Cedrus* également dans tout le bassin méditerranéen [4, 5, 6, 7]. Ses pullulations sont temporaires avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements, [8,9, 10.]

Bien implantée autour du bassin méditerranéen, la processionnaire se propage depuis la fin du 20^e siècle vers le nord de l'Europe et à des altitudes de plus en plus élevées, du fait du réchauffement climatique [11,12, 13].

Ce ravageur est particulièrement caractéristique par ses nids d'hiver et les poils urticants des larves qui sont responsables de dermatites chez l'homme et les animaux [7, 14, 15] et qui leur permettent de se protéger contre les prédateurs [16] et de survivre aux contraintes climatiques [17]. Les larves se nourrissent des aiguilles

de plusieurs espèces de pins et de cèdres. Elles provoquent ainsi un ralentissement de la croissance et un affaiblissement des arbres qui deviennent plus vulnérables aux maladies et aux autres ravageurs forestiers, xylophages notamment [18].

En fonction d'un biotope donné, le cycle biologique de la processionnaire du Pin s'effectue en deux phases distinctes. La première phase est aérienne. Elle se caractérise par les vols des papillons émergeant durant l'été et le développement larvaire des chenilles qui s'effectue entre le début de l'automne et le début du printemps. Le cycle larvaire se termine par les processions de nymphose. La seconde phase est souterraine et se caractérise par la transformation des chenilles en chrysalides dans le sol, pouvant y rester en diapause une ou plusieurs années [19, 20, 21].

L'aire de répartition de cet insecte s'étend sur une grande partie du territoire de l'Algérie, du Nord du pays jusqu'au barrage vert au sud [22]. Depuis l'indépendance, l'accroissement des reboisements en pin d'Alep, a entraîné une prolifération de la processionnaire du pin, mettant en danger les jeunes reboisements.

Les données sur les pontes de la processionnaire du Pin restent le facteur déterminant de l'état de l'infestation et de l'évolution de la gradation au cours du temps. La connaissance de la qualité de la structure des nids d'hiver est primordiale pour comprendre les facteurs essentiels de survie des colonies de chenilles. En effet, en plus de l'effet de masse, le nid d'hiver permet une compensation thermique au cours de la saison hivernale [23]. Aussi, les nids d'hiver et les rythmes de maturation des chenilles et des émergences des adultes ont-ils des effets directs sur l'incidence spatio-temporelle des ennemis naturels notamment celle des parasitoïdes et des micro-organismes pathogènes.

Dans le cadre de la protection des forêts, diverses méthodes sont conduites, particulièrement la lutte chimique qui reste toujours discutable malgré son efficacité [24]. Or, l'utilisation des parasites et prédateurs naturels de la chenille processionnaire du pin peut être envisagée comme un moyen de lutte respectueux de l'environnement et de la biodiversité. Le cortège auxiliaire de *T. pityocampa* est en effet réparti en diverses catégories : insectes, oiseaux, chauve-souris, champignons, virus, bactéries, ... agissant à tous les stades de développement du ravageur, ce qui explique en partie l'abandon progressif des traitements chimiques qui détruisent ce cortège d'ennemis naturels, Martin et Pesme-Glemin [25].

De nombreuses espèces d'insectes parasitoïdes parasitent les œufs, larves et chrysalides de la processionnaire [27], mais les parasitoïdes embryonnaires surtout sont les principaux régulateurs des populations de *T. pityocampa*, LEBLOND [28], deux espèces oophages majeures *Baryscapus servadeii* (Domenichini) (Hymenoptera, Eulophidae) et *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) (Hymenoptera, Encyrtidae), ont été largement trouvées, parasitant les œufs de la processionnaire à l'échelle du bassin méditerranéen.

Les études en Algérie sur l'écologie et les étapes de développement de ce ravageur ont été réalisées par KHEMICI et *al.* [30] en 1988 ; KERRIS et *al.* [31] en 1987. Des travaux ciblant plus l'impact de la régulation naturelle sur le ravageur par les auxiliaires hyménoptères parasitoïdes ont été particulièrement entrepris en forêts naturelles et les reboisements au niveau de pinèdes et cédraies algériennes ([9], [32], [33], [34], [35], [29]).

Les régions prospectées ont concerné le plus fréquemment la zone du semi-aride algérien près de Djelfa et la zone d'altitude dans le subhumide Centre et Est. La zone de l'ouest Algérien a été comparativement moins étudiée à notre sens, à l'exception de quelques stations étudiées par Bouchou (2015) au niveau de l'extrême Ouest à Tlemcen et au niveau de Cherchell à Tipaza.

La présente thèse porte sur l'étude de l'incidence parasitaire et celle des essences forestières sur la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* dans la frange littorale Ouest Algérienne. Notre étude a été effectuée dans trois régions différentes au niveau de stations à pin d'Alep et de cèdre répartis différemment selon l'altitude et l'exposition dans les peuplements forestiers des régions de Tipaza, Ain-Defla et Tissemsilt. Dans ce contexte, les objectifs de ce travail mené de 2017 à 2019, sont de répondre aux hypothèses suivantes :

- i). La phénologie larvaire et le cycle de la processionnaire varient selon l'exposition des stations forestières.
- ii). Les parasitoïdes embryonnaires ont des activités de parasitisme différents dépendantes des facteurs stationnels qui limiteraient leurs émergences et la qualité du parasitisme.
- iii). Le paysage forestier environnant les sites d'étude pourrait avoir un effet conséquent sur le parasitisme et sur les parasitoïdes embryonnaires.

iv) Le parasitisme larvaire serait conséquent selon le site forestier et les espèces de parasitoïdes larvaires disponibles.

Le document de ce travail de thèse s'articule autour de 5 chapitres à savoir :

Le premier et le second chapitre portent d'une part sur des généralités sur la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* schiff) : principal ravageur des pins et des cèdres ; et d'autre part sur des données générales relatives aux plantes hôtes de la processionnaire : *Pinus halepensis* Miller et *Cedrus atlantica* Manetti ;

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des régions et aux sites forestiers étudiés. La méthodologie d'étude est expliquée en rapport avec les observations réalisées sur le terrain et dans les conditions de laboratoire, les paramètres étudiés sont présentés avec les analyses utilisées.

L'ensemble des résultats obtenus est contenu dans le quatrième chapitre ; à savoir :

Activité de la processionnaire du pin dans les pinèdes de Tipaza en 2017 ;

Analyse des pontes de la processionnaire dans les trois régions d'étude durant la période 2017-2019 ;

Analyse du Parasitisme embryonnaire ;

Analyse du Parasitisme larvaire dans la région de Tipaza ;

Enfin le cinquième chapitre concerne la discussion générale des résultats obtenus dans cette étude. Nous avons terminé par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE 1

LA PROCESSIONNAIRE DU PIN (*THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* SCHIFF) : PRINCIPAL RAVAGEUR DES PINS ET DES CÈDRES

Introduction :

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est un lépidoptère originaire du bassin méditerranéen, principalement connu pour le mouvement des chenilles en procession, ainsi que pour les nids blancs qu'elles tissent en hiver, est le principal insecte défoliateur des pins et des cèdres, dans un milieu forestier. Ces défoliations se traduisent essentiellement par une fragilisation des arbres et un ralentissement de leur croissance.

1.1. Aperçu historique des processionnaires du genre *Thaumetopoea* :

L'historique du genre *Thaumetopoea* a été relaté par DEMOLIN [36], suite aux explosions démographiques de ce défoliateur dans la cédraie de Belezma en 1982. Cet auteur émet l'hypothèse d'une même origine du groupe des processionnaires d'été (*T. bonjeani*, *T. pinivora* et *T. libanotica*) qui se développent sur le cèdre et l'espèce *T. processionae* du chêne, ainsi que le groupe des processionnaires d'hiver (*T. pityocampa* et *T. wilkinsoni*) qui se développent sur plusieurs espèces de pin et de cèdre.

Cette hypothèse se base d'une part sur la similitude du comportement et de la morphologie des espèces des deux groupes de processionnaires, mais aussi sur la complémentarité entre leurs deux aires de répartition en relation avec celle des espèces du genre *Cedrus* et *Pinus*. Les deux groupes se sont séparés il y a fort longtemps, par la mise en jeu ou la suppression d'une diapause pendant la phase œuf.

Pendant la période de glaciation maximale, les processionnaires d'été, ont dû se développer sur une aire plus étendue couvrant tout le bassin méditerranéen actuel. Lors du recul des glaciers, elles se seraient repliées pour survivre vers le nord de l'Europe et en altitude, dans les parties méridionales de leur aire de répartition, et en haute altitude dans les pays du Maghreb et le Liban [36].

Cette isolation génétique de plus ou moins longue durée, en particulier dans les zones d'altitude, a provoqué l'apparition de nouvelles espèces.

Les processionnaires d'hiver occupent une aire de répartition qui se serait rétrécie vers le sud Est de l'Europe et en Afrique du Nord.

Puis, lors du recul des glaciers, l'aire de répartition se serait de nouveau étendue à partir de ces deux foyers vers l'Europe à partir de l'Afrique et vers la Turquie à partir du Moyen-Orient. La vague de l'ouest serait devenue *T. pityocampa* et la vague de l'Est *T. wilkinsoni*. Grâce à leurs nids d'hiver ces espèces ont gagné les biotopes d'altitude, particulièrement dans les zones Sud de l'aire de répartition, et ont retrouvé ainsi les processionnaires d'été vivant sur le cèdre en Afrique et en Asie. Leur progression fut ensuite limitée vers le nord par manque d'ensoleillement.

DEMOLIN et al, 1994 [37] supposent qu'il ne s'agirait que de deux espèces uniquement, une espèce regroupant les processionnaires d'été et l'autre pour les espèces d'hiver. SALVATO et al, 2002 [38] mentionnent que *T. pityocampa* et *T. wilkinsoni* ont la même origine et se sont séparées avant les périodes glaciaires du quaternaire. De nombreux travaux ont appréhendé l'analyse du matériel génétique des différentes espèces de processionnaires (SIMONATO, M., MENDEL, Z., KERDELHUE, C., ROUSSELET, J., MAGNOUX, E., SALVATO, P., ROQUES, A., BATTISTI, A. & ZANE, L., 2007 [39]) ; (SANTOS, H., ROUSSELET, J., MAGNOUX, E., PAIVA, M.R., BRANCO, M. & KERDELHUE, C., 2007 [40]) ; (KERDELHUÉ C., L. ZANE, M. SIMONATO, P. SALVATO, J. ROUSSELET, A. ROQUES & A. BATTISTI, 2009 [41]), pour l'élaboration de la carte phylogéographique. Les ressemblances morphologiques et comportementales qui existent entre les différentes espèces, ne cessent de susciter toutefois de nouvelles investigations [42].

1.2. Position systématique :

La famille des *Thaumetopoeidae* est constituée d'un seul genre *Thaumetopoea*, créé par Hubner en 1822, et neuf (9) espèces de processionnaires qui vivent dans la région méditerranéenne AGENJO, [43] : *T. pityocampa* (Schiff), *T. solitaria* (Freyer), *T. processionea* (Linneo), *T. bonjeani* (Powell), *T. pinivora* (Treitschke), *T. herculeana* (Rambur), *T. jordana* (Staudinger), *T. wilkinsoni* (Tams), et *T. cheela* (Moore) qui est décrite en Inde [44].

Parmi ces processionnaires, cinq espèces sont citées actuellement pouvant s'attaquer aux cèdres. Trois d'entre elles, *T. bonjeani* (Powell), *T. libanotica* (Kiriakoff

et Talouk) et *T. solitaria* (Freyer) appartiennent aux processionnaires d'été, elles effectuent leur développement larvaire durant le printemps jusqu'au début de l'été. Les deux autres, *T. pityocampa* (Schiff) et *T. wilkinsoni* (Tams) qui s'attaquent aux genres *Pinus* et *Cedrus*, appartiennent aux processionnaires d'hiver, elles effectuent leur développement de la fin de l'été jusqu'au printemps suivant.

La processionnaire du pin (Pine processionary moth en anglais), *Thaumetopoea* (*thaumeto* = vénérer, *poea* = herbe) *pityocampa* (*campa* = chenille, *pityo* = pin) [26], a été signalée depuis plus de deux cents ans et décrite pour la première fois par Denis et Schiffermüller en 1776 dans le genre *Bombyx*.

La processionnaire fait partie de la Classe des Insecta, de l'Ordre des Lepidoptera, de la Famille des Thaumetopoeidae, de la sous famille des Thaumetopeinae, Genre *Thaumetopoea* et Espèce *T. pityocampa*

Stephens, fit passer en 1928 toutes les espèces du genre *Thaumetopoea* dans le genre *Cnethocampa*, qu'il a placé dans la famille des *Notodontidae* [43].

Enfin, de récentes études ont été conduites afin de caractériser l'évolution phylogénétique des différentes espèces et leurs caractéristiques cladistiques [45].

1.3. Aire de répartition de *T. pityocampa* :

La processionnaire du pin fait partie d'un complexe d'espèces [33] réparti sur l'ensemble du bassin méditerranéen jusqu'en façade atlantique: de l'Europe centrale et méridionale jusqu'en Afrique du nord et au Proche-Orient, (Fig.1.1). Elle atteint, en France, la limite nord de son aire d'extension et en Algérie, le barrage vert est sa limite sud. DEMOLIN et al, [13] expliquent que la progression de l'insecte vers le Nord de la France entre 1969 et 1996 serait due au réchauffement climatique global observé depuis le début des années 70 en Europe du Nord. GOUSSARD et al, [46], et HODAR et al, [47] ont également confirmée cette progression en altitude de l'espèce. L'existence et l'intensité de ses dommages dépendent extrêmement des caractéristiques climatiques locales (température et ensoleillement). Les facteurs climatiques (gel, chaleur...), la présence de prédateurs et parasites, ainsi que la quantité et la qualité des ressources alimentaires (qui conditionnent notamment la fécondité des femelles) participent ainsi aux importantes variations de niveaux de populations appelées « gradations » [26].

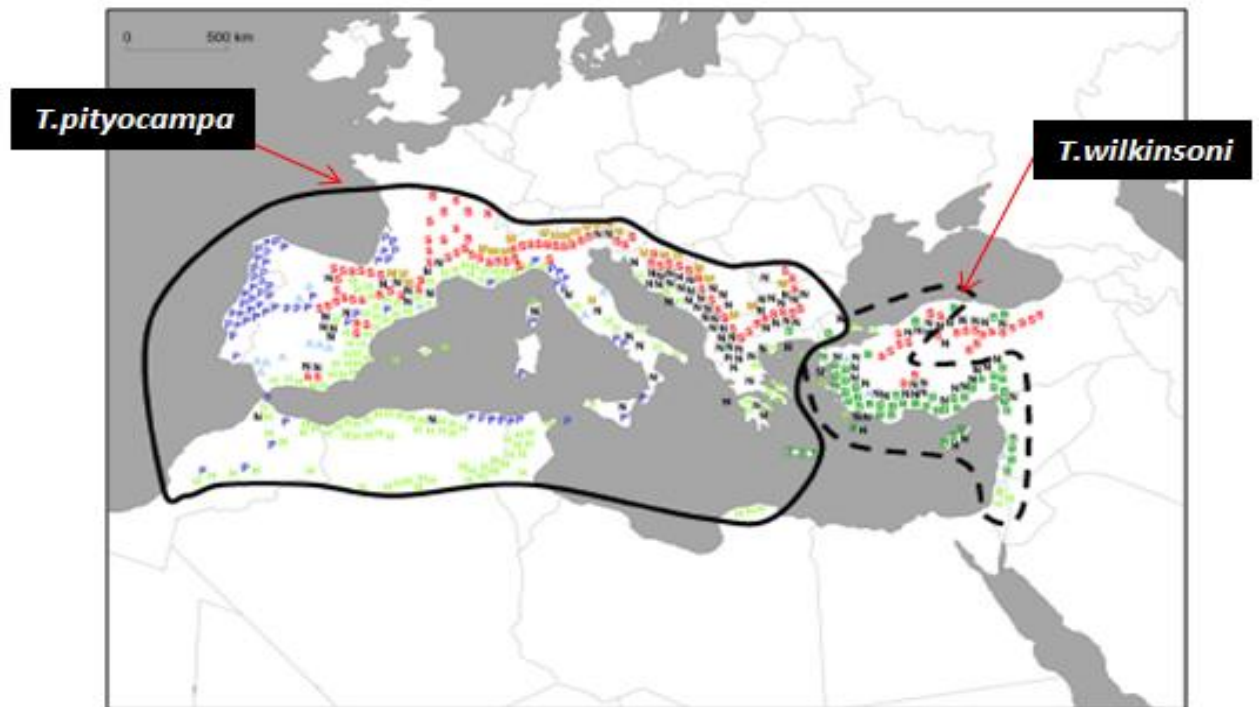


Figure 1.1: Aire de répartition de *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea wilkinsoni* en relation avec leurs plantes hôtes [41]

Les principales processionnaires forestières se répartissent comme suit :

- la processionnaire du chêne *T. processionea*, en Europe et au Moyen Orient, sauf à l'extrême nord ;
- la processionnaire du pin *T. pityocampa*, en Europe, au Moyen Orient et en Afrique du Nord ;
- l'espèce *T. wilkinsoni*, vit sur *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* et *Pinus canariensis* ; au Moyen Orient
- l'espèce *T. pinivora* vit sur *Pinus sylvestris* surtout dans le nord de l'Europe ;
- la processionnaire du cèdre *T. bonjeani*, est endémique au Nord de l'Algérie et au Maroc.

Les études de la structure phylogéographique du complexe d'espèces du genre *Thaumetopoea* ont permis de déterminer trois clades majeurs fortement différenciés sur l'ensemble du pourtour méditerranéen, KERDELHUE *et al* [41]. Le clade *pityocampa* est 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), Le clade *wilkinsoni* regroupe les populations de Chypre, Turquie, Liban, et le clade ENA

(Eastern-North –Africa).comprend les individus d'une partie de l'Algérie, de Tunisie et de Libye, et ne correspond à aucune entité taxonomique connue.

Plus précisément, du point de vue de la structuration spatiale, le clade *pityocampa* est formé de 5 sous-clades (Sud Maroc, Nord Maroc, Corse, Péninsule Ibérique, et le reste de l'Europe), le clade *wilkinsoni* contient 4 sous-clades (Crête, Chypre, Est-Turquie et Ouest-Turquie) et le clade ENA en contient 3 (Algérie, Tunisie et Libye), (Fig1.2), [41].

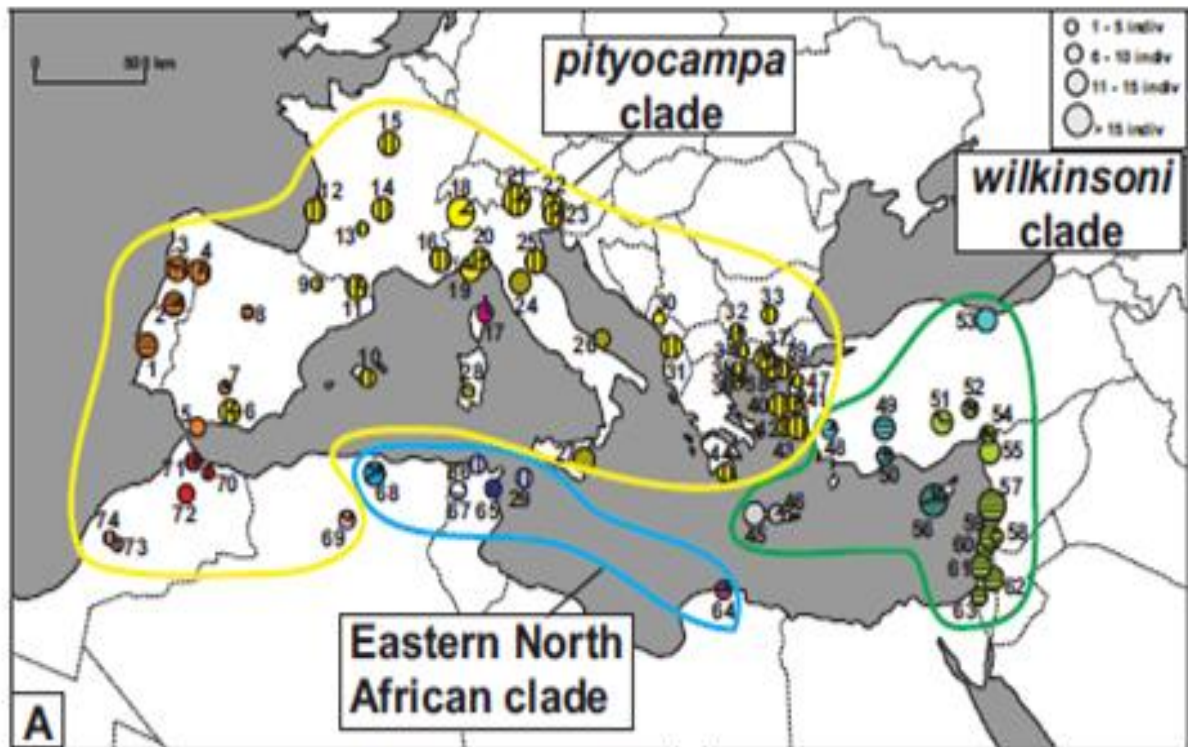


Figure 1.2: Distribution géographique des clades de *Thaumetopoea pityocampa* / *Thaumetopoea wilkinsoni* [41]

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. A la suite d'un recul important des glaciations, une forte variabilité intraspécifique apparue à la suite d'isolements forcés de plusieurs populations, repliées en altitude, ou à une latitude plus nordique, les obligent de s'inféoder soit au cèdre (Afrique du nord) soit au pin (Europe) [37].

1.4. Plantes hôtes et stratégie de choix :

La processionnaire du pin, se nourrit des aiguilles d'une diversité d'essences de pins et de cèdres. Ses plantes hôtes préférées sont comme suit [48]:

- Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *Nigricans* Host) ;
- Pin Laricio de Corse (*Pinus nigra* subsp. *Laricio* Poiret) ;
- Pin Laricio Sulzmann (*Pinus nigra* subsp. *Clusiana* Clem.) ;
- Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) ;
- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) ;
- Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) ;
- Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) ;
- Cèdre du Liban (*Cedrus libani* Richard.) ;
- Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) ;
- Sapin (*Abies concolor* Lindl).

Le choix de l'hôte dépend de la présence de substances volatiles émanant des tissus des aiguilles, comme le limonène [49]. Il est aussi lié au critère relationnel entre la ponte de la femelle et le diamètre des aiguilles choisies [7]. Au cours de l'émission des œufs, la femelle peut différencier entre les diverses espèces d'arbres ; les supports rugueux sont les plus prisés car ils offrent la possibilité d'une attache optimale des griffes de la femelle. De plus, des paramètres physico-chimiques (taux de nitrogène) de l'essence hôte peuvent influencer le développement des larves et même leur survie [50]. Le taux de survie des chenilles est supérieur sur *Pinus sylvestris* et *Pinus nigra* à celui du *Pinus pinaster* et *Pinus halepensis* (Montoya, 1984).

1.5. Cycle biologique :

La processionnaire du pin *T. pityocampa* est une espèce monovoltine, Le cycle de développement est généralement annuel mais il peut durer jusqu'à cinq ans selon les conditions environnementales. Celui-ci est, en effet, sensible à la température et à l'insolation. Il existe donc de fortes variations de dates de déclenchement des stades selon l'altitude et la latitude [48].

Le cycle comprend deux phases à deux strates différentes de l'écosystème: l'une aérienne sur l'arbre (évolution larvaire en cinq stades), l'autre souterraine (prénymphose et nymphose) [51]. Les différentes écophases de son évolution sont synthétisées et illustrées dans la figure 1.3.

températures [53]. L'heure d'émergence semble varier en fonction de la pression atmosphérique journalière. Les imagos se libèrent de leur cocon grâce à des crêtes sclérifiées situées sur leur tête permettent de trouser l'enveloppe de la chrysalide, et de faire une sortie. Les mâles apparaissent avant les femelles (environ une demi-heure) [48]. Généralement, la sex-ratio est équilibrée entre les mâles et les femelles.

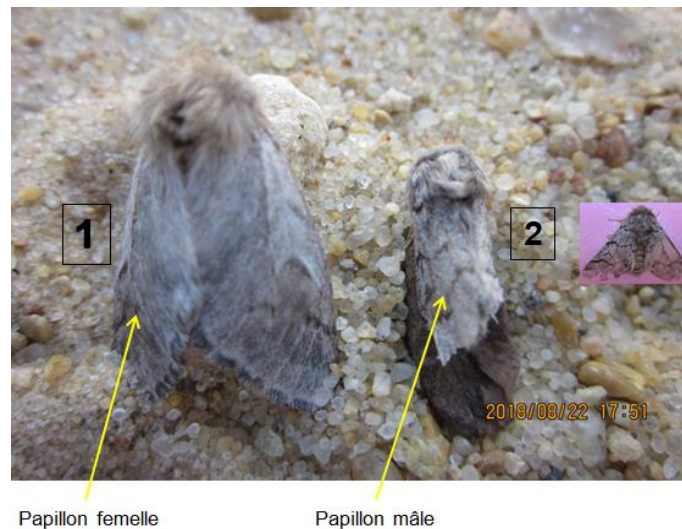


Figure 1.4 : Différence de taille des adultes de papillons (1 = femelle et 2 = mâle) de *Thaumetopoea pityocampa* émergés dans les conditions expérimentales (Originale, 2018).

- Morphologie :

Morphologiquement, les deux sexes se ressemblent notamment par leurs ailes de couleur gris-blanchâtre. Les mâles se distinguent néanmoins des femelles par leur taille plus petite (figure 1.4). 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 pectinées chez le mâle. Les deux sexes ont un thorax poilu. L'abdomen des mâles est velu et pointu.

- Accouplement :

Les papillons sont nocturnes et éphémères (un à deux jours). Le mâle peut voler jusqu'à 50 kilomètres et la femelle ne dépasse pas une distance de 3 à 4 kilomètres [48]. À la nuit tombée, 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 appelée la « pityolure » [54]. Quant aux mâles, ils s'envolent à la recherche des femelles. Une fois la pityolure émise, les

mâles trouvent rapidement les femelles, et l'accouplement peut avoir lieu. Il dure à peu près une heure. Ensuite, les deux papillons se séparent. Les mâles meurent quelques jours plus tard.



Figure 1.5: Accouplement des papillons de processionnaires du pin et femelle déposant ses œufs à la base des aiguilles [48]

1.5.1.2. La ponte :

Les femelles fécondées s'envolent et choisissent un arbre pour pondre pendant une durée de trois ou quatre heures [55]. La femelle rassemble deux ou plusieurs aiguilles à l'extrémité d'un rameau pour déposer ses œufs en forme d'un manchon de 1 à 5 centimètres de long, contenant entre 70 et 220 œufs protégés par des écailles de couleur beige-clair de l'abdomen maternel [7]. En l'absence de site favorable, elle pourra parcourir plusieurs kilomètres en effectuant un vol à une vitesse de l'ordre de 10 à 15 Km/h pour conquérir d'autres territoires [56]. Ceci facilite l'extension rapide du foyer d'infestation. De nombreuses causes, notamment la densité et la qualité des aiguilles, peuvent intervenir et entraîner la malformation des pontes [7]. Les manchons de pontes sont de couleur gris argenté à brun jaunâtre, brillants (Fig.1.6). L'œuf a une forme sphérique, et de couleur blanche. L'embryogenèse dure de 30 à 45 jours [7].



Figure 1.6: Pontes de la processionnaire du pin **(a)** sur pin d'Alep, forêt de Sidi-Rached, 2017 **(b)** sur le cèdre de l'Atlas, parc national de Theniet El-Had, 2019.
(Originale)

1.5.1.3. Développement larvaire :

Au cours de son évolution, la processionnaire effectue son développement en cinq stades larvaires (Fig. 1.7), différenciables selon la quantité de soies (poils), la taille de la chenille (en longueur et en diamètre) et la largeur de sa capsule céphalique. Les chenilles du premier stade éclosent, selon les régions, trente à quarante-cinq jours après la ponte, de fin juillet au début d'octobre,

A ce stade, deux périodes distinctes sont notées: la période ambulatoire allant de l'éclosion aux premiers froids, et la période du « nid d'hiver » durant laquelle les chenilles restent à un emplacement jusqu'au dernier stade et le départ en procession de nymphose à la recherche d'un site favorable à leur enfouissement.

Après l'éclosion, les chenilles de stade L1 (Fig.1.7) sont de couleur jaune. Leurs soies ornementales dorsales sont noires, tandis que leurs soies latérales sont blanches et plus longues. Leur capsule céphalique, noire, est déjà volumineuse [48]. Les chenilles restent groupées en colonie d'importance variable tout au long de leur évolution, ce grégarisme étant essentiel à leur survie. Les chenilles dévorent partiellement le limbe des aiguilles situées à proximité de la ponte : celles-ci forment de petits bouquets ébouriffés de couleur jaune paille puis rousse. Elles commencent à se déplacer la nuit pour s'alimenter pouvant aussi changer de lieu de regroupement. Elles partent se nourrir en procession. Des fils de soies écrêtés

depuis leur sortie du nid leur permettent de retrouver facilement celui-ci. Cette alimentation nocturne est réglée sur la période d'obscurité [57]. Mais, dans des cas exceptionnels, comme la surpopulation ou des températures nocturnes trop froides, l'alimentation peut se faire pendant la période diurne [57].

Les L1 s'éloignent progressivement de leur lieu d'éclosion, en abandonnant les légers nids temporaires qu'elles ont tissés. Les chenilles deviennent rousses à deuxième stade larvaire (stade L2) (Fig.1.7). Le nombre de soies latérales augmente significativement. Ce phénomène s'amplifie encore au troisième stade larvaire (L3) et s'accompagne de l'apparition de poils urticants, localisés à la face dorsale de certains segments abdominaux. L'appareil urticant continue à se développer au cours des deux stades suivants L4 et L5. Dès les premiers froids, généralement à la fin du troisième stade larvaire, les chenilles confectionnent leur nid définitif, plus épais et mieux structuré, après avoir cherché la position la mieux exposée au soleil (fig. 1.8). La colonie bénéficie ainsi d'un véritable radiateur solaire, de plus, le nid est en mesure de jouer un rôle d'abri et de protection pour les chenilles contre l'action des différents ennemis naturels dont les parasitoïdes et autres.

Au stade L5, les chenilles mesurent quatre à cinq centimètres (Fig.1.7) [48]. A chaque changement de stade larvaire, les chenilles entrent dans une période de mue où elles cessent de s'alimenter. À la fin du cinquième stade larvaire, les chenilles quittent l'arbre en procession et cherchent un endroit au sol suffisamment chaud et meuble pour s'enfouir à quelques centimètres de profondeur pour se nymphoser dans un cocon en une chrysalide diapausante [58].

La durée des stades larvaires est dépendante du climat. Plus l'hiver sera de longue durée, plus la vitesse d'évolution est diminuée principalement au quatrième stade. Dans les cas les plus favorables, l'évolution larvaire s'effectue de 4 à 5 mois au minimum. En haute altitude elle peut s'étendre entre 9 à 10 mois [58].



Figure 1.7 : Les différents stades larvaires de la processionnaire de pin *T. pityocampa* forêt de Sidi Rached, Tipaza - (Originale, 2017/2018).

1.5.1.4. Structure du nid d'hiver :

Dès que les chenilles choisissent l'emplacement de la construction du nid, ce lieu reste l'endroit définitif à la colonie. D'après GACHI. [56] dès que les températures automnales baissent, les chenilles, tissent sur les extrémités des branches exposées au soleil, une bourse de soie volumineuse appelée le nid d'hiver. Les chenilles quittent le nid durant la nuit, pour s'alimenter à partir des aiguilles de pins avoisinantes. Les conditions dans le nid permettent aux chenilles le passage au quatrième puis au cinquième stade larvaire [51]. Ce nid est plus ou moins piriforme, de 10 à 15 cm de diamètre, se prolongeant jusqu'à 30 cm vers le bas. Il comprend deux enveloppes superposées, une interne d'épaisseur importante et une externe plus lâche, qui a un rôle de superstructure, sans aucun orifice de sortie. Les chenilles se faufilent à travers les mailles du tissage pour entrer ou sortir. Elles ne sortent que la nuit pour s'alimenter en se déplaçant en procession suivant un fil de soie et

réintègrent les bourses pendant la journée. Les crottes s'accumulent à la partie inférieure. Le nid représente un facteur essentiel de survie pour les colonies de chenilles, car il permet non seulement l'effet de masse mais une compensation thermique [23]: il peut y faire jusqu'à 20°C de plus qu'à l'extérieur (Fig.1.8).



Figure 1.8 :(a) Structure du nid d'hiver sur pin d'Alep, forêt de Kolea sud. (Originale 2018). (b) Structure du nid d'hiver sur le cèdre de l'Atlas parc national de Theniet El-Had (Originale 2020).

1.5.1.5. Les processions et leur évolution :

Les processions de nymphose (Fig.1.9 et 1.10) ont lieu à la fin du cinquième stade larvaire (L_5), le plus souvent dès la mi-février jusqu'au mois d'avril, suivant la rigueur de l'hiver et de l'étage bioclimatique [52]. Les processions n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10° et + 22° C. A des températures inférieures, les chenilles restent groupées à la surface du sol et aux températures supérieures elles s'enterrent si la nature du sol le permet. Par conséquent, si le sol est froid les enfouissements auront lieu surtout au milieu des clairières; mais s'il fait chaud ils pourront se faire en sous-bois et même au pied des arbres [56]. La procession (fig.1.9) est guidée par une chenille qui est le plus souvent une femelle, et se dirige vers la zone la plus éclairée et la plus chaude [55].



Figure 1.9 : Chenilles processionnaires du pin (*T. pityocampa*) en « procession » (Originale, 2018).



Figure 1.10 : Fin de la procession et début d'enfouissement en forêt de Sidi-Rached -Tipaza- (Originale, 2018).

1.5.2. Phase souterraine :

1.5.2.1. La nymphose :

Après l'enfouissement de la colonie à quelques centimètres (de 5 à 20 cm) sous terre, deux semaines plus tard, dans le sol les chenilles tissent autour d'elles un cocon de nymphose et se transforment en chrysalides. On assiste alors à un arrêt complet du développement, c'est la nymphose : la chrysalide complètement formée, entre en diapause obligatoire qui est plus au moins longue suivant les conditions climatiques. Elle est de couleur brun rouge, légèrement brillante (Fig.1.11). 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 [59]. Le taux de diapause prolongée est pratiquement nul en zone méditerranéenne et avoisine 100% dans les montagnes Corses [60]. Cette variabilité est un problème important pour l'organisation de la lutte contre la processionnaire du pin.

La phase souterraine est d'une durée très variable. Certaines nymphes et parfois même la totalité des nymphes peuvent ne pas se transformer en adultes l'année de la nymphose, la nymphose s'étendant alors jusqu'à l'année suivante et parfois au delà [61]. Au bout de quelques mois, chaque chrysalide se métamorphose en papillon. En été, les papillons sortent de la terre et marquent le début d'un autre cycle.

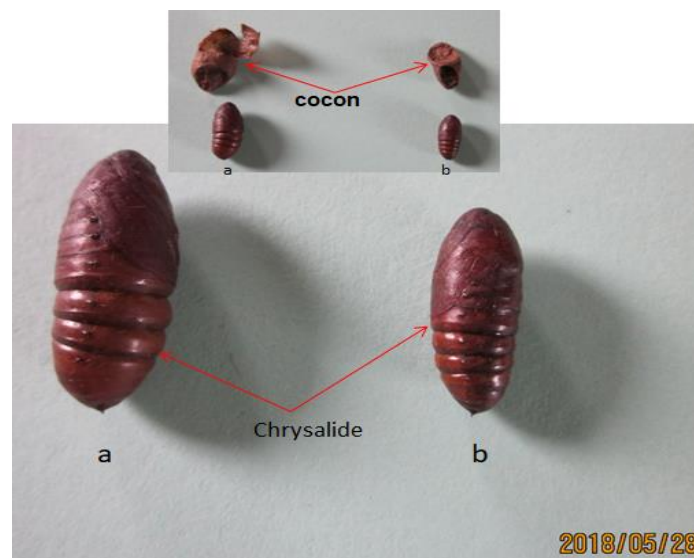


Figure 1.11: (a) Chrysalide femelle et (b) Chrysalide mâle extraites de leur cocon (Originale, 2018)

1.5.2.2. La diapause :

La durée de la diapause est variable; elle s'adapte à celle du développement larvaire, pour que le cycle s'achève sur l'année. En altitude, où les hivers sont particulièrement rigoureux, la durée d'évolution larvaire est plus longue, la diapause sera alors plus courte pour respecter le cycle annuel [51]. Lors de cette période, les chrysalides peuvent résister à de fortes températures (jusqu'à 35-40°C) sans altération [26].

1.6. Facteurs influençant le développement de la processionnaire du Pin :

L'action fondamentale des facteurs climatiques sur la biologie de la processionnaire du pin, et en particulier celle des températures minimales du mois de janvier et de l'insolation annuelle, a été clairement établie par DEMOLIN, qui a

suggéré dès les années 1960 que les gradations de ce ravageur étaient en priorité liées aux facteurs climatiques [55] et [62].

De nombreux facteurs peuvent influencer le cycle de développement de *T. pityocampa* :

1.6.1. Facteurs abiotiques :

1.6.1.1. Ensoleillement et photopériode :

Les chenilles sont capables de s'adapter afin de compenser d'éventuelles variations climatiques, comme l'illustre la construction et l'orientation du nid d'hiver, permettant d'allier l'effet de masse (atténuation de fortes variations de température par regroupement de nombreux individus) et insolation maximale [63]. La chenille processionnaire du pin n'est présente que dans les régions où la durée moyenne d'insolation annuelle est supérieure à 1800 heures. La photopériode joue également un rôle prépondérant dans le cycle de *T. pityocampa*, les chenilles processionnaires s'alimentent la nuit, lorsque les températures sont basses, et se regroupent dans la journée pour digérer [7].

1.6.1.2. Température :

Le développement larvaire hivernal de la processionnaire du pin la rend particulièrement sensible et dépendante des températures à cette période de l'année. Les seuils de températures nécessaires à cette espèce ont été décrits ([11]; [64]; [51]). Selon la taille de la colonie et le stade des chenilles qui la composent, la température létale varie entre -10°C et -16°C [63]. 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 elles peuvent provoquer la mortalité de nombreux individus d'une colonie. À des températures en dessous de -16°C les chenilles meurent.

L'optimum de développement se situe entre 20 et 25°C. Lorsque la température moyenne mensuelle dépasse 25°C, les individus se regroupent en masse afin de ralentir la montée thermique de chaque individu. Les adultes émergeront alors plus tardivement, pour assurer à leur descendance un optimum thermique vital. A l'inverse, plus l'été sera doux en altitude élevée ou latitude nordique par exemple et plus les adultes émergeront précocement. Les individus constituant la colonie peuvent

résister à des températures de -10°C pour les chenilles isolées [7]. Quant aux processions, elles n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10°C et 22°C .

Aux températures inférieures, les chenilles restent groupées à la surface du sol et s'enfouissent aux températures supérieures [7]. Dans les régions où il a 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 [7].

1.6.1.3. Altitude et latitude :

DEMOLIN propose un abaque représentant la date de déclenchement et la durée des différentes phases du cycle en fonction de la latitude ou de l'altitude (Fig.1.12). Cet abaque montre ainsi que plus l'altitude augmente, ou plus la latitude est nordique, plus la température moyenne diminue. La durée du développement larvaire augmente alors, au détriment de la diapause nymphale. Ceci provoque l'augmentation de la durée de développement larvaire et le décalage de la période de vol. En climat océanique, l'évolution larvaire sera plus rapide [7].

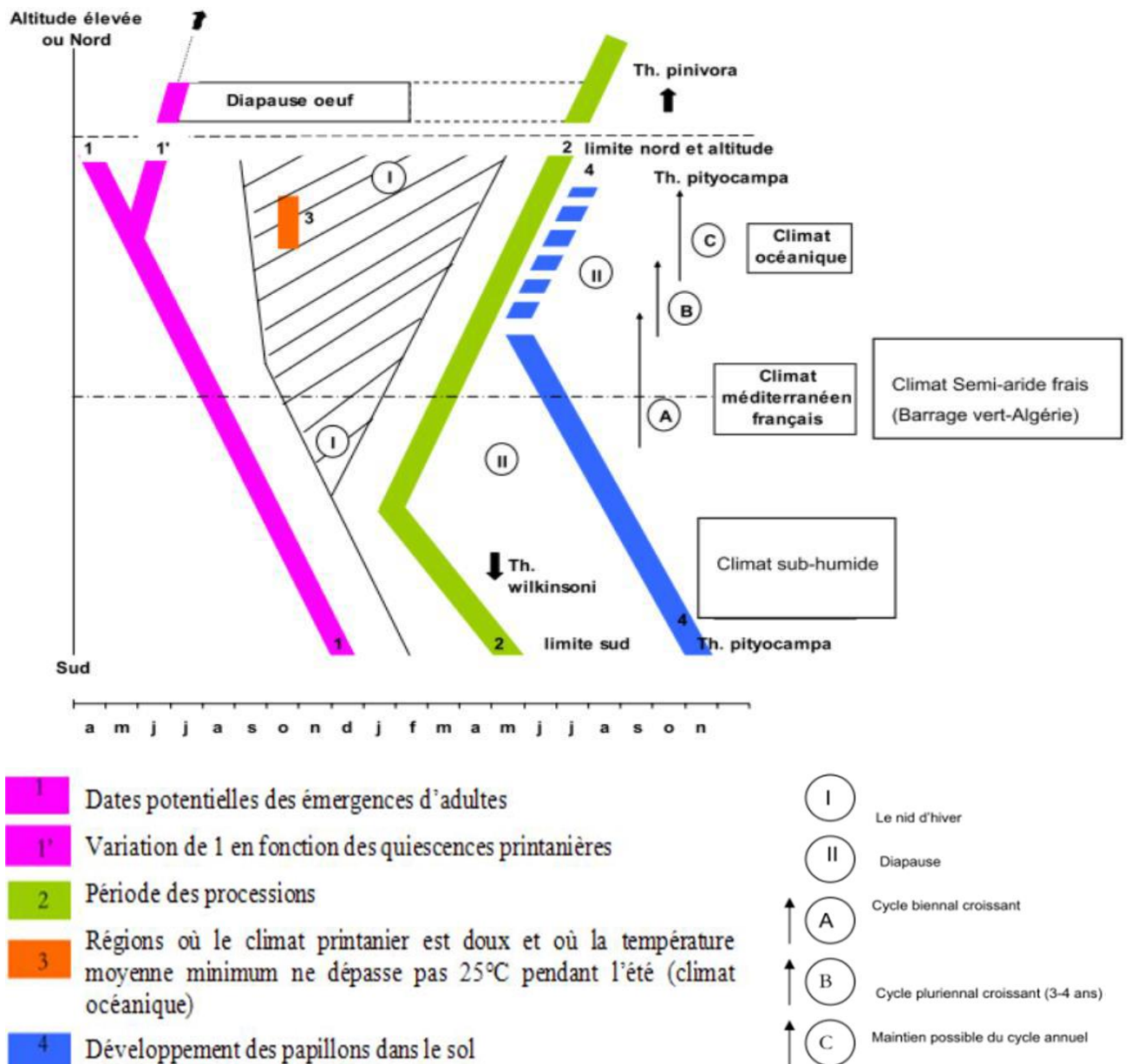


Figure 1.12: Disparités géographiques du cycle de la processionnaire du pin
DEMOLIN (1969).

1.6.2. Facteurs biotiques :

- Ennemis naturels :

BILIOTTI [65] est l'un des premiers auteurs à décrire les ennemis naturels de *T. Pityocampa*. Par la suite, d'autres auteurs (BILIOTTI E., DEMOLIN, G.; DU MERLE, P. (1965) [66] ; CADAHIA D., DEMOLIN G., BILIOTTI E., 1967 [67] ; DEMOLIN G., DELMAS J.C., 1967a [68] ; DEMOLIN, G. 1969a [7] et DU MERLE P., 1969 [69]) ont réalisé des études autour de ses auxiliaires. En Algérie, des données intéressantes

sur les parasitoïdes de la processionnaire du pin en zones semi-arides ont été présentées par ZAMOUM. 1998 [9]. Tout au long des niches écologiques de développement de la processionnaire, de nombreux ennemis naturels (Tableau 1.1) font leur apparition. Il s'agit de prédateurs, de parasitoïdes, de champignons (fig. 1.14) ou de bactéries.

Tableau 1.1 : Les ennemis naturels de la processionnaire du pin [70].

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



Cordyceps militaris

Chrysalide de la P.P

Figure 1.14 : La chrysalide de la Processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) parasitée par le champignon : *Cordyceps militaris* (Originale 2018).

CHAPITRE 2

DONNÉES GENERALES SUR LES PLANTES HÔTES : *PINUS* *HALEPENSIS* MILLER ET *CEDRUS ATLANTICA* MANETTI

Introduction :

Les forêts algériennes sont soumises à des conditions climatiques sévères et irrégulières avec une forte pression humaine et de négligence (surpâturage, exploitation forestière, incendies....), et par des attaques parasitaires. A ce titre, la préservation du patrimoine forestier est très nécessaire. La forêt de pin d'Alep occupe la plus haute superficie d'Algérie, elle est principalement confinée de l'est à l'ouest du pays et la forêt du cèdre de l'Atlas est essentiellement montagnaise se développant à l'étage humide et froid, son architecture en fait l'un des plus beaux arbres d'Afrique du Nord.

2.1. Le pin d'Alep :

2.1.1. Systématique du Pin d'Alep :

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est une espèce forestière rustique, très présente dans la plupart des variantes bioclimatiques du bassin méditerranéen (Pardé, 1957 [71]; Mezali, 2003 [72] Quezel, 1986 [73]). Son amplitude écologique est très vaste (Nahal, 1962 [74]).

Le genre *Pinus* de la famille des Pinacées (Abiétacées) est divisé en 3 sous genres et les sous genres en sections [74]. Le sous genre *Pinus*, caractérisé par un nombre de feuilles variables, un cône ligneux à écailles dures est divisé en 5 sections. C'est la section des Halepensoïdes dans laquelle se trouve le Pin d'Alep.

Le groupe "*halepensis*" du genre *Pinus*, Gaussen [75] représente un des trois groupes de la section «*Halepen-soïdes*», caractérisé par des feuilles à 2 aiguilles et des cônes caducs.

Le pin d'Alep est, en raison de son tempérament très robuste, l'une des essences les plus précieuses de l'Afrique du nord [76]. (Fig. 2.1). Le genre *Pinus* appartient à la famille des Pinacées, il comprend environ 120 espèces qui sont réparties pour la plus part dans l'hémisphère Nord [77]. Selon NAHAL [74], Le pin d'Alep se classe comme suit :

- Embranchement : Gymnospermes.

- Ordre : Coniférales
- Sous ordre : Abietales.
- Famille : Pinaceae.
- Genre : *Pinus*
- Espèce : *Pinus halepensis* Mill.

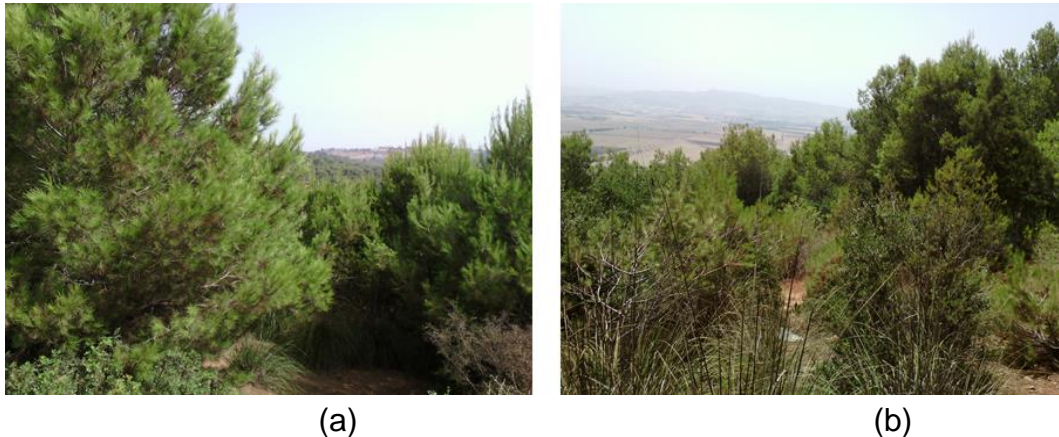


Figure 2.1 : Forêt du Pin d'Alep : (a) Kolea Nord et (b) Sidi-Rached (Originale, 2017)

2.1.2. Caractéristiques botaniques et dendrologiques :

Le pin d'Alep est un arbre toujours vert, vivace, résineux, de deuxième grandeur qui peut, parfois atteindre les 30 mètres de hauteur dans les conditions écologiques les plus favorables, mais dans les situations moyennes, il ne dépasse pas les 20 mètres [78]. L'écorce et le bois contiennent des canaux ou il existe à l'intérieur une substance visqueuse et collante appelée la résine avec une proportion de 3 kg /arbre /an [79]. Il a une écorce lisse de couleur gris argent au début (d'où son nom de pin blanc), puis épaisse et crevassée tournant au rouge brun avec l'âge [80].

Les feuilles ou aiguilles sont fines, longues de 5 à 10 cm, réunies par deux dans la même gaine. Elles donnent un couvert très léger et durent 2 à 3 ans [76]. C'est une Plante à fleurs mâles et femelles séparées (monoïques) situées sur les mêmes individus; elles sont groupées en épis. La floraison a lieu en avril-mai Les fruits sont des cônes que portent un pédoncule assez court et courbé, sont oblongs atténués en pointe et peuvent avoir 11 cm de longueur. Le pin d'Alep fructifie de bonne heure, vers 10 à 12 ans, mais les graines ne sont aptes à germer et suffisamment abondante qu'à partir de 18 à 20 ans [76]. Les écailles montrent un écusson presque plat, muni d'une carène transversale et d'un petit mamelon au centre. Ces cônes persistent plusieurs années sur les rameaux [81]. Les graines abondantes, longues d'environ 5 à 7mm possède une grande aile persistante qui permet une

dissémination rapide, éloignée ainsi que la colonisation de nombreux milieux. Comme tous les résineux, il est très sensible au feu qui favorise entre autre sa dissémination, les cônes éclatent et sont projetés à plusieurs mètres de l'arbre lors des incendies (espèces pyrophiles). Sa longévité est considérable, généralement, elle est limitée à 150ans [82], mais elle peut atteindre 200 ans [83].

Le Pin d'Alep contribue largement à la reforestation des zones dégradées. Dans cette partie, il constitue de véritables forêts climaciques. Il possède aussi une grande affinité avec le Pin brutia avec lequel il peut s'hybrider [84].

2.1.3. Caractéristiques écologiques du Pin d'Alep:

BOUDY (1952) [76], explique que grâce à son tempérament robuste, le pin d'Alep manifeste un grand pouvoir d'expansion, il résiste bien à la sécheresse et aux perturbations. On le trouve depuis le littoral méditerranéen jusqu'au 2200 mètres (Atlas saharien) [76]. Tout en étant d'une plasticité écologique remarquable [85].

Le Pin d'Alep pousse dans des zones où les précipitations annuelles sont comprises entre 200 et 1500 mm [73]. On le rencontre dans des gammes de températures moyennes annuelles allant de 11 à 19 °C, il peut supporter des froids accidentels de -15 à -18 °C, à condition qu'ils restent exceptionnels et de courte durée [74]. C'est dans l'étage semi-aride qu'il est le plus abondant [74]. L'excès d'humidité lui est défavorable et il végète mal au-dessous de 700 et 800mm. C'est l'inverse du cèdre [76].

Sur le plan édaphique, le Pin d'Alep pousse sur des substrats meubles ou friables tels que la marne, le calcaire les schistes ou les micaschistes [86]. La présence de nappes aquifères permanentes qui provoquent l'asphyxie de son système racinaire [87].

2.1.4. Associations du pin d'Alep :

Selon BOUDY [76] le cortège floristique du pin d'Alep est caractérisé par les espèces suivantes : *Juniperus phoenicea*, *Pistacia lentiscus*, *Asparagus acutifolius*, *Clematis cirrhosa*, *Calycotome spinosa*, *Erica multiflora*, *Ampelodesma mauritanica*, *Genista tricuspidata*, *Lavandula stoechas*.

L'étude de KADIK (1984) [82], en Algérie a permis de reconnaître trois régions principales de pin d'Alep:

- a. Littorale et sublittoral : une association des pineraies avec, *Quercetea ilicis*, *Quercus coccifera*, *Helianthemum lavandulaefolium*, *Osyris quadripartita*, *Ceratonia siliqua*, *Juniperus oxycedrus ssp rufescens*, *Colutea arborescens*.
- b. Le tell : présente l'existence de : *Juniperus oxycedrus ssp rufescens*, *Tetraclinis articulata*, et pineraie à *Quercus rotundifolia*.
- c. Subsaharien : la composition floristique des pineraies laisse apparaître une diminution des espèces : *Quercetea ilicis*, *Quercus rotundifolia*, *Juniperus oxycedrus ssp rufescens*, *Olea europea*, *Jasminum fruticans*.

Selon QUEZEL et MEDAIL [88], les forêts du pin d'Alep s'intègrent dans la dynamique des chênaies sclérophylles (*Quercetea ilicis*) et très généralement dans les *Pistacio- Rhamnetalia alaterni*, qui réunissent des groupements héliophiles appartenant presque exclusivement à l'étage thermo-méditerranéen.

Le Pin d'Alep est très souvent associé au chêne vert sauf dans la variante froide. Il est associé également à *Juniperus phoenicea* et à *Stippa tenacissima*, son optimum de développement étant enregistré avec l'association *Rosmarinus officinalis*, *Cistus libanotis*, *Fumaria thymifolia* et *Fumaria ericoïdes*. Enfin, il faut signaler que le Pin d'Alep supporte moins les embruns marins que le pin pignon (*Pinus pinea*) et le pin maritime (*Pinus pinaster*), [89].

L'association du *Pinus halpensis* Mill est éminemment xérophile, caractérisé par un sous-bois relativement abondant, dans les zones relativement humides. Cette association est éliminée, sur les sols siliceux par le *Quercus suber* et sur sol argileux par le *Quercus rotundifolia* et le *Quercus faginea* [90] ; l'association du pin d'Alep est caractérisé par la présence des espèces suivante : *Rosmarinus tournefortii*, *Globularia alypum*, *Phillyrea media*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus villosus*, *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oxycedrus*, *Quercus coccifera*, *Ampelodesma mouritanicum*.

2.1.5. Répartition géographique :

2.1.5.1. Dans le monde :

Le pin d'Alep est certainement l'espèce la plus répandue sur le pourtour méditerranéen, où son aire de répartition a été précisée par NAHAL [74], QUEZEL [91] et KADIK [80]. Ses forêts occupent au total plus de 3,5 millions d'hectares ([88], [73] et [91]). Cette espèce est surtout cantonnée dans les pays du Maghreb et en

Espagne où elle se trouve son optimum de croissance et de développement ([92]; [84], [71]). En Afrique du Nord, il couvre 1.260.000 hectares, dont 855.000 en Algérie, 340.000 en Tunisie, 65.000 au Maroc. En Europe, le pin d'Alep est surtout présent sur le littoral espagnol couvrant une superficie de 1.046.948 ha en peuplement purs et 497.709 ha en peuplements mixtes ou mélangés avec d'autres espèces, soit 15% de la surface boisée de ce pays. Il existe aussi à l'état spontané mais d'une façon très restreinte en Turquie, en Albanie et en Yougoslavie et très peu en proche orient : Palestine, Syrie, Jordanie et Liban (Tab.2.1 et Fig.2.2).

Tableau 2.1: Répartition du pin d'Alep dans quelques pays méditerranéens [92].

Pays	Superficie (ha)	Sources
Algérie	881 000	(DGF, 2005) [93]
Maroc	65 000	(BAKHIYI ,2000 ; in BENTOUATI, 2006)[92]
Tunisie	170 000 à 370 000	(CHAKROUN ,1986) [126]
France	202 000	(COUHERT et DUPLAT ,1993) [127]
Espagne	1 046 978	(MONTERO, 2000;in BENTOUATI, 2006) [92]
Italie	20 000	(SEIGUE ,1985) [77]
Grèce	330 000	(SEIGUE ,1985) [77]

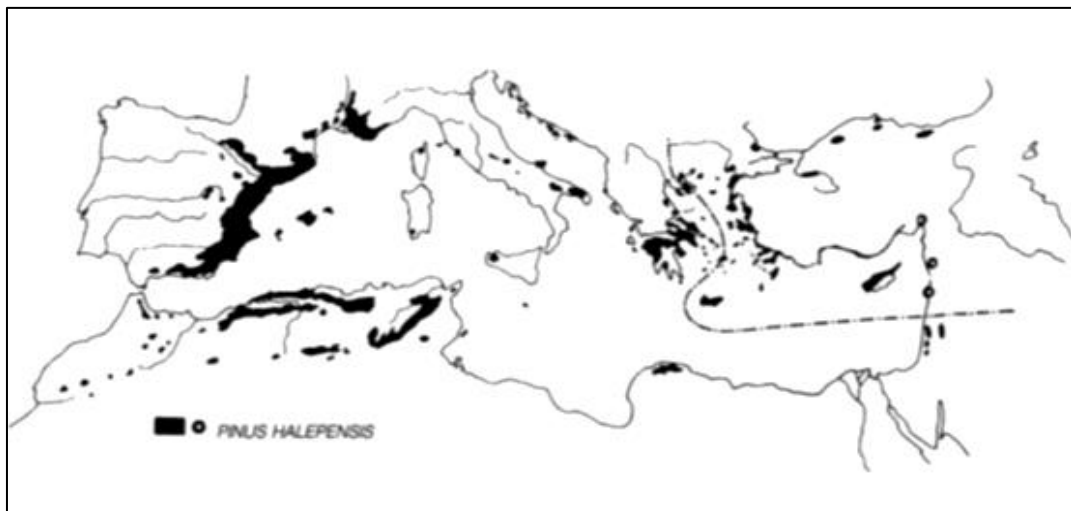


Figure 2.2 : Aire de répartition de pin d'Alep dans la région méditerranéenne [88].

2.1.5.2. En Algérie :

En Algérie, le pin d'Alep avec ses 35% de recouvrement reste bien l'espèce qui occupe la première place de la surface boisée en l'Algérie [92]. Selon la direction générale des forêts [93], la surface occupée par cette espèce avoisine 881 000 ha.

Les peuplements du pin d'Alep se localisent sur tous les massifs montagneux, du Tell littoral jusqu'à l'Atlas Saharien [80] (Fig.2.3), on trouve de vastes peuplements en Oranie (régions de Bel Abbès, Saïda, Ouarsenis), dans le tell l'Algérois (Medea-Boghar, Monts de Bibans), sur l'Atlas saharien (Monts des Ouled Nail) et dans le Constantinois (Aurès, région de Tébessa) où il rejoint la Tunisie par la crête.

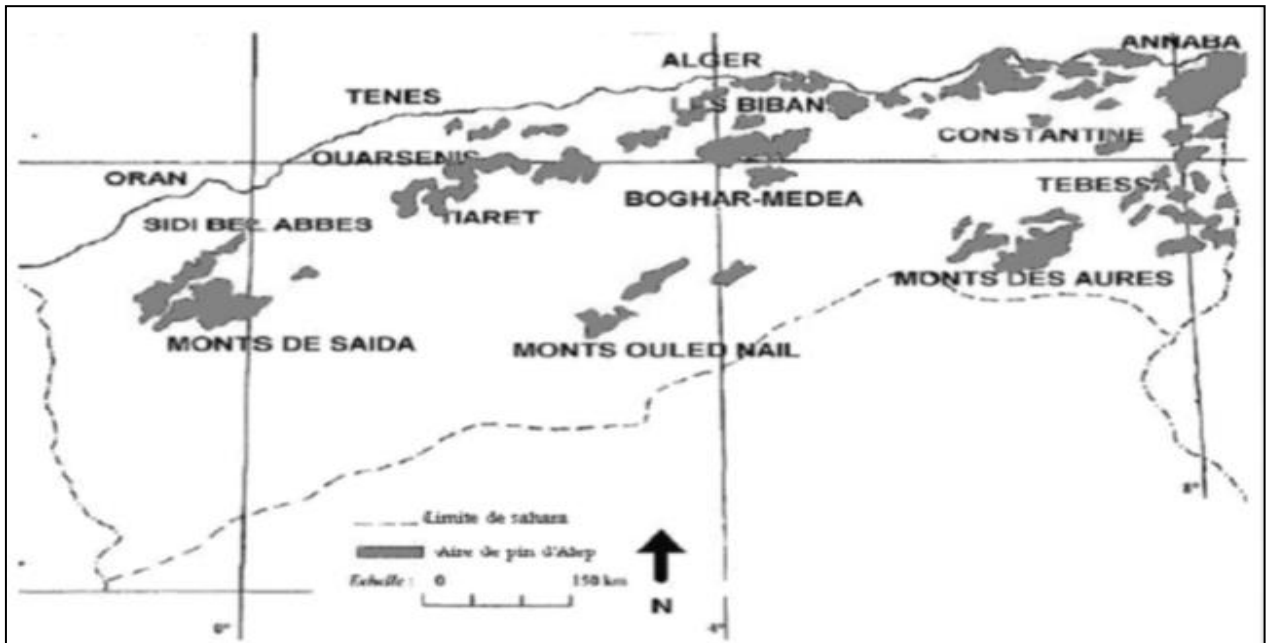


Figure 2.3 : Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie [77].

2.1.6. Les ennemis du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill:

Le pin d'Alep peut être atteint par divers problèmes sanitaires d'origine abiotique ou biotique [94].

2.1.6.1. Les Incendies :

Le Pin d'Alep est une essence peu résistante à l'incendie du fait de son écorce, ses aiguilles et son humus qui sont très inflammables, sa richesse en résine et son riche sous-bois, mais aussi, la propagation rapide et facile de feu suite à l'éclatement et la projection des cônes [95].

2.1.6.2. Les maladies du pin d'Alep :

Les principaux agents pathogènes :		Les principaux insectes ravageurs :
Champignons	- <i>Trametes Pini</i> - <i>Crumenulopsis sororia</i>	- La processionnaire du pin (<i>T. pityocampa</i>) - <i>Dioryctria sylvestrella</i>
Bactéries	- <i>Corynebacterium halepensisoides</i>	- <i>Crypturgus sp</i> - <i>Orthotomicus sp</i> - <i>Tomicus destruens</i> - <i>Haematoloma dorsata</i>

2.2. Le cèdre de l'Atlas :

2.2.1. Historique et Position taxonomique.

Les cédraies sont situées dans l'Himalaya et la zone circumméditerranéenne ; on y rencontre quatre (04) espèces [96] : *Cedrus atlantica* (Manetti), *Cedrus libani* (Barr), *Cedrus brevifolia* (Dode), *Cedrus deodara* (Loudon).

Cedrus atlantica Manetti une essence de l'Atlas en Afrique du Nord. Les surfaces les plus importantes se trouvent au Maroc : dans le Rif au-dessus de 1400 m d'altitude, dans le Moyen Atlas et la chaîne du Grand Atlas au-dessus de 1500 m. En Algérie, son aire est plus morcelée et il est limité aux montagnes de l'Ouarsenis et l'Atlas Mitidjien. On le rencontre entre 1 400 et 2 200 m d'altitude.

Le genre *Cedrus* qui est le plus ancien après celui des *Pinus*, fait partie de la famille des Pinacées (Abietacées), l'ordre des coniférales (Abietales), la Classe des Vectrices et le sous embranchement des gymnospermes ([96] ; [97]) On admet généralement que le genre *Cedrus*, du moins les ancêtres des espèces actuelles, existait dans le sud de l'Europe à partir du tertiaire : on l'a trouvé aussi au nord de la mer d'Aral. Selon GAUSSEN [98] et EMBERGER [99] (in DERRIDJ [100]) des fossiles de cèdre ont été retrouvés au niveau du massif du Hoggar.

Le cèdre de l'Atlas (Fig.2.4) est l'unique espèce du genre *Cedrus* existante en Afrique du Nord. C'est une essence qui a toujours suscité un intérêt important en raison de ses nombreuses qualités forestières ; le maintien d'un équilibre biologique, sa faible inflammabilité, sa production de bois de qualité, son port remarquable et esthétique... ([101]; [102]).

Il est devenu la première essence de reboisement, particulièrement dans les pays situés au nord de la méditerranée [103]. Son importance en Algérie se traduit d'une part par la situation de ses principaux peuplements dans des aires protégées et d'autre part par les multiples programmes de recherche, qui s'intéressent à ses différents aspects.



Figure 2.4 : Peuplement de *cedrus atlantica* du parc national de Theniet El Had (Originale, 2019).

2.2.2. Caractéristiques botaniques et dendrologiques :

Le cèdre est un arbre de première grandeur, sa hauteur moyenne est de 40 m mais peut dépasser 50 m, et sa circonférence peut atteindre de 2 à 3 m [104]. BOUDY 1952 [76] note que les branches sont grosses et étalées et que l'élagage est bon en peuplement. La cime est conique, elle prend la forme tabulaire au fur et à mesure que l'arbre vieillit. La fructification est précoce (15 à 20 ans) dans les conditions propices et tardives dans des conditions plutôt difficiles. L'enracinement se caractérise par un pivot puissant et profond et par des racines obliques étendues, ce qui permet aux arbres de persister sur les terrains instables et de supporter les fortes couches de neige [105]. La longévité du cèdre est très remarquable, il peut dépasser 600 ans. Il peut donner des graines fertiles jusqu' à un âge avancé [76].

Le cèdre de l'Atlas est une essence monoïque (pieds portent à la fois des fleurs mâles et femelles) et ses fleurs sont groupées en inflorescences de type chaton. Le chaton mâle (fleur mâle): de forme ovoïde qui apparaît généralement à mi- Juin et

achève sa maturité vers la mi-Septembre. Le chaton femelle (inflorescence femelle): de forme ovoïde également ; il apparaît trois mois après le chaton mâle; de couleur verte-bleuâtre, il est plus petit que le chaton mâle. Le fruit est un cône ovoïde, de 5 à 8 cm dressés vers le ciel, dont la maturité s'étale sur 3 années. La graine est assez grosse, pointue et longue de 8 à 12 cm, avec une aile développée ; de couleur marron roux à marron clair, elle est subtriangulaire [106].

2.2.3. Caractéristiques écologiques :

Dans son aire naturelle, le cèdre occupe les zones d'altitude. Il se rencontre sous forme de peuplements purs sur les sommets au-dessus, de 1400 m pour les cédraies méridionales et de 1000 à 1100 m pour les cédraies septentrionales [107]. Selon M'HIRIT [108] les limites altitudinales inférieures du cèdre de l'Atlas se situent généralement au-delà de 1300m, néanmoins à l'état isolé ou en bouquets, il peut descendre à une altitude beaucoup plus basse.

Le cèdre peut supporter des extrêmes thermiques allant de -20°C à 39°C [76] et il peut même résister à des minima de -25°C sous une atmosphère sèche [98].

La répartition des peuplements en altitude dont les fortes précipitations (pluviométrie et enneigement), indique qu'il préfère les stations bien arrosées. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) pourrait être considéré comme une essence de climat de transition entre les climats froids et humides et les climats chauds et secs [109]. Son optimum correspond d'après M'HIRIT [102] à l'étage méditerranéen. DERRIDJ [100] indique à ce propos, que les cédraies algériennes reçoivent une quantité de précipitation annuelle moyenne variant entre un maximum de 1600 à 2000 mm pour les Cédraies des Babors et du Djurdjura et un minimum de 720 à 770mm pour les Cédraies les plus méridionales au niveau des Aurès. Cette plasticité a attiré l'attention des forestiers qui l'ont attribué à la variabilité génétique de l'espèce [110].

Sur le plan édaphique, C'est une essence peu exigeante vis-à-vis de la nature chimique du sol : elle s'accommode de sols squelettiques et calcaires [111]; [112].

2.2.4. Importance économique:

Le cèdre est considéré comme une espèce à croissance relativement lente, avec une productivité de bois moyenne. CHELLABI [113] et HADDAD [114] l'ont évalué à

5m³/ha/an au niveau de la cédraie de Chréa, alors que NEDJAH [115] indique que cette valeur peut être doublée en cas d'un bon entretien sylvicole. Les produits d'éclaircies peuvent être utilisés en papeterie [108]. Le cèdre forme depuis son existence une source vitale des populations du fait de sa longévité, sa résistance à la compression et sa bonne production de bois [116]. Son huile essentielle employée en pharmacie et parfumerie [33].

2.2.5. Aire de répartition et superficie :

Le cèdre de l'Atlas, est actuellement très vulnérable en Algérie voire menacé de disparition, en raison de son habitat très morcelé ([117] ; [118] ; [119]) et de son aire de répartition en nette régression QUEZEL [120]. Le cèdre de l'Atlas est localisé sur les montagnes du Maghreb ; le Maroc détient à lui seul la plus grande surface sa superficie est estimée à 130000 ha, répartie sur deux blocs d'inégale importance, le premier dans le moyen Atlas et le grand Atlas oriental (116 000 ha), le second dans le Rif occidental et central avec une superficie d'environ 16 000 ha [102].

En Algérie, 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 [100] ; [121] ; [108] ; [122]. Il occupe une surface d'environ 30 000 ha répartie sur deux ensembles naturels, d'écologie sensiblement différente : les populations de Cèdre de l'Atlas tellien (conditions mésophiles) et les populations de l'Atlas saharien (conditions relativement xérophiles) [115]. 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) et dans les Babors et Tababors (1 300 ha). Dans l'Atlas saharien, elles sont localisées principalement dans les massifs de Belezma et des Aurès (17 000 ha) ainsi que dans les monts du Hodna (8 000 ha) [123] (Fig.2.5).

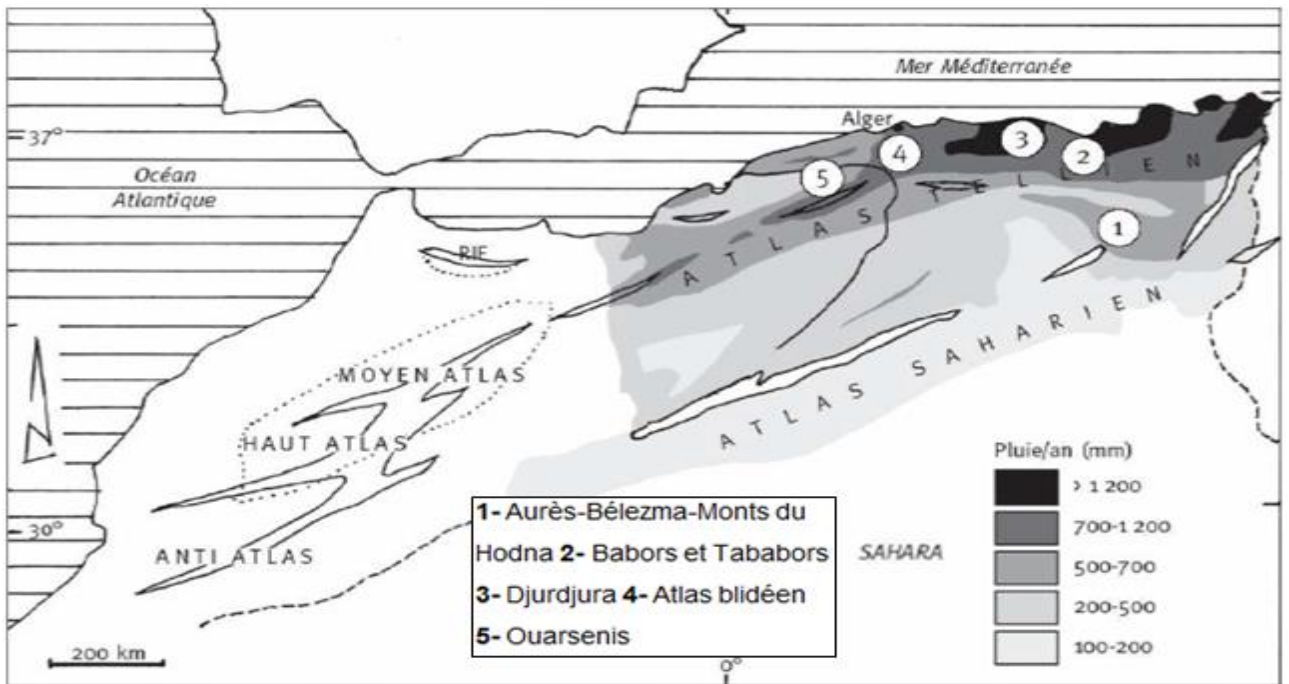


Figure 2.5: Aire de distribution du cèdre de l'Atlas (source : [124])

2.2.6. Les ennemis du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica*:

2.2.6.1. Les Incendies :

Dans les cédraies pures, les incendies sont peu fréquents [125]. Ceci est dû à l'absence de la strate arbustive et la pauvreté du tapis herbacée. Le cèdre survit généralement au feu, qui ne brûle que les arbres secs sur pieds ou gisants.

2.2.6.2. Les maladies du cèdre de l'Atlas :

Les principaux agents pathogènes :		Les principaux insectes ravageurs :
Champignons	<ul style="list-style-type: none"> - nécrose sur Les pointes d'aiguilles : <i>Fusarium, Pythium, Phytophthora, Botrytis, Cyllindrocarpon et Rhizoctonia</i> - pourritures sur les troncs du cèdre sur pied : <i>Laricifomes officinalis, Fomitopsis pinicola, Phellinus chrysoloma</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - La processionnaire du pin (<i>T. pityocampa</i>) - La processionnaire du cèdre (<i>T. bonjeani</i>) - la tordeuse des pousses (<i>Epinotia algeriensis</i>) - <i>Megastigmus suspectus</i> var. <i>pinsapinis</i> - pucerons (<i>Cedrobium laportei</i>) et (<i>Cinara cedri</i>)

CHAPITRE 3

MATERIELS ET METHODES

Rappel sur les objectifs de l'étude :

Le présent travail a été réalisé de 2017 à 2019, dans trois régions différentes au niveau de stations à pin d'Alep et de cèdre répartis dans les peuplements forestiers à Tipaza, Ain-Defla et Tissemsilt. Nous nous sommes focalisés sur les volets suivants :

- L'analyse de la variabilité des pontes de la processionnaire dans les sites d'étude.

- La variation des taux de parasitisme embryonnaire et l'effet des facteurs stationnels ainsi que l'incidence du couvert forestier sur le parasitisme des œufs de la processionnaire.

- L'étude de la variabilité des abondances et la chronologie des émergences des parasitoïdes embryonnaires et larvaires dans les sites d'étude.

- Le cycle de la processionnaire dans la région littorale de Tipaza.

3.1. Présentation des régions d'étude :

3.1.1. Région de Tipaza :

3.1.1.1. Situation géographique :

La wilaya de Tipaza se situe au Nord du tell central. Elle est limitée géographiquement par la Mer Méditerranée au Nord, la Wilaya de Chlef à l'Ouest, la Wilaya de Ain-Defla au Sud-Ouest, la Wilaya de Blida au Sud Est et la Wilaya d'Alger à l'Est (Fig. 3.1). Le territoire de la Wilaya de Tipaza couvre une superficie de 1707 Km² dont 577 Km² de collines et piémonts (33.8%), 611 Km² de plaines (35.7%) et 366 Km² de montagnes (19.6%) [128].



Figure 3.1 : Situation géographique de la wilaya de Tipaza (Google Earth, 2019).
Echelle: 1/400000

3.1.1.2. Répartition des superficies forestières par essence :

Les forêts et maquis d'une superficie globale de 40315 ha [129], occupent 24 % du territoire de la Wilaya de Tipaza (170 700 ha) (Tab 3.1). Les forêts sont réparties inégalement avec un pourcentage de 68% concentrés dans la région ouest (Cherchell, Sidi-Amar, Gouraya, Damous.).

Le Pin d'Alep est l'essence la plus répandue (55.69%) en comparaison avec le chêne liège dont l'aire se situe beaucoup plus sur le côté Ouest où il occupe 6.98% de la superficie forestière de la Wilaya. Le pourcentage restant (17.01%) de l'espace forestier est concentré sur les maquis.

Tableau 3.1. Répartition des superficies forestières par essence dans la région de Tipaza [160].

Essences	Superficie (Ha)	Importance de l'essence forestière (%)
Pin d'Alep	22 452	55.69
Chêne Vert	6 857	17.01
Chêne liège	2 812	6.98
Eucalyptus	547	1.36
Pin Maritime	186	0.46
Pin Pignon	85	0.21
Thuya	42	0.1
Peuplier	35	0.09
Cyprès	16	0.04
Eucalyptus, Orme et Frêne	413	1.02
Maquis et Broussailles	6 870	17.04
Total	40 315	100%

3.1.2. Région d'Ain-Defla :

3.1.2.1. Situation géographique :

La wilaya d'Ain-Defla se présente comme étant une zone relais stratégique entre l'Est et l'Ouest, le Nord et le Sud de l'Algérie. Le territoire de la wilaya reste inséré entre les massifs montagneux du Dahra-Zaccar au Nord et de l'Ouarsenis au sud avec une plaine au centre sous forme de cuvette, traversée d'est en Ouest par l'Oued Cheliff [130].

La wilaya d'Ain-Defla est située à 145 km au sud-ouest de la capitale Alger et s'étend sur une superficie de 4544.28 km². Elle est délimitée au nord par la wilaya de Tipaza, à l'est par la wilaya de Blida, au sud par la wilaya de Médéa, au sud-ouest, par la wilaya de Tissemsilt et à l'ouest par la wilaya de Chlef (Fig.3.2).



Figure 3.2 : Situation géographique de la wilaya d'Ain-Defla (Google earth, 2019)

Echelle: 1/400000

3.1.2.2. Répartition des superficies forestières par essence :

La superficie forestière de la région d'Ain-Defla est de l'ordre de 132.709 ha répartis sur les monts du Dahra-Zaccar au Nord et de l'Ouarsenis au Sud. Les forêts sont principalement couvertes de pin d'Alep, de chêne vert, de thuya, de chêne liège et autres [131], (Tab.3.2). Cependant, le tapis végétal forestier se trouve dans un état dégradé, dû essentiellement aux incendies, aux coupes illicites et au surpâturage.

Tableau 3.2 : Répartition des superficies forestières par essence dans la région Ain-Defla [162].

Essences	Superficie (Ha)	Importance de l'essence forestière (%)
Pin d'Alep	48028	54
Chêne Vert	23646	27
Thuya de Berberie	14142	16
Chêne liège	1960	2
Autres	1270	1

3.1.3. Parc national de Theniet El-Had :

3.1.3.1. Situation géographique :

Le Parc national de Theniet El-Had est un massif forestier situé dans l'Ouarsenis, à 2 km au sud-ouest de la ville de Theniet El-Had (Wilaya de Tissemsilt) (Fig.3.3a et b) et englobe l'unique cédraie occidentale d'Algérie. Il s'étend sur 3424 ha dont 1000 ha de forêt de cèdres occupant les deux versants du Djebel El Meddad (Montagne des cèdres). L'Ouarsenis est le principal chaînon du Tell occidental situé entre les Monts de Béni Chougrane à l'Ouest, les Monts de Titteri à l'Est, la vallée du Chellif au Nord et le haut plateau de la plaine du Sersou au sud [132].

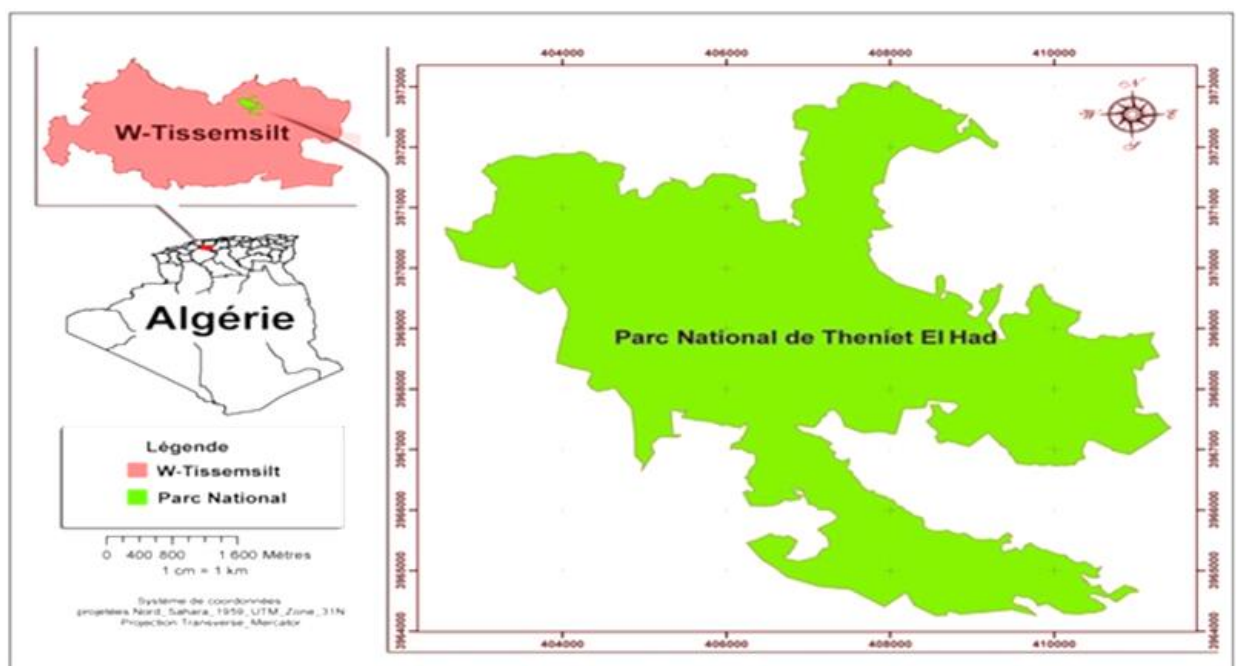


Figure 3.3a : Localisation géographique du parc national de Theniet El-Had [132].



Figure 3.3b: Situation géographique du parc national de Theniet El-Had (Google earth, 2020) Echelle: 1/400000

3.1.3.2. Diversité floristique de parc national de Theniet El-Had :

Le parc national de Theniet El-Had renferme une diversité floristique impressionnante allant de la strate arborée jusqu'au tapis herbacé [132].

Sur le plan phyto-écologique, le massif du Djebel El Meddad appartient à la région méditerranéenne, au secteur algérois, au sous-secteur de l'Atlas tellien [133].

Sur le plan physionomique, ce massif appartient plus à l'Atlas tellien qu'au tell méridional. Toute la flore est d'origine biogéographique méditerranéenne étant donné qu'elle ne présente pas des particularités méridionales [132]. Sa particularité essentielle est sa richesse en peuplements de cèdres séculaires. Le mélange des espèces végétales présente aussi des particularités, à savoir:

- le mélange du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) avec le chêne zen (*Quercus faginea*) et le chêne vert (*Quercus ilex*) sur le versant nord ;
- Le côtoiement du cèdre de l'Atlas et du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) ;
- Les peuplements à chêne liège (*Quercus suber*) s'y individualisent en occupant des étages altitudinaux supérieurs (plus de 1500 m) ;

Les inventaires floristiques menés durant la période (2007-2010), ont permis de recenser 515 espèces végétales entre phanérogames (angiospermes, gymnospermes), et cryptogames (thallophytes, bryophytes et ptéridophytes) dont dix

espèces endémiques algériennes [132]. Une description floristique de la cédraie, de la yeuse, de la subéraie, de la zénaie et de la pinède est donnée.

La Cédraie :

Elle occupe le versant Nord, la moyenne d'âge des arbres est située entre 125-135 ans. Le recouvrement des peuplements est très important (70-80%), et leur densité est très élevée (400 pieds /ha). La cédraie est constituée de hautes futaies de 30 mètres de haut dont le nombre de pieds augmente avec l'altitude et finit par diminuer sur la plupart des crêtes en mélange avec le chêne zen (*Quercus faginea*) et d'autres espèces buissonnantes (*Crataegus monogyna*, *Prunus avium*, *Juniperus oxycedrus*, *Rosa canina*, *Rubus ulmifolius*,...). Sur le versant Sud, le recouvrement de la cédraie est de l'ordre de 60 à 70% avec en moyenne 10 à 12 m de hauteur et une superficie globale estimée à 1000 ha. Le sous-bois assez dense est dominé par les espèces *Calycotum spinosa*, *Genista tricuspidata*, *Cistus salvifolius*, etc [132].

La yeuse :

Des futaies âgées d'une hauteur moyenne de l'ordre de 8 m et de 1000 ha de superficie, caractérisent le canton Rond-Point. Généralement, dans les basses altitudes, une dominance des formations buissonnantes et épineuses, avec un faible degré de recouvrement, est relevée. Le sous-bois est composé surtout de *Calycotum spinosa*, *Ampelodesma mauritanica*, *Scilla bulbosa*, *Genista scorpius*, *Lavandula stoeckas*, et des Cistes [132].

La Subéraie :

D'une superficie globale estimée à 680 ha, la subéraie se caractérise par un recouvrement moyen de 60 à 70% et une hauteur moyenne de 10 à 12 m avec. Elle se présente sous forme de taillis en mélange avec quelques espèces comme *Quercus ilex*, *Calycotum*, *Genista tricuspidata*, *Rosa canina*, *Crataegus monogyna* et *C. laciniata*, *Juniperus oxycedrus*, etc [132].

La Zénaie :

On la trouve dans quelques stations peu étendues où un tiers est répandu sous forme de futaie au Nord, alors qu'au Sud, les 2/3 restent au stade de gaulis ou

perchis. Le peuplement pur de Chêne zen est soit en mélange avec le cèdre surtout sur le versant Nord ou avec le Chêne afarès sur le versant Sud.

La pinède :

Elle s'étend sur une superficie de 800 ha, et est caractérisé par des futaies âgées, occupant principalement les basses altitudes du versant Nord au niveau du canton Guerouaou.

3.2. Caractéristiques climatiques des régions d'étude :

L'étude des régimes pluviométriques et thermiques est d'une importance capitale pour la caractérisation des différents types de climat dans une région donnée [134]. Le climat joue un rôle important dans la dynamique des populations des insectes. Il conditionne le développement des arbres qui leur servent de biotopes de sélections et détermine pour une grande part leur répartition, leur développement, leur activité et leurs pullulations [135, 136].

3.2.1. La pluviométrie :

Les précipitations mensuelles des régions d'études ont un régime typiquement méditerranéen avec un maximum en hiver et un minimum en été [137]. Nous avons présenté les précipitations mensuelles moyennes des sites étudiés durant la période 2007/2018 (fig. 3.4).

Les précipitations moyennes enregistrées par la station du Barrage Boukerdane dans la région de Tipaza font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 646,4 mm. Les variations moyennes mensuelles des pluies les plus élevées sont enregistrées en novembre avec 105,4mm, tandis que les quantités moyennes des précipitations enregistrées en période estivale ne dépassent pas 2,3 mm.

Dans la région d'Ain-Defla, les précipitations moyennes enregistrées par la station du Barrage de Harraza sont de 409,1mm, avec des précipitations moyennes élevées respectives de 63mm en mars et 55mm en novembre, et seulement une quantité de 2,9 mm de pluies en période estivale.

La station du PN de Theniet El-Had a relevé une pluviométrie moyenne annuelle de 652 mm enregistrées et des quantités de pluies ne dépassant pas 7mm en période estivale durant l'année 2018/2019 (fig. 3.4).

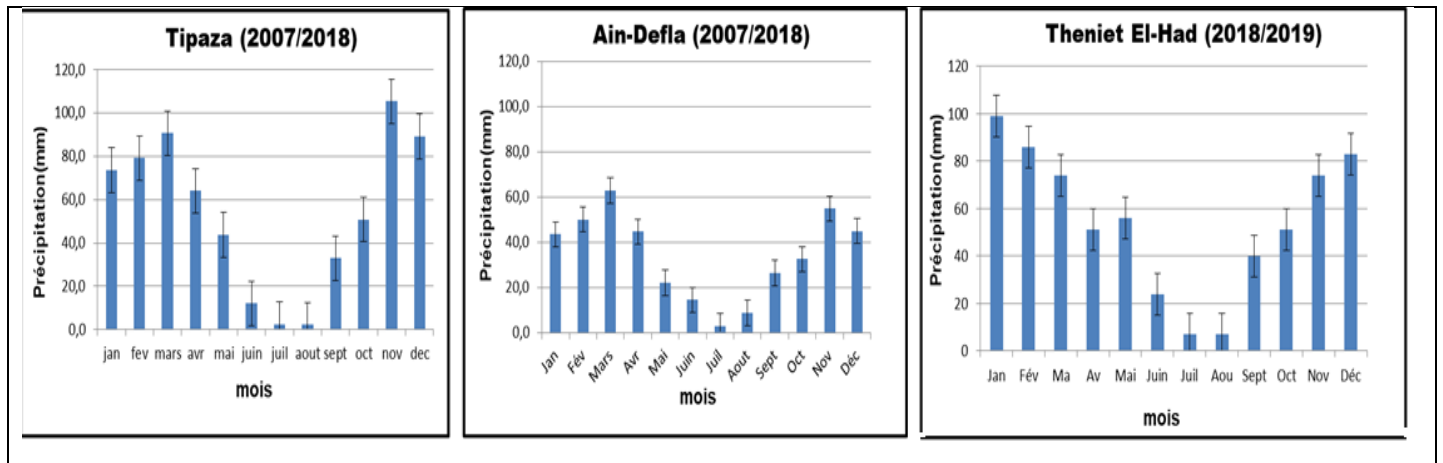


Figure 3.4. Variation des moyennes des précipitations mensuelles des régions étudiées.

3.2.2. Les températures :

La température représente un facteur limitant important, elle conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère [138]. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques ainsi que la durée du cycle biologique des insectes ; tout en déterminant le nombre de générations par an. Une hausse des températures dans les limites vitales des espèces, implique une accélération de leur développement [139, 140, 141].

Durant la période 2007/2018, dans la région de Tipaza, les valeurs moyennes des basses températures sont enregistrées aux mois de février et mars avec des moyennes des minimas du mois le plus froid de l'ordre de 4,2°C en février. Les hautes températures sont enregistrées aux mois de juillet, août et septembre avec des maximas moyens du mois le plus chaud de 34,9°C au mois d'Août, (Fig. 3.5). Dans la région d'Ain-Defla, les basses températures sont enregistrées de décembre à mars avec des minimas moyens du mois le plus froid de 1,1°C en février. Les moyennes des maximas du mois le plus chaud sont enregistrées au mois de juillet avec une température de 42,3°C. Par contre, les températures mensuelles moyennes enregistrées par la station du PN de Theniet El-Had durant l'année 2018/2019 (Fig.3.5), fait ressortir que les basses températures sont notées de novembre à avril où le minima moyen le plus bas est enregistré en janvier avec une

température de -3°C . Les températures les plus élevées sont enregistrées aux mois de juillet et août, avec des maxima moyens du mois le plus chaud de l'ordre de 43°C en Août.

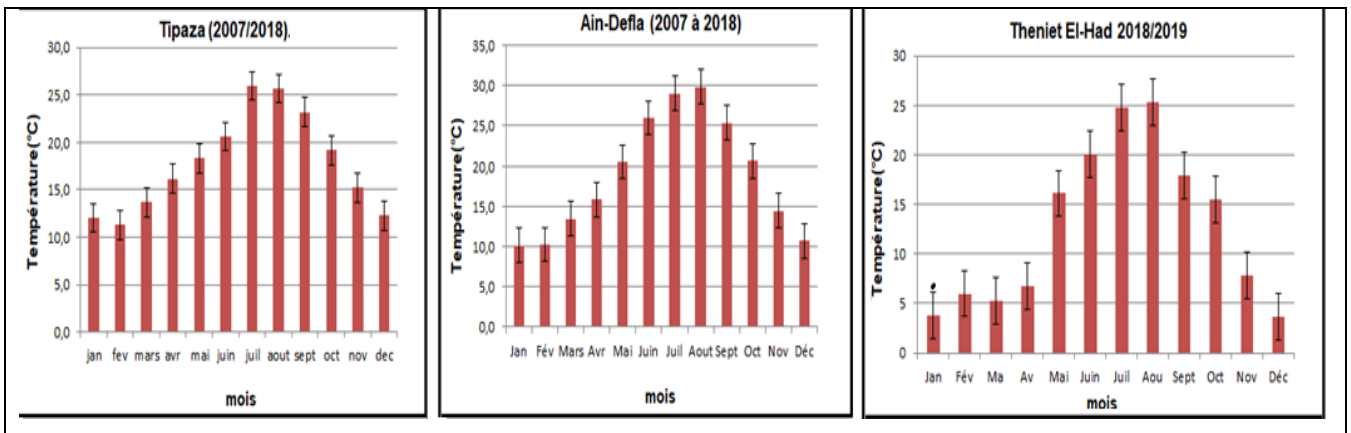


Figure 3.5. Variations mensuelles des températures moyennes des régions étudiées.

3.2.3. Diagramme Ombrothermique:

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN [142,143] révèle la présence d'une saison pluvieuse et une saison sèche correspondant à la saison chaude.

Dans la région de Tipaza, la période sèche s'étale de la fin mai jusqu'à septembre, et la période humide d'octobre jusqu'à mai. L'étude du diagramme ombrothermique de Gausсен de la région d'Ain-Defla révèle l'existence d'une période sèche qui s'étale de Mai jusqu'à la troisième semaine d'octobre et d'une période humide de la fin d'octobre jusqu'à avril. Dans la région de Theniet El-Had, la période sèche s'étale du mois de juin jusqu'à la deuxième semaine du mois de septembre, alors que la période humide dure de la troisième semaine du mois de septembre jusqu'au mois du mai (Fig.3.6).

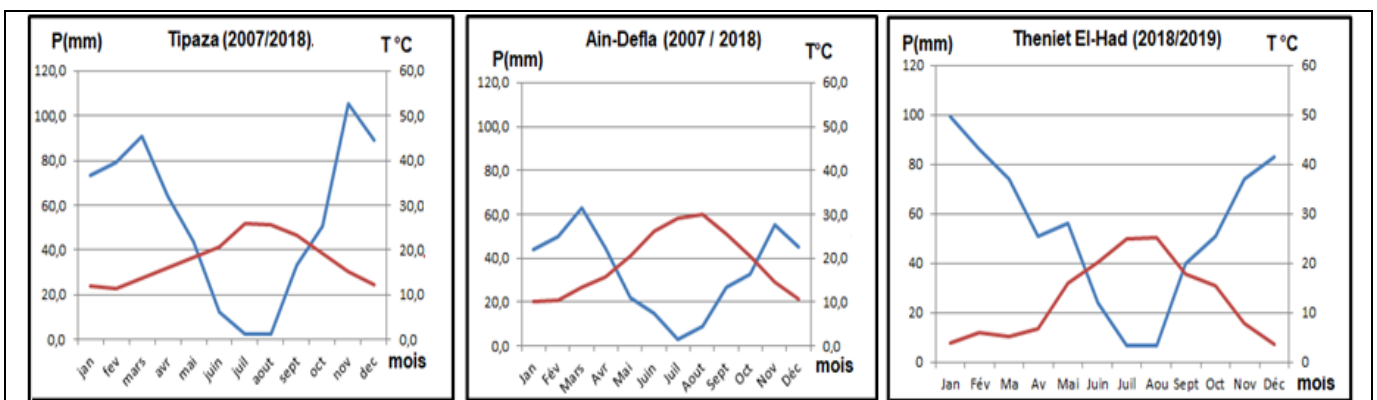


Figure 3.6. : Diagramme ombrothermique de Gausсен des régions étudiées.

3.2.5. Climagramme d'Emberger :

Emberger [144] a défini un quotient pluviométrique qui permet de distinguer entre les différentes nuances du climat méditerranéen. Nous avons tenu compte de la formule simplifiée par STEWART [145] : $Q_2 = 3,43 \cdot P / (M - m)$ Où Q_2 est le quotient pluviométrique d'Emberger, P la moyenne des précipitations annuelles exprimées en mm, M la Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud et m la moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

Les valeurs du Q_2 obtenues pour la période s'étalant de 2007 à 2018, situent la région d'étude de Tipaza dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieure à hiver doux ($Q_2 = 72.2$, $m = 4.2^\circ\text{C}$), la région de Aïn Defla dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais ($Q_2 = 34$, $m = 1.1^\circ\text{C}$), et la région de Theniet El-Had dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid ($Q_2 = 62.1$, $m = -3^\circ\text{C}$), (Fig.3.7).

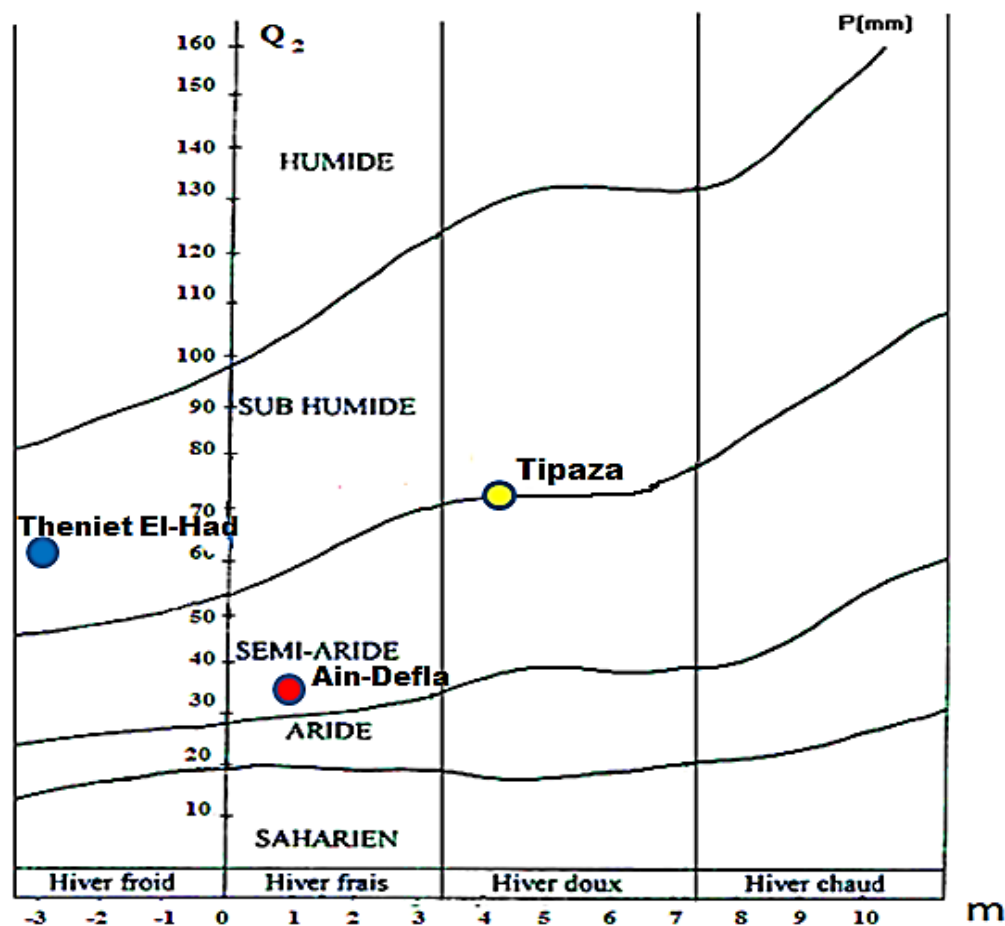


Figure 3.7 : Localisation des régions étudiées (Tipaza, Aïn-Defla et Theniet El-Had) dans le Climagramme d'Emberger.

3.3. Présentation des sites d'étude :

La présente étude a été réalisée au niveau de quinze (15) sites forestiers répartis sur trois régions du nord algérien. Dix sites à pinèdes représentés par 5 milieux forestiers dans la région de Tipaza et 5 autres au niveau de la région d'Ain-Defla sont considérés. Cinq sites distribués dans la cédraie du Parc National de Theniet El-Had sont également choisis. Les différents sites ont été sélectionnés en rapport avec leur infestation par la processionnaire du pin.

Dans la région de Tipaza, du point de vue de la structure du paysage, il ya une dominance de forêts naturelles de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) en association avec le thuya (*Tetraclinis articulata*) et le chêne kermès (*Quercus coccifera* L.). Les zones agricoles de petite à grande échelle, les établissements ainsi que les agglomérations sont également caractéristiques dans la région.

La région d'Ain-Defla plus continentale présente des paysages généralement dominés par des forêts de pin d'Alep seules ou mélangées au thuya, bien que les zones agricoles et les agglomérations dispersées puissent également être observées.

Dans la région montagneuse du parc national de Theniet El Had, les paysages sont dominés par des zones semi-naturelles de forêt et de garrigue. Les peuplements forestiers sont composés de cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti), de chêne zeen (*Quercus canariensis*) et de chêne vert (*Quercus ilex* L.).

3.3.1. Sites étudiés dans la région de Tipaza :

Les cinq stations étudiées sont réparties d'Est en Ouest sur le territoire forestier de la wilaya, (Fig. 3.8 et. 3.9, tab. 3.3). On distingue les forêts de Kolea Nord et Kolea Sud situées à l'extrême Est, les forêts d'Attatba et de Sidi-Rached situées sur le versant sud qui surplombe la plaine de la Mitidja, et la forêt de Tipaza située au littoral près du chef-lieu de la wilaya.

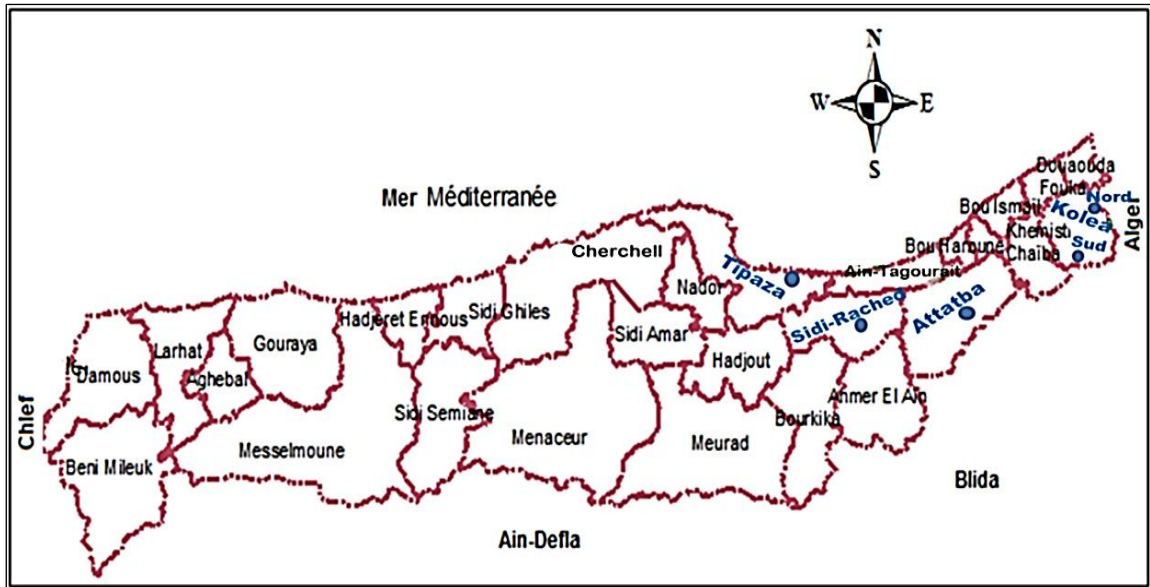


Figure 3.8. : Localisation des stations prospectées dans la région de Tipaza.
Echelle: 1/400000



Forêt naturelle de Pin d'Alep à kolea Nord



Forêt de Pin d'Alep à Tipaza



Régénération naturelle de Pin d'Alep
après incendie 1994 à kolea Sud



Forêt de Pin d'Alep à Sidi-Rached

Figure 3.9 : Forêts de pin d'Alep étudiées dans la région de Tipaza (Originale, 2017).

Tableau 3.3. Paramètres descriptifs des stations d'étude de la région de Tipaza:

Site	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)	Orientation	Pente (%)	Hauteur de l'arbre (m)
Kolea Nord	2.795089	36.645925	113	Est	8.1	2 – 6
Attatba	2.690203	36.598186	216	Nord Est	13.2	6 – 8
Kolea Sud	2.791331	36.637197	103	Sud	18.2	2 – 6
Tipaza	2.480361	36.589036	67	Nord	31.1	7 – 10
Sidi-Rached	2.550094	36.573828	251	Sud	11.3	2 – 7

3.3.2. Sites étudiés dans la région d'Aïn-Defla :

Nous avons choisi également cinq stations de pin d'Alep infestées par la processionnaire et réparties d'Est en Ouest sur le territoire forestier de la wilaya d'Aïn-Defla (Fig. 3.10 et 3.11, tab. 3.4). La forêt de Djebel Doui issue d'un reboisement en 2003, est située au centre à proximité du chef-lieu de la wilaya qui surplombe la plaine de Chlef, et la forêt d'Annab issue d'une régénération après incendie en 1994, est située sur les monts de Dahra au nord. Les trois autres stations forestières se situent à l'orée des monts de l'Ouarsenis au sud: El-Mayenne (peuplement naturel), Djemaa Ouled Cheikh et la forêt d'Oued Djemaa (issues d'un reboisement en 2006).



Figure 3.10. Localisation des stations forestières prospectées à travers la wilaya d'Aïn-Defla (Google earth, 2019). Echelle: 1/400000



Forêt naturelle de Pin d'Alep à El-Mayenne



Reboisement de Pin d'Alep à Djemaa Ouled Cheikh

Figure 3.11. Forêts de pin d'Alep étudiées dans la région d'Ain-Defla (Originale, 2018).

Tableau 3.4. Paramètres descriptifs des stations d'étude de la région d'Ain-Defla :

Site	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)	Orientation	Pente (%)	Hauteur de l'arbre (m)
Djemaa O. Chikh	2.015763	36.135899	508	Ouest	9.7	3 – 5
Oued Djemaa	2.295372	36.059944	437	Nord-est	10.9	2 – 5
Djebel Doui	1.959523	36.237487	548	Nord-Ouest	33.7	2 – 5
Annab	1.893689	36.349358	813	Nord	42.8	6 – 10
El Mayenne	1.758825	36.070772	625	Nord	15.6	6 – 11

3.3.3. Sites étudiés dans la cédraie du PN de Théniet El-Had :

Cinq sites ont été sélectionnés au niveau du parc national de Theniet El-Had, en fonction de l'altitude et de l'exposition (Nord et Sud), (Fig. 3.12 et Fig.3.13, tab. 3.5).

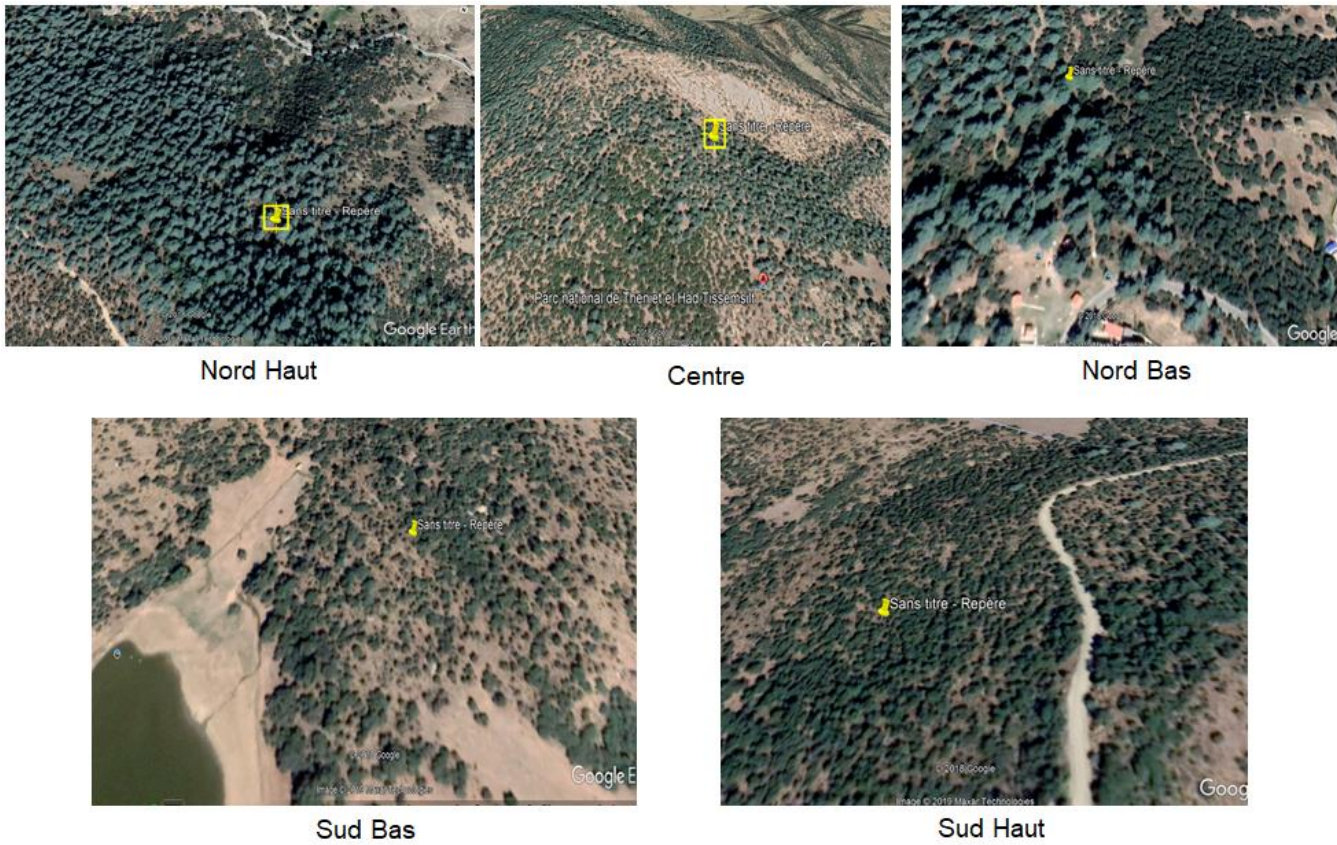


Figure 3.12: Localisation des stations étudiées dans le parc national de Theniet El-Had (Google earth, 2019).



Figure 3.13 : Forêt du cèdre de l'Atlas du Parc national de Theniet El-Had (Original, 2020).

Les paramètres descriptifs des sites forestiers choisis dans la cédraie, sont donnés dans le tableau 3.5.

Tableau 3.5. Paramètres descriptifs des stations d'étude dans la cédraie du PN de Théniet El Had.:

Site	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)	Orientation	Pente (%)	Hauteur de l'arbre (m)
Nord haut	2.007728	35.853194	1510	Nord	56.7	6 - 20
Nord bas	2.002942	35.858811	1368	Nord-est	23.6	6 - 20
Sud haut	1.996332	35.849708	1391	Sud-ouest	24.0	6 - 20
Sud bas	1.987008	35.841908	1283	Sud-ouest	16.2	6 - 20
Centre	1.969208	35.858728	1643	Est	11.8	6 - 20

3.3.4. Autres sites d'étude considérés :

Douze sites supplémentaires étudiés par BOUCHOU en 2012 [29] (tab. 3.6, Fig. 3.14) ont été inclus avec nos données personnelles afin de couvrir un large éventail de stations forestières infestées par la processionnaire du pin à travers le territoire algérien et analyser un plus grand ensemble de données d'échantillonnage comparables. Comme pour les sites sélectionnés dans notre étude durant la période 2017-2019, une utilisation similaire des terres dominée par des forêts de pins d'Alep a également été observée sur ces sites étudiés en 2012 [146].

Tableau 3.6 : Principales caractéristiques environnementales des sites étudiés en 2012 par BOUCHOU [29] (les hauteurs des arbres n'étaient pas disponibles).

Site	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)	Orientation	Pente (%)
Batna	6.209925	35.567356	1203	Sud	6.09
Bouarfa	2.825119	36.451228	605	Nord-Ouest	13.29
Chr�ea	2.633333	36.316667	1400	Est	10.20
Cherchell	2.240200	36.615783	200	Nord-Ouest	25.82
Ch�elia	6.617825	35.302356	1933	Nord-est	20.31
El bayadh	1.164981	33.728017	1200	Nord-Ouest	47.33
El Kala	8.181283	36.874786	200	Sud-est	2.92
Moudjbara	3.481503	34.510575	1055	Sud-ouest	2.92
S�etif SF	5.493631	36.365592	804	Nord-est	24.65
Senalba	3.134353	34.637978	1306	Nord-Ouest	8.10
Theniet El-Had	2.002036	35.855456	1465	Nord-est	21.75
Tlemcen	1.030711	34.613600	1141	Est	4.05

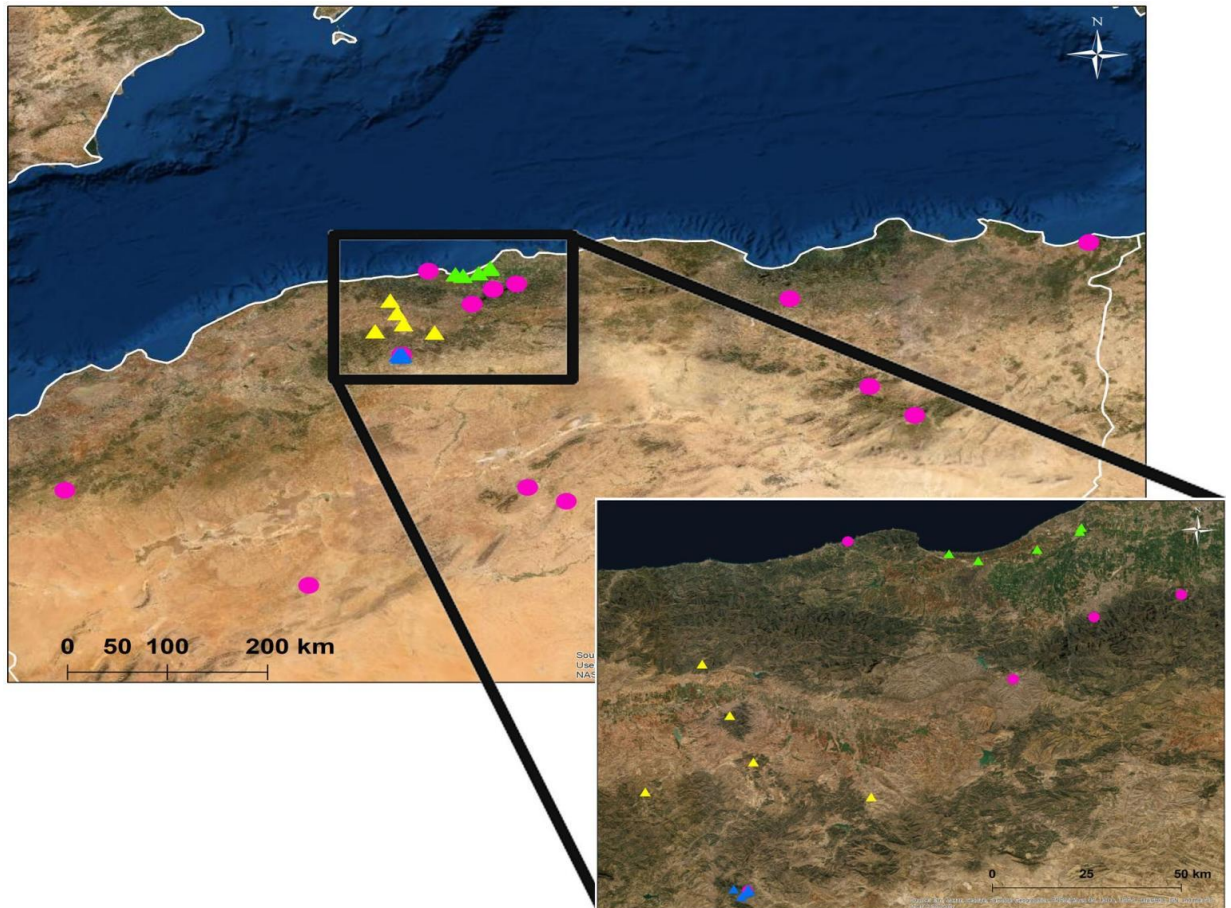


Figure 3.14. Localisation globale des sites d'échantillonnage dans le nord algérien

(les symboles en triangles : verts - Tipaza, jaunes - Ain-Defla, bleus - Theniet El-Had, représentent respectivement les données personnelles en 2017-2019 et en cercles les données de Bouchou en 2012 [29]).

3.4. Méthodologie d'étude sur le terrain :

Dans les différentes stations forestières au niveau de la région de Tipaza, la période d'échantillonnage s'est étalée du début du mois d'Août période de vol et de ponte jusqu'au début du mois d'avril de l'année suivante. Au total, 28 à 30 sorties ont été réalisées dans chaque station respective, à raison d'une à 4 sorties par mois. Un effectif de 30 arbres a été observé aléatoirement à chaque fois.

3.4.1. Captures des papillons dans la région de Tipaza :

Dans notre étude, pour approximer le taux d'infestation et évaluer le niveau de population de la processionnaire du pin, nous avons choisi une petite parcelle de 01 hectare de chaque station forestière et nous avons placé un piège à phéromone dans les branches basses de la frondaison des arbres, à une hauteur de 2 m au-

dessus du sol (Fig. 3.15). Le but est de capturer en été les papillons mâles dès leur émergence en les attirant dans les pièges grâce aux phéromones femelles de synthèse contenues dans une capsule à phéromone, avant qu'ils puissent avoir le temps de s'accoupler. Le piège utilisé est composé d'un entonnoir avec une plaque engluée de couleur jaune, un panier ajouré pour placer la capsule de phéromone et un opercule pour refermer. La capsule à phéromone est renouvelée tous les mois.

L'opération de dénombrement de papillons capturés a été entamée à partir du mois d'Août après l'observation du premier vol des papillons, puis le nombre de papillons piégés a été régulièrement comptabilisé de manière hebdomadaire. La campagne de capture a duré du 15 Aout au 14 Novembre 2017. Les relevés sont effectués chaque semaine.

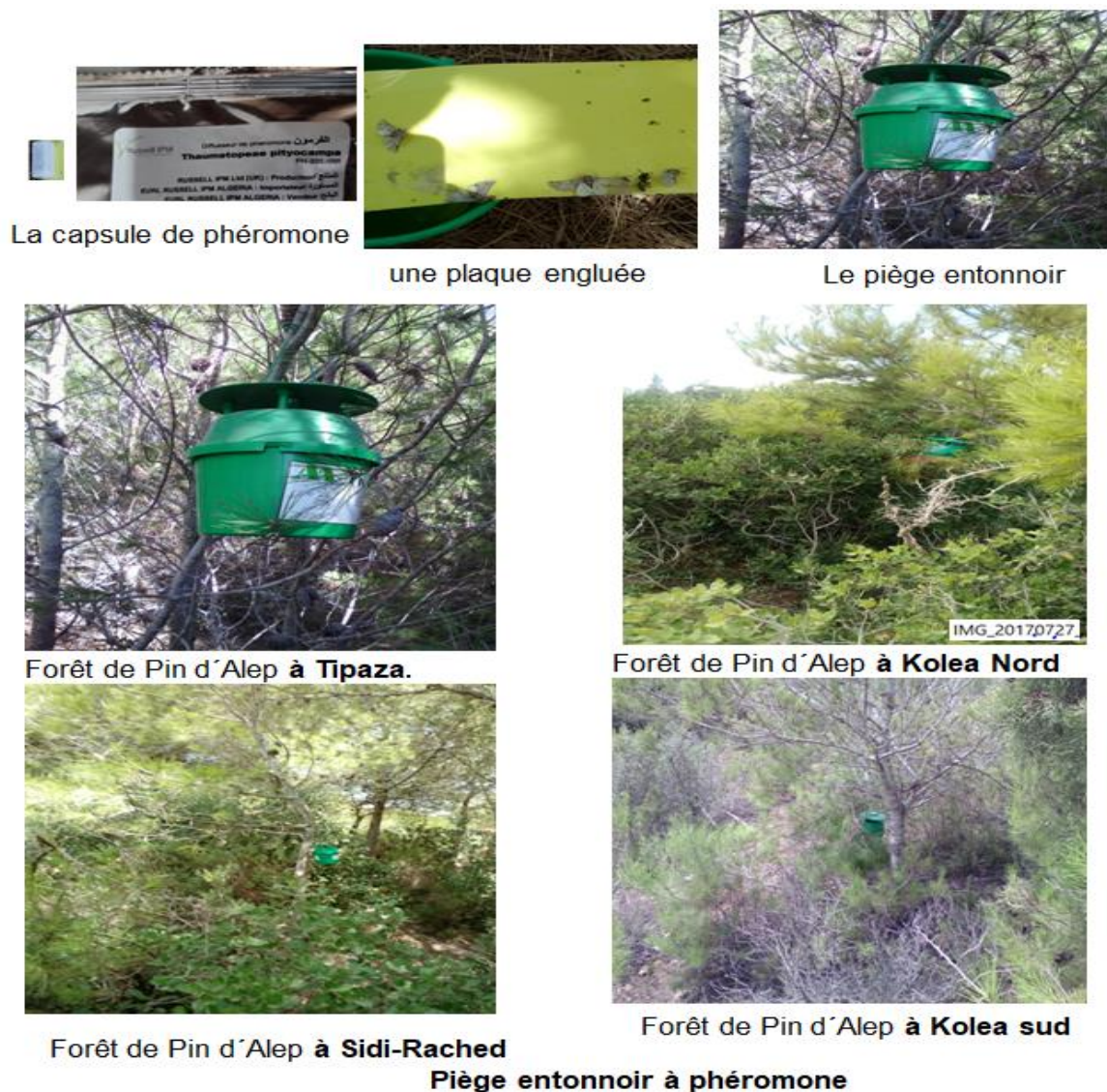


Figure 3.15. Pose des pièges à phéromone pour le piégeage des papillons de *T. pityocampa* sur les sites d'étude de la région de Tipaza (Originale, 2017).

3.4.2. Échantillonnage des pontes:

L'échantillonnage des manchons de ponte de la processionnaire du pin a été réalisé en septembre et octobre 2017 dans les 5 sites choisis dans la région de Tipaza, en septembre et octobre 2018 dans ceux sélectionnés dans la région d'Aïn Defla, et en juillet et août 2019 dans les sites de la cédraie du PN de Theniet El Had.

Après les avoir observé sur les arbres, les pontes ($N=450$, $n_i=150$ /région et $n_i'=30$ /station) ont été collectées sur les branches inférieures des arbres sur les aiguilles des pins et sur les rameaux des arbres des cèdres, après avoir grimpé aux arbres ou tiré les branches avec une corde.

Les périodes de collecte des pontes se sont étalées du 31 août au 22 septembre 2017 dans la région de Tipaza, du 30 août au 15 septembre 2018 à Ain-Defla, et du 30 juillet au 8 août 2019 au niveau du Parc National de Theniet El-Had. Pendant la période de ponte, la moyenne des températures maximales avoisinait 40°C et 42,8°C au mois d'août à Tipaza et à Ain-Defla respectivement, et 39°C au mois de juillet à Theniet El-Had (source ANRH). Les différences entre les périodes de suivi des pontes résultent du fait que la processionnaire du pin possède un mécanisme adaptatif de sa phénologie imposé par l'alimentation hivernale. Ainsi, dans les sites plus froids (haute altitude ou latitude), les adultes émergent plus tôt pour permettre aux larves de s'alimenter suffisamment pendant l'hiver [7].

3.4.3. Echantillonnage des nids :

Le nombre de nids par arbre a été évalué pendant la période hivernale sur 30 arbres dans chaque site forestier : en février 2018 à Tipaza, en janvier 2019 à Ain-Defla, et en novembre 2019 à Theniet El-Had. Les arbres ont été observés au hasard à chaque fois, sur deux transects de 100 m de long, l'un en bordure du peuplement forestier et l'autre à environ 5 m à l'intérieur du peuplement. Les arbres ont été soigneusement inspectés dans toutes les directions cardinales et au sein de la canopée pour détecter la présence des nids de la processionnaire. La reconnaissance des nids en relation avec chaque stade larvaire est conduite sur des critères relatifs à la densité des réseaux de soie élaborés par les larves et le volume du nid, la taille en longueur de la chenille, les dimensions de la capsule céphalique et la quantité de poils. Par exemple, de fins réseaux de soie indiquent la présence des

larves L1 alors que les nids des L5 se caractérisent par un réseau très dense de soie et sont volumineux.

3.4.4. Etude de la végétation associée aux pinèdes étudiées de la région de Tipaza :

Les relevés floristiques ont été effectués pendant le mois d'avril en 2018, sur une superficie homogène de l'ordre de 200 à 400 m² selon la méthode de l'aire minimale. Les plantes ont été récoltées, séchées et stockées dans un herbier de référence, indiquant la date et la station forestière de récolte. Pour la détermination des familles et des espèces végétales, nous avons utilisé la clé de QUEZEL & SANTA (1962-1963) [147].

Pour chaque espèce de plante, il a été attribué un coefficient d'abondance-dominance de BRAUN-BLANQUET [148] selon l'échelle suivante :

(+): quelques individus ; très rare, **(1)**: plante rare avec degré de recouvrement faible; **(2)**: plante assez fréquente occupant 1/5 de la surface; **(3)**: plante fréquente occupant entre ¼ et ½ de la surface; **(4)**: occupation très fréquente des plantes entre ½ et ¾; **(5)**: occupation en abondance totale supérieur à ¾.

L'abondance estime le degré de présence de la plante, c'est-à-dire le nombre d'individus de cette plante sur une surface considérée. La dominance représente le degré de couverture ou la place occupée par la plante au sein de la surface considérée

3.5. Méthodologie au laboratoire :

3.5.1. Dénombrement des catégories d'œufs de *T. pytiocampa* :

Les pontes collectées ont été conservées séparément dans des tubes à essai en verre de 15cm de longueur et 1cm de diamètre, numérotés individuellement et fermés avec des bouchons en coton pour assurer l'aération, puis stockés dans les conditions de laboratoire à une température de 20 à 24°C et une humidité relative de 60% jusqu'aux éclosions.

Après l'éclosion totale des pontes, les manchons ont été écaillés à l'aide d'un ruban adhésif (scotch) puis observés à la loupe binoculaire. Les écailles des pontes sont par la suite retirées de chaque manchon de ponte et les lignes d'œufs sont

marquées avec des feutres de différentes couleurs pour visualiser les œufs non éclos, les œufs éclos, et les œufs parasités présentant des trous de sortie de parasitoïdes.

Les longueurs des différentes pontes en provenance de chaque site forestier prospecté ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse sous une loupe binoculaire.

3.5.2. Etude de l'émergence et de la longévité des parasitoïdes embryonnaires :

L'étude a concerné au total 450 pontes de *T. pityocampa* en provenance des différents sites à pinèdes et de la cédraie. L'émergence des parasitoïdes des œufs a été suivie quotidiennement pendant une durée globale de 90 jours à partir de la première émergence, qui a été observée entre le 31 juillet et le 29 octobre de chaque année, pour les trois régions confondues. Plus exactement, la durée était de: 60 jours pour le suivi des pontes de la processionnaire provenant de la région de Ain-Defla, 45 jours pour celles récoltées au niveau du PN de Theniet El-Had et 30 jours pour celles de Tipaza. Ces données représentent une partie des émergences de la génération estivale de parasitoïdes, étant donné que certains d'entre eux auraient déjà pu émerger sur le terrain avant la collecte des pontes.

Les espèces de parasitoïdes ont été identifiées par des caractères morphologiques, [149] ; [150].

Les individus adultes des espèces *B. servadeii* et *O. pityocampae* émergés au laboratoire dans les tubes à essai initiaux ont été séparés dans d'autres tubes à essai en verre de 1 x 17 cm de long pour le suivi de la longévité des femelles. En effet, tous les individus des parasitoïdes issues de la 1^{ère} génération sont des femelles parthénogénétiques. Cinq tubes à essai dans lesquels quelques gouttes de miel ont été déposées sur les parois ont été utilisés pour chacune des populations des deux espèces puis fermés avec du coton pour assurer l'aération.

3.5.3. Etude des parasitoïdes larvaires de la processionnaire du Pin dans la région de Tipaza en 2018:

Juste avant leur enfouissement dans le sol, un total de 366 chenilles du dernier stade larvaire en cours de procession de nymphose et issues de deux nids ont été récoltées au niveau de chaque station forestière. Un nombre de 41 chenilles, 63, 43, 182 et 37 chenilles ont été récoltées les 8, 9, 13, 10 et 9 mars 2018, respectivement dans les pinèdes de Kolea Sud, Sidi Rached, Attatba, Kolea Nord et Tipaza.

Les chenilles ont été déposées dans des boîtes en plastique transparent de dimensions 23 x 16 x 10 cm fermées par un couvercle avec de minces trous d'aération et conditionnées dans une pièce en aération naturelle constante.

Les observations des différentes nymphes de la processionnaire ont été réalisées jusqu'à la fin des émergences des adultes et des parasitoïdes larvaires pour chaque site forestier, afin de déterminer les périodes d'émergence des adultes des parasitoïdes avec celles des papillons du ravageur.

3.6. Paramètres étudiés et méthodes d'analyse :

3.6.1. Analyse de la composition floristique des sites forestiers de Tipaza en 2017-2018 :

Toutes les plantes récoltées et identifiées sont répertoriées selon leurs familles botaniques en relation avec la strate de végétation dans une matrice de présence-absence (1-0) de chaque espèce selon la station considérée. Les indices d'abondance-dominance ont servi à caractériser chaque station forestière par les espèces de plantes les plus représentatives. Les richesses des familles et des espèces ont été considérées.

La distribution des communautés végétales des pinèdes étudiées à Tipaza a été appréhendée à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances détendue (Detrended correspondence analysis DCA) suivie d'une classification ascendante hiérarchique en utilisant l'algorithme de Ward pour le calcul des mesures de similitude de distance entre les scores des variables plantes.

3.6.2. Analyse spatiale de l'occupation des sols dans les régions d'étude :

L'effet des descripteurs stationnels sur l'activité de la processionnaire, entre autres le couvert forestier des sites d'étude, a été appréhendé. Un système d'information géographique (SIG) a été utilisé pour calculer, stocker et organiser toutes les données d'occupation des sols en tenant compte des variables suivantes :

- (i) les surfaces urbaines, y compris les zones industrielles;
- (ii) les routes;

- (iii) le sol nu, y compris les zones peu herbacées, zones de sol rocheux et dénudées;
- (iv) l'agriculture, y compris les terres arables, les zones irriguées et non irriguées intensivement, vignobles, arbres fruitiers, et oliviers.....;
- (v) les forêts, y compris naturelle et artificielle, feuillus, mixtes et résineux, garrigue et zones de transition bois-garrigue.

Une zone tampon circulaire d'un rayon de 300 m (Fig.3.16) a été positionnée à l'aide des coordonnées du GPS [152], au centre de chaque peuplement forestier (site de Tipaza dans la région de Tipaza, site de Djebel Doui dans la région d'Aïn Defla et site Centre au niveau de la cédraie de Theniet El Had) (fig. 3.16 a, b et c).

À l'intérieur de cette zone tampon, les patches correspondants aux zones urbaines, aux zones de sol nu, aux zones agricoles et forestières (Fig. 3.16), ont été numérisés (données ArcGIS Online, Copyright © Esri) par classification visuelle des résolutions en utilisant une résolution spatiale de 50 cm. La zone tampon représente une approche méthodologique importante pour l'identification des relations paysage-espèce ([151]; [152]).

Les analyses spatiales ont été menées de sorte qu'il n'y ait pas de chevauchement du rayon de la zone tampon avec les points d'échantillonnage les plus proches. Les variables environnementales ont été évaluées en pourcentage de la surface occupée par chaque classe d'occupation du sol, dans la zone tampon totale.

L'altitude, la pente et l'orientation ont été obtenues en utilisant les coordonnées géographiques des sites en utilisant une distance de résolution spatiale de 30 mètres sur la base du modèle d'élévation numérique global (SRTM 1 Arc-Second, disponible sur <https://earthexplorer.usgs.gov/>). L'orientation a été calculée à partir d'une carte topographique tandis que la pente a été extraite comme pourcentage de pente à l'aide de la boîte à outils de surface dans ArcGIS 10.5 (ArcGIS, Copyright © Esri). Les cartes de distribution ont été réalisées à l'aide du Logiciel ArcGis® 10.3. ESRI [153].

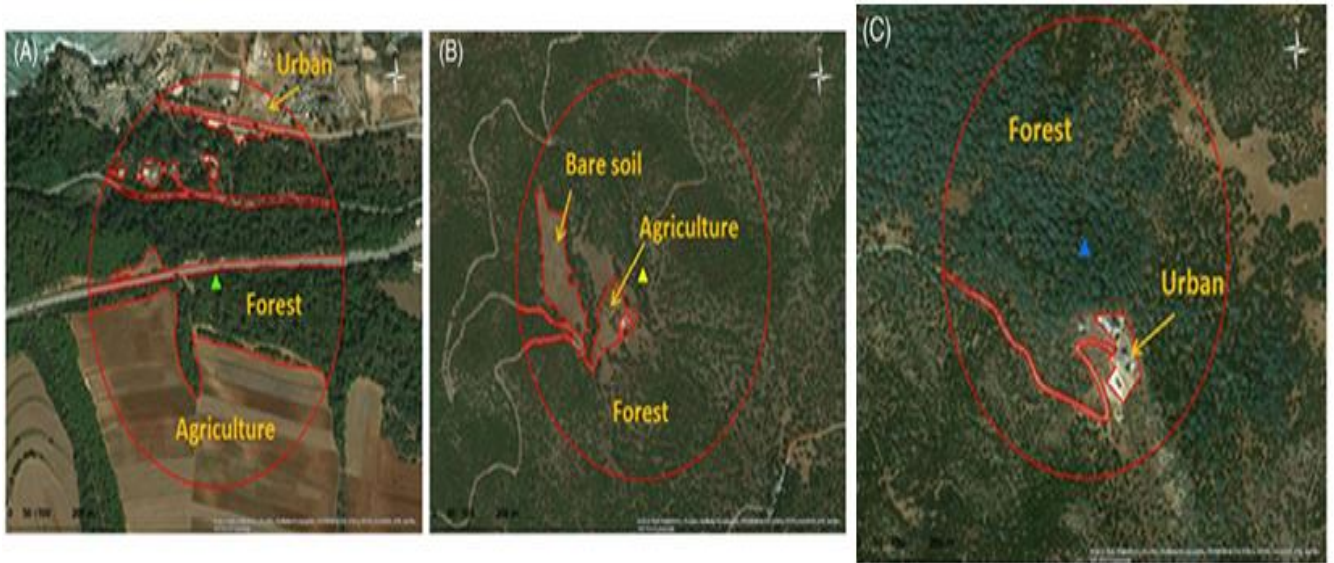


Figure 3.16. : Illustration de la délimitation des types d'occupation des sols, dans la zone tampon de 300 m, [imagerie mondiale ArcGis **(a)** site de Tipaza (région de Tipaza), **(b)** Site de Djebel Doui (région Ain-Defla), **(c)** site Nord Haut (région de Theniet El-Had)].

3.6.3. Analyses statistiques :

3.6.3.1. Analyses descriptives et test post-hoc :

Dans l'ensemble, la densité moyenne des nids par arbre a été utilisée comme indicateur de la densité locale de la processionnaire du pin. Le nombre de manchons de ponte et le nombre de nids total et moyen ont été comptabilisés selon leur distribution spatiotemporelle et en fonction de l'exposition.

Les paramètres descripteurs des pontes (effectifs, longueurs, catégories des œufs) et des parasitoïdes embryonnaires et larvaires) ont été exprimés par le calcul des moyennes écarts types et coefficients de variation à l'aide du logiciel STATITIX version 9. Les données sont présentées sous forme de valeurs moyennes \pm standard erreur (SE).

Nous avons utilisé le test d'échantillons appariés qui permet la comparaison entre deux groupes de données étudiées dans chaque station à partir du logiciel SPSS vers.21. Pour vérifier l'effet d'un facteur contrôlé ayant des modalités sur les moyennes des variables quantitatives étudiées, l'analyse de la variance à un seul facteur a été utilisée pour tester les différences significatives entre les moyennes.

des longueurs des pontes et le dénombrement des catégories d'œufs. Le Test LSD de comparaison des moyennes a été également utilisé pour faire ressortir les groupes homogènes.

3.6.3.2. Analyses de la fécondité et du parasitisme par l'utilisation des Modèles linéaires généralisés :

La fécondité des parasitoïdes embryonnaires a été comparée entre les régions utilisant un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM), considérant le site comme variable aléatoire. La distribution de chaque espèce parasitoïde a été ajustée selon le modèle de Poisson (aléatoire) et le modèle binomial négatif (en cluster) à travers les modèles linéaires généralisés (GLM). Différentes analyses statistiques ont été effectuées :

- Le nombre total de parasitoïdes émergés pour chaque espèce a été comparé en considérant l'effet du site d'étude (facteur site site imbriqué dans facteur région).
- Le pourcentage de parasitisme a été analysé en considérant la proportion d'œufs parasités par rapport au nombre total d'œufs par ponte. Les trois régions d'étude ont été comparées, avec le site facteur imbriqué dans la région. Les données de parasitisme ont été transformées en Log. Les GLM ont également été utilisés pour analyser l'effet des températures moyennes maximales de la période estivale dans les trois régions, sur le taux de parasitisme.
- L'effet des facteurs topographie orientation et pente (effets fixes) a été analysé sur le parasitisme moyen par site et par espèce en utilisant le GLMM avec le modèle de distribution gaussienne.
- L'effet de l'orientation topographique sur le nombre de nids par arbre a également été analysé à l'aide du GLMM, en utilisant la loi de Poisson comme modèle de distribution et en considérant la région comme un facteur aléatoire. Les corrélations ont été analysées à l'aide des coefficients de Pearson (r), et de Spearman (Coefficients rho, r_s).
- Les taux de parasitisme ont été comparés entre les deux enquêtes (observations personnelles de 2017 à 2019 et les données de Bouchou (2012), chaque espèce de parasitoïde a été analysée séparément.

Pour les enquêtes par sondage menées dans les trois régions (Tipaza, Ain-Defla et Theniet El-Had) de 2017 à 2019, en utilisant GLM avec une distribution binomiale négative, le nombre d'œufs par ponte a été utilisé comme covariable.

Compte tenu du vaste ensemble de données des 27 sites forestiers étudiés, les relations entre les types de couverture terrestre et le pourcentage moyen de parasitisme ont été analysés en utilisant GLM avec le modèle de distribution gaussienne. Chaque proportion de type de couverture a été analysée aussi séparément [153].

CHAPITRE 4

RESULTATS

4.1. Activité de la processionnaire du pin dans les pinèdes de Tipaza en 2017:

4.1.1. Analyse de la végétation des stations forestières étudiées :

La végétation fait partie intégrante du biotope ; elle influe sur la distribution spatiale des individus ; grâce à sa densité volumique. ROOT [154] et revue par RUSSEL [155], suggère que la diversité des essences végétales peut favoriser les ennemis naturels en leur apportant un abri, des sites d'oviposition ou d'hibernation, des hôtes ou proies alternatifs, ou encore une alimentation complémentaire pouvant améliorer leur fitness.

Tableau 4.1 : Description floristique des pinèdes étudiées dans la région de Tipaza.

Site forestier	Richesse en familles de plantes	Principales familles	Richesse spécifique	Espèces dominantes (Indice d'abondance-Dominance)
Tipaza	13	Pinaceae, Fagaceae, Anacardiaceae, Poaceae, Fabaceae, Cistaceae	14	* <i>Pinus halepensis</i> Miller 5.5 * <i>Quercus coccifera</i> L. 4.4 * <i>Pistacia lentiscus</i> L. 4.4 * <i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 4.4 * <i>Genista tricuspидata</i> Latreille 3.3 * <i>Cistus monspiliensis</i> L. 2.4
Kolea Sud	18	Pinaceae, Fagaceae, Lamiaceae, Poaceae, Fabaceae, Cistaceae Oleaceae	27	* <i>Pinus halepensis</i> Miller 5.5 * <i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 3.4 * <i>Genista tricuspидata</i> Latreille. 2.3 * <i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 4.5 * <i>Cistus monspiliensis</i> 2.2 * <i>Marrubium vulgare</i> L. 2.3 * <i>Olea europaea</i> L. 2.2 * <i>Phylliria angustifolia</i> L. 2.3 * <i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4 * <i>Quercus coccifera</i> L. 3.2
Kolea Nord	18	Fabaceae Pinaceae Poaceae Lamiaceae Cistaceae Anacardiaceae Fagaceae Oleaceae	32	* <i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 3.4 * <i>Genista tricuspидata</i> Latreille 2.3 * <i>Pinus halepensis</i> Mill. 5.5 * <i>Marrubium vulgare</i> L. 2.3 * <i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 4.5 * <i>Cistus monspiliensis</i> L. 2.2 * <i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4 * <i>Quercus coccifera</i> L. 3.2 * <i>Phylliria angustifolia</i> L. 2.3

Tableau 4.1 : Description floristique des pinèdes étudiées dans la région de Tipaza (suite).

Site forestier	Richesse en familles de plantes	Principales familles	Richesse spécifique	Espèces dominantes (Indice d'abondance-Dominance)
Attatba	14	Pinaceae	18	<i>Pinus halepensis</i> Mill. 5.5
		Oleaceae		<i>Phylliria angustifolia</i> L. 3.4
		Poaceae		<i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 2.2
		Cistaceae		<i>Cistus salvifolius</i> L. 2.3
		Fabaceae		<i>Cistus monspiliensis</i> L. 3.3
		Lamiaceae		<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 2.3
		Anacardiaceae		<i>Lavandula stoechas</i> L. 3.3
		Fagaceae		<i>Rosmarinus officinalis</i> L. 4.4
				<i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4
				<i>Quercus coccifera</i> L. 3.3
Sidi Rached	18	Pinaceae	28	<i>Pinus halepensis</i> Mill. 5.4
		Oleaceae		<i>Olea europea</i> L. 2.3
		Cupressaceae		<i>Phyllirea angustifolia</i> L. 3.3
		Anacardiaceae		<i>Tetraclinis articulata</i> (Vahl) Mast. 4.4
		Fagaceae		<i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4
		Poaceae		<i>Quercus coccifera</i> L. 4.5
		Fabaceae		<i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 2.3
		Cistaceae		<i>Genista tricuspidata</i> Latreille 2.2
				<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 3.3
				<i>Cistus monspeliensis</i> L. 3.4
				<i>Cistus salvifolius</i> L. 2.3

Les pinèdes étudiées au niveau du littoral à Tipaza se caractérisent par une dominance d'espèces arborées dont l'espèce *Pinus halepensis* et des espèces arbustives (Appendice II. Tab. C). Le cortège floristique se compose de 13 à 18 familles de plantes dont les principales appartiennent aux familles des Pinaceae, Fagaceae, Lamiaceae, Poaceae, Fabaceae, Cistaceae et Oleaceae. Les indices d'abondance dominance estimés traduisent en plus du pin d'Alep, une bonne représentativité des espèces végétales telles que *Calicotome spinosa*, *Genista tricuspidata*, *Marrubium vulgare*, *Ampelodesma mauritanica*, *Cistus monspiliensis*,

Pistacia lentiscus, *Quercus coccifera* et *Phylliria angustifolia*. La pinède située dans la station de Kolea sud présente une richesse végétale plus importante, de l'ordre de 27 espèces végétales, comparativement à celles des autres pinèdes étudiées (tab. 4.1).

Les informations apportées par la présence - absence des espèces végétales trouvées dans les différentes pinèdes de la région de Tipaza, contribuent avec 58,314% et 25,128 % de la variance sur le plan d'ordination des axes1 et 2 de la DCA respectivement (Figure 4.1)

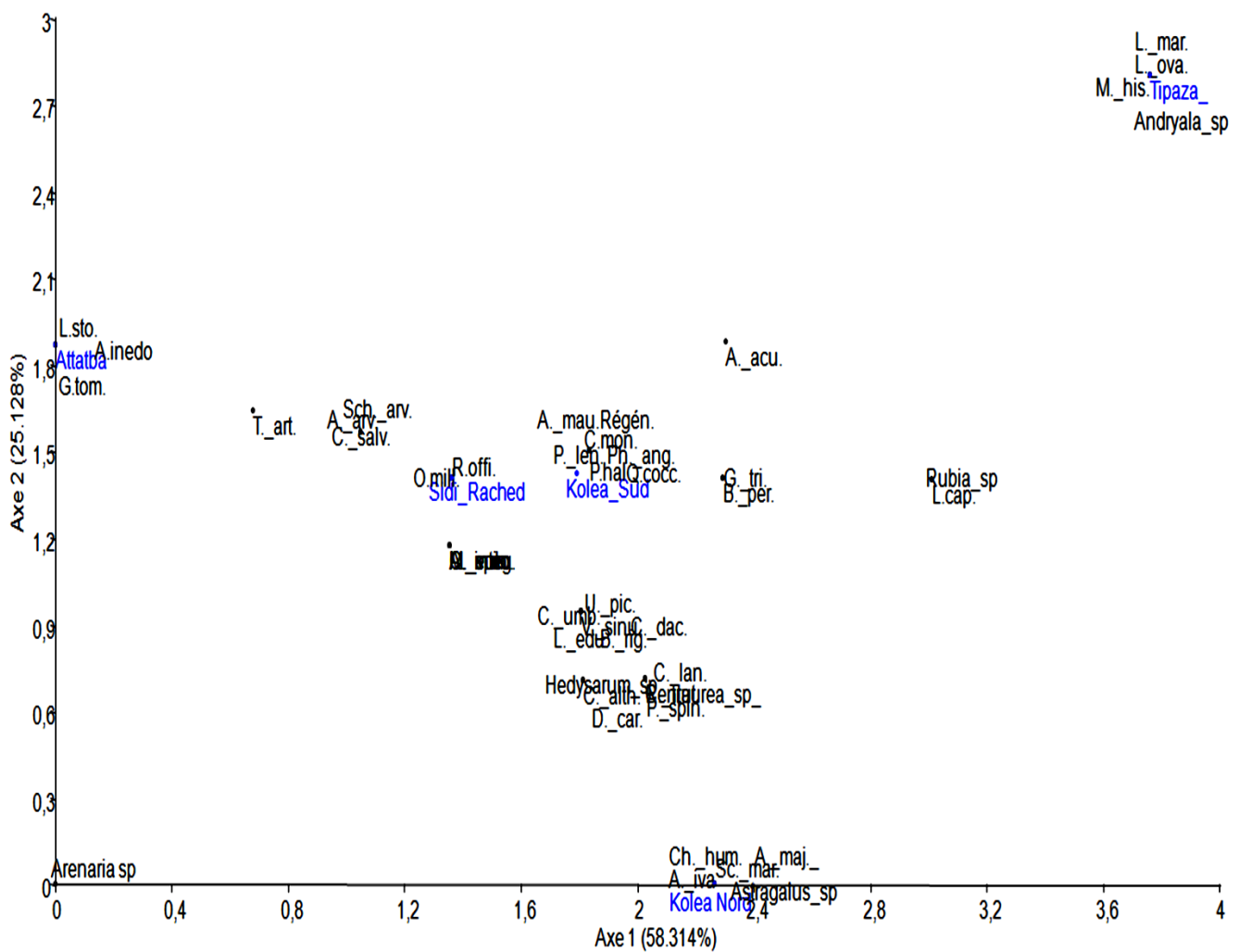


Figure 4.1a. Analyse totale des relevés floristiques en fonction des espèces par AFC dans les différentes stations étudiées.

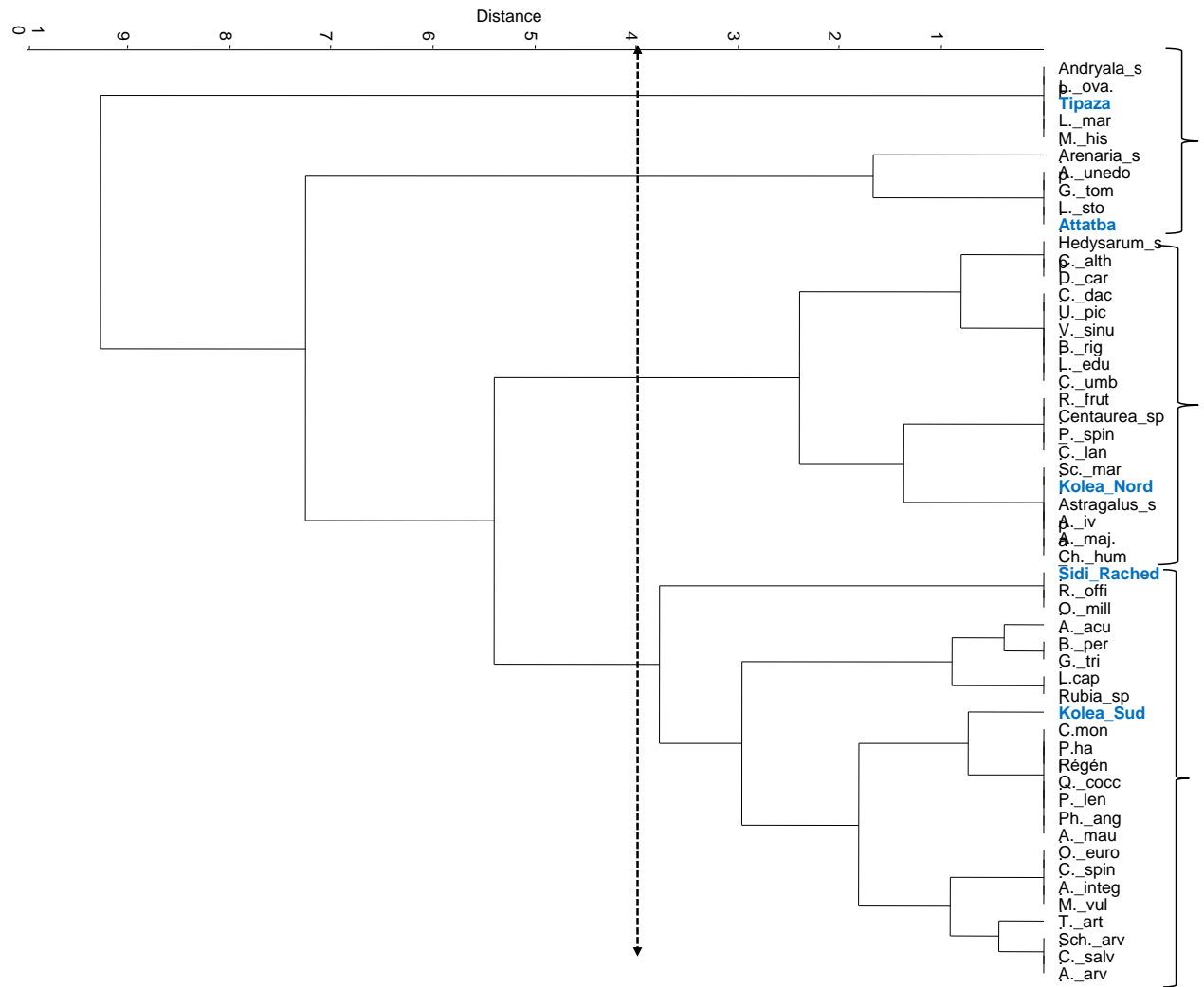


Figure 4. 1b. Projection des variables espèces de plantes rencontrées dans les pinèdes étudiées, sur le plan d'ordination de la DCA (Detrended Correspondance Analysis) et Classification hiérarchique (CAH) (Past vers. 9.11).

La CAH établie à partir d'une distance de similitude égale à 4 et selon l'algorithme de Ward (Past vers. 9.11, fig. 4.1) a mis en évidence 4 groupes de cortège floristique de où les communautés végétales se structurent différemment. Les pinèdes de Sidi Rached et de Kolea sud semblent les plus diversifiées et similaires. Les pinèdes de Kolea Nord, celle d'Attatba et de Tipaza montrent une composition disparate en communautés végétales qui est plus caractérisée par la présence ou l'absence de certaines plantes herbacées dans une pinède donnée.

4.1.2. Captures des papillons et périodes d'émergence :

Les moyennes des captures dénombrées dans les 5 pinèdes étudiées dans la région de Tipaza (fig. 4.2) sont significativement différentes d'une station à une autre ($P < 0.001$, tab. 4.2). Ainsi, le nombre moyen des mâles piégés dans la station de Sidi-Rached exposée au sud est de 11,14 papillons, en comparaison avec la moyenne des captures de 1,07 papillon, observée au niveau de la station kolea Nord exposée au nord.

Tableau 4.2 : ANOVA de l'effectif des papillons mâles capturés par station.

Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
Répétitions	13	649,23	49,941			
Stations	3	913,77	304,589	9,63	0,0001	
Résiduelle	39	1233,98	31,641			131,8
Total	55	2796,98				

Deux groupes homogènes (A, B) sont identifiés dans lesquels les moyennes de captures ne sont pas significativement différentes les unes des autres. Le premier groupe se caractérise par les plus importantes captures des papillons de la processionnaire dans la pinède de Sidi Rached. Le deuxième groupe concerne les moyennes de captures obtenues dans les stations de Kolea Sud, Tipaza, et Kolea Nord (fig. 4.2) (Appendice I. fig. D).

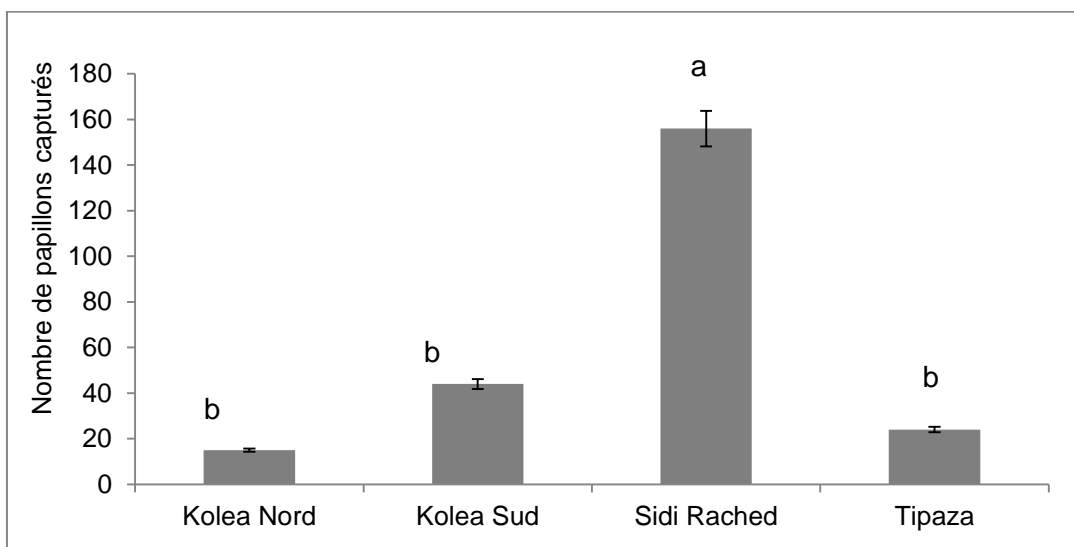


Figure 4.2: Variabilité des captures des papillons de *T. pityocampa* dans les différentes stations forestières étudiées.

La période de vol se situe entre la deuxième semaine de mois d'août et la première semaine de mois de novembre, et s'étale sur 83 jours. La plus longue durée des émergences des papillons mâles enregistrée concerne la station de Sidi Rached et celle de Kolea Sud (fig. 4.3), probablement en raison de leur exposition au sud.

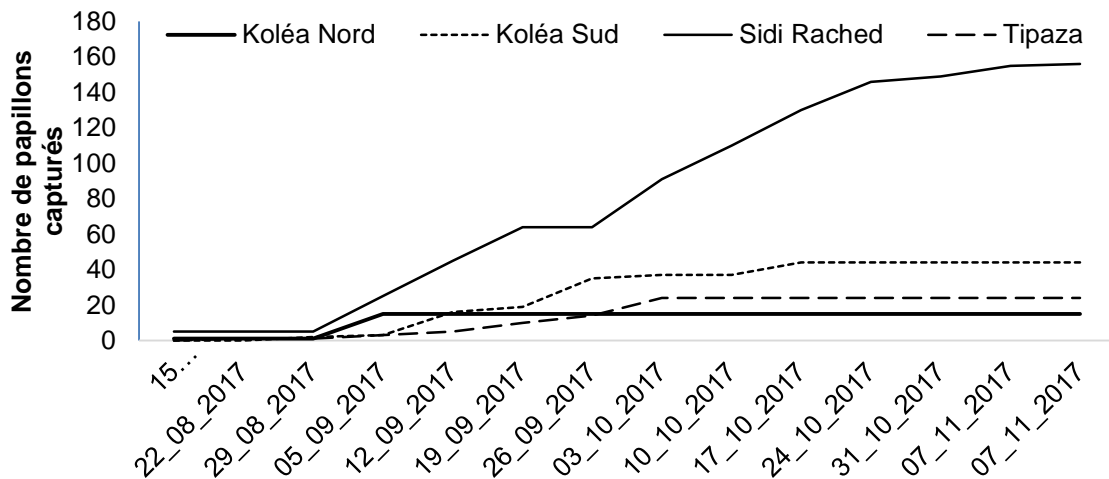


Figure 4.3 : Courbe cumulative des émergences des papillons de *T. pityocampa* dans les stations forestières de la région de Tipaza en 2017.

4.1.3. Niveaux d'infestation et distribution des nids :

Nos résultats montrent que l'insecte ravageur préfère s'installer dans les pinèdes les mieux exposées au soleil et réparties sur les versants bien exposés au sud, par rapport aux pinèdes à exposition nord.

L'abondance des nids est en effet plus élevée au niveau des stations de Sidi-Rached et Attatba par rapport à celle enregistrée dans les stations de Tipaza et Kolea Nord (Fig. 4.4).

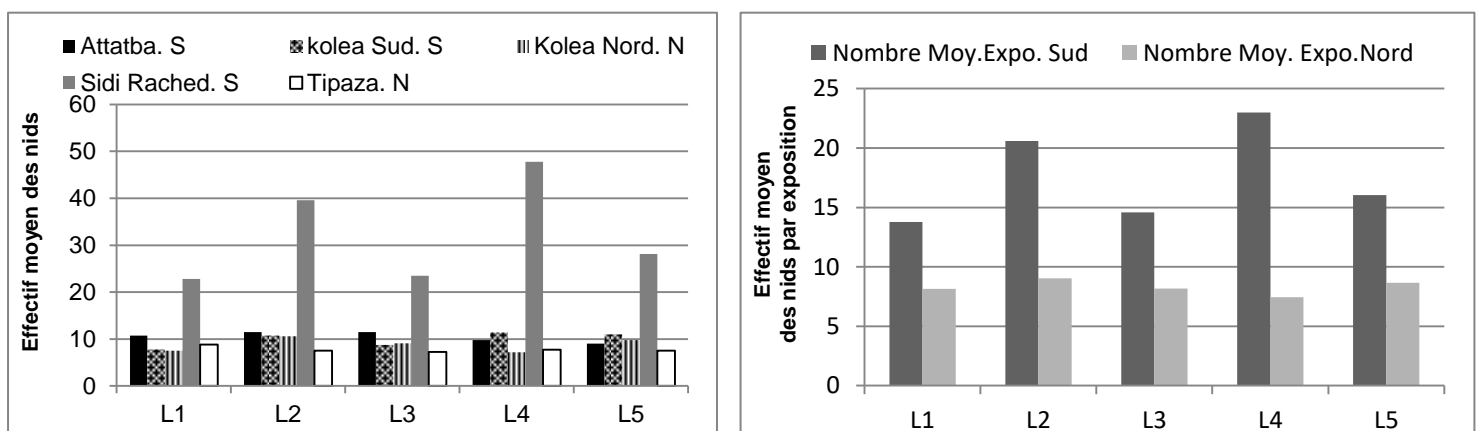


Figure 4.4 : Distribution moyenne des nids de la processionnaire dans la région de Tipaza, (S : exposition sud, N : exposition nord).

On peut également distinguer que les niveaux d'infestation entre les différentes stations ont des taux comparables avec des valeurs maximales supérieures à 56% observées dans les pinèdes exposées au sud (Sidi-Rached, Koléa sud et Attatba) (Fig. 4.5). Des taux d'infestation beaucoup plus faibles, de 41 à 49% ont été par contre enregistrés dans les pinèdes exposées au nord respectivement Kolea Nord et Tipaza.

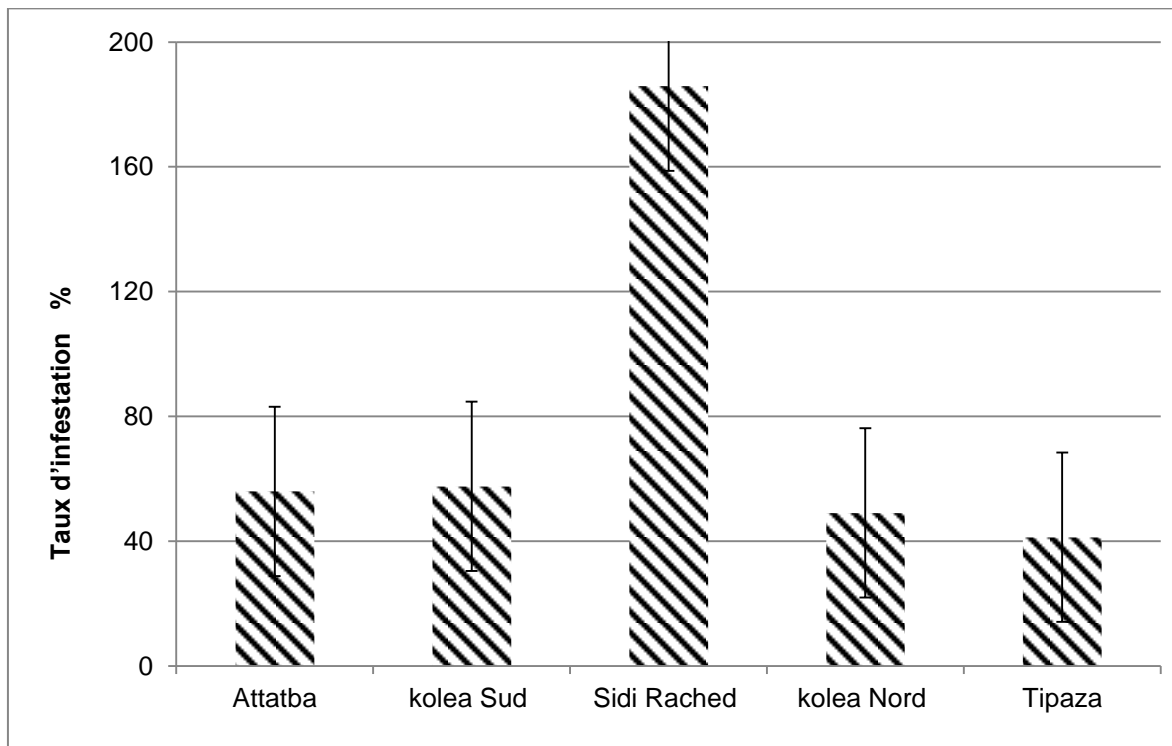


Figure 4.5. Variabilité du taux d'infestation dans les différentes stations forestières étudiées.

4.1.4. Développement larvaire de la processionnaire du pin en 2017 :

Les résultats du suivi des durées de développement larvaire de la processionnaire du pin sont mentionnés dans les figures 4.6 de a à c (stations exposées au sud) et de a et b (stations exposées au nord) ainsi que dans les tableaux 4.3 et 4.4.

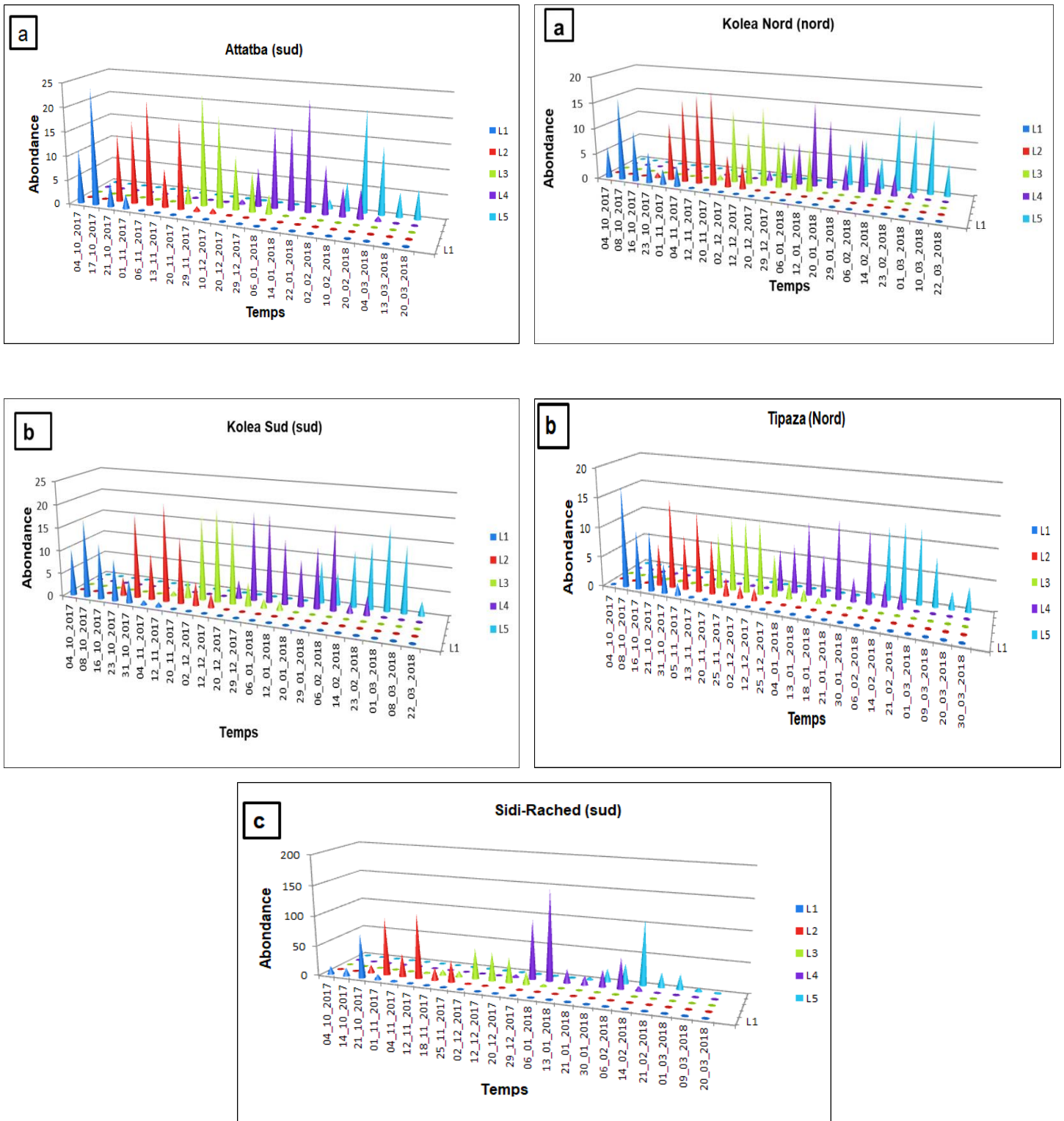


Figure 4.6. Phénologie larvaire de la processionnaire du pin dans les pineraies de la région de Tipaza selon l'exposition.

Les chenilles du premier stade L1 se développent au courant de tout le mois d'octobre jusqu'à la première semaine de novembre. Les chenilles du deuxième stade peuvent être observées du début de la troisième semaine d'octobre aux dix

premiers jours de décembre, tandis que les L3 apparaissent entre la deuxième et la troisième semaine de novembre jusqu'à la première semaine de janvier de l'année suivante. Les L4 se manifestent dès la troisième semaine du mois de décembre jusqu'à la troisième du mois de février et on peut les trouver jusqu'à la troisième semaine du mois de février et la première semaine du mois de mars.

Les chenilles du stade L5 avec leurs nids d'hiver sont présentes très tôt durant la troisième semaine du mois de janvier au niveau de la station de Sidi Rached exposée au sud et au début de mois de février jusqu'au la fin du mois de mars au sein de la station de Tipaza exposée au Nord, (tab. 4.3). On peut par la suite observer un début de processions qui peut s'étaler jusqu'au début d'avril.

Tableau 4.3 : Intervalles des périodes larvaires de la processionnaire dans la région de Tipaza, (les chiffres en gras représentent les mois).

Station	Exposition	Altitude	Réseaux de soie (L1)	Pré nids (L2)	Nids d'hiver (L3)	Nids d'hiver volumineux (L4)	Nids d'hiver volumineux (L5)
Attatba	Sud	216	4- 10 /1- 11	21- 10 /10- 12	20- 11 /6-1	20- 12 /4- 3	2- 2 /20- 3
Kolea sud	Sud	103	4- 10 /12- 11	23- 10 /12- 12	12- 11 /12-1	20- 12 /23- 2	29-1/22-3
Sidi rached	Sud	251	4- 10 /4- 11	21- 10 /12- 12	12- 11 /6-1	20- 12 /14- 2	21-1/20_3
Kolea nord	Nord	113	4- 10 /4- 11	23- 10 /12- 12	20- 11 /12-1	20- 12 /1- 3	29-1/22-3
Tipaza	Nord	67	8- 10 /5- 11	21- 10 /12- 12	12- 11 /18-1	25- 12 /21- 2	6- 2 /30- 3

La durée du stade L1 varie de 26 à 32 jours, mais elle est plus longue, de 40 jours dans la station de pin d'Alep exposée au sud à Koléa sud. Par rapport aux stations exposées au nord (Tipaza), le stade L2 dure plus longtemps environ 50 jours. On remarque par ailleurs que la durée du stade L3 est plus longue dans la station de Tipaza exposé au Nord. Enfin, si les durées interstationnelles des stades L4 et L5 sont relativement comparables : entre 51 et 69 jours pour le stade L4 et entre 34 et 53 jours pour le stade L5 ; on peut remarquer que le quatrième stade larvaire de la processionnaire du pin est le plus long : Sa durée peut s'étaler jusqu'à 2 mois et une semaine, dans les pinèdes étudiées d'après nos observations (Tab. 4.4 et fig. 4.7).

Tableau 4.4: Durées respectives (en jours) des périodes larvaires de la processionnaire dans les stations forestières étudiées.

Stations	Altitude	Exposition.	L1	L2	L3	L4	L5	Total développement larvaire
Attatba	216	Sud	29	51	46	66	47	239
Kolea Sud	103	Sud	40	51	60	58	43	252
Sidi Rached	251	Sud	32	53	54	51	34	224
Kolea Nord	113	Nord	32	51	52	69	43	247
Tipaza	67	Nord	26	53	66	53	53	251

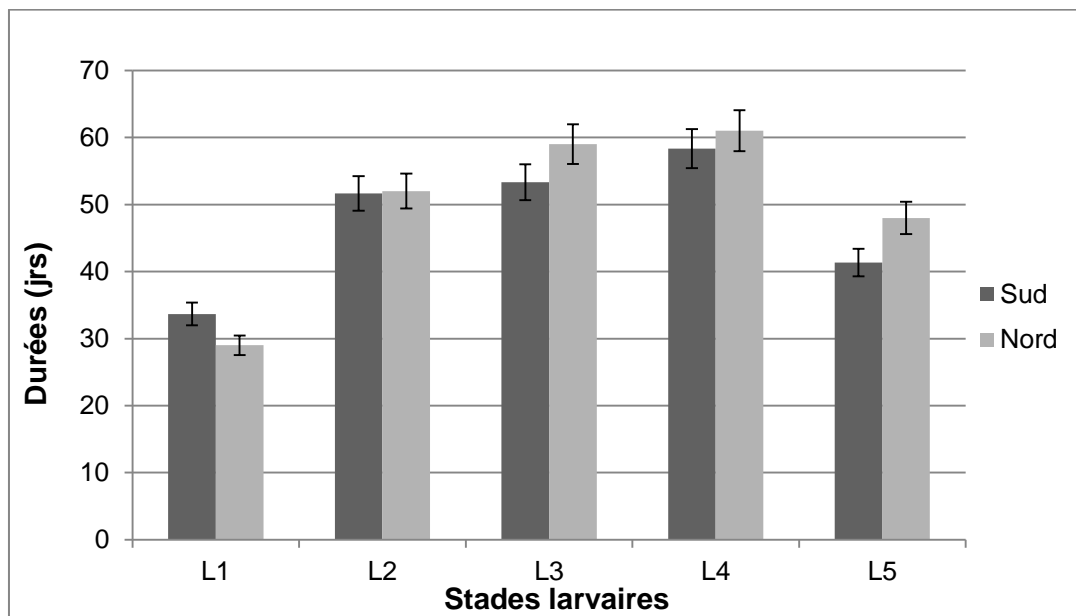


Figure 4.7 : Variabilité comparée des périodes larvaires de *T. pityocampa* dans les pinèdes étudiées de la région de Tipaza selon leur exposition.

4.1.5. Cycle interprétatif de la processionnaire dans la région de Tipaza en 2017-2018 :

Le suivi chronologique des stades d'évolution de la processionnaire de pin (*Thaumetopoea pityocampa*) selon les deux expositions Sud et Nord dans les sites d'étude de la région de Tipaza, au cours de la gradation 2017-2018, a permis d'observer un cycle annuel.

Les dates d'émergences des adultes dans les forêts de la région de Tipaza ont été observées entre le 15 Août 2017 à Sidi Rached et Kolea Nord et le 22 et 29 Août

Les résultats des dénombrements des œufs par ponte sont regroupés dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5: Analyse descriptive des effectifs des œufs dans les différents sites d'étude (moyennes et écartypes, les lettres entre parenthèses représentent des groupes homogènes différents)

	Station	Effectif total des œufs	Moyenne	Valeurs extrêmes	CV (%)
Tipaza (n150 pontes)	Attatba	5214	173,8 ± 20,82 (fg)	77-261	32,08
	kolea nord	4885	162,83 ± 16,45 (g)	77-252	27,06
	Kolea Sud	5239	174,63 ± 20,5 (fg)	79-279	31,44
	Sidi-Rached	5603	186,77 ± 13,53 (ef)	127-246	19,4
	Tipaza	4718	157,26±15,4 (g)	105-267	26,22
Aïn Defla (n150 pontes)	Annab	5730	191±17,96 (def)	80-294	25,18
	Djebel Doui	6447	214,9±22,20 (abc)	60-294	27,66
	Djemaa Ouled Cheikh	6818	227,26±11,82 (ab)	170-273	13,93
	El-Mayenne	6428	214,27±18,01 (abcd)	126-272	22,5
	Oued Djemaa	5746	191,53±19,74 (cdef)	84-270	27,6
PN Theniet ElHad (n150 pontes)	Centre	5843	194,77±15,45 (cdef)	118-257	21,24
	Nord Bas	6081	202,7±18,61 (cde)	77-336	24,59
	Nord Haut	6024	200,8±15,76 (cde)	123-308	21,02
	Sud Bas	6989	232,97±11,44 (a)	171-290	13,14
	Sud Haut	6143	204,77±20,67 (bcde)	100-320	27,03
	Total	87908	195 ± 2.4	60 - 336	26.05

Au total, les pontes examinées sur les 15 stations étudiées portent sur 87908 œufs soit une moyenne de 195 ± 2,4 œufs par ponte. Le nombre d'œufs varie en moyenne entre 157,26±15,4 œufs dans la pinède de Tipaza à 232,97± 11,44 œufs dans la station sud bas de la cédraie de Theniet El-Had, avec des coefficients de variation respectifs de 26,22% et 13,14% (tab. 4.5).

Les valeurs extrêmes notées sont de 60 œufs récoltés dans la pinède de Djebel Doui et de 336 œufs dans la station Nord Bas de la cédraie de Theniet El-Had. Si nous considérons séparément le matériel biologique récolté, d'une part l'effectif total des œufs des pontes sur pin d'Alep, varie en moyenne de 157,26±15,4 œufs dans la forêt de Tipaza à 227,26±11,82 œufs dans la forêt de Djemaa Ouled Cheikh. D'autre

part, les pontes collectées dans les sites de la cédraie de Theniet El-Had comptent de $194,77 \pm 15,45$ œufs pour la station Centre à $232,97 \pm 11,44$ Œufs pour la station Sud bas.

Les effectifs des œufs varient avec des différences très hautement significatives ($P < 0.001$, tab. 4.6), d'un site forestier à un autre, ce qui pourrait être dû aux exigences naturelles de la processionnaire du Pin et à son adaptation selon les conditions environnementales des milieux d'étude.

Tableau 4.6 : Analyse de variance de l'effectif total des œufs:

Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
Répétitions	29	59324	2045,6			
Stations	14	205647	14689	6,64	0,0000	
Résiduelle	406	898358	2212,7			24,08
Total	449					

La comparaison des moyennes des effectifs des pontes entre deux stations respectives a fait ressortir sept groupes homogènes sur la base de la valeur critique de comparaison égale à 23.876 (test LSD) à l'intérieur desquels il n'y a pas de différences significatives.

Le premier groupe renferme 4 stations : Sud Bas, Djemaa Ouled Cheikh, Djebel Doui et El-Mayenne. Le deuxième, le quatrième et cinquième groupe caractérise respectivement la station Sud Haut de la cédraie du Parc national de Théniet El-Had, la station Annab et la station de Sidi-Rached. Le troisième groupe concerne les 4 stations: Nord Bas, Nord Haut, Centre et oued Djemaa. Le sixième et septième groupe est formé par 2 stations respectivement Kolea Sud et Attatba d'une part et Kolea Nord et Tipaza d'autre part. (Appendice II. Tab. E).

Dans les trois régions étudiées, le nombre moyen d'œufs par ponte était de $195 \pm 2,4$ (intervalle 60–336, $n = 450$, tab. 4.5) globalement. La fécondité était significativement plus faible dans la région de Tipaza ($171 \text{ œufs} \pm 2,4$, $n = 150$) par rapport à celle observée dans la région de Theniet El-Had ($208 \text{ œufs} \pm 3,6$, $n = 150$) et Ain-Defla ($207 \text{ œufs} \pm 4,1$, $n = 150$), ($F_{(2, 447)} = 11,7$, $p < 0,001$).

4.2.2. Analyse des longueurs des pontes :

Les résultats des mensurations des longueurs de pontes du ravageur sont consignés dans le tableau 4.7 :

Tableau 4.7 : Analyse descriptive des longueurs des pontes de la processionnaire du pin au niveau des sites et des régions d'étude, (moyennes et écartypes, les lettres entre parenthèses représentent des groupes homogènes différents, ni=30; N=450).

Région	Stations	Longueurs moyennes des pontes (cm)	Valeurs extrêmes (cm)	C V (%)
Tipaza	Attatba	2,42 ± 0,29 (def)	1,2 - 3,4	32,85
	kolea nord	2,65 ± 0,22 (bcd)	1,5 - 3,6	21,99
	Kolea Sud	2,20 ± 0,23 (f)	1,0 - 3,0	28,51
	Sidi-Rached	2,28 ± 0,18 (ef)	1,0 - 3,2	22,19
	Tipaza	2,51 ± 0,25 (cdef)	1,1 - 4,0	27,01
Aïn defla	Annab	2,78 ± 0,28 (bc)	1,2 - 4,5	27,02
	Djebel Doui	3,13 ± 0,28 (a)	1,2 - 4,5	24,09
	Djemaa Ouled Cheikh	2,9 ± 0,27 (ab)	1,3 - 4,3	24,06
	El-Mayenne	3,16 ± 0,31 (a)	1,6 - 4,5	26,46
	Oued Djemaa	2,86 ± 0,31 (ab)	1,4 - 4,5	28,37
Theniet El Had	Centre	2,46 ± 0,15 (cdef)	1,7 - 3,1	16,36
	Nord Bas	2,45 ± 0,23 (cdef)	1,5 - 3,9	25,76
	Nord Haut	2,35 ± 0,22 (def)	1,2 - 4	24,98
	Sud Bas	2,61 ± 0,23 (bcde)	1,5 - 4,5	23,23
	Sud Haut	2,61 ± 0,16 (bcde)	1,8 - 3,6	16,94
Moyenne		2.62 ± 0.24	1,0 - 4.5	/

Dans les pinèdes, les longueurs moyennes des pontes mesurées varient de 2,20 ± 0,23 cm dans la station de Kolea Sud (région de Tipaza) à 3,16 ± 0,31 cm dans la station d'El-Mayenne (exposée au sud) (région d'Ain-Defla) avec des coefficients de variation comparable de l'ordre de 26%. Les valeurs extrêmes obtenues varient de 1,0 cm dans les stations de kolea sud et de Sidi-Rached, à 4.5 cm dans les stations Annab, Djebel Doui, El-Mayenne et Oued Djemaa.

Dans les cédraies du Parc national de Theniet El-Had par contre, les longueurs de pontes mesurées varient de 2,35 ± 0,22 cm dans la station Nord Haut à 2,61 ± 0,23 cm dans les stations Sud Bas et Sud Haut avec des coefficients de variation

comparable de l'ordre de 21%. Les valeurs extrêmes obtenues varient de 1,2 cm dans les stations Nord Haut à 4.5 cm dans la station Sud bas.

On constate que les manchons des pontes collectées sur les cèdres exposées du côté sud sont un peu longs par rapport à celles des pontes étudiées dans les pinèdes. Néanmoins, si l'on considère séparément le matériel biologique collecté dans les forêts de pins d'Alep et dans les forêts de cèdres de l'Atlas, les données d'observations sont similaires pour les deux plantes hôtes.

En revanche, les longueurs moyennes des pontes sont significativement différentes d'une station forestière à une autre ($P < 0.001$) (Tab.4.8).

Tableau 4.8 : Analyse de variance comparant les longueurs des pontes mesurées dans les sites étudiées

Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
Répétitions	29	8,534	0,29427			
Stations	14	35,422	2,53015	5,67	0.0000	
Résiduelle	406	181,098	0,44605			25,42
Total	449					

Pour tester la différence entre chaque série de longueurs de pontes différentes, nous avons utilisé le test de la plus petite différence significative (LSD). Six groupes homogènes sont identifiés.

Le premier groupe est représenté par les pinèdes étudiées dans la région de Aïn-Defla (El-Mayenne, Djebel Doui, Djemaa ouled Cheikh et Oued Djemaa), il n'y a pas de différences significatives entre les moyennes des longueurs des pontes collectées.

Le deuxième groupe comprend les stations à pinèdes et cédraies avec des pontes dont longueur moyenne des pontes est de 2,6 cm, (Annab, Kolea Nord, les stations du Parc National de Theniet El-Had dont Sud Haut et Sud Bas) (Appendice II. Tab. D). Le troisième groupe, quatrième, cinquième et sixième groupe se distinguent par les stations forestières où les longueurs moyennes des manchons de pontes sont

comprises entre 2,2 cm et 2,48 cm (Tipaza, Centre et Nord Bas, Attatba et Nord Haut, Sidi Rached et Kolea Sud).

4.2.3. Analyse des catégories d'œufs :

Un effectif de 450 pontes ont été examinées comptant 87908 œufs au total. Les résultats sont consignés dans le tableau 4.12. Les pourcentages des différentes catégories d'œufs de la processionnaire (éclos, non éclos et parasités fig. 4.9 sont illustrés dans la figure 4.10.

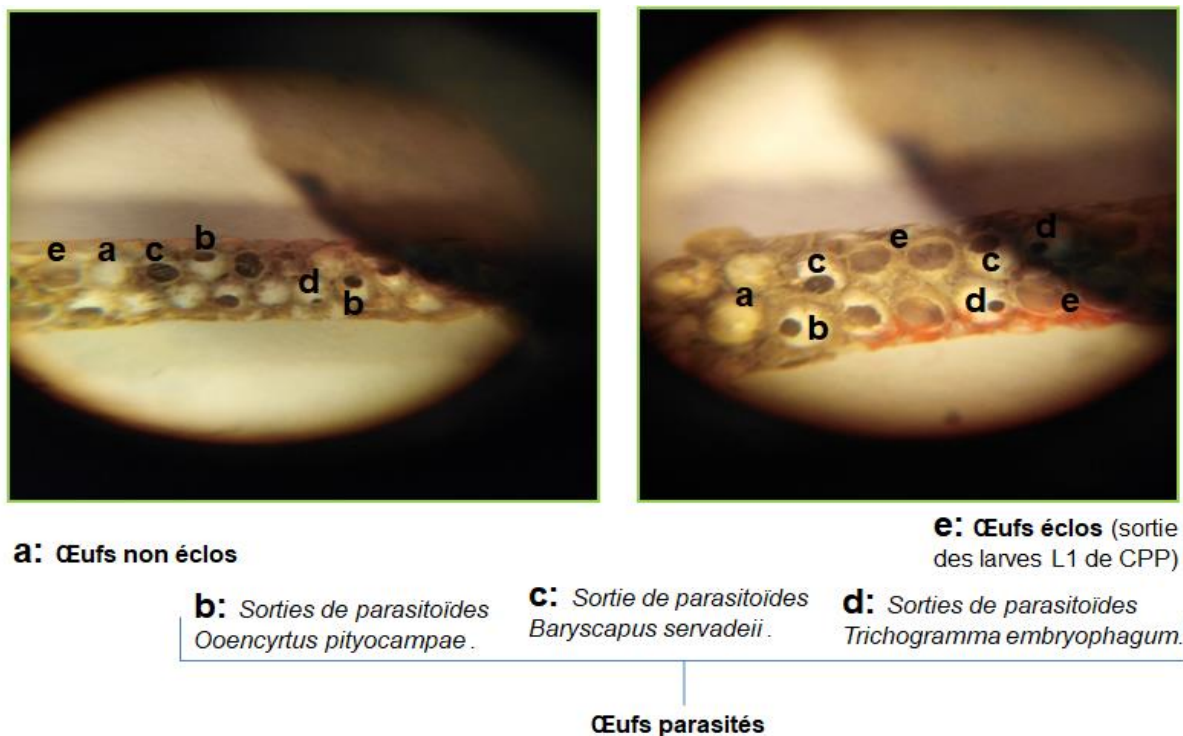


Figure 4.9 : Manchons de ponte avec œufs éclos, œufs non éclos et œufs parasités (Originale, 2017, forêt de Tipaza).

4.2.3.1. Analyse des œufs éclos :

Au niveau des pinèdes de la région de Ain-Defla, le nombre moyen des œufs éclos varie de $0,1 \pm 0,11$ œufs dans la station de Djemaa Ouled Cheikh (0.04%), $174,43 \pm 24,52$ œufs dans la station de Annab (81,17%). Dans la cédraie du parc national de Theniet El-Had, le nombre d'œufs éclos varie en moyenne de $129,9 \pm 24,75$ œufs (64,08%) dans la station Nord Bas du parc à $181,03 \pm 25,07$ œufs (88,41%) dans la station Sud Haut (fig. 4.9). Les valeurs extrêmes notées sont de 7 œufs dans le site de Djebel Doui à 275 œufs à la station Annab, contre des valeurs extrêmes de 03 œufs seulement au niveau de la station Nord Bas et 301 œufs à la station Sud Haut, dans la cédraie de Theniet El-Had. Nos résultats montrent que le

nombre d'œufs éclos dans la cédraie est plus élevé que celui observé dans les pinèdes de Tipaza et Ain-Defla pendant les périodes de l'étude de 2017 à 2019 (Tab.4.12).

L'effectif moyen des œufs éclos varie significativement d'un niveau de station à l'autre ($P < 0.001$) (tab. 4.9).

Tableau 4.9 : ANOVA de la comparaison des moyennes des œufs éclos de la processionnaire entre les stations étudiées

Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
Répétitions	29	94578	3261,3			
Stations	14	1231575	87969,7	26,89	0,0000	
Résiduelle	406	1327992	3270,9			44,4
Total	449					

Le test des étendues multiples au niveau de confiance de 95,0% a permis de mettre en évidence les moyennes des catégories d'œufs éclos significativement différentes les unes des autres. Cinq (05) groupes homogènes sont identifiés. Le premier groupe est formé par les stations de Sud Haut, Djebel Doui, Annab et Sidi-Rached. Le deuxième groupe est formé par 2 stations qui sont : Attatba et El-Mayenne. Le troisième groupe également formé par 2 stations à savoir : Sud Bas et Nord Haut. Le quatrième groupe est formé par 5 stations : Centre, Kolea Sud, Nord Bas, Tipaza et Kolea Nord. Le cinquième groupe est formé par 2 stations qui sont : oued Djemaa et Djemaa Ouled Cheikh (Appendice II. Tab. F).

4.2.3.2. Analyse des œufs non éclos :

Le nombre d'œufs non éclos varie en moyenne de $2,6 \pm 2,84$ œufs dans le site de Tipaza à $220,93 \pm 11,71$ œufs dans la station de Djemaa Ouled Cheikh. Ces deux moyennes extrêmes ont été constatées au niveau des pinèdes des régions de Tipaza et d'Ain-Defla. Par contre, dans les cédraies du parc national de Theniet El-Had, le nombre d'œufs non éclos varie de $15,83 \pm 13,51$ dans la station Sud Haut, à $71,43 \pm 35,08$ œufs dans la station sud Bas.

Nous constatons que le nombre d'œufs non éclos dans les pinèdes est supérieur à celui observé dans les cédraies du parc national de Theniet El-Had, (tab. 4.12, fig 4.10).

Les effectifs des œufs non éclos enregistrés varient significativement d'une station à l'autre au niveau de confiance de 95,0% ($P < 0.001$). (Tab.4.10)

Tableau 4.10 : ANOVA de la comparaison des moyennes des œufs non éclos de la processionnaire entre les stations étudiées

Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
Répétitions	29	40520	1397			
Stations	14	1863194	133085	86,28	0,0000	
Résiduelle	406	626250	1542			88,64
Total	449					

Le test LSD des étendues multiples a été réalisé et a mis en évidence six (6) groupes homogènes identifiés dans lesquels les moyens ne sont pas significativement différents les uns des autres.

Le premier groupe, le deuxième groupe et le troisième groupe homogène concernent les stations respectives de Djemaa Ouled Cheikh, d'Oued Djemaa, et de la station Sud Bas de la cédraie.

Le quatrième groupe rassemble les effectifs d'œufs non éclos des 4 stations: El-Mayenne, centre, Nord Haut et Nord Bas au PN de Theniet El-Had. Le cinquième groupe est formé par 2 stations Djebel Doui et Sud Haut. Le sixième groupe est formé par 6 stations qui sont les cinq stations de la région de Tipaza (Sidi Rached, Kolea Sud, Attatba, Kolea Nord et Tipaza) (Appendice II. Tab. G).

4.2.3.3. Analyse des œufs parasités :

Le nombre d'œufs parasités dans les pinèdes de Tipaza et d'Ain-Defla varient en moyenne de $5,17 \pm 3,38$ œufs dans le site d'Oued Djemaa, à $37,83 \pm 6,43$ œufs parasités dans le site de Kolea Sud. Par contre, dans la cédraie du parc national de Theniat El-Had, le nombre d'œufs parasités varie de $7,90 \pm 4,44$ œufs dans la station Sud Haut à $51,20 \pm 13,81$ œufs parasités dans la station Nord Bas. Les pontes de la

processionnaire du pin parasitées dans les cédraies sont plus importantes que celles parasitées au niveau des pinèdes.

Les moyennes des effectifs des œufs parasités ont été analysées à travers une ANOVA au niveau de confiance de 95,0% (Tab.4.11).

Tableau 4.11 : ANOVA de la comparaison des moyennes des œufs parasités de la processionnaire entre les stations étudiées

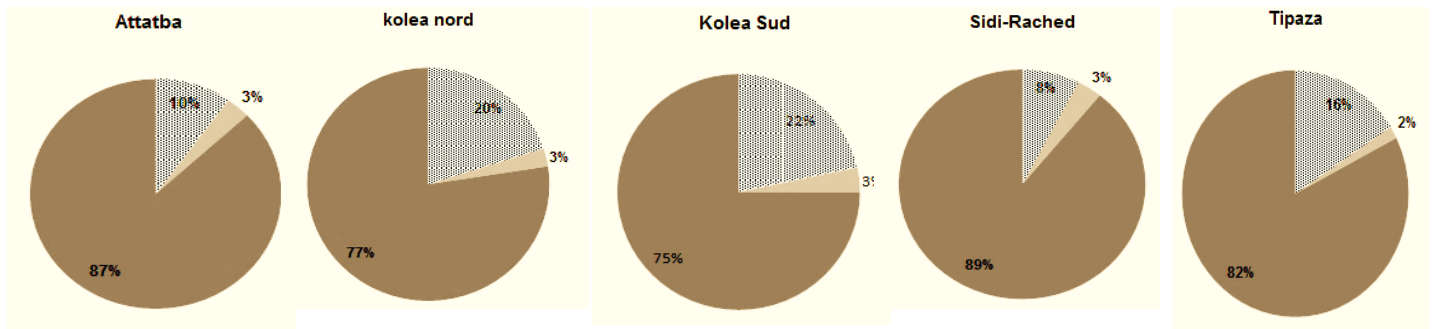
Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
Répétitions	29	11109	383,07			
Stations	14	69601	4971,51	13,7	0.0000	
Résiduelle	406	147379	363			85,65
Total	449					

Les moyennes des œufs parasitées sont significativement très différentes les unes des autres entre les stations forestières respectives ($P < 0.001$, Tab.4.11). Le test LSD des étendues multiples a été réalisé et a mis en évidence Huit (8) groupes (A, B, etc.) homogènes identifiés dans lesquels les moyennes ne sont pas significativement différentes les unes des autres. Des variations des œufs parasités étaient enregistrées.

Le premier groupe est formé par une seule station à savoir : Nord Bas. Le deuxième groupe formé par quatre stations : Kolea Sud, Kolea Nord, El-Mayenne et Nord Haut. Le troisième groupe est constitué par trois stations qui sont Centre, Tipaza et Djebel Doui. Le quatrième groupe est formé par une seule station : Attatba, le cinquième groupe est formé par une seule station : Sud Bas, le sixième groupe est formé par une seule station : Sidi Rached. Le septième groupe également formé par deux stations : Annab et Sud Haut, Le huitième groupe est formé par deux stations : Djemaa Ouled Cheikh et Oued Djemaa, (Appendice II. Tab. H).

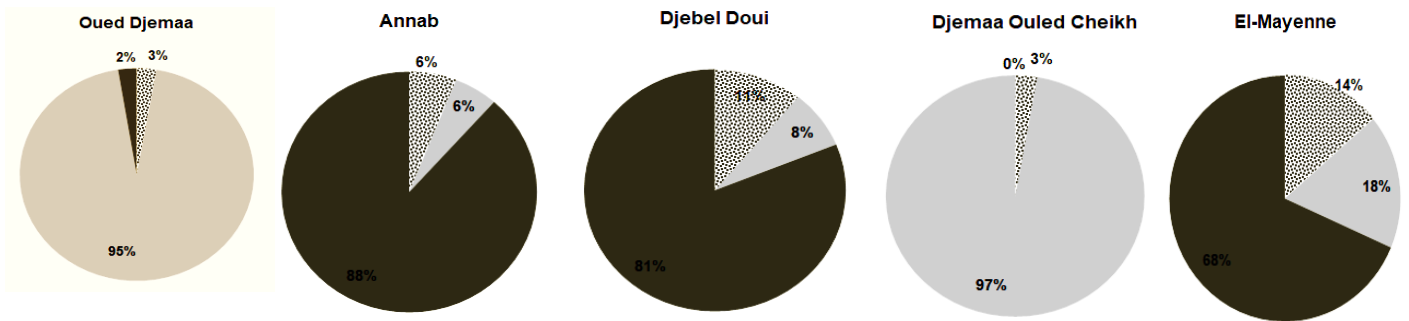
Tableau 4.12 : Analyse descriptive des catégories d'œufs observés au niveau des pontes collectées des pinèdes et cédraies étudiées (moyennes et écartypes + lettres représentant des groupes homogènes différents).

Stations	Total des œufs	Œufs parasités				Œufs non éclos				Œufs éclos			
		Effectif total	%	moyenne	valeurs extrêmes	Effectif total	%	moyenne	valeurs extrêmes	Effectif total	%	moyenne	valeurs extrêmes
Attatba	5214	511	9,80	17,03 ± 4,45 defg	0 - 54	165	3,16	5,5 ± 2,13 f	0 - 18	4538	87,03	151,27 ± 19,33 bcd	50 - 230
kolea nord	4885	978	20,02	32,60 ± 8,69 bc	2 - 91	122	2,50	4,06 ± 2,09 f	0 - 21	3785	77,48	126,17 ± 17,01 d	23 - 206
Kolea Sud	5239	1135	21,66	37,83 ± 6,43 b	13 - 87	177	3,38	5,9 ± 2,55	0 - 25	3927	74,96	130,09 ± 19,59 d	24 - 221
Sidi-Rached	5603	423	7,55	14,10 ± 3,93 fgh	0 - 37	185	3,30	6,16 ± 4,33 f	0 - 62	4995	89,15	166,5 ± 15,61 abc	97 - 242
Tipaza	4718	749	15,88	24,97 ± 6,54 cde	5 - 72	78	1,65	2,6 ± 2,84 f	0 - 41	3891	82,47	129,7 ± 14,8 d	61 - 212
Annab	5730	343	5,99	11,43 ± 5,68 gh	0 - 65	319	5,57	10,63 ± 4,45 f	0 - 40	5068	88,45	168,93 ± 17,65 abc	68 - 275
Djebel Doui	6447	708	10,98	23,6 ± 5,66 cdef	0 - 49	506	7,85	16,86 ± 4,97 ef	1 - 50	5233	81,17	174,43 ± 24,52 ab	7 - 258
Djemaa Ouled Cheikh	6818	187	2,74	6,23 ± 2,10 h	0 - 22	6628	97,21	220,93 ± 11,71 a	164 - 268	3	0,04	0,1 ± 0,11 e	0 - 1
El-Mayenne	6428	889	13,83	29,63 ± 9,27 bc	0 - 76	1137	17,69	37,9 ± 17,46 d	0 - 176	4402	68,48	146,73 ± 25,36 bcd	14 - 268
Oued Djemaa	5746	155	2,70	5,17 ± 3,38 h	0 - 41	5444	94,74	181,47 ± 21,91 b	69 - 266	147	2,56	4,9 ± 9,1478 e	0 - 134
Centre	5843	789	13,50	26,30 ± 8,20 cd	0 - 71	984	16,84	32,8 ± 13,23 de	0 - 143	4070	69,66	135,67 ± 22,78 d	0 - 247
Nord Bas	6081	1536	25,26	51,20 ± 13,81 a	0 - 117	648	10,66	21,6 ± 15,12 def	0 - 205	3897	64,08	129,9 ± 24,75 d	3 - 291
Nord Haut	6024	882	14,64	29,40 ± 8,95 bc	0 - 108	927	15,39	30,9 ± 19,51 de	0 - 224	4215	69,97	140,5 ± 24,38 cd	0 - 283
Sud Bas	6989	488	6,98	16,27 ± 6,49 efg	0 - 55	2143	30,66	71,43 ± 35,08 c	0 - 256	4358	62,36	145,27 ± 36,57 cd	0 - 289
Sud Haut	6143	237	3,86	7,90 ± 4,44 gh	0 - 37	475	7,73	15,83 ± 13,51 ef	0 - 199	5431	88,41	181,03 ± 25,07 a	0 - 301



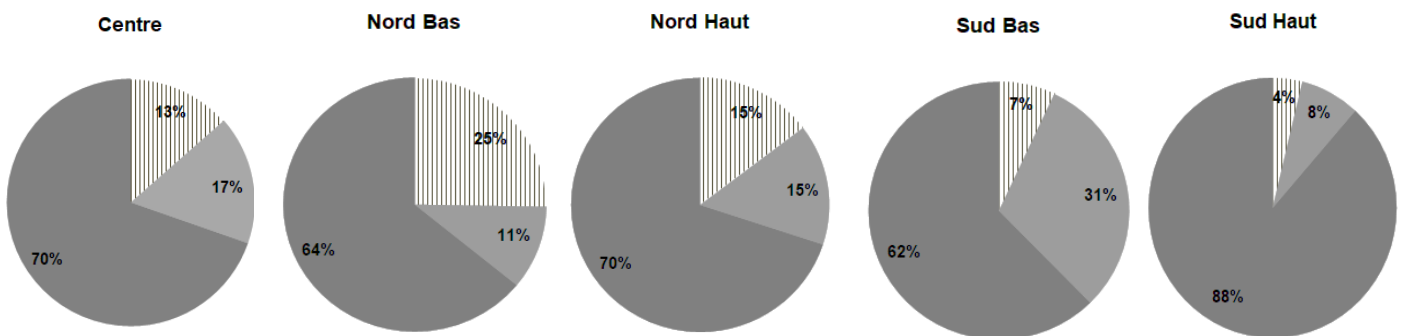
a) Région de Tipaza

œufs parasité | Oeufs non éclo | Oeufs éclo



b) Région de Aïn Defla

œufs parasité | Oeufs non éclo | Oeufs éclo



c) Région du PN de Theniet El Had

œufs parasité | Oeufs non éclo | Oeufs éclo

Figure 4.10 : Pourcentages des catégories d'œufs de *T. pityocampae* dans les 15 sites forestiers étudiés.

4.3. Analyse du Parasitisme embryonnaire :

☞ Diversité des parasitoïdes embryonnaire recueillies :

Dans notre étude deux espèces de parasitoïdes ont été identifiées sont *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae*.

* L'espèce *Baryscapus servadeii* (Domenichini) appartient à la famille des Eulophidae (Fig.4.11) se reproduit généralement par parthénogenèse thélytoque avec apparition épisodique d'individus mâles (les individus mâles sont très rares). L'abdomen est allongé et est traversé par deux bandes de couleur violette. Les antennes comprennent 5 articles chez la femelle et 6 articles chez le mâle. Elles sont plus fournies de soies et plus longues chez ce dernier. La taille moyenne du corps est comprise entre $1,1 \pm 0,1$ et $2,2 \pm 0,05$ millimètre (mm) [172]. *B. servadeii* présente deux générations par an, ce qui implique que les individus qui se développent dans les premières pontes de la processionnaire du pin sont capables de pondre à leur tour dans les œufs des pontes tardives de ce ravageur [204].

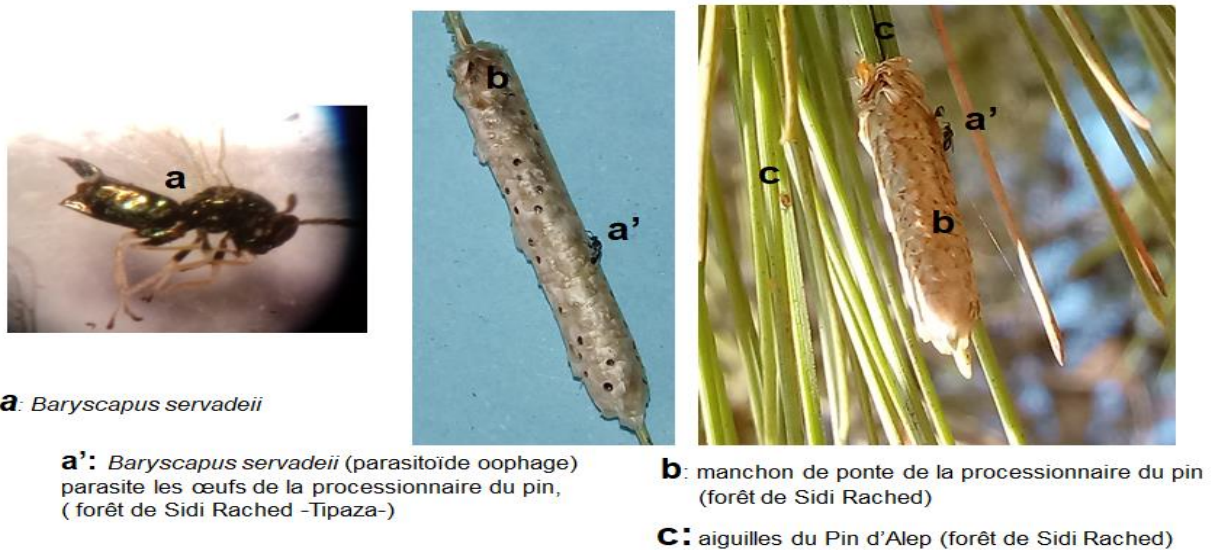


Figure 4.11 : *Baryscapus servadeii* Domenichini (Originale, 2017 forêt Tipaza)

* L'espèce *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet), appartient à la famille des Eucyrtidae (Fig.4.12). Cette espèce est polyphage et se reproduit par parthénogenèse thélytoque [172]. Selon ZAMOUM, au laboratoire, elle se développe dans les œufs ovariens de la processionnaire du pin et la processionnaire du cèdre, accepte les œufs de différentes espèces de lépidoptères. Les adultes ont un abdomen assez trapu et plus court, avec une taille du corps comprise entre $0,48 \pm$

0,01 et $0,74 \pm 0,05$ mm. Il se reconnaît à son agilité et à sa couleur noire. Les antennes présentent un funicule en 8 articles, le dernier est plus développé et divisé en trois lobes. Les individus mâles portent au niveau des antennes des poils deux fois plus long que ceux des femelles. BILIOTTI [65] a observé que *O. pityocampae* se développe selon deux générations qui peuvent se succéder dans la nature.

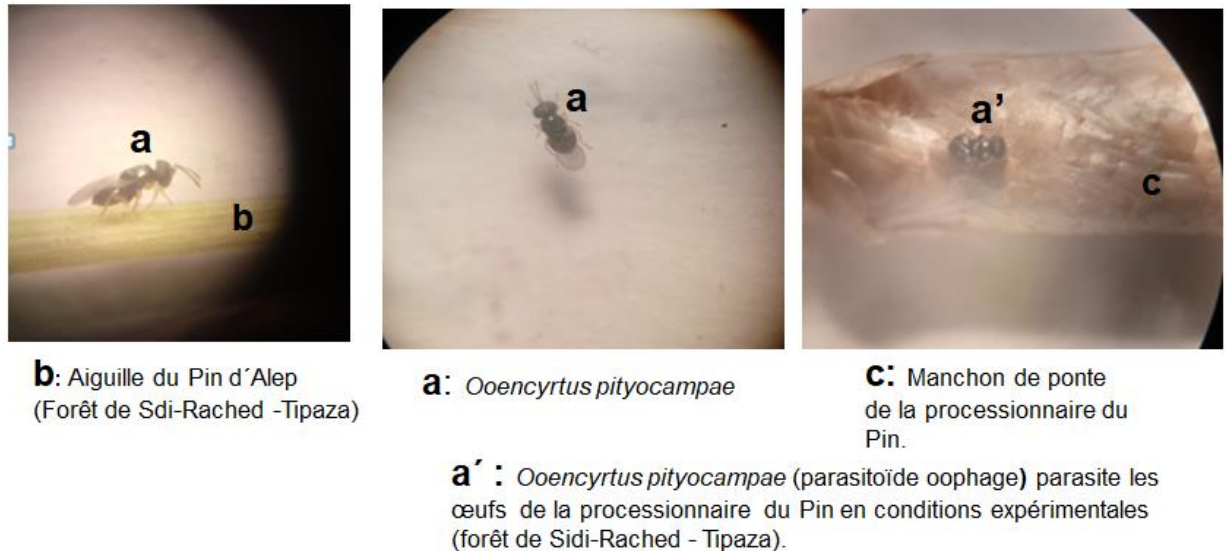


Figure 4.12: *Ooencyrtus pityocampae* Mercet (Originale, 2017 forêt Tipaza)

4.3.1. Taux de parasitisme embryonnaire global:

Le taux de parasitisme global a été calculé pour l'ensemble des œufs examinés (tab. 4.12 et fig. 4.10).

Sur les 15 sites étudiés en 2017-2019, le parasitisme global variait entre 2,8% dans la région d'Ain-Defla (Djemaa Ouled Cheikh), et 25,5% dans la cédraie de Theniet El-Had (site Nord Bas).

Nous avons évalué de plus le taux de parasitisme global et moyen séparément pour chacune des deux espèces de parasitoïdes embryonnaires à partir des manchons de pontes récoltés de chaque site étudié dans les différentes pinèdes et la cédraie (fig. 4.9 et tab. 4.12).

Au niveau des pinèdes, le pourcentage des œufs parasités par la première espèce *B. servadeii*, varie d'une pinède à une autre. Nous avons enregistré un taux de 16,01% à Kolea Sud dans la région de Tipaza (n=30 pontes, N=5239 œufs, 839 œufs parasités), contre un taux de parasitisme de 5,68% (n=29 pontes, N= 5603 œufs, 318 œufs parasités) à Sidi Rached. Dans la région de Ain-Defla en revanche,

le plus bas taux a été noté à Oued Djemaa (0,23%, n=9 pontes, N= 5746, 13 œufs parasités), alors que dans la forêt de pin d'Alep de Djebel Doui, seul un taux de 6,82% a été observé (n= 29 pontes, N= 6447, 440 œufs parasités). Dans les cédraies du parc national de Theniet El-Had, nous avons enregistré un taux de 0,67% au niveau de la station Sud Haut (n= 5 pontes, N= 6143, 41 œufs parasités), contre un taux de 17,20% dans la station Nord Bas (n= 27 pontes, N= 6081, 1046 œufs parasités).

Le nombre d'œufs parasités par la deuxième espèce *O. pityocampae* dans la région de Tipaza varie entre un taux de 1,50 % dans la station d'Attatba (n= 19 pontes, N= 5214, 78 œufs parasités) à un taux de 5,65 % (n= 29 pontes, N= 5239, 296 œufs parasités) à Kolea Sud. Dans la région de l'Ain-Defla, nous avons noté des taux de parasitisme par cette espèce allant de 1,22 % dans la station de Djemaa Ouled Cheikh (n= 18 pontes, N= 6818, 83 œufs parasités) à 7,45 % (n= 24 pontes, N= 6428, 479 œufs parasités) à El-Mayenne.

Dans les cédraies du parc national de Theniet El-Had, le parasitisme des œufs par l'espèce *O. pityocampae* varie d'un taux de 2.03% (n= 17 pontes, N= 6989, 142 œufs parasités) au niveau de la station Sud Bas, à un taux de 8,06 %, (n= 24 pontes, N= 6081, 490 œufs parasités) dans la station Nord Bas.

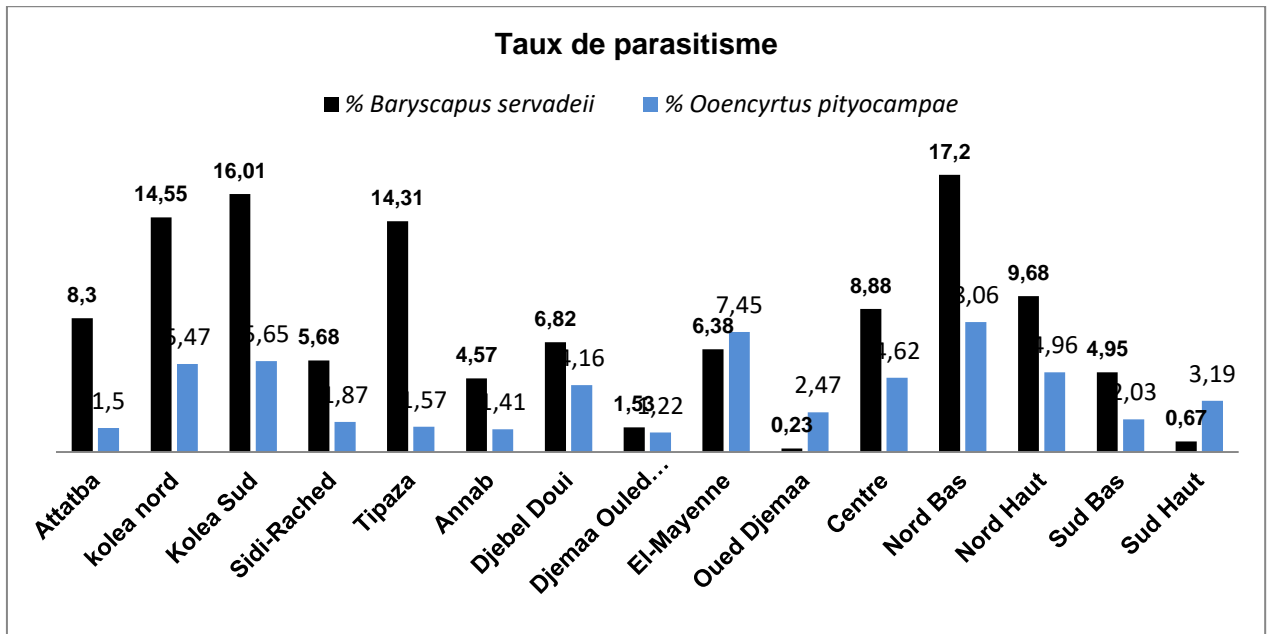


Figure 4.13.: Taux de parasitisme des deux espèces de parasitoïdes oophages dans les sites d'étude de 2017 à 2019.

En moyenne, l'abondance la plus élevée de *B. servadeii* par manchons de ponte concerne les pinèdes de Tipaza (18,6 individus \pm 1,6). Des effectifs intermédiaires ont été observés dans la cédraie de Theniet El-Had (10,7 individus \pm 0,9) alors que la plus faible abondance de *B. servadeii* a été notée au niveau des pinèdes de Ain-Defla (4,7 individus \pm 0,5). Concernant la deuxième espèce, en moyenne les nombres les plus élevés d'*O. pityocampae* par pontes ont été observés dans la cédraie du PN de Theniet El-Had (7,7 individus \pm 0,7), alors que les effectifs moyens à Tipaza et à Ain-Defla étaient similaires, 4,2 individus \pm 0,4 et 5,1 individus \pm 0,5 respectivement. Le nombre de *B. servadeii* ou *O. pityocampae* émergés n'était pas lié à la fécondité, c'est-à-dire au nombre d'œufs par lot d'œufs (tableau.4.13).

En résumé, le taux de parasitisme global de chaque espèce de parasitoïde embryonnaire était de 8,7% pour *B. servadeii* et de 3,6% pour *O. pityocampae*. Le parasitisme de *B. servadeii* a dépassé celui d'*O. pityocampae* dans 13 des 15 sites forestiers étudiés.

Les taux de parasitisme différaient significativement entre les trois régions ($p < 0,001$; Tab 4.13). Ces taux étaient plus élevés à Tipaza (15,8% \pm 0,2), comparativement à ceux de la cédraie de Theniet El-Had, (13,3% \pm 0,2) et à ceux enregistrés dans les pinèdes de Ain-Defla, (7,6% \pm 0,1).

Tableau 4.13 : Effet du facteur site (région) sur l'abondance totale des parasitoïdes de chaque espèce (GLM avec distribution binômiale négative, la fécondité a été utilisé comme covariable).

	ddl	<i>Baryscapus servadeii</i>		<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	
		Test de Wald Chi2	Sig.	Test de Wald Chi2	Sig.
Intercepter	1	82.441	<0.001	32.711	<0.001
Région	2	102.433	<0.001	9.536	0.008
Fécondité	1	1.073	0.300	2.305	0.129
Site (région)	12	264.842	<0.001	87.451	<0.001

4.3.2. Effet des facteurs stationnels sur le taux de parasitisme :

L'orientation topographique et la pente n'étaient des variables prédictives significatives du parasitisme par *B. servadeii* ou *O. pityocampae* (tableau 4.14).

Tableau 4.14 : Résultats de la relation entre le parasitisme moyen par site (n = 15), l'orientation et la pente topographiques (effets fixes) (modèle mixte linéaire généralisé, avec distribution gaussienne Les données sur le parasitisme ont été transformées en log).

Source	df1, df2	<i>B. servadeii</i>		<i>O. pityocampae</i>	
		F	Sig.	F	Sig.
Modèle corrigé	6,8	2.965	0.079	0.465	0.817
Orientation	5,8	3.016	0.080	0.490	0.776
Pente	1,8	3.683	0.091	0.505	0.498

La densité des nids variait considérablement selon la région et le site dans chaque région (Chi2 de Wald = 31,495, df = 2, p <0,000 et Chi2 de Wald = 98,403, df = 12, P <0,001).

En effet, au niveau régional, la densité des nids était plus élevée à Ain-Defla (2,80 nids \pm 0,14) qu'à Theniet El-Had (2,07 nids \pm 0,12) et à Tipaza (1,86 nids \pm 0,11). Au niveau du site d'étude, la densité des nids variait de 1,4 \pm 0,2 nid par arbre, observé dans un site de Theniet El-Had, jusqu'à 3,8 \pm 0,4 nid dans un site à Tipaza (n = 30). Prenant compte des deux coefficients de corrélation (r de Pearson et rs de Spearman), le pourcentage de parasitisme par *B. servadeii* en 2017-2019 était corrélé négativement avec la densité de nid annuellement pour un même site (r = -0,608, p = 0,016; sr = -0,657, p = 0,008, n = 15 sites) (Fig.4.14).

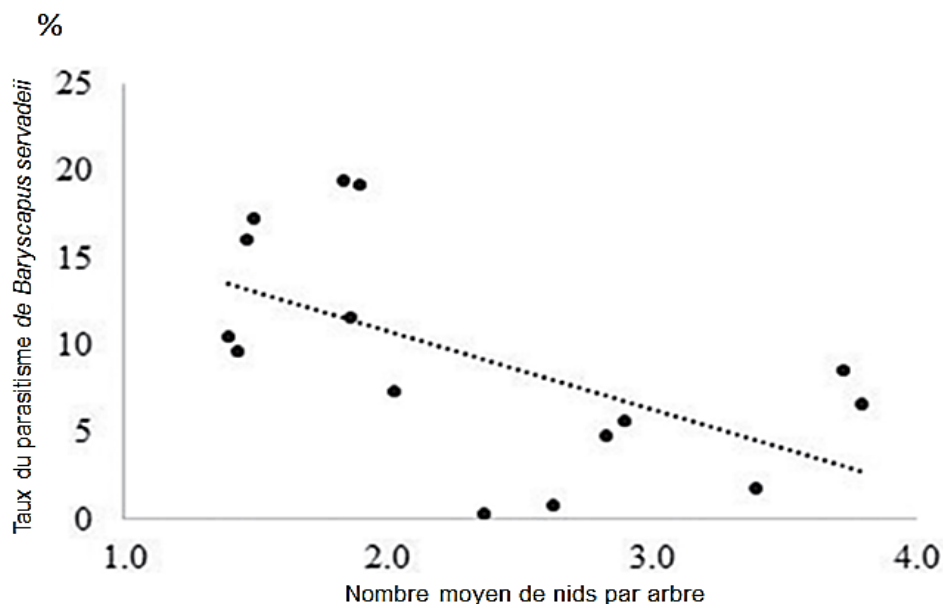


Figure 4.14: Relation entre le pourcentage de parasitisme par *Baryscapus servadeii* et la densité des nids, exprimée en nombre moyen de nids par arbre (n = 15 sites, données 2017-2019).

En revanche, la corrélation entre le parasitisme par *O. pityocampae* et la densité des nids n'était pas significative ($r = -0,331$, $p = 0,227$; $sr = -0,225$, $p = 0,420$, $n = 15$ sites).

La densité des nids diffère selon l'orientation topographique ($F_{5, 444} = 11,47$, $p < 0,001$). En effet, les densités des nids étaient plus élevées sur les sites orientés au sud, à l'ouest et au nord-ouest par rapport aux sites orientés vers le Nord, l'est et le nord-est.

4.3.3. Relation entre le parasitisme et le couvert forestier :

L'analyse de l'occupation des sols au niveau du paysage avoisinant les sites d'étude (se référer au chapitre 3) a mis en évidence la dominance des forêts avec un taux élevé de 92,9% (Tab.4.15) observé notamment dans le parc national de Theniet El-Had. Les zones agricoles sont plus réparties dans la région de Tipaza (15,7%) et dans plusieurs sites étudiés dans le travail de BOUCHOU [29]. De plus, la même analyse a révélé une taille moyenne des parcelles forestières plus élevée à Theniet El-Had (32,5 ha), suivie par des parcelles de superficie plus réduite à Tipaza (18,8 ha), à Ain-Defla (15,6 ha) ainsi qu'au niveau des sites recensés par BOUCHOU (2015) [29] où la superficie des parcelles avoisine les 14,5 ha.

Tableau. 4.15. Couverture d'occupation du sol (%) dans les régions étudiées (Moyenne et (écart-type), (nSU): Nombre total de parcelles d'utilisation des terres contribuant à chaque type d'utilisation des terres dans chaque région).

	Tipaza (nSU = 31)	Ain-Defla (nSU = 27)	Theniet (nSU = 19)	El-Had (nSU = 80)	Divers (Bouchou) [29] (nSU = 80)
Urbain	4.1 (4.7)	0.04 (0.08)	0.8 (1.2)	3.2 (8.9)	
Routes	3.2 (2.6)	2.2 (1.1)	1.2 (0.9)	2.4 (1.9)	
Sol nu	4.8 (2.7)	4.36 (1.6)	2.7 (0.7)	15.2 (26.3)	
Agriculture	15.7 (18.6)	9.9 (21.0)	2.4 (5.3)	11.8 (23.0)	
Forêt	72.2 (21.4)	83.5 (19.8)	92.9 (9.6)	67.0 (32.9)	

En comparant les données personnelles de 2017 à 2019 avec celles de BOUCHOU (2015) [29], nous avons constaté que le pourcentage de parasitisme ne différait pas entre les deux campagnes d'échantillonnage pour *B. servadeii* et *O. pityocampae* (Tab.4.16).

Tableau 4.16. Effet du couvert forestier sur le parasitisme moyen par *B. servadeii* ou *O. pityocampae* (GLM, distribution gaussienne, le facteur sondage (enquête) a été considéré pour différencier entre les deux périodes d'échantillonnage, au niveau des sites étudiés par Bouchou (2015) (n = 12) et nos relevés personnels (2017-2019) (n = 15).)

Source	df	<i>Baryscapus servadeii</i>		<i>Ooencyrtus pityocampae</i>	
		Test du Chi2 de Wald	Sig.	Test du Chi2 de Wald	Sig.
Intercepter	1	2.294	0.130	0.249	0.618
Sondage (enquête)	1	2.297	0.130	3.356	0.067
Couverture forestière	1	0.464	0.496	7.314	0.007

Dans l'ensemble, le parasitisme par *B. servadeii* et *O. pityocampae* était significativement corrélés les uns aux autres ($r = 0,432$, $p = 0,024$).

La proportion de couvert forestier dans le paysage environnant n'a pas expliqué les différences de taux de parasitisme par *B. servadeii* contrairement pour *O. pityocampae* (Tab.4.16). Le parasitisme par *O. pityocampae* a augmenté avec le couvert forestier sous une forme non linéaire (Fig.4.15). De plus, la proportion de couverture terrestre agricole n'explique pas le parasitisme par *B. servadeii* (Wald Chi2 = 2,07, $p = 0,150$), alors que c'était le cas pour *O. pityocampae* (Wald Chi2 = 7,275, $p = 0,007$), avec lequel il était positivement corrélé. La proportion de zone urbaine, de routes et de sol nu n'était pas liée avec le parasitisme pour toutes les espèces.

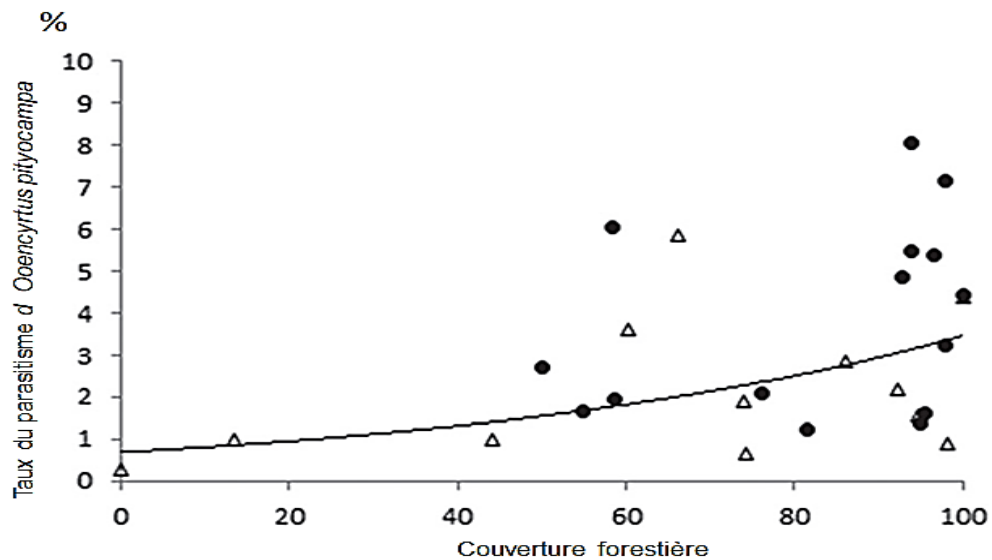


Figure 4.15. Relation entre le taux de parasitisme par *Ooencyrtus pityocampa* et le couvert forestier (n = 27, 15 sites échantillonnés en 2017-2019 indiqués par des cercles noirs et 12 sites étudiés par Bouchou, [29] indiqués par des triangles). Les données ont été ajustées par un modèle exponentiel, avec l'équation $y = 0,685 e^{0,016x}$; $R^2 = 0,278$, $P = 0,005$.

4.3.5. Chronologie des émergences des parasitoïdes embryonnaires :

Le suivi de la chronologie des émergences des parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin a concerné les espèces *B. servadeii* et *O. pityocampae* qui étaient très actives au niveau des pontes analysées. Les courbes cumulatives des émergences de chaque espèce sont représentées pour chaque région et site forestier étudiés (fig.4.16 ; fig.4.17 et fig.4.18) pour lesquels, nous avons mentionné les périodes de début des émergences, les dates d'émergence de 50% des populations (date de calage) et les durées respectives des émergences.

4.3.5.1. Suivi et analyse des émergences de *Baryscapus servadeii* à partir des pontes provenant des trois régions d'étude :

La progression temporelle des effectifs cumulés des individus de *Baryscapus servadeii* provenant des pontes parasitées dans les trois régions est représentée dans les figures 4.14, 4.15 et 4.16 pour les régions de Tipaza, Aïn-Defla et la cédraie du PN de Theniet El-Had, respectivement.

Dans la région de Tipaza, les émergences ont débuté plus précocement vers le début de septembre dans le site de Kolea Nord et seulement à partir de la troisième semaine du même mois pour les autres pinèdes (fig. 4.16). Cette même précocité a été également observée dans la région d'Aïn Defla, au niveau des pinèdes de Djebel Doui et d'Oued Djemâa (fig. 4.17). Cependant, les débuts des émergences de *B. servadeii* ont été constatés durant la période de la fin juillet à la 1^e semaine du mois d'Août dans les sites d'altitude au niveau de la cédraie (fig. 4.18). Nous remarquons des durées similaires des émergences allant de 13 à 19 jours dans les pinèdes de Tipaza, des durées très variables comprises entre 6 et 35 jours dans les pinèdes de Ain-Defa et des durées d'émergence intermédiaire au niveau de la cédraie (fig. 4.18) étalées de 17 jours aux sites centre et Sud Haut et jusqu'à un mois au niveau du site Nord Bas.

-Région de Tipaza :

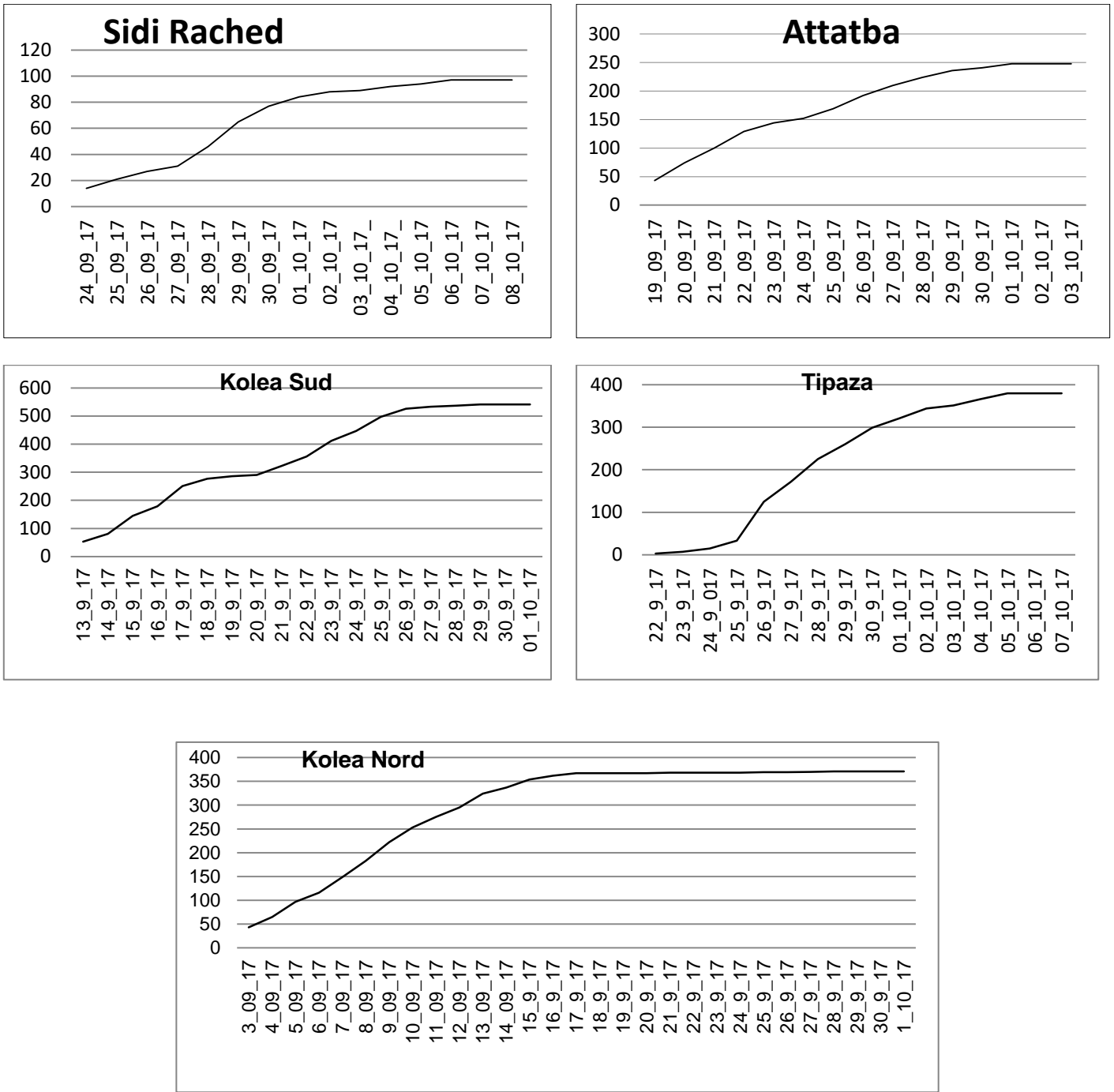


Figure 4.16. Courbes cumulatives et chronologie des émergences de *Baryscapus servadeii* dans la région de Tipaza en 2017.

* Les dates de calages pour *Baryscapus servadeii* à Tipaza :

Site	Sidi-Rached	Attatba	Kolea Sud	Tipaza	Kolea Nord
Début	24/09	19/09	13/09	22/09	03/09
Calage	28/09	22/09	18/09	27/09	08/09
Durée	13 jours	16 jours	19 jours	14 jours	15 jours

-Région d'Ain-Defla :

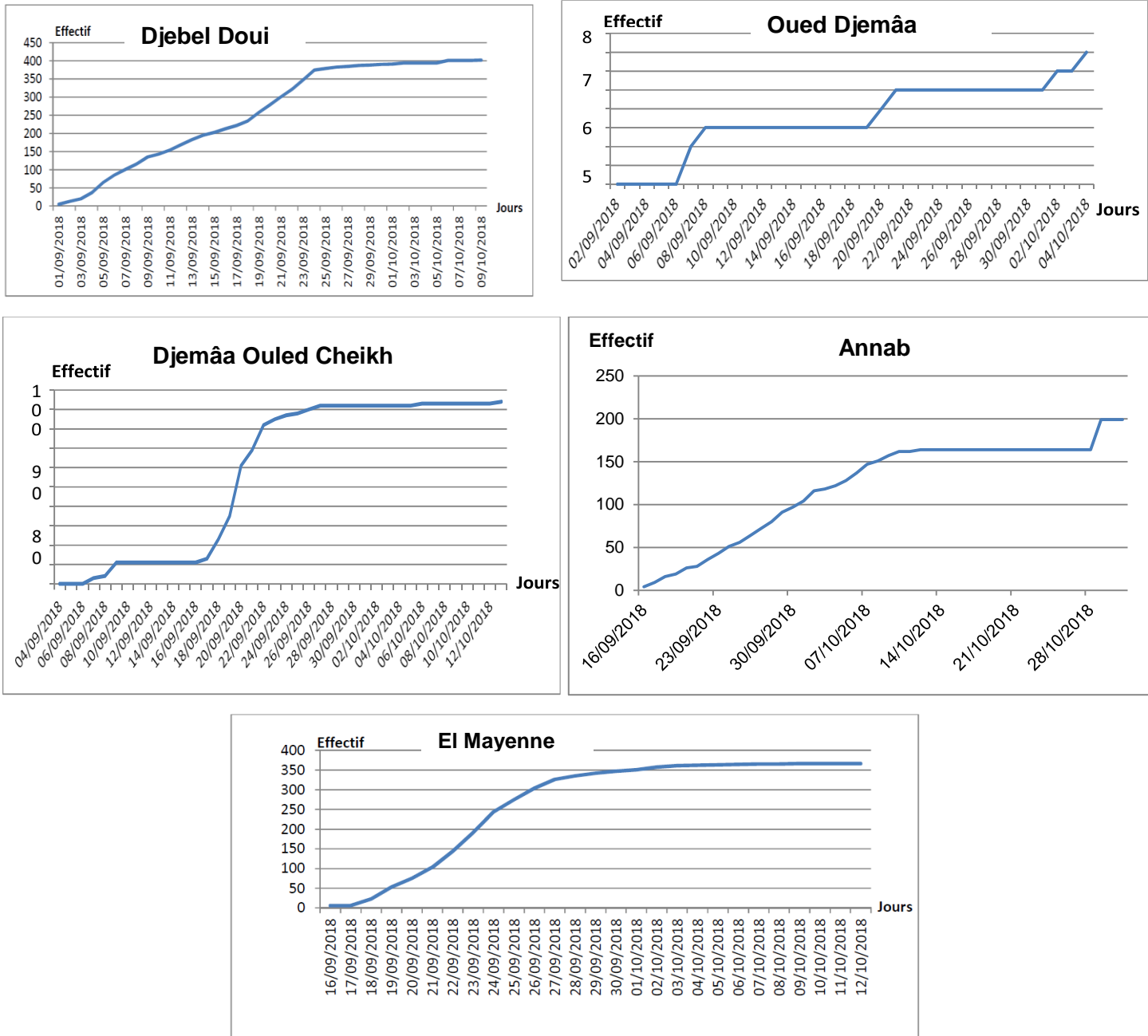


Figure 4.17 : Courbes cumulatives et chronologie des émergences de *Baryscapus servadeii* dans la région d'Aïn–Defla en 2018.

* Les dates de calages pour *Baryscapus servadeii* à Ain-Defla :

Site	Djebel Doui	Oued Djemâa	Djemâa O.Cheikh	Annab	El-Mayenne
Début	01/09	02/09	04/09	16/09	16/09.
Calage	16/09	20/09	20/09	27/09	23/09
Durée	35 jours	6 jours	15 jours	26 jours	24 jours

-Cédraie du PN de Théniet El Had :

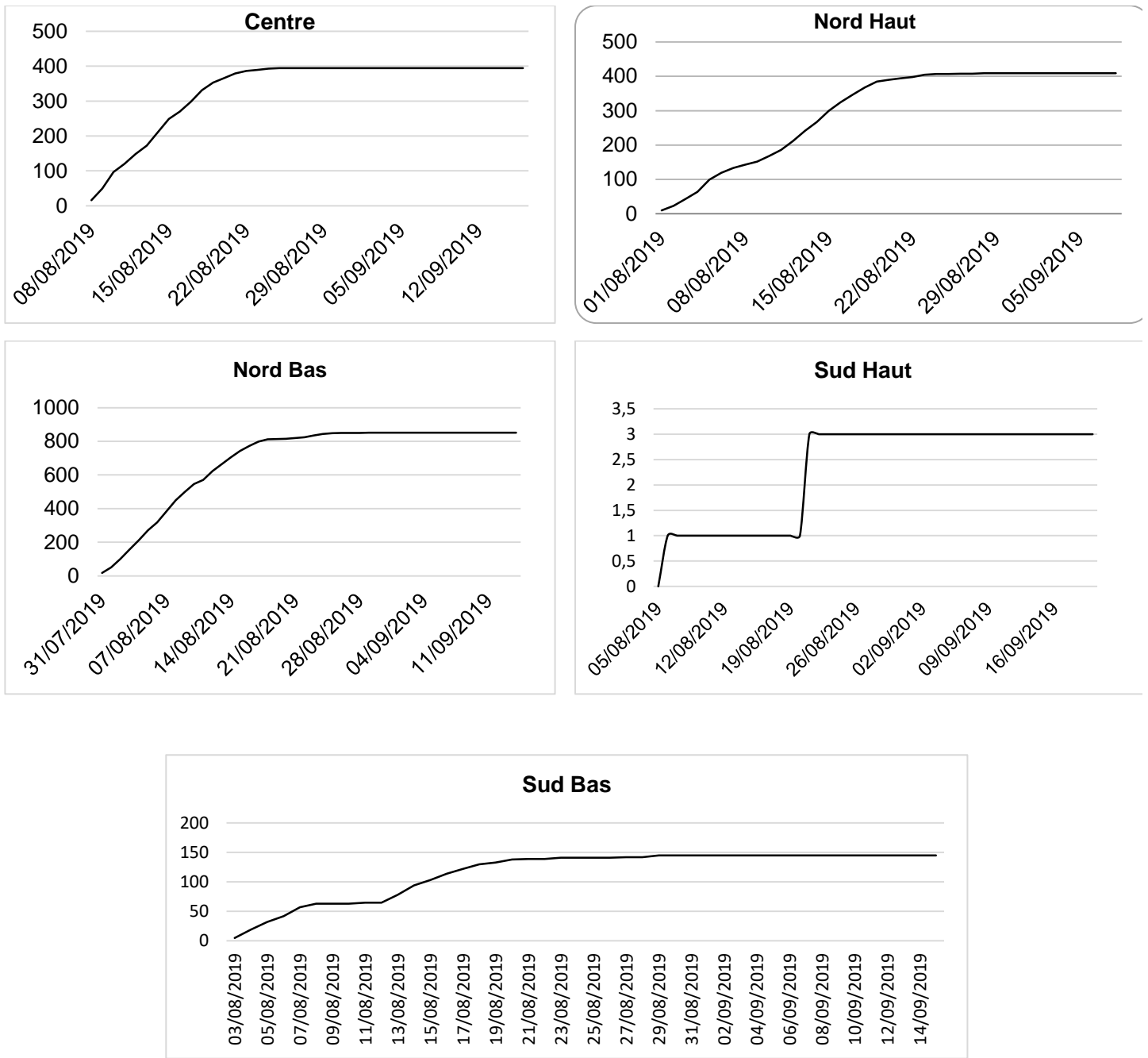


Figure 4.18 : Courbes cumulatives et chronologie des émergences de *Baryscapus servadeii* dans la région du PN de Theniet El-Had en 2019.

* Les dates de calages pour *Baryscapus servadeii* au parc national de Theniet El-Had :

Site	Centre	Nord Haut	Nord Bas	Sud Haut	Sud Bas
Début	08/08	01/08	31/07	06/08	03/08
Calage	14/08	11/08	08/08	21/08	13/08
Durée	17 jours	31 jours	29 jours	17 jours	28 jours

4.3.5.2. Suivi et analyse des émergences d'*Ooencyrtus pytiocampae* à partir des pontes provenant des trois régions d'étude :

La progression temporelle des effectifs cumulés des individus d'*O. pityocampae* provenant des pontes parasitées dans les trois régions est représentée dans les figures 4.19, 4.20 et 4.21 pour les régions de Tipaza, Aïn Defla et la cédraie du PN de Theniet El-Had, respectivement.

Dans la région de Tipaza, les émergences ont débuté plus précocement vers le début de septembre dans le site de Kolea Nord et seulement à partir de la troisième semaine du même mois pour les autres pinèdes (fig. 4.19). Cette même précocité a été également observée dans la région d'Aïn Defla, au niveau des pinèdes de Djebel Doui et d'Oued Djemâa (fig. 4.20). Cependant, les débuts des émergences d'*O. pityocampae* ont été constatés durant la période de la fin juillet à la 1^e semaine du mois d'Août dans les sites d'altitude au niveau de la cédraie (fig. 4.21). Nous remarquons des durées similaires des émergences allant de 13 à 19 jours dans les pinèdes de Tipaza, des durées très variables comprises entre 6 et 35 jours dans les pinèdes de Tipaza et des durées d'émergence intermédiaire au niveau de la cédraie (fig. 4.21) étalées de 17 jours aux sites centre et Sud Haut et jusqu'à un mois au niveau du site Nord Bas.

-Région de Tipaza :

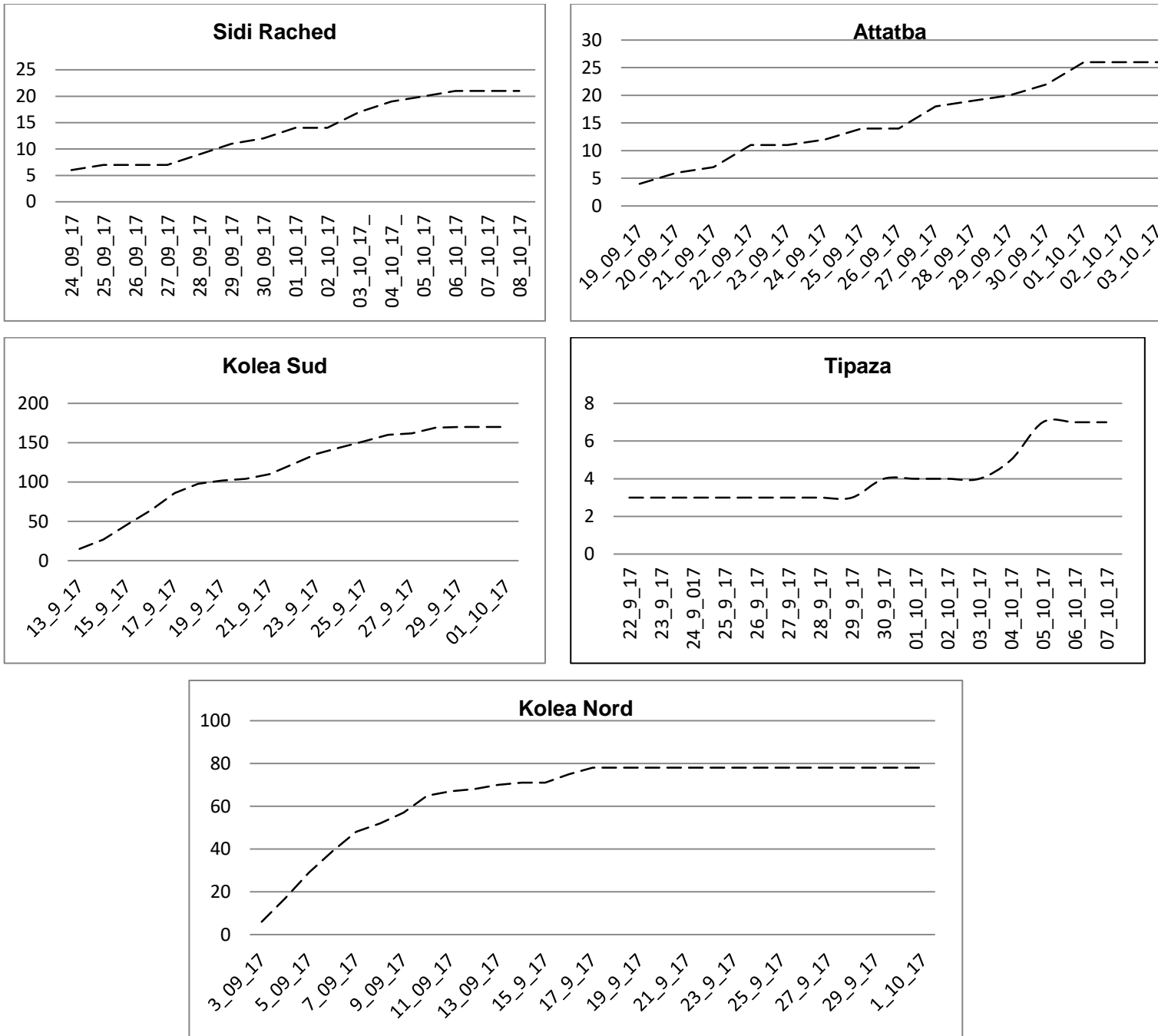


Figure 4.19 : Courbes cumulatives et chronologie des émergences d’*Ooencyrtus pityocampae* dans la région Tipaza en 2017.

* Les dates de calages pour l’*Ooencyrtus pityocampae* à Tipaza :

Site	Sidi Rached	Attatba	Kolea sud	Tipaza	Kolea nord
Début	24/09	19/09	13/09	22/09	03/09
Calage	29/09	25/09	17/09	29/09	06/09
Durée	13 jours	13 jours	17 jours	14 jours	15 jours

-Région d'Ain-Defla :

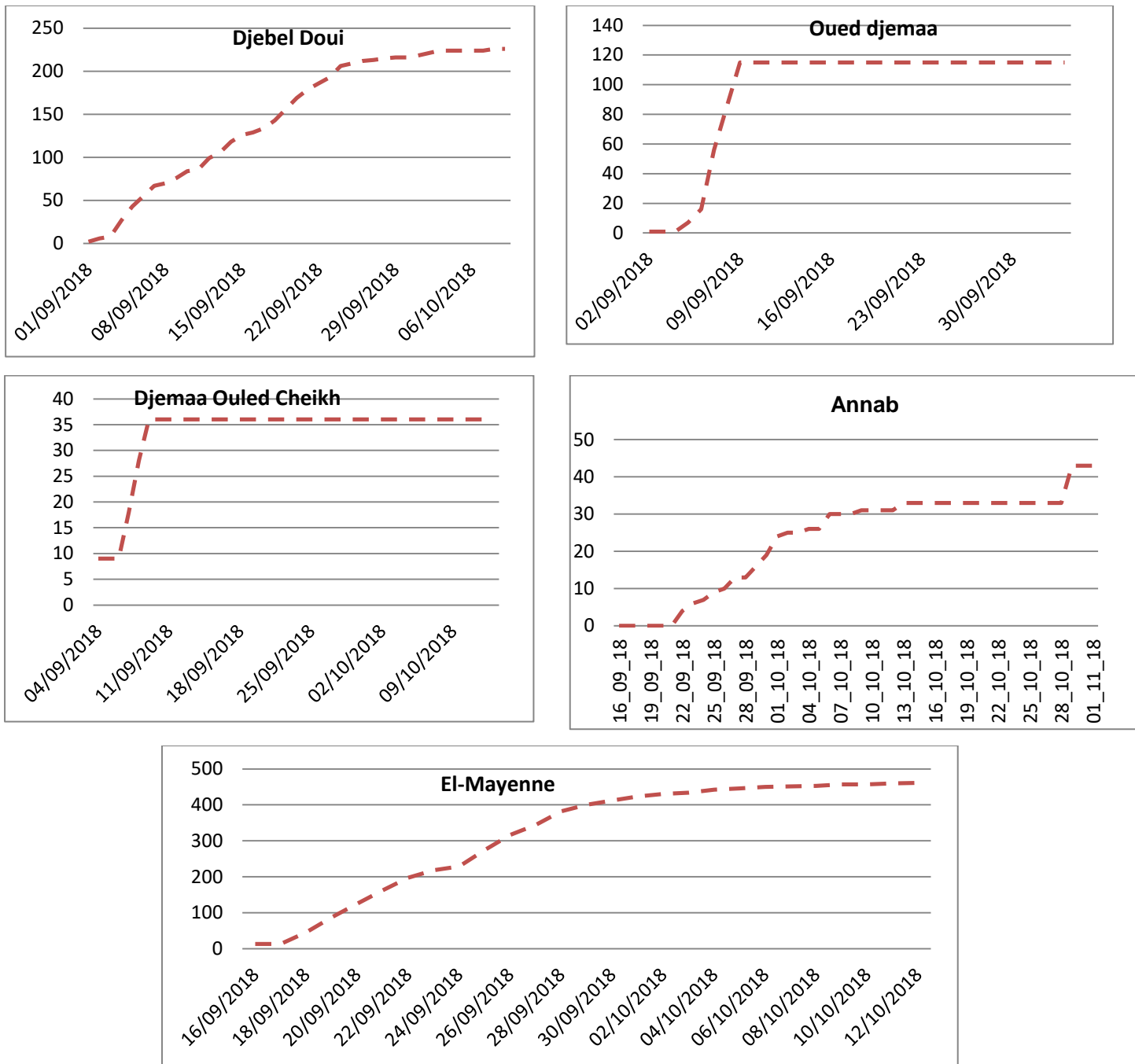


Figure 4.20 : Courbes cumulatives et chronologie des émergences d’*Ooencyrtus pityocampae* dans la région d’Ain-Defla en 2018.

* Les dates de calages pour l’*Ooencyrtus pityocampae* à Ain-Defla :

Site	Djebel Doui	Oued Djemaa	Djemaa Ouled Cheikh	Annab	El-Mayenne
Début	01/09	02/09	04/09	16/09	16/09
Calage	15/09	08/09	07/09	30/09	24/09
Durée	39 jours.	08 jours.	06 jours.	40 jours.	27 jours.

- Cédraie du PN de Theniet El-Had :

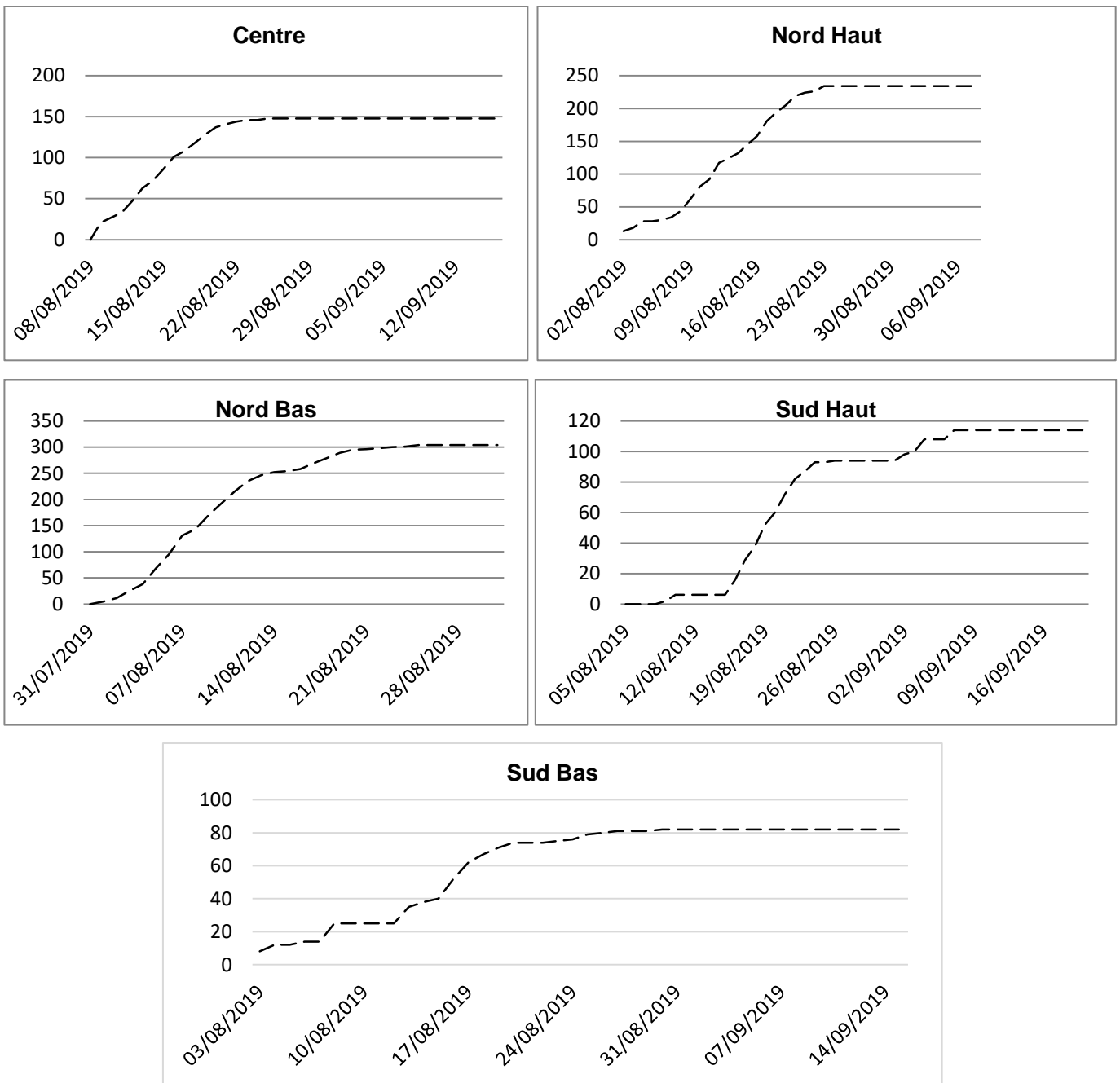


Figure 4.21 : Courbes cumulatives et chronologie des émergences d’*Ooencyrtus pityocampae* dans la région du PN de Theniet El-Had en 2019.

* Les dates de calages pour l’*Ooencyrtus pityocampae* au PN de Theniet El-Had :

Site	Centre	Nord Haut	Nord Bas	Sud Haut	Sud Bas
Début	09/08	01/08	31/07	09/08	20/08
Calage	14/08	12/08	08/08	03/08	15/08
Durée.	14 jours	24 jours	26 jours	24 jours	27 jours.

4.3.5.3. Analyse comparée des émergences des deux espèces de parasitoïdes à partir des pontes provenant des trois régions d'étude :

4.3.5.3.1. Région de Tipaza :

Tableau 4.17: Test des échantillons appariés entre *B. servadeii* et *O. pityocampae* dans chaque station de la région de Tipaza.

		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatérale)
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure	Supérieure			
Paire 1	ATTBr - ATTOo	7,40000	10,40756	1,90015	3,51375	11,28625	3,894	29	0,001
Paire 2	SRDBr - SRDOo	2,56667	3,87462	,70740	1,11986	4,01347	3,628	29	0,001
Paire 3	KLsBr - KLSOo	12,56667	14,90125	2,72058	7,00245	18,13088	4,619	29	0,000
Paire 4	KLnBr - KLnOo	9,76667	16,48339	3,00944	3,61167	15,92167	3,245	29	0,003
Paire 5	TPZBr - TPZOo	12,43333	15,79761	2,88424	6,53441	18,33226	4,311	29	0,000

Nous avons utilisé le test d'échantillons appariés qui permet la comparaison entre deux espèces étudiées dans chaque station à partir du logiciel SPSS, l'analyse montre les résultats suivants: Une différence très hautement significative dans la station de kolea sud et Tipaza ($P < 0,001$) et une différence hautement significative pour les autres stations Attatba, Sidi-Rached et Kolea Nord ($0,01 \geq p > 0,001$). En d'autres termes, les conditions parasitaires des œufs de la processionnaire du pin présents dans ces stations ne sont pas identiques relativement aux exigences naturelles de la région.

4.3.5.3.2. Région d'Ain-Defla :

Tableau 4.18 : Test des échantillons appariés entre *B. servadeii* (Br) et *O. pityocampae* (Oo) dans chaque station dans la région de Ain-Defla.

		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatérale)
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure	Supérieure			
Paire 1	ANNBr - ANNOo	6,03333	14,54478	2,65550	0,60222	11,46444	2,272	29	0,031
Paire 2	djDBr - djDOo	5,73333	6,18080	1,12845	3,42538	8,04128	5,081	29	0,000
Paire 3	djOCBr - djOCOo	0,70000	3,53456	0,64532	-0,61983	2,01983	1,085	29	0,287
Paire 4	ELMBr - ELMOo	-2,30000	21,86818	3,99256	-10,46571	5,86571	- 0,576	29	0,569
Paire 5	ODJBr - ODJOo	-4,30000	9,14311	1,66930	-7,71410	-0,88590	- 2,576	29	0,015

L'analyse de SPSS (test student) mis en évidence la comparaison des deux espèces étudiées dans chaque station, qui montre une différence très hautement significative dans la station Djebel Doui ($P < 0.001$), par contre les autres stations (Djemaa Ouled Cheikh, Annab, Oued djemaa et El Mayenne) aucune différence significative ($P > 0.05$).

4.3.5.3.3. Région de Theniet El-Had :

Tableau 4.19 : Test des échantillons appariés entre *B. servadeii* (Br) et *O. pityocampae* (Oo) dans chaque station de la cédraie de Theniet El-Had (C : centre, NH : nord haut, NB : nord bas, SH : sud haut, SB : sud bas).

		Différences appariées					t	ddl	Sig. (bilatérale)
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure	Supérieure			
Paire 1	CBr - COo	8,20000	13,88226	2,53454	3,01628	13,38372	3,235	29	0,003
Paire 2	NHBr - NHOo	5,16667	14,31682	2,61388	-0,17932	10,51265	1,977	29	0,058
Paire 3	NBBr - NBOo	17,90000	19,80134	3,61521	10,50606	25,29394	4,951	29	0,000
Paire 4	SHBr - SHOo	3,70000	8,76572	1,60040	-6,97318	-,42682	-2,312	29	0,028
Paire 5	SBBr - SBOo	2,10000	8,64770	1,57885	-1,12911	5,32911	1,330	29	0,194

Nous avons utilisés le Test T des échantillons appariés qui permet la comparaison entre deux espèces étudiées dans chaque station à partir du logiciel SPSS, l'analyse montre les résultats suivants : Une différence très hautement significative dans la station Nord Bas ($P < 0.001$), et hautement significative pour la station centre ($0.01 \geq p > 0.001$) par contre les autres stations Sud Bas, Sud Haut et Nord Haut aucune différence significative ($P > 0.05$).

4.3.6. Longévité des parasitoïdes dans la région de Tipaza:

4.3.6.1. *Baryscapus servadeii* :

Les résultats des tests de longévité de *B. servadeii* (fig. 4.22) réalisés dans les conditions expérimentales montrent que les individus de l'espèce *B. servadeii* ont une longévité qui varie de 7 à 159 jours. Une longévité maximale des individus est

constatée dans la station de Sidi-Rached, entre 81 et 102 jours (50 % de la population), de 72 jours dans la station de Kolea Sud (20% de la population) et une durée maximale de 62 jours au niveau de la station de Tipaza (25% la population).

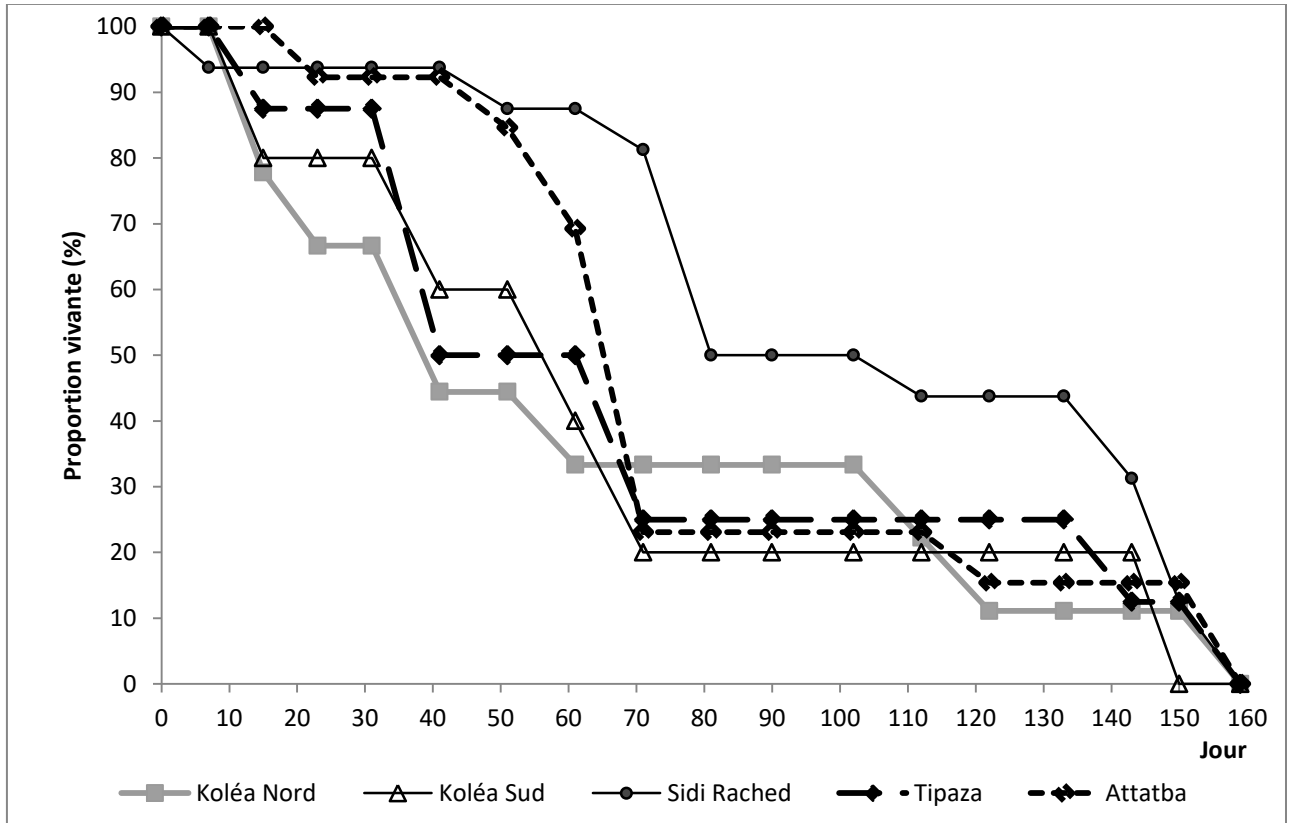


Figure 4.22 : Longévité du parasitoïde *B. servadeii* dans les stations étudiées de la région de Tipaza.

4.3.6.2. *Ooencyrtus pityocampae* :

La longévité d'*Ooencyrtus pityocampae* varie de 7 à 90 jours (fig. 4.23). La longévité maximale de cette espèce est de 51 jours dans la station de Kolea Sud, cette tranche représente 50% des individus testés. En revanche, la plus longue durée de vie a été observée dans la station de Kolea Sud de 41 jours pour l'ensemble de la population, soit un taux de 66,6%, aucune mortalité n'a été enregistrée sur cette période.

D'après nos résultats, la longévité des parasitoïdes restes variables pour chaque espèce. Néanmoins la longévité de *Baryscapus servadeii* semble plus longue que celle d'*Ooencyrtus pityocampae*.

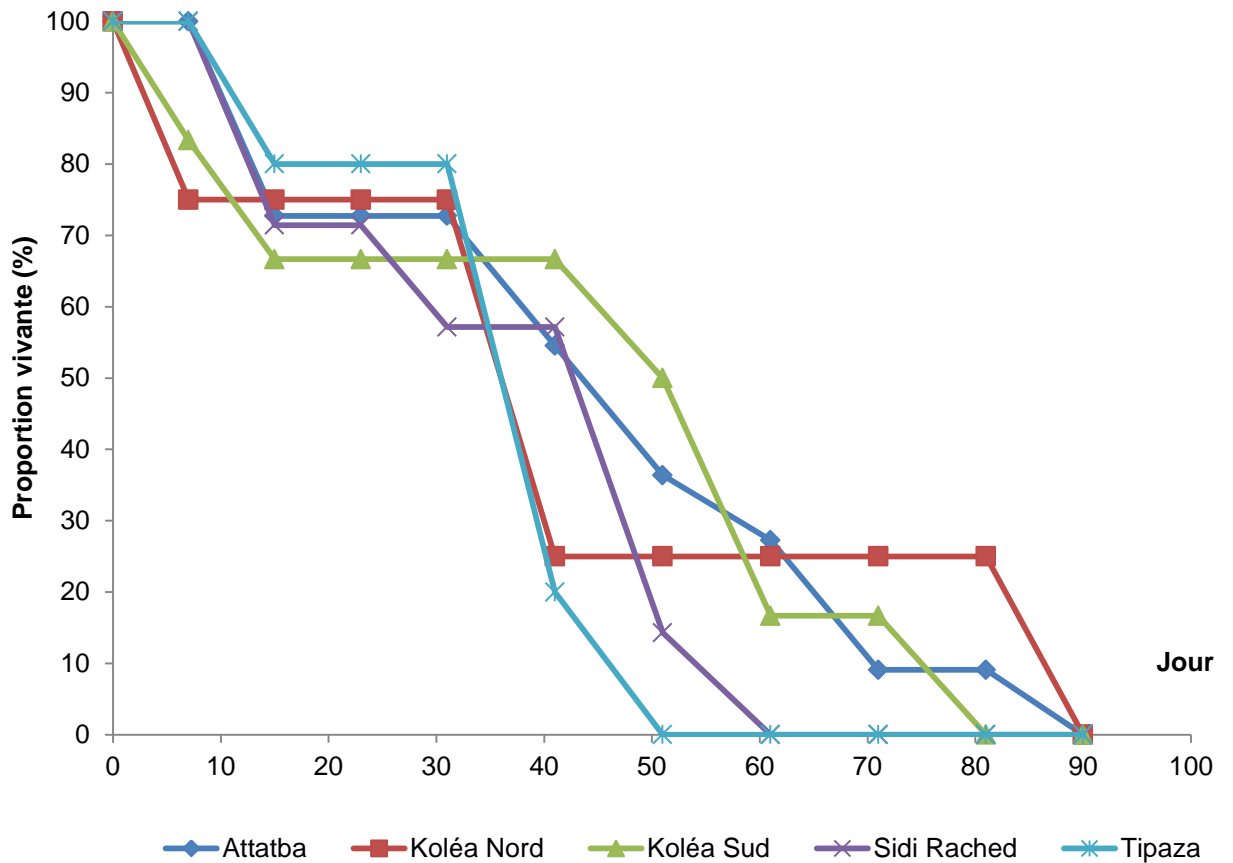


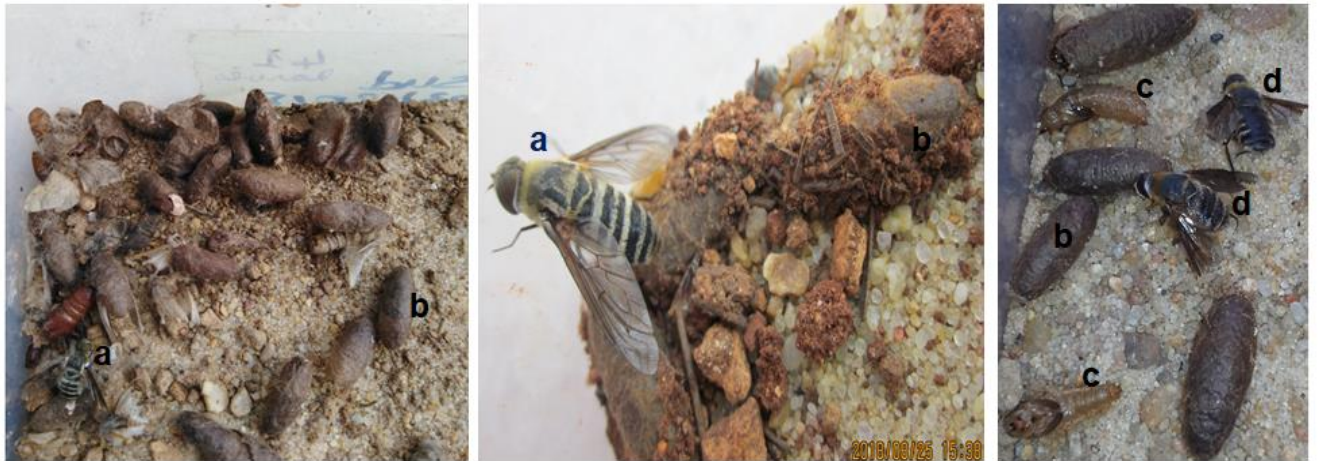
Figure 4.23. Représentation de la longévité du parasitoïde *O. pityocampae* par station.

4.4. Analyse du Parasitisme larvaire dans la région de Tipaza :

4.4.1. Espèces et effectifs des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes récoltées dans les pinèdes de la région de Tipaza :

Trois espèces de parasitoïdes larvaires ont émergé des nymphes de la processionnaire dans les conditions expérimentales (fig.4.24, 4.27 et 4.28) sont :

- *Villa brunnea* Becker (Bombyliidae)
- *Phryxe caudata* Rondani (Tachinidae)
- Phoridae (Diptera, Newman)



a: Parasitoïdes adultes: *Villa brunnea*.

b: Nymphes de la chenille processionnaire du Pin.

c: Cocon de la pupé des parasitoïdes *V. brunnea*.

d: Parasitoïdes Imagos *v. brunnea* sortent de la nymphe.

Figure 4.24 : Adultes de *Villa brunnea* observées en conditions expérimentales (Originale, 2018).



a: *Phryxe caudata* 1^{ère} génération déposent leurs œufs prêts à éclore sur le tégument des jeunes chenilles L2 (forêt de Sidi-Rached -Tipaza-).

b: Larves de la processionnaire en stade L2.

c: Pré-nid.

Figure 4.25 : Individus de la 1^{ère} génération de *Phryxe caudata* déposant leurs œufs sur le tégument des jeunes chenilles L2 de la processionnaire (forêt de Sidi-Rached, Tipaza-) (Originale, 2017).



a': *Phryxe caudata* 2ème génération parasite les chenilles en procession en forêt de Kolea Nord -Tipaza-

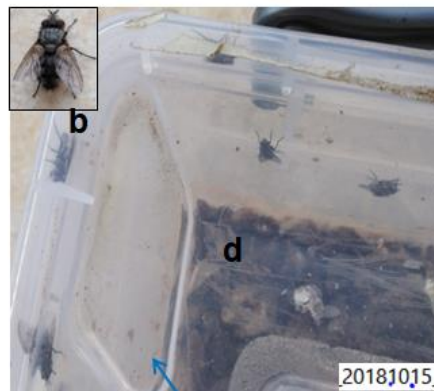
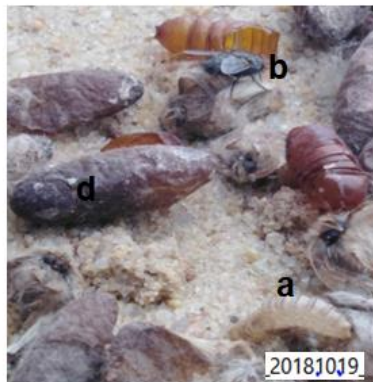
b: chenilles en procession cherchent un endroit pour s'enfourir (forêt de Kolea Nord -Tipaza-



a': *Phryxe caudata* 2ème génération parasite les chenilles en procession (forêt de Sidi-Rached -Tipaza-)

b': Chenilles processionnaire du pin en procession cherchent un endroit pour s'enfourir (forêt de Sidi- Rached -Tipaza-)

Figure 4.26: Individus de la 2^{ème} génération de *Phryxe caudata* parasitant les chenilles âgées de la processionnaire du pin dans la forêt de Sidi-Rached, Tipaza- (Originale, 2018).



a: Cocon de la pupé des parasitoïdes *P. caudata*

b: Parasitoïdes adultes *Phryxe caudata*.

Boite en plastique transparente

d: Nymphes de la processionnaire du pin

c: Papillon adulte de la processionnaire du pin sorti de leurs cocons (dans des boîtes en plastique)

Figure 4.27 : Chrysalides de la processionnaire et adultes de la 1^{ère} génération de *Phryxe caudata* en 2018, dans les conditions expérimentales (Originale, 2018).

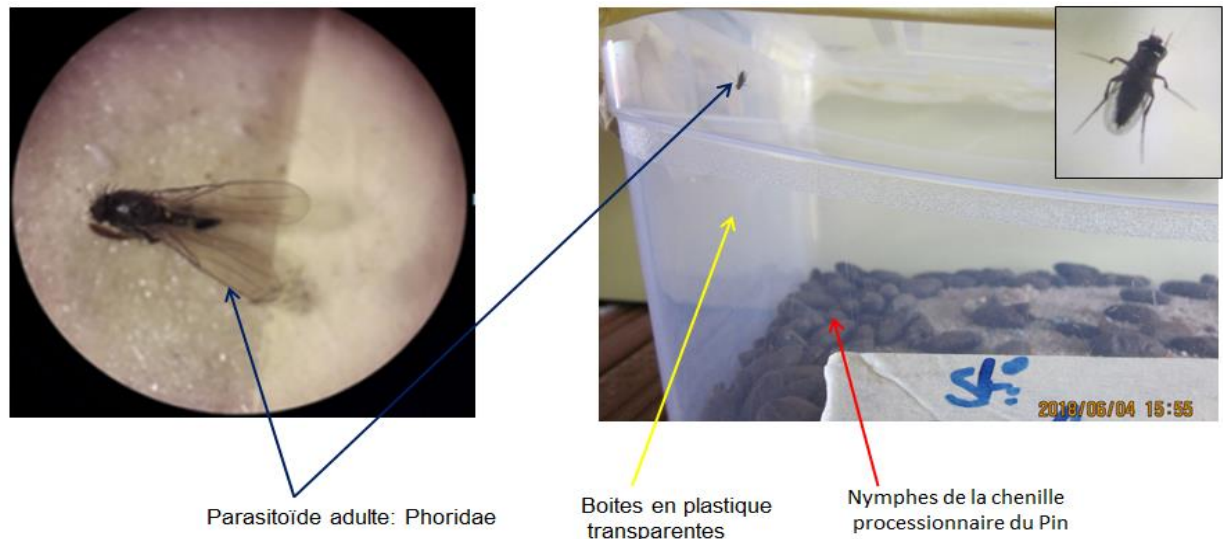


Figure 4.28. Parasitoïdes adultes Phoridae en conditions expérimentales (Originale, 2018).

L'effectif de chaque espèce de parasitoïde larvaire est mentionné pour chaque site étudié à Tipaza (tab. 4. 20) et la figure 4. 29).

Tableau 4.20 : Nombre des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes en provenance de chaque station :

Parasitoïdes	<i>Phoridae</i>	<i>Villa brunnea</i>	<i>Phryxe caudata</i>
Attatba	0	1	3
Kolea Nord	6	1	32
Kolea Sud	0	3	3
Sidi Rached	6	2	11
Tipaza	0	2	4
Total	12	9	53

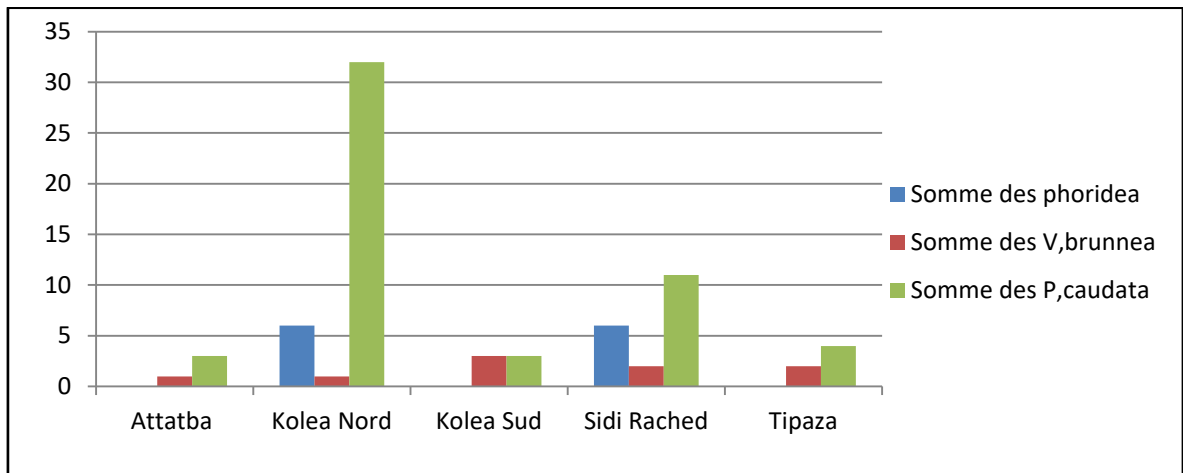


Figure 4.29: Variation du nombre global des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes en provenance de chaque pinède étudiée dans la région de Tipaza en 2018.

4.4.2. Variation temporelle et comparaison des effectifs des parasitoïdes larvaires émergés des nymphes récoltées de chaque station :

A l'exception de la station de Kolea Sud, le nombre de nymphes parasitées par *P. caudata* est plus élevé dans toutes les stations par rapport à celui de *V. brunnea* (Fig. 4.30 et Tab. 4.20). Le taux de parasitisme par *V. brunnea* n'a pas dépassé 2.4 %, par contre Le taux de parasitisme par *P. caudata* est de 14.5 %.

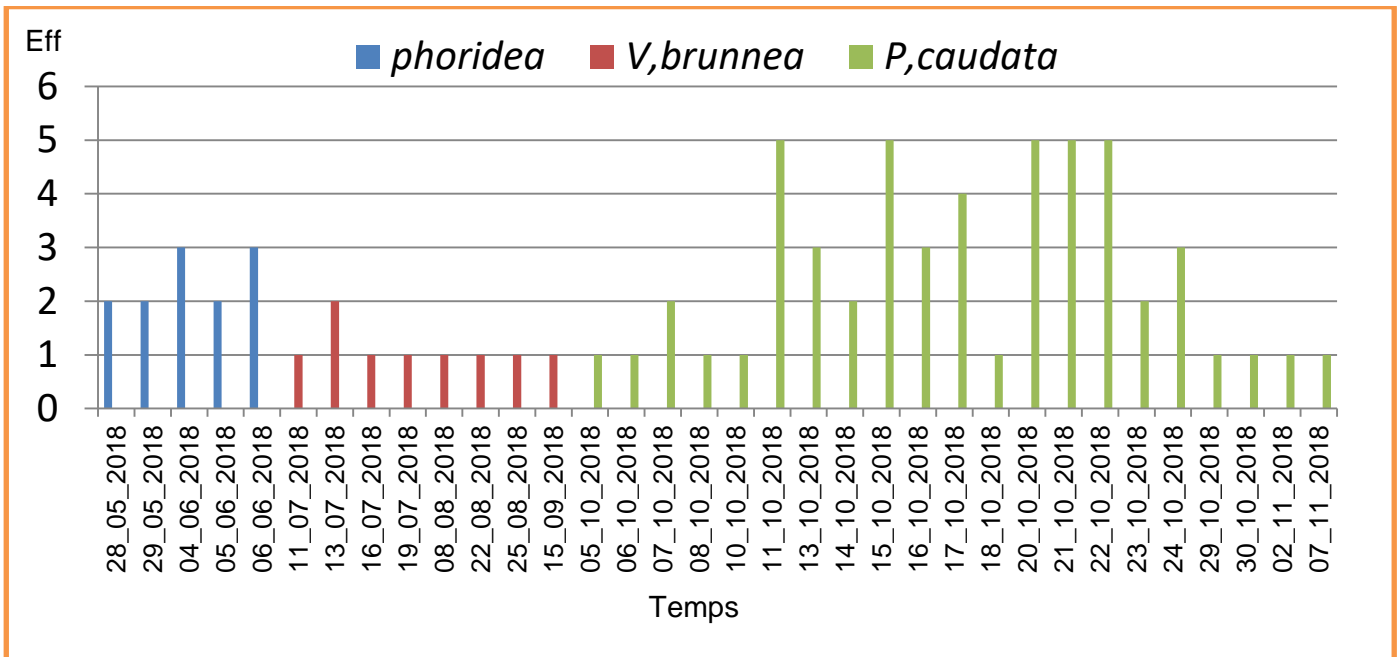


Figure 4.30 : Variation temporelle des effectifs des parasitoïdes larvaires de *T. pityocampa* émergés en conditions expérimentales.

4.4.2.1. *Villa brunnea* Becker (1916) (Dipt., Bombyliidae) :

Les résultats des dénombrements des parasitoïdes larvaires *Villa brunnea* sont regroupés dans le tableau 4.21.

Tableau 4.21 : Analyse descriptive des effectifs du parasitoïde larvaire *Villa brunnea* :

Stations	Nombre de parasitoïdes	Moyennes	Valeurs extrêmes	Coefficient de variation (%)
Attatba	1	0,05 ± 0,1	0 - 1	447,21
Sidi-Rached	2	0,10 ± 0,14	0 - 1	307,79
Tipaza	2	0,10 ± 0,14	0 - 1	307,79
kolea nord	1	0,05 ± 0,1	0 - 1	447,21
Kolea Sud	3	0,15 ± 0,23	0 - 2	326,24

Au total, les cinq boîtes examinées sur les 5 stations étudiées contiennent 9 parasitoïdes larvaires. Le nombre de parasitoïdes larvaires varie de 1 parasitoïde émergé des nymphes de la processionnaire en provenance des pinèdes d'Attatba et Kolea Nord, à 3 parasitoïdes de la forêt de kolea Sud. On remarque que le coefficient de variation est très grand cela ne montre aucune influence par les stations, cette variation serait due d'autres facteurs. Il est également possible que les faibles effectifs de ces espèces de parasitoïdes larvaires de *V. brunnea* dus à divers facteurs de mortalité pouvant interrompre l'évolution du parasite tel que les conditions climatiques et divers prédateurs, peuvent intervenir et détruire probablement un grand nombre de planidium.

Sur la base des comptages effectués nous avons procédé à une comparaison des moyennes par ANOVA pour tirer des informations sur la signification entre les populations considérées (Tableau 4.22).

Tableau 4.22 : ANOVA Analyse de variance de l'effectif des parasitoïdes larvaires totaux de *Villa brunnea* :

Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
répétitions	19	4,19000	0,22053			
Stations	4	0,14000	0,03500	0,45	0,7692	
Résiduelle	76	5,86000	0,07711			308,53
Total	99					

On constate que les différences de parasitoïdes larvaires de *Villa brunnea* enregistrées ne sont pas significatives car la probabilité P est supérieure à 0,05. Cela permet de dire que les parasitoïdes larvaires totaux ne varient pas significativement selon les différentes stations étudiées.

4.4.2.2. *Phryxe caudata* Rondani (1859) (Dipt., Tachinidae) :

Les résultats des dénombrements des parasitoïdes larvaires *Phryxe caudata* sont regroupés dans le tableau 4.23.

Tableau 4.23: Analyse descriptive des effectifs du parasitoïde larvaire *Phryxe caudata*.

Stations	nombre de parasitoïdes	moyennes	Valeurs extrêmes	Coefficient de variation (%)
Attatba	3	0,15 ± 0,17	0 - 1	244,23
Sidi-Rached	11	0,55 ± 0,42	0 - 3	161,28
Tipaza	4	0,20 ± 0,29	0 - 2	307,79
kolea Nord	32	1,6 ± 0,62	0 - 5	82,11
Kolea Sud	3	0,15 ± 0,17	0 - 1	244,23

Au total, les cinq boîtes examinées sur les 5 stations étudiées contiennent 53 parasitoïdes larvaires. Le nombre de parasitoïdes larvaires varie entre 03 parasitoïdes dans la forêt à pinède à Attatba et Kolea Sud à 32 parasitoïdes dans la forêt de kolea nord, avec des coefficients de variation comparable de l'ordre de 207%.

Sur la base des comptages effectués nous avons procédé à une comparaison des moyennes par ANOVA pour tirer des informations sur la signification entre les populations considérées (tableau 4.24).

Tableau 4.24 : ANOVA Analyse de variance de l'effectif des parasitoïdes larvaires totaux de *Phryxe caudata* :

Source	DDL	SCE	CM	F	P	CV
Répétitions	19	8,51	0,44789			
Stations	4	30,86	7,715	11,38	0.0000	
Résiduelle	76	51,54	0,67816			155,38
Total	99					

On constate que les différences des parasitoïdes larvaires de *Phryxe caudata* enregistrées sont très hautement significatives car la probabilité est inférieure à 0.001. Ceci permet de dire que les parasitoïdes larvaires de *Phryxe caudata* totaux varient significativement en fonction des lieux des différentes stations étudiées.

Deux groupes homogènes (groupe A formé par Kolea Nord, groupe B formé par les:4 stations : Sidi Rached, Tipaza, Attatba et Kolea Sud.) sont identifiés dans lesquels les moyennes ne sont pas significativement différentes les unes des autres.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

5.1. Activité de la processionnaire du pin sur la frange littorale de Tipaza :

La répartition des papillons mâles montre une variation selon l'exposition des stations. Le nombre de captures est significativement plus élevé dans les pinèdes à exposition sud, notamment les sites caractérisés par des formations végétales de pin d'Alep presque homogènes, comme c'est le cas pour les pinèdes de Sidi-Rached et Kolea sud.

SIEMANN et al [156] notent que les peuplements homogènes fournissent un habitat pour les espèces défoliatrices. Par ailleurs, JACQUES EINHORN et al [157] a signalé l'effet de la hauteur des arbres et des bordures sur l'optimisation du piégeage, notamment dans le cas des faibles densités de populations de *T. pityocampa*. L'altitude et la latitude [55], influent sur la précocité des émergences des adultes. D'une façon générale, la période de sortie dure moins d'un mois pour les populations vigoureuses du ravageur et un mois et demi pour les populations affaiblies et en régression. D'après KERRIS [52], la sortie des papillons a lieu entre la mi-juillet et la fin d'août.

La période de capture de 50% des papillons mâles, qui correspond à la date de calage du cycle de la processionnaire du pin se situe entre le 29 août et le 03 octobre 2017. HUCHON et DEMOLIN [51] soulignent qu'à un rythme annuel bien stabilisé, la période d'émergence des adultes est généralement très bien centrée et dure de trois semaines à un mois. D'après nos observations dans la région de Tipaza, celle-ci s'étale sur 83 jours (plus de deux mois) en 2017, notamment dans le site de Sidi-Rached.

En effet, les adultes émergent plus tardivement lorsque la saison estivale est plus chaude [51]. Le nombre de papillons mâles capturés est plus élevé en exposition sud qu'en exposition nord. La processionnaire se dirige vers les sites les plus ensoleillés de l'arbre pour construire son nid [55] et ses attaques sont plus sévères sur les arbres exposés au Sud que sur ceux exposés au Nord [158, 159].

Le nombre élevé de pontes enregistrées dans le site de Sidi Rached confirme une densité élevée des femelles de la processionnaire. En Algérie, la phénologie de la

processionnaire du pin a été établie par KERRIS [52], DEMOLIN [55], GACHI [56], ZAMOUM [160; 161] et par SEBTI [33].

La région de Tipaza est un biotope favorable au développement de l'insecte ravageur puisque le suivi chronologique des stades d'évolution de *T. pityocampa* en 2017/2018 a permis d'observer un cycle annuel au niveau des pinèdes prospectées. GERI [158] note que les populations et le régime de reproduction de la processionnaire du pin sont dépendants de la structure du peuplement forestier. Ainsi, dans des peuplements purs de pin laricio, l'insecte adopte un cycle annuel avec des populations significatives. HUCHON et DEMOLIN [51] soulignent que dans les conditions les plus favorables, le cycle de développement d'une génération se termine en une année.

Après l'émergence des adultes, les premières éclosions ont eu lieu le 04 octobre 2017 et les dates respectives des différents stades larvaires ainsi que leur durée sont très variables d'après nos résultats. DEMOLIN [55] attribue cette variabilité au cours de la vie larvaire à trois facteurs : la température, la radiation globale et la photopériode. Les pontes comptent en fonction du stade de gradation de la population de 70 à 300 œufs [56]. Après l'éclosion des œufs 30 à 45 jours après l'émergences [54], les jeunes chenilles (L_1 à L_2) attaquent les aiguilles de pin aux alentours immédiats de la ponte et laissent à chaque emplacement un réseau de soie très léger dans lesquels on retrouve, après 12 jours, les exuvies des L_1 puis, 20 jours plus tard, celle des L_2 [56]. Peu de temps avant l'hiver (mi-novembre), les chenilles tissent le nid d'hiver pouvant atteindre jusqu'à 20 cm [52, 56]. Les premières processions de nymphoses ont été observées le 08 mars 2017 à Kolea sud. La durée de diapause reste variable.

HUCHON et DEMOLIN [51] précisent que, les chenilles parviennent à maturité généralement à partir de la fin janvier jusqu'au mois de juin, ceci étant tributaire de la rigueur de l'hiver et des dates d'émergence. Selon notre suivi dans la région de Tipaza, le développement de la chenille processionnaire du Pin a duré 6 mois (du mois d'octobre au mois de mars). Le stade nymphal peut aussi être considérablement prolongé par une diapause dont la durée est ajustée, en un site donné et dans certaines limites, de manière à assurer une date de sortie adulte constante chaque année.

La plante-hôte influence aussi le développement larvaire. La survie des larves serait supérieure sur *P. sylvestris* et *P. nigra* var. *austriaca* que sur *P. pinaster* et *P.*

halepensis. L'espèce *P. pinaster* n'est pas très attaquée en Corse (France), ou en Espagne mais est attaqué de façon significative dans les Landes (France). La qualité de l'hôte influence la multiplication des ravageurs, ainsi plus la vigueur de l'arbre diminue, plus il est vulnérable aux attaques [162] et [163]. Cette vulnérabilité est susceptible de s'accroître suite à des incendies en milieu forestier [164].

Le réchauffement climatique se traduit par de fortes extensions des aires potentielles pour les espèces de déprédateurs dont la survie hivernale est limitée par les basses températures [165] tel est le cas de la processionnaire du pin. L'action primordiale des facteurs climatiques sur la biologie de la processionnaire du pin, et notamment celle des températures minimales du mois de janvier et de l'insolation annuelle, a été clairement établie par DEMOLIN, qui a suggéré dès les années 1960 que les gradations de ce ravageur étaient en priorité liées aux facteurs climatiques [55] et [147]. Avec l'augmentation récente des températures, on observe en Europe une expansion régulière des populations vers le Nord et en altitude [166] En France, l'aire de la processionnaire du Pin a nettement progressé vers le nord et l'est. Une montée de la processionnaire du Pin en altitude est également observée en Espagne [51] et en Italie [167]. Cette progression spatiale est au moins en partie due aux températures. Chez la processionnaire du pin, *T. pityocampa*, une croissance plus rapide des premiers stades larvaires sous l'effet d'une augmentation des températures, permet d'atteindre un stade de développement plus avancé avant la période hivernale et d'accroître ainsi la survie durant cette période [166]. Par ailleurs, la survie hivernale des larves est liée à la température, celle-ci ayant un effet direct sur la fréquence des phases d'alimentation et les risques d'exposition aux températures létales.

5.2. Impact du parasitisme embryonnaire:

L'étude des pontes de *Thaumetopoea pityocampa* collectées des peuplements forestiers de la wilaya de Tipaza, Ain-Defla et Tissemsilt (Parc National de Theniet El-Had) a permis de mettre en évidence l'impact des parasitoïdes embryonnaires de cet insecte défoliateur. Nous avons constaté que les longueurs des pontes provenant de stations exposées du côté sud sont un peu longues par rapport aux autres stations. Sur des pontes en provenance de pin noir, récoltées selon un transect altitudinal, IMBERT [12] note des longueurs moyennes de pontes plus significatives

et variables de 2,42 à 3,45 cm. De même l'auteur précité, note que dans la vallée de la Durance les pontes récoltées sur le pin d'Alep et sur le pin sylvestre ont des longueurs moyennes respectives de 2,8 et de 2,6 cm. Sur la base de ces résultats, il ressort que la plante hôte de pinèdes ou de cédraies peut influencer la fécondité des femelles dans leur biotope. Un effet de station régional est noté pour les populations de la processionnaire du pin dans leur biotope.

L'effectif total des œufs des pontes des populations sur la pinède varie en moyenne de $157,26 \pm 15,4$ Œufs dans la forêt de Tipaza à $227,26 \pm 11,82$ œufs dans la forêt de Djemaa Ouled Cheikh. Les pontes en provenance de cédraie de Theniet El-Had comptent en moyenne de $194,77 \pm 15,45$ pour la station Centre à $232,97 \pm 11,44$ Œufs pour la station Sud bas. La fécondité de la population de la processionnaire du pin évoluant sur le cèdre est presque similaire à celle évoluant sur le pin d'Alep. Dans l'ensemble, le nombre moyen d'œufs par lot dans les trois régions étudiées était de $195 \pm 2,4$. La fécondité était significativement plus faible dans la région de Tipaza par rapport à Theniet El-Had et Ain-Defla. La ponte des œufs totaux varie significativement en fonction des lieux des différentes stations étudiées. Autrement dit, les conditions de ponte présentes dans ces stations ne sont pas identiques relativement aux exigences naturelles de la processionnaire du Pin. HUCHON et DEMOLIN [51] précisent que lorsque le nombre d'œufs est proche de 300 la potentialité dynamique de la population devient particulièrement élevée. Dans le cas d'une population avérée, le nombre est limité à 70 œufs selon les mêmes auteurs.

Si l'on examine le nombre moyen d'œufs éclos par ponte, dans les forêts de pinèdes ce nombre varie largement de $0,1 \pm 0,11$ dans la station Djemaa Ouled Cheikh à $174,43 \pm 24,52$ œufs dans la station Annab de la région Ain-Defla. Par contre Dans la cédraie du parc national de Theniet El-Had, le nombre d'œufs éclos varie en moyenne de $129,9 \pm 24,75$ dans la station Nord Bas à $181,03 \pm 25,07$ dans la station Sud Haut avec un taux de 88,41%. SEBTI [33] constate que le nombre d'œufs éclos est très élevé dans les forêts de cèdres de Chréa, un taux de 89,64%, ce résultat est presque compatible avec notre étude. Il s'avère que le nombre d'œufs éclos dans les forêts de cèdre de l'Atlas du parc national de Theniet El-Had est légèrement élevé que celui de la forêt de pin d'Alep de la région d'Ain-Defla et Tipaza. Dans notre étude, le nombre moyen d'œufs éclos au cours des années 2017 à 2019 dans les trois régions s'élevait à 66,88%. BOUCHOU [29] note que le nombre d'œufs éclos est de 66,95%, nous pouvons donc voir que ce résultat est similaire avec notre

étude. Toujours dans le même contexte, SCHMIDT et al. [168] dans son étude sur les parasitoïdes processionnaires du pin ont montré un taux d'éclosion des œufs de 72,7%.

Les œufs non éclos dans les pinèdes de la région de Tipaza en 2017 étaient de 2,8% par contre dans la région d'Ain-Defla en 2018 les œufs non éclos étaient de 45%, on note dans cette région précitée que deux sites ont l'augmentation du taux d'œufs non éclos, en particulier Djemaa Ouled Cheikh et Oued Djemaa situés dans la même zone, est de 38,7%. Selon l'auteur, SCHMIDT les causes sont dues à un échec du développement embryonnaire.

Le nombre d'œufs non éclos varie en moyenne de $2,6 \pm 2,84$ œufs dans le site de Tipaza (région de Tipaza) à $220,93 \pm 11,71$ œufs dans la station de Djemaa Ouled Cheikh (région de Ain-Defla). Ces deux moyennes extrêmes ont été observées dans les forêts de pins de ces deux régions. Par contre dans les cédraies du parc national de Theniet El-Had le nombre d'œufs non éclos varie de $15,83 \pm 13,51$ dans la station de Sud Haut à $71,43 \pm 35,08$ dans la station de sud Bas. Nous constatons que le nombre d'œufs non éclos dans les pinèdes sont plus conséquent que dans les cédraies du parc national de Theniet El-Had. En même temps, on constate que les différences d'œufs non éclos enregistrées sont très hautement significatives. Cela nous permet de dire que les œufs non éclos varient significativement d'une station à l'autre.

L'analyse de la régulation naturelle de haut en bas (Top-Down) des insectes ravageurs forestiers affectée par la densité d'hôtes, la structure et la composition du paysage, ainsi que par le climat est importante pour comprendre les facteurs influençant la dynamique de population et les mesures de gestion qui peuvent réduire les taux d'infestation.

Le parasitisme des œufs chez la chenille processionnaire du pin a été discuté dans de nombreux travaux [169]. Dans le sud de l'Europe, le taux de parasitisme variait généralement de 6% à 40% environ ([149] ; [150] ; [170]; [171]). Les données obtenues dans les 15 sites étudiés par nous-mêmes en 2017-2019 et dans les 12 sites étudiés en 2012 par Bouchou [29] se situent néanmoins dans la partie inférieure de cet intervalle, entre 3% à 25,5% et de 2,1% à 15,6% respectivement. Les données étant collectées à différentes périodes annuelles, il pourrait y avoir un effet de l'année, pourtant, des différences globales entre les deux échantillons de données n'étaient pas significatives.

Le parasitisme commun moyen des 27 sites étudiés représentait moins de 10%. Nos résultats semblent similaires à ceux observés par ZAMOUM et al [172], dans la région de Djelfa. De même, de faibles taux de parasitisme ont été trouvés dans les études réalisées en Afrique du Nord et au niveau des pays du sud de la Méditerranée proches de l'Algérie, à savoir le Maroc (21%) [168], le sud de l'Espagne (4-15%) ([173]), le Portugal (2 à 29%) ([174]; [175]). Des taux de parasitisme plus élevés par contre, ont été observés en Bulgarie (38,9%) ([149], [170]), et en Grèce (44,3%) [176], bien qu'une forte variation a été observée au fil des années, comme par exemple en France (5–43%) [169].

Plusieurs facteurs peuvent expliquer pourquoi le parasitisme des œufs est plus faible dans la partie sud de l'aire de répartition de la processionnaire du pin.

-Premièrement, la fécondité moyenne de l'hôte est plus faible à l'extrémité sud de la répartition de la processionnaire, qu'à des latitudes plus élevées, probablement car la qualité nutritionnelle de la plante liée aux conditions chaudes et sèches est inférieure pour les chenilles [177]; d'où une disponibilité réduite des œufs par ponte, limitant l'accès des parasitoïdes aux ressources [178].

-Deuxièmement, les pontes des populations de la processionnaire du pin de sud se caractérisent par un type différent d'écailles recouvrant les œufs [179], ce qui peut affecter négativement l'activité des parasitoïdes des œufs connue pour être effective à la qualité des œufs ([180]; [181]).

-Troisièmement, le climat à la limite sud de l'aire de répartition peut rendre difficile l'exploitation des ressources par les parasitoïdes, à cause d'une mauvaise synchronisation entre l'émergence des parasitoïdes et la ponte des papillons [169] ou en raison d'une probabilité plus élevée de leurs expositions à des hautes températures. En Italie, à Florence (Monte San Michele), le parasitisme moyen variait d'une année à l'autre de 4% à 26% sur une série chronologique de 9 ans [182], suggérant également que des températures quotidiennes supérieures à 30°C pourraient expliquer des taux de parasitisme plus faibles notamment pendant les années a été chaud. Partant de cette hypothèse, les taux de parasitisme enregistrés dans la présente étude devraient être extrêmement bas car la température moyenne estivale dans les localités étudiées était supérieure à 30 °C, et fréquemment au-dessus de 40 °C. Or, d'après nos résultats, la relation entre la température maximale des mois d'été et le parasitisme observé n'était pas significative ce qui exclut l'effet

du facteur température en tant que facteur majeur. Une adaptation de l'espèce parasitaire aux températures estivales élevées observées dans ces régions d'études notamment Tipaza et Ain-Defla peut être donc supposée.

Outre à cela, s'ajoute l'adaptation des larves de la processionnaire du pin pour survivre à des températures plus élevées durant la période estivale (même au-dessus de 38 °C), que celles différemment subies pendant la période hivernale, [183].

Cependant, davantage d'études à travers des gradients géographiques et climatiques seraient utiles pour éclaircir les divers facteurs affectant le parasitisme des œufs et sur la performance des parasitoïdes, d'après AUGER-ROZENBERG et al., [169].

Les deux principales espèces de parasitoïdes des œufs rencontrées dans cette étude, *B. servadeii* et *O. pityocampae*, se répartissent à des proportions variables dans tout le bassin méditerranéen, [168]; [170]; [173]; [174]; [176]; [182]). Nos résultats ont révélé que le parasitisme global par *B. servadeii* était plus élevé que celui d'*O. Pityocampae*, avec quelques différences sur la proportion des deux espèces entre les sites forestiers étudiés. Les deux espèces de parasitoïdes embryonnaires semblent en concurrence pour les ressources: *B. servadeii* prédomine à haute densité d'hôtes et *O. pityocampae* à faible densité d'hôtes [184]. L'abondance des deux espèces parasitoïdes pourrait s'expliquer par différents facteurs. Comme *B. servadeii* est un parasitoïde spécialisé [185], une réponse dépendante de la densité est attendue [178]. En fait, la densité des nids est apparue comme le seul facteur pertinent expliquant le parasitisme de *B. servadeii*. Les émergences moyennes du parasitoïde spécialisé étaient plus faibles dans la région à plus forte densité de nids (Ain-Defla) et plus élevée dans la région à plus faible densité de nids (Tipaza). Une telle relation a été démontré par la corrélation négative entre le parasitisme et le nombre de nids dans le même groupe, ce qui signifie que le parasitoïde peut réduire efficacement le nombre de larves, ce qui réduit le nombre de nids. Il est également probable pour apposer une réponse dépendant de la densité avec un décalage dans le temps. Un Délai de deux (02) ans entre la densité de l'hôte et la réponse de parasitoïde produirait une relation de corrélation négative, comme observé par ZOVI et al [186]. En outre, une réaction de second ordre généralement observée pour de nombreuses espèces défoliateurs forestiers semblent être

fortement menant à des infestations cycliques [187]. En effet, certains des études indiquent l'existence des infestations périodiques chez la processionnaire du pin ([188]; [189]), confirmant l'hypothèse de l'interaction hôte-parasitoïde avec le décalage dans le temps. Dans une étude à long terme sur les parasitoïdes embryonnaire de la processionnaire du pin, MIRCHEV et al [190], Il a été noté que les valeurs maximales de parasitisme ont été observées pendant deux ans après l'infestation et ont diminué ultérieurement. La disponibilité d'une série temporelle dans la limite sud de l'aire de répartition permettrait de tester si une relation dépendante de la densité est la source de la dynamique de la population dans cette zone.

À l'inverse, aucune corrélation n'a été observée entre la densité des nids et le taux de parasitisme pour le parasitoïde généraliste *O. pityocampae*, comme on pouvait s'y attendre sur la base de l'hypothèse parasitoïde spécialiste / généraliste [191]. Un résultat intéressant a été la découverte d'une corrélation positive entre la proportion de plantation agricole et le couvert forestier avec le parasitisme par *O. pityocampae*. Cela peut s'expliquer par le fait que cette espèce est un parasitoïde généraliste, c'est-à-dire qu'elle trouve une probabilité plus élevée d'espèces hôtes alternatives dans des sites où une plus grande diversité d'hôtes est attendue [192]. La nécessité de trouver des hôtes alternatifs pendant les périodes où les œufs de la processionnaire du pin ne sont pas disponibles ne permet pas de montrer une réponse directe à la densité d'hôtes, bien que localement le parasitisme peut être élevé lorsque, pour certaines raisons, une forte abondance de parasitoïdes coïncide avec la disponibilité d'œufs hôtes [191].

D'autres caractéristiques du paysage peuvent également être importantes pour comprendre la distribution spatiale du parasitisme dans le système de la processionnaire du Pin. La densité de la richesse des sites, un indicateur de la diversité paysagère, ainsi que la proportion de différentes utilisations du sol, se sont avérés corrélés négativement avec la densité de la population hôte en France [180]. L'étude référencée a également identifié une corrélation positive entre le couvert forestier du Pins et la densité des nids de la processionnaire du pin, bien que la diversité du paysage était plus importante. La présence et l'abondance des parasitoïdes des œufs peut également être influencée par diversité des paysages [193]. Par exemple, Faria et al [194] ont montré que l'action de régulation des parasitoïdes peut être pris en charge lorsque des aliments supplémentaires riches en

sucre sont disponibles, qui est plus susceptible d'être continue dans le temps dans un paysage très hétérogène par rapporte aux zones forestières monoculture. En plus, on sait que les parasitoïdes des œufs de la processionnaire du pin réagissent à la disponibilité d'aliments riches en sucre [195]. Dans cette étude, une corrélation positive entre les proportions des zones agricoles et le parasitisme par *O. pityocampae* a été trouvé, mais un test de l'importance de la diversité paysagère n'a pas pu être fait. D'autres études liées à la composition des forêts et aux caractéristiques du paysage à différentes échelles spatiales seraient nécessaires pour tester cette hypothèse.

5.3. Diversité des parasitoïdes larvaires recueillies de la région de Tipaza :

Lorsque les chenilles partant en procession arrivent au sol, nombre d'entre elles renferment déjà des larves d'endoparasites, qui ne se développeront que dans les prénymphe ou les chrysalides. Il s'agit en général de tachinaires, et plus particulièrement de *Compsilura concinnata* MEIG et *Phryxe caudata* Rond. De deuxième génération, et l'Ichneumonidae *Erigorgus femorator* AUB. ([65] ; [69] et [61]). D'autres parasitoïdes agissant sous terre vont encore se manifester tel le Bombyliidae : *Villa brunnea* [69]. Dans notre étude deux espèces de parasites larvaires principales ont été identifiées sur les chrysalides de *T. pityocampa* dans la frange littorale de la région de Tipaza il s'agit de : *Villa brunnea* et *Phryxe caudata*.

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

On note que le nombre de parasitoïdes est plus faible par rapport aux parasitoïdes *P. caudata*, cela peut être dû à divers facteurs de mortalité pouvant interrompre l'évolution du parasite [196] :

Avant la découverte de l'hôte; les conditions climatiques, divers prédateurs, peuvent intervenir et détruire probablement un grand nombre de planidiums.

Lors de la pénétration dans l'hôte, DU MERLE [197] signale des réactions de défense de sa part qui aboutissent à l'enkystement du planidium de *V. brunnea* peu après sa pénétration dans la chrysalide. Ce même auteur note qu'après introduction de plusieurs planidiums dans le même hôte, un seul survit. L'analyse des données recueillies dans la région de Tipaza montre des taux de parasitisme légèrement différents entre les localités, le taux de parasitisme larvaire par *V. brunnea* ne dépassent pas 2,5% dans les populations échantillonnées. Dans la forêt littorale de

Baïnem, ce parasitoïde n'a pas été rencontré en 1992 et 1993, tandis qu'une autre étude menée sur le littoral italien n'a abouti qu'à l'observation d'un seul individu [198]. Un taux de 15 et 19 % obtenus par BERTELLA [199], dans les reboisements situés à Batna (Algérie) et au maximum de 10% obtenus par GERI [190] en Corse. Dans ZAMOUM et al [32], la relative efficacité de *V. brunnea* à Djelfa pourrait être expliquée, entre autres, par le fait que les sites préférentiels de pontes de ce parasitoïde sont localisés aux alentours des pieds des arbres. Ce comportement spécifique de ponte peut être induit par les fortes températures estivales et favorise une coïncidence hôte-parasitoïde. En effet, les œufs et les larves planidiuums de *V. brunnea* peuvent être transportés par les chenilles, lors de leur passage par le pied de l'arbre au moment des départs en procession de nymphose, jusqu'aux sites d'enfouissement [200].

Concernant la période d'émergence des adultes de *V. brunnea*, dans notre étude a été observée du 11 juillet à mi-septembre, semble être similaire et il est un peu tôt comparé à Djelfa de fin juillet à mi-septembre ZAMOUM [5], la période d'émergence de ce parasitoïde à Mora de Rubielos (Espagne) se situait entre le 7 juillet et le 15 août [201].

* *Phryxe caudata* Rondani (Dip, Tachinidae)

En ce qui concerne *P. caudata* est endoparasite et effectue deux générations par an sur une même génération de la chenille processionnaire du pin ; le vol d'adultes de la première génération est automnal alors que le second est printanier. Le parasitoïde larvaire *P. caudata* de la génération automnale, le taux des chenilles parasitées par ce dernier sont plus élevés par rapport à chenilles parasitées par *V. brunnea*. L'analyse des données recueillies de la région de Tipaza montre des taux de parasitisme très différents entre les sites prospectés, le taux de parasitisme larvaire par *P. caudata* est de 14,5 % dans les populations échantillonnées. Ces taux restent toujours faibles par rapport à ceux obtenus en France dans différentes localités par BILIOTTI [202] maximum 30%, en Corse par GERI [203] entre 3 et 45% et au Mont-Ventoux par DEMOLIN [58] jusqu'à 50%. La faible incidence de *P. caudata* sur nos sites peut s'expliquer par le fait que les possibilités de coïncidence avec l'hôte peuvent être compromises certaines années [172]. Selon ZAMOUM [9], cela peut être dû à un effet différentiel du climat sur le développement respectif des chenilles et des pupes. En effet, en fonction des sites d'emplacement de ces dernières dans le nid ou

dans le sol, un désynchronisme entre les émergences des adultes de *P. caudata* et les départs en procession de nymphose peut avoir lieu.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'approche de l'étude menée dans les trois régions prospectées est partie de la nécessité de collecter des informations sur la bioécologie de cet insecte défoliateur et sa biocénose parasitaire dans un environnement différent de la côte à l'intérieur à différentes altitudes et avec différents hôtes de son aire de répartition. Au cours de la gradation 2017-2019, sur les 15 sites prospectés, les populations de la processionnaire du pin ont été caractérisées par un nombre élevé de présence dans toutes les écophases (pontes, chenilles, adultes). Ce défoliateur possède des caractéristiques biologiques telles que, la diapause prolongée qui lui permet de se repeupler même après l'éradication totale de sa population, et le nid d'hiver à travers lequel il persiste devant les prédateurs et les contraintes climatiques [9]. Par ailleurs les techniques de piégeage sexuel de masse des adultes mâles (papillons) peuvent contribuer efficacement à limiter les infestations de *T. pityocampa* en faisant échec à la reproduction des femelles. La performance obtenue dans notre étude notamment dans la région de Tipaza avec l'utilisation des pièges à phéromones dans quatre sites en tant que partie expérimentale a donné de bons résultats, et a montré que l'espèce possède une large distribution dans les zones forestières. L'abondance des pontes examinées au cours de nos études dans les trois régions étudiées est une indication forte du succès reproducteur des femelles qui s'est accompli par la présence d'importantes populations. Le nombre moyen d'œufs par ponte (195 ± 2.4) est assez important. Elle est liée à l'existence des femelles dynamiques assurant le maintien et la propagation de l'infestation WELLINGTON W G [205] et [206] montre que le potentiel dynamique chez ce défoliateur est assez élevé. La stérilité des œufs est généralement faible, à l'exception de deux sites situant dans la région de Ain-Defla à savoir Djemaa Ouled Cheikh et Oued Djemaa, elle atteint des taux très élevés, elle est de 38.7 % elle semble être due aux conditions défavorables offertes à la population du ravageur.

Le nombre des œufs parasité représente 11,6 % de la population et indique une faible incidence des parasitoïdes oophages sur l'effectif de populations de processionnaire du pin. Deux espèces de parasites embryonnaires ont été identifiées sur les pontes de *T. pityocampa* dans les trois régions prospectés : ce sont de *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae* sont très actifs, alors que

le *Trichogramma embryophagum* est très rare. Cependant, la faible composition de ce complexe est la résultante des pressions sélectives qui s'exercent sur l'environnement et sur l'entomocénose parasitaire. En effet, plusieurs auteurs ont signalé les transformations et la disparition des paysages arborés particulièrement à la suite des incendies, l'exploitation irrationnelle des produits forestiers, des changements climatiques et la pollution peuvent avoir des répercussions sur les aptitudes d'adaptation et de survie de certaines espèces du cortège des entomophages [9]. Les parasitoïdes embryonnaires identifiés lors de nos études ont un impact spatio-temporelle sur les populations de la processionnaire du pin et peuvent également jouer un rôle important dans la régulation des populations de cet insecte ravageurs et détiennent un facteur biologique très important dans le contrôle de ce defoliateur, de sorte que la préservation des populations de ces parasitoïdes est très nécessaire dans leurs habitats naturels. Néanmoins les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin *T. pityocampa* dans le nord de l'Algérie n'a pas suscité suffisamment de recherches qui peuvent appréhender au mieux ses niveaux. Des traitements contre la chenille processionnaire du pin doivent être effectués au cours des premiers stades larvaires (L1 et L2) pour éviter de détruire les hôtes intermédiaires utilisés par certains parasitoïdes polyphages tels qu'*O. pityocampae*. En effet, toutes les méthodes de lutte connues actuellement, ont montré leur insuffisance pour aboutir à une protection efficace des peuplements attaqués [5]. Les campagnes d'échenillage menées régulièrement par les services concernés et les pulvérisations aériennes appliquées occasionnellement n'ont pas abouti à une solution satisfaisante. La révélation des différents facteurs impliqués dans la régulation de la population processionnaire du pin constitue également un résultat important, avec notamment la réduction marquée du taux d'éclosion et la mortalité de certaines chrysalides par des parasitoïdes larvaires tels que *V. brunnea* et *P. caudata* ainsi que les actions des oiseaux prédateurs méritent des investigations appropriées en vue de leur valorisation en actions de lutte biologique. Les résultats obtenus montrent que les parasitoïdes oophages *B. servadeii* et *O. pityocampae* dans la lutte contre la processionnaire du pin offrent probablement de bonnes perspectives de succès comme une méthode supplémentaire. En effet c'est une méthode facile à réaliser qui consiste à collecter des pontes des régions où la ponte est précoce le cas de parc national de Theniet El-Had et de les stocker pour les utiliser dans les régions où la ponte est tardive le cas de la région littorale de

Tipaza. L'existence d'hôtes alternatifs pour *O. pityocampae* permet d'envisager une stratégie d'élevage massif en laboratoire pour contrôler directement la processionnaire du pin. Parallèlement à cela et au cours de notre étude, un résultat intéressant a été la découverte d'une corrélation positive entre la proportion de plantation agricole et le couvert forestier avec parasitisme par *O. pityocampae*. Cela peut s'expliquer par le fait que cette espèce est un parasitoïde généraliste, c'est-à-dire qu'elle trouve une probabilité plus élevée d'espèces hôtes alternatives dans les sites. De plus nous trouverons que la diversité du paysage était plus importante. La présence et l'abondance des parasitoïdes embryonnaire peuvent également être influencées par la diversité des paysages montré que l'action régulatrice des parasitoïdes peut être conservée lorsque des aliments riches en sucre sont disponibles.

De nombreux auteurs notent que les techniques de lutte biologique par utilisation d'auxiliaires peuvent contribuer à une action profonde mais pas radicale sur les populations. Dans notre cas, nous pensons qu'il serait très utile de renforcer l'action des parasitoïdes par un lâcher inoculatif. TIBERI [207] a obtenu des résultats satisfaisants par des lâchers inondatifs d'*O. pityocampae* obtenus d'un élevage de masse sur hôte de transition au laboratoire. Dans ZAMOUM [9] qu'il suggère plutôt la méthode préconisé par DEMOLIN et RIVE [208], qui consisterait à prélever des pontes dans des sites où celles-ci renferment une proportion non négligeable de parasitoïdes en diapause puis de les transférer vers des stations infestées par le ravageur, ce qui permettrait aux ooparasitoides en diapause d'attaquer les pontes de *T. pityocampa* issues de la génération suivante. Il serait également possible de procéder à des introductions dans les zones forestières ainsi que dans les espaces verts à titre expérimental où certaines de ces espèces oophages n'apparaissent pas, il serait donc intéressant d'utiliser *Tetrastichus servadeii* en lutte biologique et de favoriser son acclimatation et son adaptation. Afin d'assurer la diversité spécifique du complexe parasitaire, comme ceci est recommandé par de nombreux auteurs dont JOURDHEUIL et al [209], nous pensons qu'il serait avantageux de mener des essais d'acclimatation d'espèces parasitoïdes afin de renforcer le complexe existant, notamment dans les peuplements artificielles Djemaa Ouled Cheikh et oued Djemaa. La création de laboratoire de lutte biologique dans les différentes stations forestières, pourrait être utile au secteur forestier en général et s'avère très nécessaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **FAO.** 2010b. *Global forest resources assessment 2010. Main report.* FAO Forestry Paper No. 163. Rome.
2. **IKERMOUD M.** 2000. Evaluation des ressources forestières nationales. Alger-DGF. 39p.
3. **FOSA.** 2000. Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Algérie. Animé et coordonné par Mr GOUSSANEM M. Directeur d'Etudes à la Direction Générale des Forêts. Alger, Ministère de l'agriculture. Rome FAO 60 P.
4. **SCHMIDT G.H. & DOUMA P.E.,** 1989: contribution to parasitism of egg batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Denn. & Schiff.) (Lepidoptera Thaumetopoeidae) on the Peloponnes (Greece). *Bollettino di Zoologia Agraria edicola*, 21, 141-151.
5. **BATTISTI A., LONGO S., TIBERI R. & TRIGGIANI O.,** 1998: Results and perspectives in the use of *Bacillus thuringiensis* Berl. var. kurstaki and other pathogens against *Thaumetopoea pityocampa* (Den. et Schiff.) in Italy (Lep., Thaumetopoeidae). *Anzeiger fur Schadlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz*, 71, 72-76.
6. **BATTISTI A., BERNARDI M., & GHIRALDO C.,** 2000: Predation by the hoopoe (*Upupa epops*) on pupae of *Thaumetopoea pityocampa* and the likely influence on other natural enemies. *BioControl*, N°45, pp 311-323.
7. **DEMOLIN, G.** 1969a. Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. – *Annales des Sciences Forestières*, 26 (1): 81-102.
8. **ANONYME,** 2008 Bilan de la lutte contre la chenille processionnaire du pin année 2007 en Algérie. Forums des Forestiers Algérien. Message N°17, 1P.
9. **ZAMOUM M.,** 1998. Données sur la bioécologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffer Müller. (Lep., Thaumetopoeidae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie). Thèse de Doctorat, Université des Sciences de Rennes I, France, 247 p.
10. **CHAKALI G.** 1992. Les insectes ravageurs du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. mem. Soc. Belg.ent.35, pp 505-509.
11. **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. *Ecol. Applicat.*, 15(6), 2084-2096.

12. IMBERT C.E., 2012- Expansion d'un ravageur forestier sous l'effet du réchauffement climatique : la processionnaire du pin affecte-t-elle la biodiversité entomologique dans les zones nouvellement colonisées. Thèse. Doc. Université D'Orléans. INRA Orléans. 197 p.

13. DEMOLIN G., ABGRALL J.F., BOUHOT-DELDUC L., 1996 - Evolution de l'aire de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiff. (*Lep., Thaumetopoeidae*) en France. *Les cahiers du DSF*, 1, 26-28.

14. PLAMEN MIRCHEV, MIRZA DAUTBAŠIĆ, OSMAN MUJEZINović, GEORGI GEORGIEV, MARGARITA GEORGIEVA, PETER BOYADZHIEV, 2015. Structure of Egg Batches, Hatching Rate and Egg Parasitoids of the Pine Processionary Moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Notodontidae), in Bosnia and Herzegovina. *Article. Acta zoologica Bulgarica*. 2015: 579-586.

15. MARTIN J.C., BONNET C., MAZET R. 2007. La processionnaire du pin : vers un contrôle écologique et raisonné. In : conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres Zones Non Agricoles. Angers (France).

16. BARBARO L., ET BATTISTI A., 2011: Birds as predators of the pine processionary moth (*Lepidoptera: Notodontidae*). *Biological control*, vol. 56, PP 107-114

17. TOFFOLO EDOARDO PETRUCCO, 2008: Climate change and pine processionary moth, Role of the host plant. Thèse de doctorat en sciences agronomiques et environnementale, université de Padova, Italie, 86p.

18. Ministère de l'agriculture et de la pêche (France), 2007 - Département de la santé des forêts. Echelon technique Sud - Est. Méthodes de lutte contre la chenille processionnaire du pin en forêt. Information technique N° 57 Octobre 2007. 10p <http://agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/thaupit.pdf>

19. DEMOLIN G., 1986 – Intensification de la protection phytosanitaire des forêts en Algérie. Rapport scientifique - projet F.A.O. n° DP-FO-ALG/83/013 : 27 pages, 30 planches.

- 20. ZAMOUM M.**, 2005 – Techniques de suivi de la biologie de la chenille processionnaire du pin avant et après le traitement insecticide prévu pour la campagne 2005. Doc. Tech. INRF, 12p.
- 21. ZAMOUM M. et DEMOLIN G.** 2005 – The life cycle of the pine processionary caterpillar in the bioclimatic conditions of a sub-Saharan region. Int. Nat. Rech. Agronom. France éditions, Paris France, 107-116.
- 22. CHAKALI. G.**1985. Etude de la biologie de la tordeuse du pin *Rhyacionia buoliana* Schiff (*Lepidoptere-Tortricidae*) dans la région de Moudjebara, Djelfa. Thèse Mag. INA El-Harrach, 95P.
- 23. DEMOLIN G.**, 1967 – Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver-activité de tissage. C.r. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux. 69-77.
- 24. 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.
- 25. MARTIN J.C., PESME-GLEMIN A.** 2010, Protéger la forêt contre la chenille processionnaire du pin en préservant la biodiversité. [en-ligne] 1p. [<http://www.prodinra.inra.fr>].
- 26. RIVIÈRE. J.**, 2011, Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale thèse doctorat vétérinaire. École nationale vétérinaire d'Alfort cosne-cours-sur-loire France. 200p.
- 27. BRANCO, M., SANTOS, M., CALVÃO, T., TELFER, G. & PAIVA, M.R.** (2008) Arthropod diversity sheltered in *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae) larval nests. *Insect Conservation and Diversity*, **1**, 215–221.
- 28. LEBLOND A.**, 2009. Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire *du pin*. Mémoire Master Professionnel, Environnement-Droit. Rennes.
- 29. BOUCHOU. L.**, 2015. Les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff et leur importance dans quelques peuplements de pin et de cèdre du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat, école nationale supérieure agronomique EL-HARRACH-ALGER- 125P.

- 30. KHEMICI M., ZAMOUM M. & DEMOLIN G.** 1988. Ecologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) en Algérie. Incidence du climat sur le comportement de l'insecte. *Ann. Recherche Forestière, Algérie*, 3 (3) : 67-77.
- 31. KERRIS T., GACHI M. & ZAMOUM M.** 1987. Etudes des étapes de développements de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Rapport interne INRF. 3p.
- 32. ZAMOUM MOHAMED, GUENDOUZ HABIB, DEIA DAHMAN.** 2006. Structure des communautés d'ennemis naturels de *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffer Müller (Lep., Thaumetopoeidae) sur pin d'Alep en Algérie. *Entomologica, Bari*, 40 (2006-2007): 139-151
- 33. 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 Chréa. Thèse magister, université Saad Dahleb Blida (Algérie) ,128 p.
- 34. ARKAM M.** 2011. Caractéristiques biologiques des pontes de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* et importance des parasitoïdes embryonnaires en cédraie et en pinède. Essai d'élevage de *Trichogramma embryophagum* Mémoire Ing. D'Etat en Agro. Ecole Nat. Sup. d'Agr. El Harrach. PP.
- 35. AYACHE S,** 2017 Analyses des pontes de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller, 1775) sur le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* dans deux cédraies de montagnes. Poster. Ecole Nationale Supérieure d'agronomie. El-Harrach – Alger - .
- 36. DEMOLIN G.,** 1989: La processionnaire du cèdre: *Thaumetopoea bonjeani* Powel. Rapport scientifique et rapport iconographique, projet : DP-FO-ALG/83/013, 27p, 30planche.
- 37. DEMOLIN G., FREROT B., CHAMBON J.P. ET MARTIN J.C.,** 1994: Réflexions biosystématique sur toutes les processionnaires du genre *Thaumetopoea*, (Lep. *Thaumetopoeidae*) considérées comme ravageurs importants des cèdres *Cedrus libani* Barel et *Cedrus atlantica* Manneti sur le pourtour du bassin méditerranéen. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), Vol.2, pp. 362-733.
- 38. SALVATO, P., BATTISTI, A., CONCATO, S., MASUTTI, L., PATARNELLO, T. & ZANE, L.,** 2002: Genetic differentiation in the winter pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa wilkinsoni* complex), inferred by AFLP and mitochondrial DNA markers. *Molecular Ecology*, 11, 2435-2444.

- 39. SIMONATO. M., MENDEL, Z., KERDELHUE, C., ROUSSELET, J., MAGNOUX, E., SALVATO, P., ROQUES, A., BATTISTI, A. & ZANE, L., 2007:** Phylogeography of the pine processionary moth *Thaumetopoea wilkinsoni* in the Near East. *Molecular Ecology*, 16, 2273-2283.
- 40. SANTOS, H., ROUSSELET, J., MAGNOUX, E., PAIVA, M.R., BRANCO, M. & KERDELHUE, C., 2007:** Genetic isolation through time: allochronic differentiation of a phenologically atypical population of the pine processionary moth. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences, 274, 935-941.
- 41. KERDELHUÉ C., L. ZANE, M. SIMONATO, P. SALVATO, J. ROUSSELET, A. ROQUES & A. BATTISTI, 2009:** Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evolutionary Biology*, 9: 220.
- 42. EPPO, 2004:** EPPO Standards, Diagnostic protocols for regulated pests. European and Mediterranean Plant Protection Organization, *EPPO Bulletin* 34, 155 – 157.
- 43. AGENJO R., 1941-** Monographie de la famille des *Thaumetopoeidae* (Lep.). *Eos*, 17, 69-128.
- 44. ELYOUSFI M., 1989 -** The cedar processionary moth, *Thaumetopoea bonjeani* (Powell). *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 15, 43-56.
- 45. ZAHIRI, R., LAFONTAINE, D., SCHMIDT, C., HOLLOWAY, J. D., KITCHING, I. J., MUTANEN, M., AND WAHLBERG, N., (2013).** Relationships among the basal lineages of Noctuidae (Lepidoptera, Noctuoidea) based on eight gene regions. *Zoologica Scripta*, 42, 488–507.
- 46. GOUSSARD F., SAINTONGE F.X., GERI C., AUGER-ROZENBERG M A., PASQUIER B.F., ROUSSELET J., 1998 -** Increasing risk of damage by the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. in the Central Region following climatic change. *Actes de la IV Conference Internationale Francophone d'Entomologie, Saint Malo, France, 5-9 juillet 1998*, **35**, 341-343.
- 47. HODAR 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
- 48. MARTIN J.C. 2005.** La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffer Müller). Biologie et protection des forêts. INRA Avignon.61p.
- 49. TIBERI, R., NICCOLI, A., CURINI, M., EPIFANO, F., MARCOTULLIO, M. C., & ROSATI, O., 1999.** The role of the monoterpene composition in *Pinus* spp. needles,

in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica*, 27, 263–272.

50. HODAR, J. A., ZAMORA, R., AND CASTRO, J., 2002. Host utilisation by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three *Pinus* species. *Ecological Entomology*, 27, 292–301.

51. HUCHON H., et **DEMOLIN G.**, 1970 - La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle-Dispersion actuelle. *Rev.For.Fr.* n° spécial "La lutte biologique en forêt", 220-234.

52. KERRIS T., 1983 La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Note technique I.N.R.F. 17 pp.

53. ABGRALL. J.F. 2001. Le réseau surveillance processionnaire du pin en France 1969-1989. Conception, historique, résultats. irstea. 2001, pp.400. Hal-02579986

54. 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

55. DEMOLIN G., 1969b - Bioecologica de la processionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Incidencia de los factores climaticos. *Bol. Serv. Plagas Forest.* 23 : 9-24.

56. GACHI M., 1996 - La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Conférence Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S.- Jijel. 17 pp.

57. BURJERON A., 1972, Étude des facteurs responsables du rythme nyctéméral de la prise alimentaire des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Et des conséquences sur la virose cytoplasmique. *Ann. Zool. - Écol. Anim.* 4(3): 353-366

58. DEMOLIN 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.

59. 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.

60. BILIOTTI E., DEMOLIN G., HAM R., 1964 - Caractères de la diapause nymphale Chez *Thaumetopoea pityocampa*. *C. R. Acad. Sci. Paris.* 258 : 706-707.

61. ROBREDO F., 1963. La nymphose chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* 12, 122-129.

- 62. DEMOLIN G.**, 1987a- La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au Mont-Ventoux. *Etude Vauclusiennes*, n° spécial, **3**,157-173.
- 63. HOCH, G., TOFFOLO, E.P., NETHERER, S., BATTISTI, A., &SCHOPF, A.**, 2009- Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, **11**, 313-320.
- 64. BUFFO E, BATTISTI A, STASTNY M, LARSSON S** (2007). Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agricultural and Forest Entomology* **9**, 65–72.
- 65. BILIOTTI E.**, 1958: Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga*. **3** (1), 23-24.
- 66. 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.
- 67. CADAHIA D., DEMOLIN G., BILIOTTI E.**, 1967- *Meteorus versicolor* var. *decoloratus*, nouveau parasite de *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga* **12**, 355-361
- 68. DEMOLIN G., DELMAS J.C.**, 1967a - Les éphippigères (Orthoptères Tettigoniidae) prédateurs occasionnels, mais importants de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Entomophaga*. **12**(4) :399-401.
- 69. DU MERLE P.**, 1969 - Le complexe parasitaire hypogé de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera). *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* **13**, 131-132
- 70. BONNET C., MARTIN J.C.** 2008 Processionnaire du pin. Quand un ravageur forestier devient un problème sanitaire. *Nuis. Parasit. Inf.* **54**, 23-25.
- 71. PARDE J.** (1957) -La productivité des forêts de Pin d'Alep en France. *Ann. E.N.E.F de la Stat. Rech. Expér.* **15**(2), 367-414.
- 72. MEZALI M.** (2003) - Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3ème session du forum des Nations Unies sur les forêts, 9 p.
- 73. QUEZEL P.** 1986 a. Les pins du groupe « *halepensis* ». *Ecologie, végétation, écophysiologie Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM* **86/1**, 11-24.

- 74. NAHAL I.** 1962. Le pin d'Alep. Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Annales de l'école Nationale des Eaux et Forêts 19 (4) : 533-627.
- 75. GAUSSEN H.,** 1960 - Les gymnospermes actuelles et fossiles, IV : 1 -272.
- 76. BOUDY. P.,** 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. Ed. La maison rustique. Paris. France. Pp : 245-258. 505 p.
- 77. SEIGUE A.** 1985. La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maison neuve et Larose. Paris. 502 p.
- 78. BAKER M., PICARD J.F ET TIMBAL J. 1982.** Larousse des arbres et arbustes de l'Europe occidentale. Paris, Librairie Larousse. 330 p.
- 79. VENET J., 1986.** Identification et classement des bois Français. France : Ed E.N.G.R.E.F. Nancy. 308 p.
- 80. KADIK B., 1987.** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) en Algérie : Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Alger : Ed Office des publications universitaires. 580 p.
- 81. GASTON B., 1990.** La grande flore en couleur (La flore du France). Edt. Belin. Tome I, II, III, IV, Index. Paris. France.
- 82. KADIK B., 1984.** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*pinus halepensis Mill*) en Algérie : écologie, dendrométrie, morphologie. Alger : Ed Office des publications universitaires.580 p.
- 83. PHILIPPE., R.N., 2001.** Les résineux, connaissance et reconnaissance, Tome1, 2e édition. IDF. 256 p
- 84. QUEZEL. P., et BARBERO. M.,** 1992. Le pin d'Alep et les espèces voisines, répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. Forêt méditerranéenne t. XIII, n° 3, 13p.
- 85. RATHGEBER C.** 2002. Impact des changements climatiques et de l'augmentation du taux de CO2 atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers : exemple du pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) en Provence calcaire (France). Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, France. 312 p.
- 86. LOISEL R.** 1976. Place et rôle des espèces du genre *Pinus* dans la végétation du sud-est méditerranéen Français. *Ecologia Mediterranea* 2 : 131-152.
- 87. QUEZEL P.** 1986 b. Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Dans : Actualités d'Ecologie Forestière (Ed. : Pesson), Ed. Gauthier Villars, Paris, pp. 205-256.

- 88. QUEZEL P. & MÉDAIL F.** 2003. Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Paris, pp. 28-125, 571.
- 89. KHOUJA M.L.** 1997 - Variabilité géographique du Pin d'Alep en Tunisie: perspectives d'amélioration de la productivité et de la qualité physique du bois. Université Catholique de Louvain-la-Neuve (Belgique), Thèse de doctorat, 181 p.
- 90. BENABDELI K.,** 1996. Mise en évidence des formations basses dans la sauvegarde des écosystèmes forestiers : cas des monts daya (Algérie occidentale) *Ecologia mediterranea* XXII(4), 101-112.
- 91. QUEZEL P.** 1980. Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranée. Dans : Actualités d'Ecologie Forestière (Ed. : Pesson), Ed. Gauthier Villars, Paris, pp. 205-256.
- 92. BENTOUATI A., 2006.** Croissance, productivité et aménagement des forêts de Pin d'Alep (*pinus halepensis Mill*) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela- Aurès). Thèse de doctorat. Univ de Batna.9-116 P.
- 93. DGF,** 2005- Superficies, potentialités, et bilan d'incendies des forêts algériennes.
- 94. Anonyme.** 2012. Pin d'Alep les principaux problèmes sanitaires. Département de la santé des forêts. Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt. France.
- 95. MOUILAH Y., 1988.** Contribution à l'étude de la régénération naturelle du Pin d'Alep (*pinus halepensis*) dans la forêt Touazizine Telagh. Institut de technologie agricole de Mostaganem. 67 p.
- 96. DEBAZAC E.F.,** 1964. Manuel des conifères - Genre Cedrus. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy. 172 p
- 97. GAUSSEN H., 1964:** Les gymnospermes actuelles et fossiles. Fax. 7VII, genre *Pinus, Cedrus et Abies*. Fac de sc. Toulouse. PP.295-320.
- 98. GAUSSEN H., 1967:** Les gymnospermes actuelles et fossiles. Trav. Lab. For. Fascicule VI, chap. XI, pp 294-319.
- 99. EMBERGER L.,** 1938.- Contribution à la connaissance des Cèdres et en particulier du Deodar et du Cèdre de l'Atlas. Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale, 77 -92.
- 100. DERRIDJ A., 1990:** Etude des populations de *Cedrus atlantica* Manneti, en Algérie. Thèse Doct en Sc. Univ. Paul Sabatier. UFR des sciences de la vie et de la terre. Toulouse. 288P.

- 101. TOTH J, 1978a:** Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le sud de la France. Thèse. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme. Marseille, France. 136p.
- 102. M'HIRIT O., 1982.** Études écologiques et forestières des cédraies du Rif Marocaine : essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'Atlas. Ann. Rech. For. Maroc. Vol. 2. 499 p.
- 103. TOTH J., 1980b:** Le cèdre II: La graine, dissémination, extraction, qualité, germination, conservation. La forêt privée. Rev. For. Europ. N° 131 : 78 --84.
- 104. M'HIRIT O., 2006 -** *Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps.* Éd. MARDAGA. 288 p.
- 105. SBABDJI, M.** 2012. Etude des infestations de la cédraie de Chréa par la processionnaire du pin, (*Thaumetopoea pityocampa* shiff): description spatiotemporelle et relations arbre-défoliateur. École nationale supérieure agronomique thèse doctorat El-Harrach-Alger.p.100.
- 106. ABOUROUH M., 1983.** Essai de mycorhisation de *Cedrus atlantica* en pépinière. Thèse Doct 3ème cycle .université Claude Bernard, Lyon I p 193-234
- 107. MEDDOUR R., 1994b:** La cedraie de l'Atlas Blidéen (Algérie). Valeur bioclimatique, syntaxonomique et dynamique. *Ann. Rech. For. Maroc*, (1994), T (27), 105-127
- 108. M'HIRIT O., 1994:** le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Méditerranéa « Le cèdre » Ann. Rech. For Maroc 27 spécial, vol1, IXXXVI-1-361, pp 3-21
- 109. AUSSENAC G., 1984.** Le cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écologique. Bull. Soc.Bot. Fr., Actuel Bot., (2/3/4). Pp : 385-398.
- 110. BARITEAU M. & FERRANDS, P., 1992:** les cèdres. In : amélioration des espèces végétales cultivées. Gallais H. Bannerot., Ed INRA, Paris pp 732-743.
- 111. BOUDY P., 1950:** Economie forestière nord-africaine des essences forestières. Ed. Larose, T, Paris, 525p.
- 112. TOTH, J.** 1981. Contribution à l'étude monographique du cèdre méditerranéen. INRA. Station d'Avignon : 25 p.
- 113. CHELLABI H., 1992:** Contribution à l'étude de la productivité de *Cedrus atlantica* Manetti en fonction des facteurs stationnels et l'établissement d'un tarif de

cubage. Cas du parc national de Chr ea. Th ese d'ingénieur agronome, INA, El Harrach (Alger), 54p.

114. HADDAD A., 1999: Contribution à l'étude de la productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en fonction des facteurs stationnels dans le parc national de Chr ea. Th ese de magister, I.N.A., El-Harrach, Alger.

115. NEDJAH I A., 1987a: La cédraie de Chr ea (Atlas Blidéen). Phénologie – productivité – régénération. Th ese. Doct., université de Nancy 77p

116. 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). *Th ese Doc., Univ. Moh. V- Agdal, Rabat*, 107 p.

117. EZZAHIRI M.* BELGHAZI B. et BAHMAD M.***. 1994.** Bilan de la régénération naturelle de la cédraie dans les parcelles clôturée du moyen atlas, Maroc. *Ann. Rech. For; Maroc, T (27)*, 259-268.

118. QUEZEL P., 1998. Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique. *Forêt méditerranéenne*. 19 : 243-260.

119. BENTOUATI A, 2008: La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, vol. 29, no 2, pp. 203-208.

120. QUEZEL, P. 2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris : 117 p.

121. BENABID A., 1993 - Biogéographie phytosociologie et phytodynamique des cédraies de l'atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Silva M diterrana Actes du séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifran (Maroc). 7-11 juin 1993. Pp : 62-69.*

122. ABDESSEMED K., 1981- Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif des Aurès et de Belezma :  tude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. *Th ese doct. Ing., Fac. St. Jérôme, Marseille*. 199 p.

123. BENTOUATI A., OUDJEHIH B., 1999 - Premieres études de la croissance et de la Productivité du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Belezma (Aurès-Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, t. XX, (2) : 115-119.

124. HARFOUCHE, A. et NEDJAH I, A. 2003. Prospection écologique et sylvicoles dans les cédraies du Belezma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbre. *Rev. For. Fr. Vol.55, no 2.*

- 125. TOTH J., 1971:** le cèdre (le cèdre de l'Atlas – *Cedrus atlantica* – en France). Bull de vulgarisation forestière N°71/4, Avril.
- 126. CHAKROUN M. L.** 1986. Le pin d'Alep en Tunisie. *Options Méditerranéennes*. Série Etude CIHEAM 86/1, 25-27.
- 127. COUHERT B. & DUPLAT P.** 1993. Le Pin d'Alep. Rencontres forestiers-chercheurs en forêt méditerranéenne. La Grande-Motte (34), 6-7 octobre 1993. Ed. INRA, Paris 1993. (Les colloques n° 63), 125-147.
- 128. Anonyme,** 2010. Monographie de la wilaya de Tipaza. Direction de la planification et du l'aménagement du territoire Edition 2010.152p.
- 129. Conservation des forêts de la wilaya de Tipaza.** 2011. Statistique du patrimoine forestier de la wilaya de Tipaza, (Algérie).
- 130. Anonyme,** 2010. Monographie de la wilaya d'Ain Defla. Direction de la planification et du l'aménagement du territoire. Edition 2010.150p.
- 131. Conservation des forêts de la wilaya d'Ain Defla.** 2018. Statistique du patrimoine forestier de la wilaya d'Ain Defla, (Algérie).
- 132. Direction du Parc national de Theniet El-Had.** 2019. Wilaya de Tissemsilt- Algérie.
- 133. BARRY J.P., J.C. CELLES & L. FAUREL,** 1974.- Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/1.000.000. Centre de recherche sur les ressources biologiques terrestres, Alger, 42 p.
- 134. PEGUY C.**1970, Précis de climatologie Ed. Masson, Paris, 468p.
- 135. HMIMINA M.,** 1986 - Stratégies d'occupation des cultures et d'hivernation chez *Helicoverpa armigera* HB (*Lep., Noctuidae*): essai de modélisation prévisionnelle. *Thèse de Doctorat ès Sciences*. Université de Marseille (St Jérôme), 184p.
- 136. CHARARAS C.,** 1979. Ecophysiologie des insectes parasites des forêts. Ed. Chararas, Paris, 297 forestières. Edition la maison rustique 505 p.
- 137. ANONYME.,** 1998 - Changement climatique et ressources en eau dans les pays du Magreb, Algérie, Maroc, Tunisie, en jeux et perspective. Dept. Env. Rabat, Maroc, 55p.
- 138. RAMADE F.,** 2003 - Éléments d'écologie - Écologie fondamentale. 3ème édition. 690 p.
- 139. BALE J S., MASTERS G J., HODKINSON I D., AWMACK C., BEZEMER T M., BROWN V K., BUTTERFIELD J., BUSE A., COULSON J C., FARRAR J., GOOD J**

- E G., HARRINGTON R., HARTLEY S., JONEST H., LINDROTH R L., PRESS M C., SYMRNIODIS I., WATT A D. et 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.
- 140. BARBAULT R.** 2003. Ecologie générale, structure et fonctionnement de la biosphère. Ed. Dunod, Paris, 326 p.
- 141. CHARARAS C.,** 1982. Les insectes parasites des forêts. *Ed. Chararas*, Paris, 297p.
- 142. BAGNOULS et GAUSSEN,** 1953 - Saisons sèches et indice xérothermique. Document pour les cartes de production végétale. Toulouse. Série généralités. T3.1953. Vol 1 Art 8.
- 143. DREUX P.,** (1980). Précis d'écologie. Ed. Presses. Univ. France, Paris, 213 p.
- 144. EMBERGER L.,** 1955. Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab. Géol. Bot., Zool., Fac. Sc. Montpellier*, 7 : pp 3-43.
- 145. STEWART P.,** 1969. Quotient pluviométrique et dégradation Biosphérique ; Quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Afri. Du nord*, pp. 24- 24.
- 146. BOUCHOU, L. et CHAKALI, G.** 2014. Egg mass analysis of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) in Aleppo pine forests in semi-arid area (Djelfa - Algeria). *International Journal of Agricultural Science and Research*, **4**, 43–52.
- 147. QUÉZEL, P., et S. SANTA.** 1963. Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Editions du C.N.R.S., Paris. **II.**:12, 13, 693-701
- 148. BRAUN-BLANQUET J.,** 1951- Pflanzensoziologie Grundzuge der vegetations Kunde (2^{ème} ed.) Spring, Vienne, Autrich, pp 631.
- 149. TSANKOV, G., SCHMIDT, G.H. et MIRCHEV, P.**1996. Parasitism of egg batches of the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* (Den & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) in various parts of Bulgaria. *Journal of Applied Entomology*, **120**, 93–105.
- 150. SCHMIDT, G.H., TANZEN, E. et 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. *Journal of Applied Entomology*, **123**, 449–458.

- 151. ROSSI, J.P. et VAN HALDER, I.** 2010. Towards indicators of butterfly biodiversity based on a multiscale landscape description. *Ecological Indicators*, **10**, 452–458.
- 152. SAMALENS, J. et ROSSI, J.** 2011. Does landscape composition alter the spatiotemporal distribution of the pine processionary moth in a pine plantation forest? *Population Ecology*, **53**, 287–296.
- 153. BOUZAR ESSAIDI, K., BENFEKIH, L., BRANCO, M., BATTISTI, A., GARCIA, A., ROSARIO FERNANDES, M., CHABANE, Y AND BOUZEMARENE, M.** 2020. Response of the egg parasitoids of the pine processionary moth to host density and forest cover at the southern edge of the range. Laboratory for Research on Plant Production Biotechnology (LBPV), Faculty of Nature and Life Sciences, University of Blida 1, Algeria. 10p. Article.
- 154. ROOT, R.,** 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* **43**, 95-124.
- 155. RUSSELL, E. P.,** 1989. Enemies hypothesis - A review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environmental Entomology* **18**, 590-599
- 156. 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.
- 157. JACQUES EINHORN et al,** 1983. Piégeage sexuel de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep. Notodontidae) par des attractifs de synthèse. Premiers essais dans le Sud-Ouest de la France.
- 158. 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
- 159. 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
- 160. ZAMOUM M.,** 1986. Instruction technique, réseau d'avertissement contre la processionnaire du pin juin 1986. INRF Doc. Interne 14 pp.

- 161. ZAMOUM M.**, 1992. Évaluation de quelques facteurs de mortalité agissant sur une population de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera, *Thaumetopoeidae.*), depuis le départ des chenilles en procession de nymphoses jusqu'à l'émergence des adultes DEA. Université de RENNES-FRANCE.
- 162. RUDINSKY, J.** 1962. Ecology of Scolytidae. *Annu. Rev. Entomol.*, 7: 327-348.
- 163. MISTRETTA, P.A.** 1984. *Littleleaf disease*. Forest Insect and Disease Leaflet 20. Washington, USDA Forest Service. 6p.
- 164. AMMAN, G.D. et RYAN, K.C.** 1991. *Insect infestations of fire-injured trees in the Greater Yellowstone Area*. Research Note, 398. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, USDA Forest Service, 9 p.
- 165. PATTERSON D T., et al.** 1999 - Weeds, Insects and Diseases. *Climatic Change*.43 (4): 711-727.
- 166. BATTISTI, A., COLAZZA, S., ROVERSI, P. F. et TIBERI, R.,** 1988. Alternative hosts of *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) (Hymenoptera Encyrtidae) in Italy. *Redia* 71, 321-328.
- 167. BENIGNI M., BATTISTI A.,** 1999. Climate change and the pine processionary caterpillar: adaptation of a defoliator to changing environmental conditions. [Variazioni climatiche e processionaria del pino: adattamenti di un defoliatore a condizioni ambientali mutevoli]. — *L'Italia Forestale e Montana*, vol. 54, n° 2, 1999, pp. 76-86.
- 168. SCHMIDT, G.H., MIRCHEV, P., ET TSANKOV, G.** 1997. The egg parasitoids of *Thaumetopoea pityocampa* in the Atlas mountains near Marrakech (Morocco). *Phytoparasitica*, 25, 275-281
- 169. AUGER-ROZENBERG, M. A., BARBARO, L., BATTISTI, A. et al.** 2015 Ecological responses of parasitoids, predators and associated insect communities to the climate-driven expansion of pine processionary moth. *Processionary Moths and Climate Change: An Update* (ed. by A. Roques), pp. 311–358. Springer, Dordrecht.
- 170. TSANKOV, G., SCHMIDT, G.H. & MIRCHEV, P.** 1998. Studies on the egg parasitism in *Thaumetopoea pityocampa* over a period of four years (1991–1994) at Marikostino / Bulgaria. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 71, 1–7.

- 171. MIRCHEV, P., SCHMIDT, G.H., TSANKOV, G. & PLLANA, S.** 1999. Egg parasitoids of the processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) collected in Albania. *Bollettino di Zoologia agraria e di Bachicoltura*, **31**, 152–165.
- 172. ZAMOUM, M., GACHI, M., RAHIM, N., KHEMICI, M., MARTIN, J.C., BOURAGBA-BRAGUE, N., BRIKI, A.** 2016 Parasites PP et PC_Com_1 Diversité des ennemis naturels de *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea bonjeani* (Lep. Thaumetopoeidae) dans les forêts de *Cedrus atlantica* Manetti. Research Laboratory Forest Entomology BP 37 Chéraga Alger P 83
- 173. PEREZ-CONTRERAS, T. et SOLER, J.J.** 2004. Egg parasitoids select for large clutch sizes and covering layers in pine processionary moths (*Thaumetopoea pityocampa*). *Annals Zoologici Fennici*, **41**, 587–597.
- 174. ARNALDO, P.S. et TORRES, L.M.** 2006. Effect of different hosts on *Thaumetopoea pityocampa* populations in Northeast Portugal. *Phytoparasitica*, **34**, 523–530.
- 175. SANTOS, H.M., PAIVA, M.R., ROCHA, S., KERDELHUE, C. & BRANCO, M.** 2013. Phenotypic divergence in reproductive traits of a moth population experiencing a phenological shift. *Ecology and evolution*, **3**, 5098–5108.
- 176. MIRCHEV, P., TSANKOV, G., DOUMA-PETRIDOU, E. & AVTZIS, N.** 2010. Comparative analysis of participation of egg parasitoids of pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep: Thaumetopoeidae) in northern and southern mainland Greece. *Silva Balcanica*, **11**, 73–97.
- 177. PIMENTEL, C., FERREIRA, C. & NILSSON, J.Å.** 2010. Latitudinal gradients and the shaping of life-history traits in a gregarious caterpillar. *Biological Journal of the Linnean Society*, **100**, 224–236.
- 178. MILLS, N.J. et GETZ, W.M.** 1996. Modeling the biological control of insect pests: a review of host parasitoid models. *Ecological Modeling*, **92**, 121–143.
- 179. PETRUCCO-TOFFOLO, E., BASSO, A., KERDELHUÉ, C., IPEKDAL, K., MENDEL, Z., SIMONATO, M. ET BATTISTI, A.** 2018. Evidence of potential hybridization in the *Thaumetopoea pityocampa-wilkinsoni* complex. *Agricultural and Forest Entomology*, **20**, 9–17.
- 180. ZOVI, D., STASTNY, M., BATTISTI, A. & LARSSON, S.** 2008. Ecological costs on local adaptation of an insect herbivore imposed by host plants and natural enemies. *Ecology*, **89**, 1388–1398.

- 181. UEMURA, M., PERKINS, L., BATTISTI, A. & ZALUCKI, M.** 2019. Egg mass structure of the processionary caterpillar *Ochrogaster lunifer* (Lepidoptera: Notodontidae): is the outer egg layer sacrificed for attack by the egg parasitoid *Anastatus fuligispina* (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eupelmidae)? *Austral Entomology*, **58**, 810–815.
- 182. TIBERI, R., BRACALINI, M., CROCI, F., TELLINI FLORENZANO, G. & PANZAVOLTA, T.** 2015. Effects of climate on pine processionary moth fecundity and on its egg parasitoids. *Ecology and evolution*, **5**, 5372–5382.
- 183. SANTOS, H., PAIVA, M.R., TAVARES, C., KERDELHUE, C. & BRANCO, M.** 2011. Temperature niche shift observed in a Lepidoptera population under allochronic divergence. *Journal of Evolutionary Biology*, **24**, 1897–1905.
- 184. BATTISTI, A.** 1989. Field studies on the behaviour of two egg parasitoids of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga*, **34**, 29–38.
- 185. SIMONATO, M., PILATI, M., MAGNOUX, E. et al.** 2019. A population genetic study of the egg parasitoid *Baryscapus servadeii* reveals large scale automictic parthenogenesis and almost fixed homozygosity. *Biological Control*, **139**, 104097.
- 186. ZIVI, D., BATTISTI, A., HELLRIGL, K. et MINERBI, S.** 2006. Egg parasitoids of the pine processionary moth and their occurrence in Venosta/Vinschgau. *Forest Observer*, **2**, 81–88.
- 187. BERRYMAN, A.A.** 1996. What causes population cycles of forest Lepidoptera? *Trends in Ecology & Evolution*, **11**, 28–32.
- 188. TAMBURINI, G., MARINI, L., HELLRIGL, K., SALVADORI, C. & BATTISTI, A.** 2013. Effects of climate and density-dependent factors on population dynamics of the pine processionary moth in the Southern Alps. *Climatic Change*, **121**, 701–712.
- 189. LI, S., DAUDIN, J.J., PIOUS, D., ROBINET, C. & JACTEL, H.** 2015. Periodicity and synchrony of pine processionary moth outbreaks in France. *Forest Ecology and Management*, **354**, 309–317.
- 190. MIRCHEV, P., GEORGIEV, G. & TSANKOV, G.** 2017. Long-term studies on parasitoids of pine processionary pine (*Thaumetopoea pityocampa*) eggs in a new locality in Bulgaria. *Journal of the Entomological Research Society*, **19**, 15–25.
- 191. HAWKINS, B.A.** 1994. *Pattern and Process in Host-Parasitoid Interactions*. Cambridge University Press, Cambridge.

- 192. SHEEHAN, W.** 1986. Response by specialist and generalist natural enemies to agroecosystem diversification: a selective review. *Environmental Entomology*, 15, 456–461.
- 193. ROLAND, J. & TAYLOR, P.** 1997. Insect parasitoid species respond to forest structure at different spatial scales. *Nature*, **386**, 710–713.
- 194. FARIA, C.A., WACKERS, F.L.&TURLINGS, T.C.J.** 2008. The nutritional value of aphid honeydew for non-aphid parasitoids. *Basic Applied Ecology*, **9**, 286–297.
- 195. DULAURENT, A.M., ROSSI, J.P., DEBORDE, C., MOING, A., MENASSIEU, P. & JACTEL, H.** (2011) Honeydew feeding increased the longevity of two egg parasitoids of the pine processionary moth. *Journal of Applied Entomology*, **135**, 184–194.
- 196. J. GRUVEL 1974** Quelques aspects de la biologie de *Thyridanthrax beckerianus bezzi* 1924 (*Diptera Bombyliidae*), parasite des pupes de *G. tachinoides*. *Rev. Elev. Méd.* 11p
- 197. DU MERLE. P .**1979b. Biologie de la larve planidium de villa brunnea Beck., Diptère Bombyliide parasite de la processionnaire du pin. II. Infestation de l'hôte. *Ann. Zool.-Ecol. anim.*, 11,305-326
- 198. TRIGGIANI O., DE LILLIO E., ADDANTE R.,** 1993 - La processionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. et Schiff.) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae), e i suoi nemici naturali in puglia. *Entomologica*, 27, 139-167.
- 199. BERTELLA N.** 1987 - Bio-écologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) dans quelques régions d'Algérie. - Thèse magister Sci. Agr., Inst. Nat. Agro. El-Harrach - Algérie, 110 p.
- 200. DU MERLE P.,** 1971- Sur quelques facteurs qui régissent l'efficacité de *Villa brunnea* Beck. (Dipt. Bombyliidae) dans la régulation des populations de Thaumetopoeidae. *Ann. Zool. Ecol. Anim.* N° hors-série, 57-66.
- 201. DU MERLE P. 1970a** Biologie et écologie d'un diptère *Bombyliidae*, *Villa brunnea* Becker, parasite de la processionnaire du pin. *Ann. Zool. Ecol. anim.* 3 no hors-série, 111-116.
- 202. BILIOTTI E.,** 1956 - Biologie de *Phryxe caudata* Rondani (Dipt. Larvaevoridae) parasite de la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Rev. Pathol. veg. Entomol. agric. Fr.*, 35, 50-65.
- 203. GERI, C.** 1980. Application des méthodes d'études écologiques aux insectes défoliateurs forestiers. Cas de *Diprion pini* L. (Hymenoptère, Diprionidae).

Dynamique des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptère, Thaumetopoeidae) dans l'île de Corse. Thèse présentée à l'Université de Paris-Sud Centre d'Orsay pour l'obtention du grade de Docteur Es-Sciences.

204. MASUTTI L., 1964 - Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Annali del Centro di Economia Montana delle Venezie, 4, 205-271.

205. WELLINGTON W G., 1964 - Qualitative changes in population in unstable environments. *Can. Entomol.* 96 (1/2), 436-451.

206. WELLINGTON W G., 1965 - Some maternal influence on progeny quality in the western tent caterpillar, *Malacosoma pluvial* Dyar. *Can. Entomol.*, **97**(1), 1-14.

207. TIBERI R, NICCOLI A, SACCHETTI P. 1994. Parasitization of *Thaumetopoea pityocampa* eggs, modifications resulting from the artificial enhancement of *Ooencyrtus pityocampae*. - Proceedings of the XVII Italian National Congress of Entomology, Udine, June 13-18. Acts: 763-766.

208. DEMOLIN G., et RIVE J.L., 1968. La processionnaire du pin en Tunisie Ann. Inst. Nat. Rech. For. de Tunisie Vol. 1 Fasc.1, Ariana.

209. JOURDHEUIL P., GRISON P., FRAVAL A., 1993 - LA lutte biologique : un aperçu historique. Dossier de la cellule environnementale, 5, 11-34

ANNEXE

Appendice I : Annexe des figures

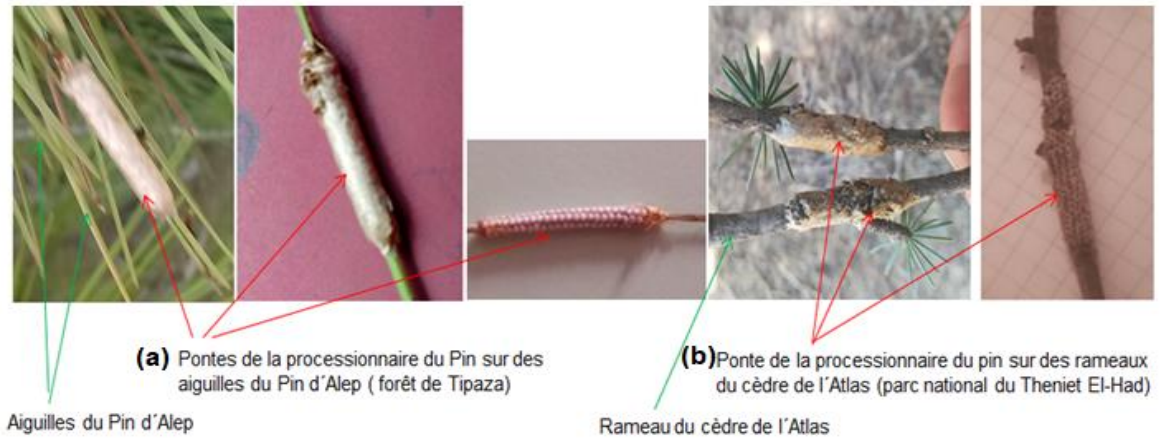


Figure A. Différents type de pontes de la processionnaire du pin : a) en forêt de pin d'Alep, (b) en forêt de cèdre de l'Atlas (Originale, 2017 et 2019)



(a) infestation massive des chenilles processionnaire sur Pin d'Alep. Forêt de Sidi-Rached.



(b) Défoliation totale sur pin d'Alep par la chenille processionnaire du pin. Forêt Attatba. (Année 2011)



(c) Dégât des premiers stades larvaires de la processionnaire: aiguilles roussâtres à proximité d'un pré-nid. Forêt de Sidi-Rached.

Figure B : Défoliations causées par la processionnaire du pin sur Pin d'Alep (Originale 2018).

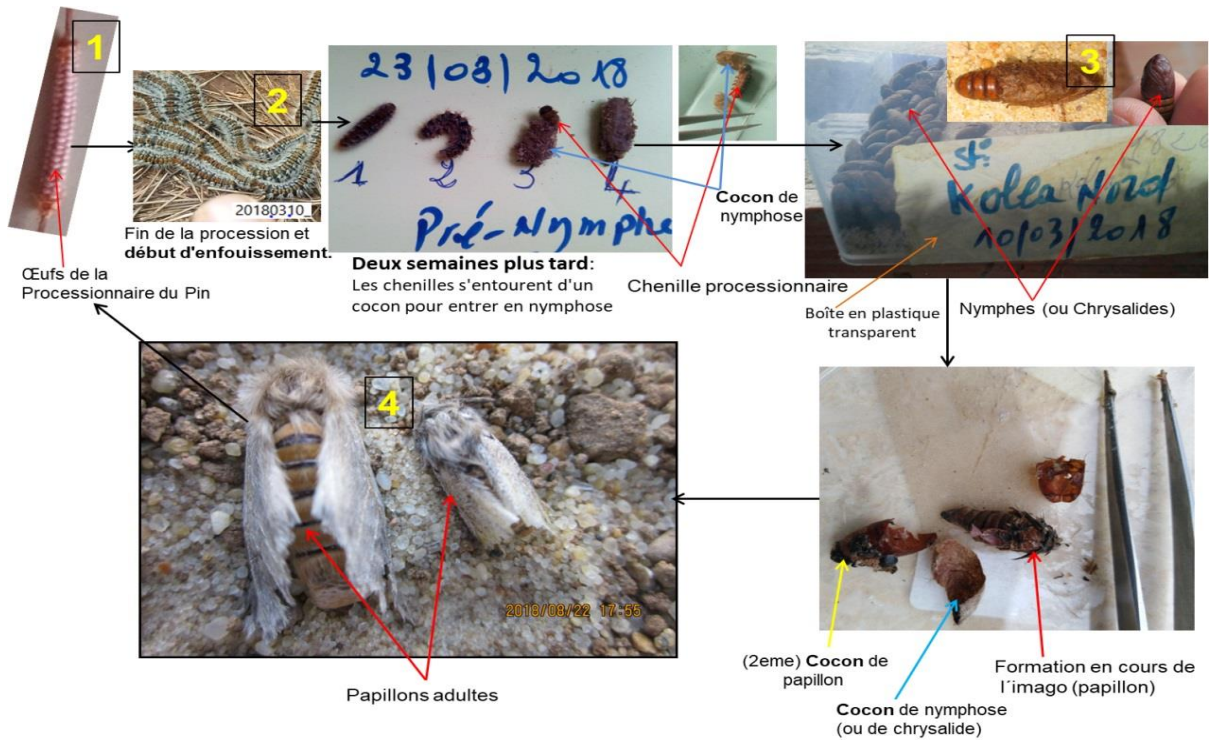


Figure C: Métamorphose complète (holométaboles) quatre étapes amenant l'œuf jusqu'au papillon de la processionnaire du Pin (station Kolea Nord–Tipaza-) dans les conditions expérimentales (Originale, 2018).



Figure D. Captures des papillons mâles à l'aide des pièges à phéromones (Originale, 2017).

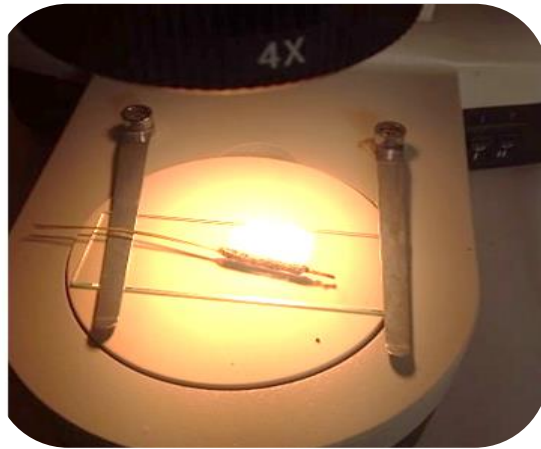
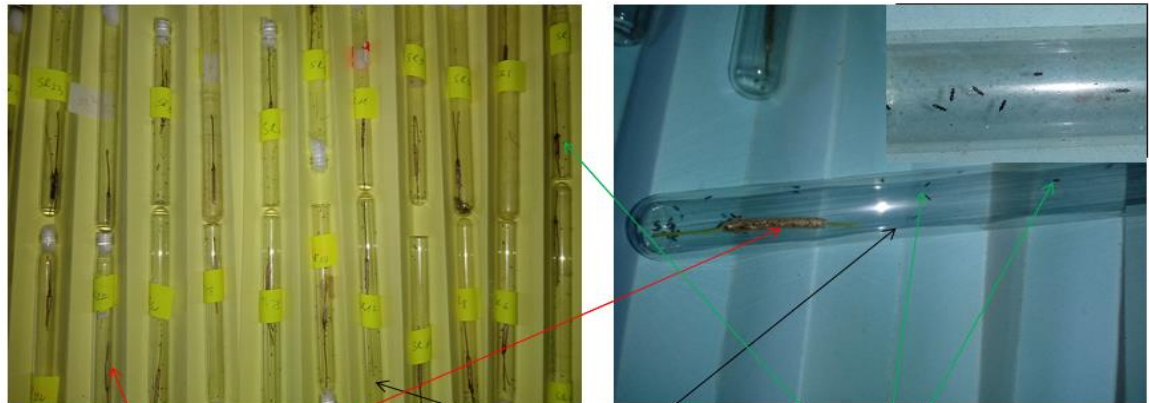


Figure E. Manchon de ponte observé sous la loupe binoculaire pour le comptage des œufs et l'identification des trous de sortie des parasitoïdes émergés

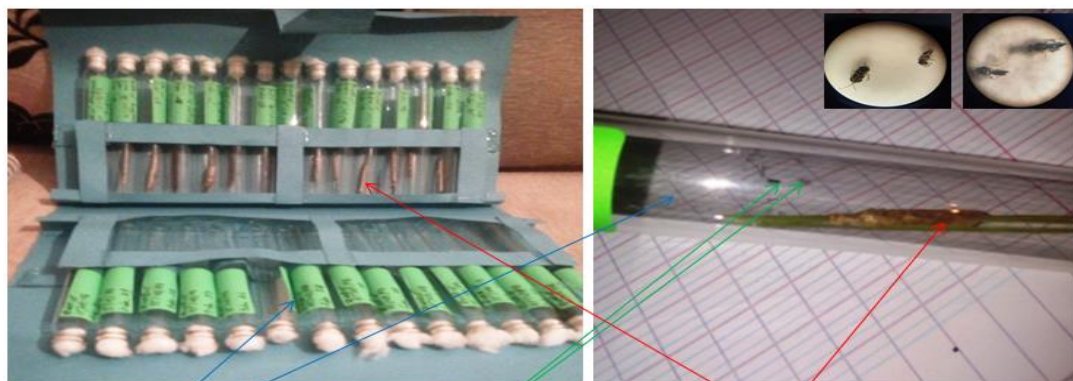


(A)

Tubes à essai (en verre)

Manchon de ponte de la processionnaire du pin dans un tube à essai

Parasitoïdes oophage : *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae*



(B)

Tubes à essai

Parasitoïdes oophage: *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae*

Manchon de ponte de la processionnaire du pin dans un tube à essai

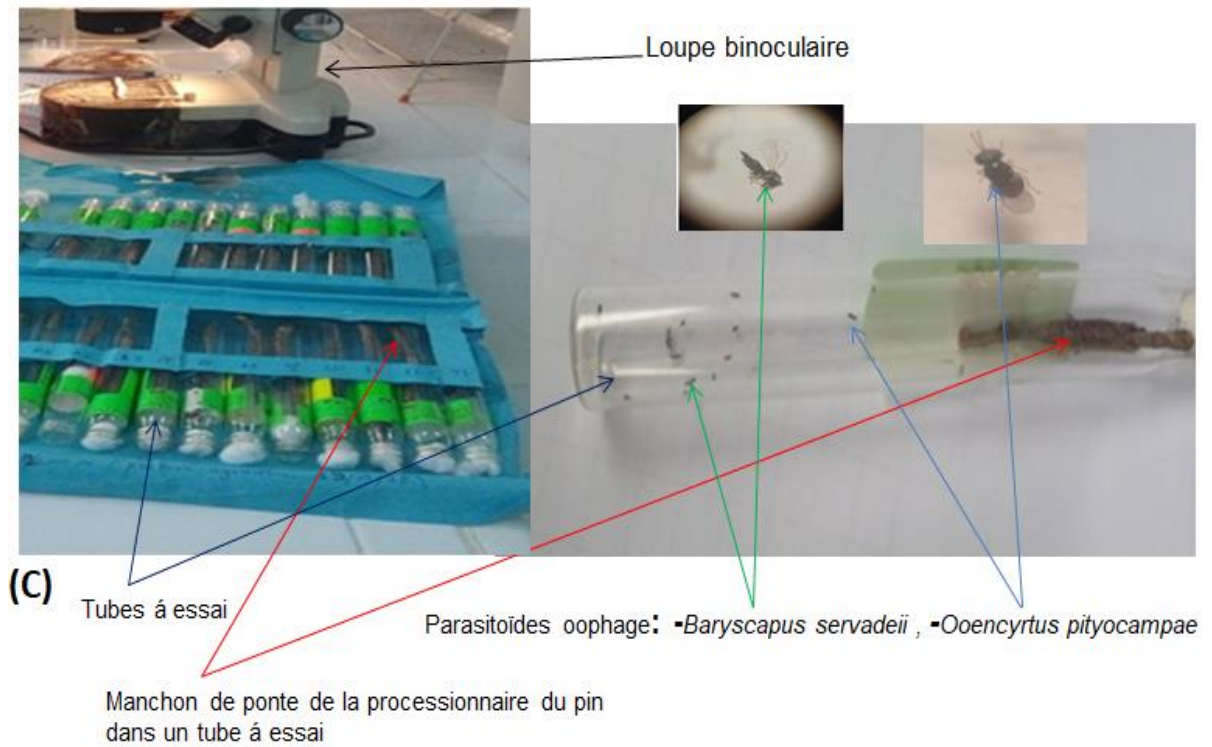


Figure F: Etude et observations des émergences des parasitoïdes oophages : *B. servadeii* et *O. pityocampae* des 3 régions prospectées (**A** : Forêt de Tipaza 2017, **B** forêt de Ain-Defla 2018 et **C** cédraie du Parc National de Theniet El-Had 2019), au laboratoire, (Originale, 2020).

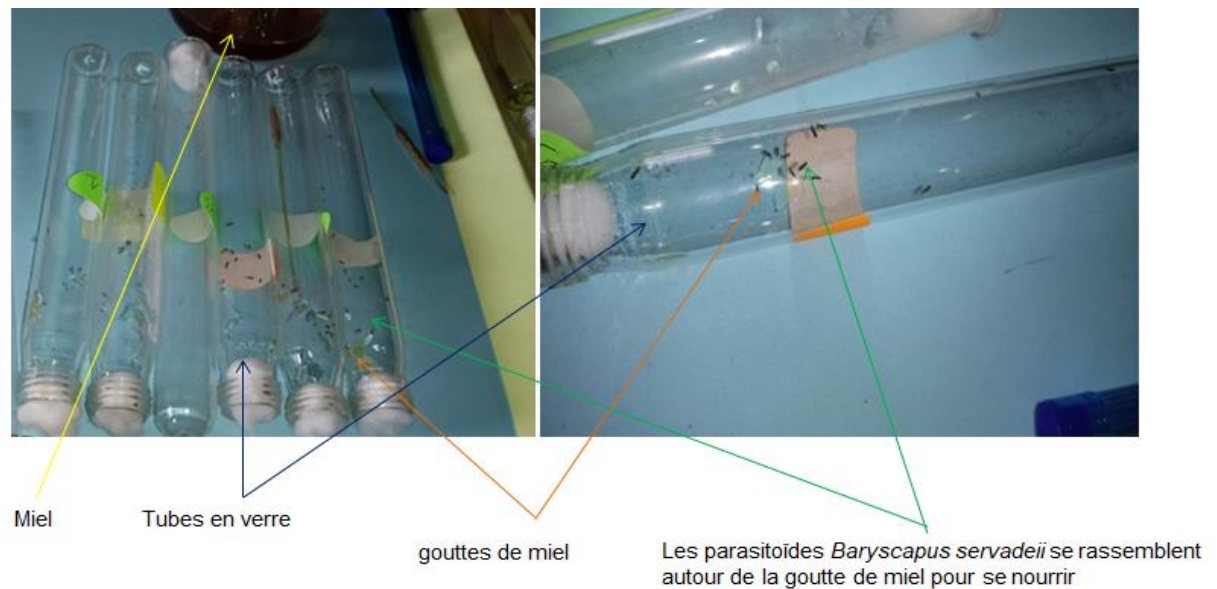


Figure G: Tests de longévité de *Baryscapus servadeii* dans les conditions expérimentales (Originale, 2017).



Quercus coccifera Linné 1753
(chêne kermès)



Tetraclinis articulata
Martin Hen. Vahl 1892
(thuya de berberie)



Phillyrea angustifolia
Linné 1753 (Filaire)



Ampelodesma mauritanica
Durand et Schinz 1894
(Diss)



Cistus triflorus Lam 1786
(Ciste)



Calicotum spinosa
(L.) Link, 1822 (genêt)



Rosmarinus officinalis Linné 1753
(romarin)

Figure H : Quelques espèces du relevé floristique des stations d'étude (Originale 2018) :

Appendice II : Annexe des Tableaux

Tableau A : Données climatique des régions étudiées :

DONNEES CLIMATIQUES DE LA STATION BARRAGE BOUKOURDANE													
Tipaza													
Température													
année	parametres	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
2007	Tmax	42	36	32	32	32	33	32	32	42	38	32,85	49
2008	Tmax	37	26	24	18	27	29	32	29	26	35	35	34
2009	Tmax	36	38	32	26	17,48	21	24	28	39	40	32,85	32,4
2010	Tmax	33	34	22	27	22	30	29	29	30	37	39	32,4
2011	Tmax	34	31	28	22	22	20	24	28	31	34	39	32,4
2012	Tmax	18,0	18,0	22,0	28,0	31,0	38,0	35,0	43,0	40,0	34,0	31,0	26,0
2013	Tmax	22,0	22,0	26,0	28,0	30,0	34,0	35,0	35,1	35,0	39,0	28,0	20,0
2014	Tmax	22,0	26,0	22,0	28,0	28,0	33,0	43,0	39,0	35,0	37,0	30,0	20,0
2015	Tmax	24,0	17,0	25,0	28,0	30,0	39,0	40,0	38,0	35,0	34,0	25,0	21,0
2016	Tmax	15,0	18,0	19,0	25,0	30,0	39,0	39,0	39,0	39,0	35,0	31,0	19,0
2017	Tmax	20,0	20,0	28,0	28,0	35,0	35,0	40,0	40,0	35	32	28	21
2018	Tmax	21,0	21,0	28,0	32,0	33,0	32,0	35,0	39,0	30	31,0	27,0	24,0
moyenne		27	25,58	25,67	26,83	28,12	31,92	34	34,9	34,8	35,5	31,6	27,6
année	parametres	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
2007	Tmin	6	1	6	7	6	4	7	2	0	3	20,36	9
2008	Tmin	9,5	5	2	0	7	7	1	3	6,5	7	13	10
2009	Tmin	9	7	5	6	5,34	0,5	0,5	0,5	1	5	20,36	20,12
2010	Tmin	8	3	2	3	2	5	5	7	8	11	17	20,12
2011	Tmin	16	12	9	6	0	3	4	9	11	13	17	20,12
2012	Tmin	4,0	1,0	5,0	6,0	10,0	17,0	17,0	11,0	10,0	8,0	8,0	4,0
2013	Tmin	4,0	2,0	6,0	5,0	9,0	12,0	12,0	17,5	17,0	13,0	5,0	2,0
2014	Tmin	6,0	5,0	6,0	9,0	8,0	13,0	18,0	16,0	18,0	11,0	10,0	5,0
2015	Tmin	4,0	3,0	5,0	9,0	10,0	14,0	20,0	16,0	14,0	8,0	7,0	0,5
2016	Tmin	8,0	5,0	5,0	5,0	5,0	14,0	16,0	17,0	16,0	12,0	8,0	5,0
2017	Tmin	4,5	3,5	4,0	8,0	10,0	15,0	17,0	17,0	15	11	6	3
2018	Tmin	4,0	3,0	3,0	7,5	8,0	13,0	18,0	19,0	18	9,0	7,0	5,0
moyenne		6,9	4,2	4,8	6,0	6,7	9,8	11,3	11,3	11,2	9,3	11,6	8,7
Précipitation													
année	parametres	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
2007	Pv (mm)	12,4	44,8	103	92,5	2,8	0	1,96	0	60,2	120,2	196,4	123
2008	Pv (mm)	15,6	20,5	88,5	9,5	41,5	4,647	15,5	0	34,9	59,5	103	84,32
2009	Pv (mm)	81,9	69,24	73	86,5	0	0	0	17,5	101,2	3,5	81	117
2010	Pv (mm)	97,5	104,5	98	38	38,46	6	0	2,64	19,5	97,6	99	59,5
2011	Pv (mm)	108,6	108,6	36,4	95,6	93,5	18	0	2,64	4,5	44,6	106,8	68
2012	Pv (mm)	35,5	123,6	91,4	99,2	11,4	0,0	0,0	0,0	9,0	57,6	79,5	14,4
2013	Pv (mm)	104,6	94,5	47,4	90,0	194,5	1,0	1,0	4,0	16,1	44,9	99,5	67,2
2014	Pv (mm)	46,6	49,7	158,5	6,2	38,7	53,8	0,0	0,5	6,0	59,0	66,0	117,0
2015	Pv (mm)	89,1	131,8	77,6	0	8,2	0	0	0	85,0	40,0	30,5	0,0
2016	Pv (mm)	80,0	85,0	150,0	69,7	17,4	0,3	8,9	0,0	5,3	2,8	192,5	184,0
2017	Pv (mm)	165,0	10,0	39,0	10,4	1,5	11,3	0,5	0,0	34	52	103,7	121,8
2018	Pv (mm)	46,0	108,3	125,9	171,0	77,1	50,0	0,0	0,0	20	28,0	107,0	114,0
moyenne	Pv (mm)	73,6	79,2	90,7	64,1	43,8	12,1	2,3	2,3	33,0	50,8	105,4	89,2

Station Barrage Harraza		Ain-Defla										
Température												
Tmaximum												
Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2007	2,6	25	25,6	24,4	36,2	37	38,8	40,6	35,4	31,4	23,4	17
2008	17,6	21,2	24,4	28,4	30,6	41,4	40	41,6	40,2	28,4	22,8	15,2
2009	16	17,6	29	13	42	43,4	40	43	41,8	38	30,8	25,4
2010	21	28,6	28,6	33,6	37	39	46,2	40	38	39,6	25	26
2011	23	20	26,4	31,6	37	42	46,6	40	40,2	32,8	26,6	21
2012	19	20	26	32	36	44,4	45	43,4	41,8	37,8	31,5	25
2013	21	20,4	26	33	33,6	37,8	39,9	42	37,4	39,8	29	20
2014	21,6	24,6	24,4	31	36	42	44	46	39,5	36	28,4	20
2015	21,8	19	32,4	28	42	43	46	43,6	37,4	35,4	26,6	24,2
2016	23,4	23,8	31,8	33	37,4	39,8	41,8	34,4	31,4	27,2	18,5	15,3
2017	4,8	4,3	17	19,3	24,4	36,6	37,6	35,9	31,8	28,9	20,9	13,4
2018	22	24	27	31,8	35,6	38,8	41,6	42,8	39	33	25,6	25,6
Moy	17,8	20,7	26,6	28,3	35,7	40,4	42,3	41,1	37,8	34,0	25,8	20,7
Tminimum												
Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2007	2,6	5	1,4	7,2	9	12	16	20,8	16	10	2	1,4
2008	3	3,4	0,2	4,8	11,2	12,2	22	18,8	14,8	8,2	6	3,8
2009	2,2	2	2	3	7,4	14	22,4	21	13,5	8,5	7	4,6
2010	2	0	2	5	5,2	15	21	19	14,2	4,6	4	-2,6
2011	0	2,4	1,6	8	10	13	17,6	20,5	15,2	7,8	7	2,2
2012	-1	-3	1,2	4,4	8,4	17,6	18,2	15,5	13,4	4	5,6	1,4
2013	1,2	-1	2	4,2	8,4	13	15	17,2	16	9,4	2	1,2
2014	3,4	0	2	6	4,6	10,4	17	17	16	7	6	1
2015	0	0	7,2	2	7,8	13	21	17	11,2	7	3,6	1,4
2016	0	1,6	2,2	4,6	0,4	8,7	12,8	14,8	16,9	13,3	8,9	6,2
2017	1,2	1,29	6,8	10	15,2	23,2	27,2	26,2	19,5	16	11,2	6
2018	-1,0	-2,4	1,2	5,0	7,2	12,6	18,4	19,8	13,8	5,0	3,4	2,2
moy	1,3	1,1	2,6	5,4	8,0	13,8	19,1	18,9	15,2	8,7	5,8	2,4

Précipitations													
Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
2007	14	39,9	91	67,8	7	0	0,8	1,7	58,3	78,7	76,3	26,3	461,8
2008	30	16,4	50,9	6,1	28,5	24,2	0	0	66	45,5	56,3	102	425,9
2009	79	18,9	81,9	76,3	16,8	0	0	1,5	32,4	5,8	61,7	73,2	447,5
2010	67	105,9	56,4	21,8	2,3	6,4	0	70,7	1,4	83,7	60,4	30,5	506,5
2011	56	67,1	21,7	46,9	63,1	27,4	1,2	1,1	28,4	30,3	82,9	27,8	453,9
2012	26	90,9	64	106,2	17,7	1,2	0	1,2	2,5	34,2	71,2	4,6	419,7
2013	79	58,6	53	78,6	49	28,8	18,7	8,7	18,2	15,2	61,5	56	525,3
2014	51	37	72,5	2,5	7,5	30	0	0	14,2	20,3	37,1	69	341,1
2015	52,2	66,2	23,2	0	5,1	3	0	1,7	9,3	18,8	14,3	0	193,8
2016	21,9	40,5	99,5	28,8	24,4	17,1	13,5	11,6	9,8	24	66,1	42,1	399,3
2017	15	10,4	21,3	28,7	13,7	2,1	0	7,9	10,4	5,6	15,4	74,5	205
2018	32,2	49,4	120,0	73,3	31,3	34,6	1,0	0	67	30,4	56,6	34,2	530
moyenne	43,6	50,1	63,0	44,8	22,2	14,6	2,9	8,8	26,5	32,7	55,0	45,0	409,15

parc national de Theniee el Had		2018/2019										
Température												
	Jan	Fév	Ma	Av	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
Tmin (°C)	-3	0	-1	2	5	9	13	12	9	6	3	1
Tmax (°C)	13	15	14	17	31	35	39	43	30	26	18	10
Tmoy (°C)	3,8	6	5,3	6,8	16,1	19,1	24,8	25,3	17,2	14,5	7,8	3,7
Précipitation												
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oc	Nov	Déc
P(mm)	99	86	74	51	56	24	7	7	40	51	74	83

Tableau B : Présence-Absence des espèces végétales rencontrées dans les pinèdes de la région de Tipaza en 2018. (Espèce et code, 1 : espèce présente, 0 : espèce absente).

Plantes	codes Espèces	Tipaza	Kolea S	Kolea N	Attatba	Sidi Rached
<i>Pinus halepensis</i>	<i>P.hal</i>	1	1	1	1	1
<i>Pinus halepensis</i> Regen.	<i>Régén.</i>	1	1	1	1	1
<i>Lonicera caprifolium</i>	<i>L.cap.</i>	1	0	1	0	0
<i>Quercus coccifera</i>	<i>Q. cocc.</i>	1	1	1	1	1
<i>Pistacia lentiscus</i>	<i>P. len.</i>	1	1	1	1	1
<i>Rubia</i> sp	<i>Rubia</i> sp	1	0	1	0	0
<i>Phylliria angustifolia</i>	<i>Ph. ang.</i>	1	1	1	1	1
<i>Lobularia maritima</i>	<i>L. mar.</i>	1	0	0	0	0
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	<i>A. mau.</i>	1	1	1	1	1
<i>Blackstonia perfoliata</i>	<i>B. per.</i>	1	1	1	0	1
<i>Genista tricuspidata</i>	<i>G. tri.</i>	1	1	1	0	1
<i>Cistus monspiliensis</i>	<i>C.mon.</i>	1	1	1	1	1
<i>Medicago hispida</i>	<i>M. his.</i>	1	0	0	0	0
<i>Asparagus acutifolius</i>	<i>A. acu.</i>	1	1	0	0	1
<i>Andryala</i> sp	<i>Andryala</i> sp	1	0	0	0	0
<i>Lagurus ovatus</i>	<i>L. ova.</i>	1	0	0	0	0
<i>Olea europaea</i>	<i>O. euro.</i>	0	1	1	1	1
<i>Calicotome spinosa</i>	<i>C. spin.</i>	0	1	1	1	1
<i>Cistus salvifolius</i>	<i>C. salv.</i>	0	1	0	1	1
<i>Verbascum sinuatum</i>	<i>V. sinu.</i>	0	1	1	0	1
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>A. arv.</i>	0	1	0	1	1
<i>Scherardia arvensis</i>	<i>Sch. arv.</i>	0	1	0	1	1
<i>Andryala integrifolia</i>	<i>A. integ.</i>	0	1	1	1	1
<i>Rubus fruticosus</i>	<i>R. frut.</i>	0	1	1	0	0
<i>Centaurea</i> sp	<i>Centaurea</i> sp	0	1	1	0	0
<i>Pallenis spinosa</i>	<i>P. spin.</i>	0	1	1	0	0
<i>Marrubium vulgare</i>	<i>M. vul.</i>	0	1	1	1	1
<i>Bromus rigidus</i>	<i>B. rig.</i>	0	1	1	0	1
<i>Carlina lanata</i>	<i>C. lan.</i>	0	1	1	0	0
<i>Lotus edulis</i>	<i>L. edu.</i>	0	1	1	0	1
<i>Centaureum umbellatum</i>	<i>C. umb.</i>	0	1	1	0	1
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>C. dac.</i>	0	1	1	0	1
<i>Urospermum picroides</i>	<i>U. pic.</i>	0	1	1	0	1
<i>Astragalus</i> sp	<i>Astragalus</i> sp	0	0	1	0	0
<i>Ajuga iva</i>	<i>A. iva</i>	0	0	1	0	0
<i>Ammi majus</i>	<i>A. maj.</i>	0	0	1	0	0
<i>Chamaerops humilis</i>	<i>Ch. hum.</i>	0	0	1	0	0
<i>Convolvulus althioides</i>	<i>C. alth.</i>	0	0	1	0	1
<i>Daucus carota</i>	<i>D. car.</i>	0	0	1	0	1
<i>Hedysarum</i> sp	<i>Hedysarum</i> sp	0	0	1	0	1
<i>Scabiosa maritima</i>	<i>Sc. mar.</i>	0	0	1	0	0
<i>Tetraclinis articulata</i>	<i>T. art.</i>	0	0	0	1	1

<i>Arbutus unedo</i>	<i>A. inedo</i>	0	0	0	1	0
<i>Galactites tomentosa</i>	<i>G. tom.</i>	0	0	0	1	0
<i>Lavandula stoechas</i>	<i>L. sto.</i>	0	0	0	1	0
<i>Rosmarinus officinalis</i>	<i>R. offi.</i>	0	0	0	0	0
<i>Oryzopsis milliacea</i>	<i>O. mill.</i>	0	0	0	0	1
<i>Arenaria sp</i>	<i>Arenaria sp</i>	0	0	0	0	1

Tableau C : Composition floristique des pinèdes étudiées dans la région de Tipaza en 2018.

1. TIPAZA

Familles (13)	Espèces de plantes (indice d'abondance-Dominance)	Strate. Herbacée	Strate. Arbustive	Strate. arborescente
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> Miller 5.5			+
	<i>Pinus halepensis</i> Miller Regen. 2.1			Reg.
Caprifoliaceae	<i>Lonicera caprifolium</i> L. 1.1		+	
Fagaceae	<i>Quercus coccifera</i> L. 4.4		+	
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i> L. 4.4		+	
Rubiaceae	<i>Rubia sp</i> L. 1.1		+	
Oleaceae	<i>Phylliria angustifolia</i> L. 2.2		+	
Brassicaceae	<i>Lobularia maritima</i> L. +.1	+		
Poaceae	<i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 4.4	+		
	<i>Lagurus ovatus</i> L. +.1	+		
Fabaceae	<i>Genista tricuspida</i> Latreille 3.3		+	
	<i>Medicago hispida</i> L. +.1	+		
Liliaceae	<i>Asparagus acutifolius</i> L. 2.1		+	
Asteraceae	<i>Andryala sp</i> L. +.1	+		
Gentianaceae	<i>Blackstonia perfoliata</i> L. +.1	+		
Cistaceae	<i>Cistus monspiliensis</i> L. 2.4		+	

2. KOLEA SUD

Familles (18)	Espèces de plantes (indice d'abondance-Dominance)	Strate. Herbacée	Strate. Arbustive	Strate. arborescente
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> Miller 5.5			+
	<i>Pinus halepensis</i> Miller Regen. 3.3			Reg.
	<i>Astragalus sp</i> Linnavi. +.1	+		
Fabaceae	<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 3.4		+	
	<i>Genista tricuspida</i> Latreille. 2.3		+	
	<i>Hedysarum sp</i> Dehshiri 1.1	+		
	<i>Lotus edulis</i> L. 1.2	+		
	<i>Andryala integrifolia</i> L. +.1	+		
Asteraceae	<i>Centaurea sp.</i> L. +.1	+		
	<i>Urospermum picroides</i> (Linné) Scopoli. 1.1	+		
	<i>Pallenis spinosa</i> (L.) Cass. 1.1	+		
	<i>Carlina lanata</i> L. +.1	+		
Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i> L. 2.3	+		
	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb. 1.1	+		
Poaceae	<i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 4.5	+		
	<i>Bromus rigidus</i> Roth. +.1	+		

Apiaceae	<i>Cynodon dactylon</i> L. 1.1	+		
	<i>Daucus carota</i> L. 1.1	+		
	<i>Ammi majus</i> L. 1.2	+		
Arecaceae	<i>Chamaerops humilis</i> L. 1.2		+	
Cistaceae	<i>Cistus monspiliensis</i> 2.2		+	
Gentianaceae	<i>Blackstonia perfoliata</i> L. 1.1	+		
	<i>Centaureum umbellatum</i> Rafn. 1.1	+		
Convolvulaceae	<i>Convolvulus althioides</i> L. 1.1	+		
Caprifoliaceae	<i>Lonicera caprifolium</i> L. 1.1		+	
Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L. 2.2			+
	<i>Phylliria angustifolia</i> L. 2.3		+	
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4		+	
Fagaceae	<i>Quercus coccifera</i> L. 3.2		+	
Rubiaceae	<i>Rubia sp</i> L. 1.1		+	
Rosaceae	<i>Rubus fruticosus</i> L. +.1		+	
Dipsacaceae	<i>Scabiosa maritima</i> (L.) Fiori. +.1	+		
Scrophulariaceae	<i>Verbascum sinuatum</i> L. 1.1	+		

3. ATTATBA

Familles (14)	Espèces de plantes	Strate. Herbacée	Strate. Arbustive	Strate. arborescente
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> Mill. 5.5			+
	<i>Pinus halepensis</i> Mill. Regen. 2.2			Reg.
Oleaceae	<i>Olea europea</i> L. 1.2			+
	<i>Phylliria angustifolia</i> L. 3.4		+	
Cupressaceae	<i>Tetraclinis articulata</i> (Vahl) Mast. 1.2			+
<i>Ericaceae</i>	<i>Arbutus unedo</i> L. +.1		+	
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i> L. 1.1	+		
Asteraceae	<i>Andryala integrifolia</i> L. 1.1	+		
<i>Asteraceae</i>	<i>Galactites tomentososa</i> (L.) Moench. 1.2	+		
Poaceae	<i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 2.2	+		
Cistaceae	<i>Cistus salvifolius</i> L. 2.3		+	
	<i>Cistus monspiliensis</i> L. 3.3		+	
Fabaceae	<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 2.3		+	
	<i>Lavandula stoechas</i> L. 3.3		+	
<i>Lamiaceae</i>	<i>Marrubium vulgare</i> L. 1.2	+		
	<i>Rosmarinus officinalis</i> L. 4.4		+	
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4		+	
Fagaceae	<i>Quercus coccifera</i> L. 3.3		+	
Rubiaceae	<i>Scherardia arvensis</i> Sher. +.1	+		

4. SIDI RACHED

Familles (18)	Espèces de plantes (coefficient d'abondance-dominance)	Strate. Herbacée	Strate. Arbustive	Strate. arborescente
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> Mill. 5.4			+
	<i>Pinus halepensis</i> Mill. Regen. 4.4			Reg.
Oleaceae	<i>Olea europea</i> L. 2.3			+
	<i>Phyllirea angustifolia</i> L. 3.3		+	

Cupressaceae	<i>Tetraclinis articulata (Vahl) Mast. 4.4</i>				+
Liliaceae	<i>Asparagus acutifolius</i> L. 1.2				+
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i> L. 1.1	+			
Apiaceae	<i>Daucus carota</i> L. 1.1	+			
Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i> L. 1.2	+			
Convolvulaceae	<i>Convolvulus althioides</i> L. 1.1	+			
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4				+
Fagaceae	<i>Quercus coccifera</i> L. 4.5				+
Rubiaceae	<i>Scherardia arvensis</i> Sher. 1.1	+			
Scrophulariaceae	<i>Verbascum sinuatum</i> L. 1.1				+
Caryophyllaceae	<i>Arenaria</i> sp L. +.1	+			
Asteraceae	<i>Andryala integrifolia</i> L. +.1	+			
	<i>Urospermum picroides</i> (L.) Scop.+1	+			
	<i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 2.3	+			
Poaceae	<i>Bromus rigidus</i> Roth. 1.1	+			
	<i>Oryzopsis miliacea</i> Mich. +.1	+			
	<i>Cynodon dactylon</i> L. 1.1	+			
Cistaceae	<i>Cistus monspeliensis</i> L. 3.4				+
	<i>Cistus salvifolius</i> L. 2.3				+
Gentianaceae	<i>Blackstonia perfoliata</i> L. 1.2	+			
	<i>Centaurium umbellatum</i> Rafn. 1.1	+			
	<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 3.3				+
Fabaceae	<i>Genista tricuspidata</i> Latreille 2.2				+
	<i>Hedysarum</i> sp Dehs. +.1	+			
	<i>Lotus edulis</i> L. +.1	+			

5. KOLEA NORD

Familles (18)	Especies de plantes (coefficient d'abondance-dominance)	Strate. Herbacée	Strate. Arbustive	Strate. arborescente	
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> Mill. 5.5				+
	<i>Pinus halepensis</i> Mill. 3.3				Reg.
	<i>Astragalus</i> sp Linn. +.1		+		
Fabaceae	<i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link. 3.4				+
	<i>Genista tricuspidata</i> Latreille 2.3				+
	<i>Hedysarum</i> sp Dehsh. 1.1		+		
	<i>Lotus edulis</i> L. 1.2		+		
	<i>Andryala integrifolia</i> L. +.1		+		
Asteraceae	<i>Carlina lanata</i> L. +.1		+		
	<i>Centaurea</i> sp. L.+1		+		
	<i>Pallenis spinosa</i> (L.) Cass. 1.1		+		
	<i>Urospermum picroides</i> (Linné) Scop.1.1		+		
Lamiaceae	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb. 1.1		+		
	<i>Marrubium vulgare</i> L. 2.3		+		
	<i>Ampelodesma mauritanica</i> Dur. et Sch. 4.5		+		
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> L. 1.1		+		
	<i>Bromus rigidus</i> Roth. +.1		+		
Apiaceae	<i>Ammi majus</i> L. 1.2		+		
	<i>Daucus carota</i> L. 1.1		+		
Areaceae	<i>Chamaerops humilis</i> L. 1.2				+

Cistaceae	<i>Cistus monspiliensis</i> L. 2.2		+
Gentianaceae	<i>Blackstonia perfoliata</i> L. 1.1	+	
	<i>Centaurium umbellatum</i> Rafn. 1.1	+	
Convolvulaceae	<i>Convolvulus althioides</i> L. 1.1	+	
Caprifoliaceae	<i>Lonicera caprifolium</i> L. 1.1		+
Oleaceae	<i>Phylliria angustifolia</i> L. 2.3		+
	<i>Olea europaea</i> L. 2.2		+
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i> L. 3.4		+
Fagaceae	<i>Quercus coccifera</i> L. 3.2		+
Rubiaceae	<i>Rubia sp</i> L. 1.1		+
Rosaceae	<i>Rubus fruticosus</i> L. +.1		+
Dipsacaceae	<i>Scabiosa maritima</i> (L.) Fiori +.1	+	
Scrophulariaceae	<i>Verbascum sinuatum</i> L. 1.1	+	

Tableau D:: Test LSD de la comparaison des moyennes des longueurs des manchons de ponte par station.

Stations	moyennes	Groupes Homogènes
El-Mayenne	3,1633	A
Djebel Doui	3,1333	A
Djemaa ouled Cheikh	2,9	AB
Oued Djemaa	2,86	AB
Annab	2,78	BC
Kolea Nord	2,65	BCD
Sud Haut	2,6167	BCDE
Sud Bas	2,61	BCDE
Tipaza	2,5167	CDEF
Centre	2,4667	CDEF
Nord Bas	2,4567	CDEF
Attatba	2,42	DEF
Nord Haut	2,35	DEF
Sidi Rached	2,28	EF
Kolea Sud	2,2067	F

Tableau E : Test LSD de la comparaison des moyennes des effectifs d'œufs totaux par station.

Stations	Effectif	moyennes	Groupes Homogènes
Sud Bas	6989	232,97	A
Djemaa Ouled Cheikh	6818	227,27	AB
Djebel Doui	6447	214,9	ABC
El-Mayenne	6428	214,27	ABCD
Sud Haut	6143	204,77	BCDE
Nord Bas	6081	202,7	CDE
Nord Haut	6024	200,8	CDE
Centre	5843	194,77	CDEF
Oued Djemaa	5746	191,53	CDEF
Annab	5730	191	DEF
Sidi Rached	5603	186,77	EF
Kolea Sud	5239	174,63	FG
Attatba	5214	173,8	FG
Kolea Nord	4885	162,83	G
Tipaza	4718	157,57	G

Tableau F : Test LSD de comparaison des moyennes des œufs éclos par station.

Méthode: 95,0 % LSD

Stations	moyennes	Groupes Homogènes
Sud Haut	181,03	A
Djebel Doui	174,43	AB
Annab	168,93	ABC
Sidi Rached	166,5	ABC
Attatba	151,27	BCD
El-Mayenne	146,73	BCD
Sud Bas	145,27	CD
Nord Haut	140,5	CD
Centre	135,67	D
Kolea Sud	130,9	D
Nord Bas	129,9	D
Tipaza	129,7	D
Kolea Nord	126,17	D
Oued Djemaa	4,9	E
Djemaa Ouled Cheikh	0,1	E

Tableau G : Test LSD de la comparaison des moyennes des œufs non éclos par station.

Stations	Moyenne	Groupes homogènes
Djemaa Ouled Cheikh	220,93	A
Oued Djemaa	181,47	B
Sud Bas	71,43	C
El-Mayenne	37,9	D
Centre	32,8	DE
Nord Haut	30,9	DE
Nord Bas	21,6	DEF
Djebel Doui	16,87	EF
Sud Haut	15,83	EF
Annab	10,63	F
Sidi Rached	6,17	F
Kolea Sud	5,9	F
Attatba	5,5	F
Kolea Nord	4,02	F
Tipaza	2,6	F

Tableau H: Test LSD de comparaison des moyennes des œufs parasités par station.

Stations	Moyenne	Groupes homogènes
Nord Bas	51,2	A
Kolea Sud	37,833	B
Kolea Nord	32,6	BC
El-Mayenne	29,633	BC
Nord Haut	29,4	BC
Centre	26,3	CD
Tipaza	24,967	CDE
Djebel Doui	23,6	CDEF
Attatba	17,033	DEFG
Sud Bas	16,267	EFG
Sidi Rached	14,1	FGH
Annab	11,433	GH
Sud Haut	7,9	GH
Djemaa Ouled Cheikh	6,233	H
Oued Djemaa	5,167	H

Tableau I : Dates de récolte et d'émergence des deux espèces de parasitoïdes embryonnaires (Nombre de pontes=30)

Région	Site	Date de récolte	Parasitoïdes	Date d'émergence
Tipaza (Pin d'Alep) (2017)	Tipaza	20/09	<i>B. servadeii</i>	du 22/09 au 05/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 22/09 au 05/10
	Sidi-Rached	22/09	<i>B. servadeii</i>	du 24/09 au 06/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 24/09 au 06/10
	Attatba	16/09	<i>B. servadeii</i>	du 19/09 au 01/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 19/09 au 01/10
	Kolea Nord	31/08	<i>B. servadeii</i>	du 03/09 au 01/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 03/09 au 24/09
		12/09	<i>B. servadeii</i>	du 03/09 au 29/09
			<i>O. pityocampae</i>	du 13/09 au 29/09
Ain-Defla (Pin d'Alep)	El-Mayenne	15/09	<i>B. servadeii</i>	du 16/09 au 09/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 16/09 au 12/10
	Annab	15/09	<i>B. servadeii</i>	du 16/09 au 29/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 22/09 au 29/10
	Djebel Doui	30/08	<i>B. servadeii</i>	du 01/09 au 09/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 01/09 au 08/10
	Oued Djemaa	31/08	<i>B. servadeii</i>	du 07/09 au 04/10
			<i>O. pityocampae</i>	du 02/09 au 09/09
Djemaa Ouled Cheikh	02/09	<i>B. servadeii</i>	du 07/09 au 13/10	
		<i>O. pityocampae</i>	du 04/09 au 09/09	
Parc national de Theniet El-Had (2019)	Centre	08/08	<i>B. servadeii</i>	du 08/08 au 25/08
			<i>O. pityocampae</i>	du 09/08 au 25/08
	Nord Haut	31/07/	<i>B. servadeii</i>	du 01/08 au 27/08
			<i>O. pityocampae</i>	du 01/08 au 23/08
	Nord Bas	30/07	<i>B. servadeii</i>	du 31/07 au 29/08
			<i>O. pityocampae</i>	du 31/07 au 25/08
	Sud Haut	05/08	<i>B. servadeii</i>	du 06/08 au 21/08
			<i>O. pityocampae</i>	du 09/08 au 07/09
Sud Bas	02/08	<i>B. servadeii</i>	du 03/08 au 29/08	
		<i>O. pityocampae</i>	du 03/08 au 30/08	

