

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH-ALGER-

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة-الحراش-الجزائر-

Thèse

En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat

En Sciences Agronomiques

THEME

Caractéristiques des écophases et importance des parasitoïdes de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermuller, 1775) dans le Parc National de Chrea

Par : Sarra AYACHE épouse MADJBER

Jury :

| | | |
|--------------|----------------------------|------------------------------------|
| Présidente : | Mme. DOUMANDJI- MITICHE B. | Professeur (ENSA El-Harrach) |
| Promoteur : | M. CHAKALI G. | Professeur (ENSA El-Harrach) |
| Examineurs: | M. BENZEHRA A. | Professeur (ENSA El-Harrach) |
| | M. BOUHRAOUA T | Professeur (Université de Tlemcen) |
| | M.GHIT B. | Professeur (Université de Djelfa) |
| Invité : | M. MAHMOUDI A. | Directeur général des forêts |

2021

Remerciements

Je tiens à remercier **ALLAH** le Tout Puissant pour m'avoir donné le courage, la force, la détermination et la volonté pour réaliser ce travail.

J'exprime ma gratitude et mes remerciements à mon superviseur **Mr G. CHAKALI**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie pour avoir accepté de diriger les travaux de ma recherche. J'ai vraiment apprécié de travailler avec lui durant toutes ces années. Vos grandes qualités m'ont appris de la rigueur et de la précision dans mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour son soutien continu, tant au plan humain que professionnel. Merci pour vos encouragements, conseils et surtout pour votre disponibilité pour mener à terme ce travail.

Mes sincères remerciements vont à Madame **B. DOUMANDJI**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider mon jury. Mes remerciements à **Mr A. BENZEHRA**, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, **Mr B. GUIT**, professeur à l'Université de Djelfa et **Mr T. BOUHRAOUA**, Professeur à l'Université de Tlemcen qui ont accepté de participer à ce jury et d'examiner cette thèse.

Mes hommages et toute ma considération vont à **Mr S. DOUMANDJI** professeur au Département de Zoologie Agricole et Forestière pour ses encouragements.

Ce travail a trouvé un soutien particulier des services du Parc National de Chréa. Mes sincères remerciements à **Mr M. ZIAR**, Directeur du Parc, **Mme F. TAKARLI**, Superviseur des activités de gestion forestière pour leur collaboration technique. De même il m'est agréable de remercier **Mr M. MOKADEM**, Chef de la circonscription des forêts à Bougara, Blida pour son accueil et son aide fructueuse.

Je remercie très chaleureusement mon père **Mr A. AYACHE** pour ses précieux conseils, pour son aide au terrain et pour ses encouragements à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à ma mère, mes sœurs Meriem et Nassima et Mon frère Mohamed pour leur soutien, leurs encouragements constants et leurs motivations.

Une pensée particulière pour mon mari qui m'a accordée toute sa compréhension et qui m'a fait preuve de grande patience pour mener à bien mes travaux de recherches.

Mes remerciements vont enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à la réalisation de cette étude.

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| INTRODUCTION GÉNÉRALE | 01 |
| PREMIER CHAPITRE : Synthèse des données sur la processionnaire, <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff et son environnement | 05 |
| 1. La processionnaire du pin, <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff | 05 |
| 1.1 Place de la processionnaire du pin parmi les Thaumetopoeinae | 05 |
| 1.2 Biologie et écologie de la processionnaire, <i>Thaumetopoea pityocampa</i> | 05 |
| 1.2.1 Les écophases et leur évolution temporelle | 05 |
| 1.2.1.1 Phase épigée..... | 06 |
| 1.2.1.1.1 L'émergence imaginale | 06 |
| 1.2.1.1.2 Les pontes | 07 |
| 1.2.1.1.3 Les stades larvaires et leur évolution..... | 07 |
| 1.2.1.1.4 La phase ambulatoire | 08 |
| 1.2.1.1.5 Le nid d'hiver..... | 08 |
| 1.2.1.1.6 La procession de nymphose | 09 |
| 1.2.1.2 Phase hypogée..... | 11 |
| 1.2.1.2.1 Nymphose | 11 |
| 1.2.1.2.2 Diapause | 11 |
| 1.2.2 Chronologie des écophases de développement | 12 |
| 1.3 Facteurs influençant le développement de la processionnaire, <i>T. pityocampa</i> | 12 |
| 1.4 La chenille processionnaire et le réchauffement climatique | 13 |
| 1.5 Diversité des antagonistes naturels de <i>T. pityocampa</i> | 14 |
| 1.5.1 Exemple de parasitisme | 16 |
| 1.5.2 Le miellat produit par les pucerons et l'activité des parasitoïdes..... | 17 |
| 1.5.3 Les prédateurs..... | 18 |
| 1.6 La lutte biologique et la chenille processionnaire | 19 |
| 1.7 Stratégie de défense de la processionnaire du pin | 20 |
| 1.7.1 Les manifestations allergiques chez l'homme..... | 21 |
| 1.7.2 Les symptômes liés aux processionnaires chez l'animal..... | 22 |
| 1.8 Conséquences environnementales et les dégâts forestiers | 23 |
| 1.9 Les alternatives conduites contre les populations de la processionnaire | 24 |
| 1.9.1 En période automnale-hivernale..... | 24 |
| 1.9.1.1 Lutte sylvicole..... | 25 |

| | |
|---|----|
| 1.9.1.2 Récolte des pontes et échenillage..... | 25 |
| 1.9.1.3 Piégeage des chenilles | 26 |
| 1.9.1.4 Lutte chimique | 27 |
| 1.9.2 En période estivale..... | 27 |
| 2. Le cèdre de l'Atlas, hôte de la processionnaire du pin..... | 31 |
| 2.1 Grandes lignes de la classification et son aire de répartition..... | 32 |
| 2.1.1 Systématique | 32 |
| 2.1.2 Aire de répartition | 32 |
| 2.2 Caractéristiques botaniques..... | 33 |
| 2.3 Cycle de reproduction du cèdre..... | 36 |
| 2.4 Ecologie du cèdre | 37 |
| 2.4.1 Climat | 37 |
| 2.4.1.1 Température..... | 38 |
| 2.4.1.2 précipitation | 38 |
| 2.4.1.3 Altitude | 38 |
| 2.4.2 Substrat | 38 |
| 2.4.3 Groupement végétale du cèdre de l'Atlas | 39 |
| 2.5 Facteurs Anthropozoïques de la dégradation des cédraies | 39 |
| 2.5.1 Les facteurs abiotiques..... | 39 |
| 2.5.2 Les facteurs biotiques | 39 |
| 2.5.2.1 Les insectes | 39 |
| 2.5.2.2 Les Champignons | 40 |
| 2.5.2.3 Les animaux | 40 |
| 2.5.3 Action anthropique | 40 |
| 2.6 Importance économique du cèdre..... | 40 |

DEUXIEME CHAPITRE : MATERIELS ET METHODES

| | |
|---|-----------|
| 1. La cédraie du Parc National de Chréa, site d'étude..... | 42 |
| 1.1 Situation géographique et limites du parc..... | 42 |
| 1.2 Environnement physique..... | 43 |
| 1.3 Caractéristiques du lieu d'étude..... | 43 |
| 1.4 Données climatiques..... | 46 |
| 1.4.1 Température | 46 |
| 1.4.2 Précipitation..... | 46 |
| 1.4.3 Vent | 46 |
| 1.4.4 Neige | 46 |
| 1.4.5 Brouillard | 46 |
| 1.4.6 Bilan climatique | 48 |
| 2. Expérimentation | 50 |
| 2.1 Etude des émergences des adultes | 50 |
| 2.1.1 Protocole des pièges à phéromone | 50 |
| 2.1.2 Emergence dans les conditions ambiantes | 51 |
| 2.2 Ecologie des pontes et éclosions des œufs..... | 52 |
| 2.2.1 Récolte et préparation des pontes..... | 52 |
| 2.2.2 Mensuration des pontes et des rameaux porteurs..... | 53 |
| 2.2.3 Dénombrement des œufs | 53 |
| 2.3 Phénologie larvaire, nid d'hiver et procession de nymphe..... | 54 |
| 2.3.1 Phénologie des stades larvaire..... | 54 |
| 2.3.2 Mesures des stades larvaires et nymphal..... | 54 |
| 2.3.3 Caractéristiques écologiques et biométriques des nids d'hiver | 55 |
| 2.4 Les facteurs de mortalité..... | 57 |
| 2.4.1 Cas de la de mortalité des œufs | 57 |
| 2.4.2 Facteurs de mortalité des populations de <i>T. pityocampa</i> au stade larvaire et nymphal..... | 58 |
| 3. Analyses statistiques | 58 |

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

| | |
|--|----|
| 1. Emergences des adultes mâles de <i>T. pityocampa</i> | 61 |
| 1.1 Variation interannuelle des émergences | 61 |
| 1.2 Chronologie des émergences des adultes..... | 62 |
| 1.3 Analyse fréquentielle des captures de mâles adultes | 63 |
| 1.4 Longévité des adultes..... | 67 |
| 1.5 Rythmes des émergences des papillons mâles et femelles dans les conditions ambiantes | 68 |
| 1.6 Biométrie des adultes de <i>T. pityocampa</i> | 70 |
| 1.7 Sex-ratio..... | 71 |

| | | |
|-------|---|------------|
| 2. | Caractéristiques biométriques des pontes | 68 |
| 2.1 | Analyse descriptive des pontes..... | 69 |
| 2.2 | Analyse fréquentielle des diamètres du rameau support des pontes..... | 69 |
| 2.3 | Analyse fréquentielle de rangés d'œufs..... | 70 |
| 2.4 | Analyse fréquentielle du nombre des œufs | 71 |
| 2.5 | La relation entre la longueur des pontes, le diamètre de leurs rameaux supports et le nombre d'œufs | 72 |
| 2.6 | Chronologie des éclosions des pontes..... | 74 |
| 2.7 | Fécondité et facteurs de mortalité des œufs | 74 |
| 2.7.1 | Taux d'éclosion des chenilles impact des parasitoïdes | 74 |
| 2.7.2 | Fréquence spécifique des parasitoïdes..... | 76 |
| 2.7.3 | Emergence des parasitoïdes embryonnaires..... | 79 |
| 2.7.4 | Répartition des parasitoïdes sur la surface des pontes | 81 |
| 2.7.5 | Dynamique des émergences des parasitoïdes des œufs en relation avec les altitudes extrêmes..... | 82 |
| 3. | Biométrie des stades larvaires..... | 84 |
| 4. | Caractérisation et importance temporelle des nids d'hiver | 85 |
| 4.1 | Distribution interannuelle des nids d'hiv..... | 85 |
| 4.2 | Distribution altitudinale des nids d'hiver | 86 |
| 4.3 | Répartition des nids d'hiver en fonction de l'exposition | 89 |
| 4.4 | Distribution interannuelle des nids d'hiver par station en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 93 |
| 4.5 | Dénombrement des nids par modalité de mass-trapping..... | 97 |
| 4.6 | Relation entre la longueur de la couronne des arbres, le nombre des nids/ arb l'altitude..... | 98 |
| 4.7 | Dendrogramme des variables considérés..... | 100 |
| 5. | Evolution de départs en procession de nymphose..... | 101 |
| 5.1 | Biométrie et poids des nymphes..... | 102 |
| 6. | Facteurs de mortalité des populations de <i>T. pityocampa</i> au stade larvaire et nymphal..... | 104 |
| 6.1 | Diversité des parasitoïdes et les prédateurs récoltés dans les stations prospectées..... | 104 |
| 6.2 | Inventaire des espèces des parasitoïdes et des prédateurs au laboratoire..... | 105 |
| 6.3 | Prédateurs de <i>T. pityocampa</i> récoltés au terrain..... | 108 |
| | QUATRIEME CHAPITRE : DISCUSSION | 116 |
| | CONCLUSIONS GENERALES..... | 125 |
| | REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 128 |

Liste des tableaux

| | Page |
|--|------|
| Tab 1. Complexe des ennemis naturels de la processionnaire, <i>T. pityocampa</i> | 14 |
| Tab 2. Les avantages et les inconvénients de la lutte bactériologique..... | 28 |
| Tab 3. Les points positifs et négatifs de la lutte microbiologique virale..... | 29 |
| Tab 4. Les avantages et les inconvénients du piégeage de masse des papillons mâles..... | 30 |
| Tab 5. Principales caractéristiques botaniques des différents organes de <i>Cedrus atlantica</i> | 33 |
| Tab 6. Caractéristiques des sites prospectés..... | 43 |
| Tab 7. Analyse descriptive des captures de papillons mâles..... | 61 |
| Tab 8. Catégories des captures dans les sites prospectés..... | 66 |
| Tab 9. Longévité des adultes mâles et femelles de <i>T. pityocampa</i> | 64 |
| Tab 10. Mensuration des longueurs des adultes mâles de <i>T. pityocampa</i> dans les 4 stations | 67 |
| Tab 11. Sex-ratio au cours du temps de <i>T. pityocampa</i> | 68 |
| Tab 13. Analyse biométrique des pontes en relation avec les sites prospectés..... | 68 |
| Tab 14. Comparaison des effectifs des œufs dénombrés dans les sites prospectés..... | 72 |
| Tab 15. Chronologie des éclosions des œufs de <i>T. pityocampa</i> | 74 |
| Tab 16. Analyse descriptive des catégories des œufs..... | 75 |
| Tab 17. Importance et taux des parasitoïdes embryonnaires de <i>T. pityocampa</i> | 79 |
| Tab 18. Biométrie des stades larvaires de <i>T. pityocampa</i> | 84 |
| Tab 19. Biométrie des stades larvaires de <i>T. pityocampa</i> | 84 |
| Tab 20. Dénombrement des effectifs des nids d'hiver..... | 85 |
| Tab 21. Caractéristiques morphobiométriques des nids d'hiver de la PPM..... | 86 |
| Tab 22. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d'étude..... | 93 |
| Tab 23. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d'étude..... | 94 |
| Tab 24. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d'étude..... | 95 |
| Tab 25. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d'étude..... | 96 |
| Tab 26. Dénombrement des nids de la processionnaire du pin en 2017 et 2018 par modalité de mass-trapping..... | 97 |
| Tab 27. Mensuration des longueurs et largeurs ainsi des pesées des chrysalides mâles et femelles de <i>T. pityocampa</i> en provenance de la station de Beni Ali..... | 102 |
| Tab 28. Mensuration et poids des chrysalides de <i>T. pityocampa</i> en provenance de la station de Glacières..... | 103 |
| Tab 29. Mensuration et poids des chrysalides de <i>T. pityocampa</i> en provenance de la station de la forêt noire..... | 103 |
| Tab 30. Mensuration et poids des chrysalides de <i>T. pityocampa</i> en provenance de la station des 04 Bacs..... | 103 |
| Tab 31. Les espèces notées dans la station de Beni Ali..... | 105 |
| Tab 32. Diversité des espèces antagonistes dans la station des glacières..... | 105 |
| Tab 33. Diversité des espèces antagonistes la station de forêt noire..... | 107 |
| Tab 34. Diversité des espèces antagonistes dans la station de 4 Bacs..... | 108 |
| Tab35. Synthèses sur les données morphobiométriques des stades nymphal et adultes de la processionnaire dans son aire de répartition..... | 115 |

Liste des figures

| | page |
|--|------|
| Figure 1. Papillon femelle (A) et mâle (B) de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> | 06 |
| Figure 2. Ponte de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas. | 07 |
| Figure 3. Pré-nid de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas | 08 |
| Figure 4. Nid d'hiver de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas..... | 09 |
| Figure 5. Procession de nymphose de la colonie de <i>T. pityocampa</i> | 10 |
| Figure 6. Chenille processionnaire du pin optant pour un endroit d'enfouissement adéquat | 11 |
| Figure 7. Parasitoïdes embryonnaires de la chenille processionnaire du pin | 18 |
| Figure 8. Langue d'un chien nécrosée par les poils urticants de la processionnaire | 22 |
| Figure 9. Troubles cutanés après contact avec les chenilles processionnaires..... | 22 |
| Figure 10. Rétention intraoculaire de poil de chenille processionnaire | 22 |
| Figure 11. Dégâts localisés des chenilles de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas..... | 24 |
| Figure 12. Pratiques de lutte contre la processionnaire du pin..... | 24 |
| Figure 13. Matériels nécessaires à la lutte mécanique : échenilloir à gauche, échenillage | 26 |
| Figure 14. Eco piège suspendu à un arbre avec son sachet collecteur rempli de terre et chenilles en cours de descente dans l'éco piège..... | 26 |
| Figure 15. Traitement microbiologique par hélicoptère (en haut), ou par pulvérisateur (en bas). | 28 |
| Figure 16. La disposition particulière des chenilles est également observée lors d'un traitement biologique viral..... | 29 |
| Figure 17. Exemples de pièges à phéromones..... | 30 |
| Figure 18. Répartition du cèdre de l'Atlas..... | 32 |
| Figure 19. Le cèdre de l'Atlas (<i>Cedrus atlantica</i>). A : rameau avec inflorescence mâle ; B : cône..... | 33 |
| Figure 20. Cycle de reproduction du cèdre de l'atlas | 37 |
| Figure 21. Situation géographique du Parc National de Chréa..... | 42 |
| Figure 22. Vue générale de la Station prospectée à Beni Ali..... | 44 |
| Figure 23. Les glaciers | 44 |
| Figure 24. La forêt noire..... | 45 |
| Figure 25. Station les quatre Bancs..... | 45 |
| Figure 26. Variations des températures moyennes mensuelles corrigées pour la période 1995-2010 à Chréa..... | 46 |
| Figure 27. Précipitation moyenne mensuelle de 1995 à 2010 à Chrea..... | 47 |
| Figure 28. Diagramme ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude (Chréa)..... | 48 |
| Figure 29. Position de la station de Chréa dans le Climagramme d'Emberger..... | 49 |
| Figure 30. Piège à phéromone en place | 50 |
| Figure 31. Mensuration de la longueur des papillons | 51 |
| Figure 32. Protocole d'étude de la diapause nymphale | 52 |
| Figure 33. Protocole d'étude des pontes | 52 |
| Figure 34. Mensuration de la longueur de ponte et le diamètre de rameau de cèdre de l'Atlas... .. | 53 |
| Figure 35. Trous d'émergence des chenilles et des parasitoïdes..... | 54 |
| Figure 36. Mensuration de la longueur et de la largeur des chrysalides..... | 55 |
| Figure 37. L'ouverture des nids d'hiver..... | 56 |
| Figure 38. Division de la ponte en trois parties..... | 57 |
| Figure 39. Comparaison des moyennes des émergences interannuelles de la population des adultes mâles dans les stations prospectées..... | 61 |
| Figure 40. Courbes cumulatives des émergences des adultes mâles au cours du temps | 62 |
| Figure 41. Courbes cumulatives des émergences des adultes de la processionnaire du pin dans les conditions ambiantes de laboratoire et dans son aire naturelle au cours de l'année 2017 | 65 |
| Figure 42. Courbes cumulatives des émergences des adultes de la processionnaire du pin dans les conditions ambiantes de laboratoire et dans son aire naturelle au cours de l'année 2018 | 66 |

| | |
|---|------------|
| Figure 43. Comparaison des moyennes des longueurs des populations des adultes des 4 populations..... | 67 |
| Figure 44. Distribution des pontes de <i>T. pityocampa</i> par classe de diamètre des rameaux..... | 69 |
| Figure 45. Distribution des pontes de <i>T. pityocampa</i> par classe de rangées d'œufs..... | 70 |
| Figure 46. Distribution du nombre des rangés en fonction des diamètres du rameaux support..... | 71 |
| Figure 47. Analyse fréquentielle des effectifs des œufs..... | 71 |
| Figure 48. Relation entre les longueurs des pontes et les effectifs des œuf..... | 73 |
| Figure 49. Relation entre le nombre d'œufs et le diamètre des rameaux supports des pontes..... | 73 |
| Figure 50. Taux de présence des espèces de parasitoïdes identifiés dans les divers sites prospectés..... | 78 |
| Figure 51. Distribution des parasitoïdes sur les pontes..... | 81 |
| Figure 52. Courbe des émergences des adultes de l' <i>Ooencyrtus pityocampa</i> | 82 |
| Figure 53. Courbe des émergences des adultes de <i>Baryscapus servadeii</i> au cours du temps..... | 82 |
| Figure 54. Courbe des émergences des adultes de <i>Trichogramma embryophagum</i> émergés au cours du temps..... | 83 |
| Figure 55. Comparaison interannuelle des moyennes entre les effectifs des nids d'hiver..... | 86 |
| Figure 56. Distribution altitudinale des nids d'hiver..... | 87 |
| Figure 57. Comparaison des moyennes des longueurs des nids de quatre stations et pour les 2 cycles d'étude..... | 88 |
| Figure 58. Analyse comparative entre les largeurs des nids de quatre stations..... | 88 |
| Figure 59. Anova relative aux nombres des chenilles dans les quatre stations d'étude durant les deux cycles..... | 89 |
| Figure 60. Distribution des nids en fonction de leur position et exposition sur l'arbre..... | 89 |
| Figure 61. Comparaison des moyennes du nombre des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 90 |
| Figure 62. Distribution des nids en fonction de leur position et exposition sur l'arbre..... | 90 |
| Figure 63. Comparaison des moyennes du nombre des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 91 |
| Figure 64. Distribution des nids en fonction de leur position et exposition sur l'arbre..... | 91 |
| Figure 65. Comparaison des moyennes du nombre des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 92 |
| Figure 66. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 93 |
| Figure 67. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 94 |
| Figure 68. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 95 |
| Figure 69. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre..... | 96 |
| Figure 70. Dénombrements des nids de chenilles processionnaire du pin en 2017 et 2018 par modalité de mass-trapping. Comparaison avec le témoin..... | 97 |
| Figure 71. Distribution du nombre des nids/arbre en fonction des longueurs de la couronne sur le cèdre de l'Atlas..... | 99 |
| Figure 72. Classification hiérarchique des variables considérées..... | 100 |
| Figure 73. Fréquence de procession de nymphose des populations de <i>T. pityocampa</i> 2017..... | 101 |
| Figure 74. Fréquence de procession de nymphose des populations de <i>T. pityocampa</i> 2018..... | 102 |
| Figure 75. Les parasitoïdes embryonnaires de <i>T. pityocampa</i> | 109 |
| Figure 76. Prédateurs oophages de <i>T. pityocampa</i> | 110 |
| Figure 77. Parasitoïdes des stades larvaires et du stade nymphal de <i>T. pityocampa</i> | 111 |
| Figure 78. Prédateurs des stades larvaires et du stade nymphal de <i>T. pityocampa</i> | 112 |
| Figure 79. Impact des agents pathogènes sur les larves et les nymphes de la processionnaire..... | 113 |

INTRODUCTION

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica* Manetti) est une espèce endémique du Maroc et de l'Algérie où elle occupe environ une superficie de l'ordre de 30.000 ha (DGF, 2007). Les forêts de cèdre représentent une grande richesse biologique avec un intérêt exceptionnel qui s'oriente vers la protection et l'extension. Cette essence forestière est la plus précieuse des essences résineuses en Afrique du Nord, tant du point de vue économique qu'écologique, esthétique et culturel.

La nécessité de protéger le cèdre est toujours placée en amont des programmes forestiers. C'est ainsi que la majorité des cédraies se localisent dans des parcs nationaux. Dans son aire de répartition, le cèdre de l'Atlas connaît une situation sanitaire inquiétante et ce, depuis l'apparition des premiers symptômes de dépérissement, vers le début des années 1980 particulièrement dans la région des Aurès (Bentouati, 2008). Ce déclin s'est étendu par la suite progressivement pour toucher des superficies conséquentes au début des années 2000. À cet effet, une série d'hypothèses a été émise par nombreux chercheurs pour expliquer les principales causes probables de mortalité de cet arbre. Actuellement le changement climatique est retenu comme étant l'un des facteurs responsable qui fragilise les systèmes naturels méditerranéens. Les premiers signes de l'impact de ce changement sont déjà ressentis au niveau des fonctions des écosystèmes sylvatiques.

Les éléments déclencheurs de natures biotiques qu'abiotiques semblent faire, actuellement, l'unanimité comme origine du déclenchement du phénomène de dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie (Rahmani, 2010). Parmi les facteurs biotiques, divers bioagresseurs influent sur la dynamique de l'écosystème forestier, notamment les peuplements naturels de cèdre. Plusieurs études rapportent que les dépérissements des cédraies sont la résultante des attaques répétées et non pris en considération de ces défoliateurs. Depuis longtemps, divers auteurs affirment que ces derniers ont un impact considérable vis-à-vis de la croissance et la production des essences forestières (Grison, 1972; Du Merle, 1988; Becker *et al.*, 1990). Parmi les défoliateurs du cèdre de l'Atlas, la processionnaire d'hiver, *Thaumetopoea pityocampa*, principal bioagresseur de nature primaire des pinèdes de la région méditerranéenne (Demolin 1969 b) s'attaquent en phase de gradation aux arbres les plus vigoureux, facilitant ainsi l'installation à divers ravageurs xylophages

qui profitent de leur état physiologique pour se développer (Huchon et Demolin, 1970). Actuellement, les forêts de pin et de cèdre sont sujettes à des attaques périodiques de la processionnaire d'hiver causant des pertes considérables (Sebti, 2015). Battisti *et al.* (2005), Kimoto *et al.* (2006) et Rosselet (2010) notent qu'avec les changements climatiques, les infestations de la chenille processionnaire, *T.pityocampa* prennent une plus large dimension dans son aire de répartition, où le ravageur provoque des dommages environnementaux dans les pinèdes et les cédraies. Kerdelhué *et al.*, (2009) notent que *T. pityocampa* possède une structure génétique supplémentaire et inattendue, où deux clades mitochondriaux très distincts ont été identifiés. Le clade pityocampa a été noté en Europe, au Maroc et au sud-ouest de l'Algérie. La population de clade ENA s'avère être limitée à l'est de l'Afrique du Nord englobant une partie de l'Algérie, de la Tunisie et de la Libye.

T. pityocampa du clade ENA est largement distribué sur diverses essences des genres *Pinus* et *Cedrus* à travers les étages bioclimatiques, humide, subhumide et semi-aride (Hezil, 2019). Son extension a été conditionnée par les projets de plantations de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) le long de l'Atlas Saharien (Zamoum, 1998). Ces dernières années, les populations de cet insecte sont en croissance continue et leur impact de défoliation est devenu inquiétant même à travers les cédraies d'altitude, cas de la réserve de biosphère de Chréa, où les infestations ont atteint ces dernières années une phase de culmination (Sebti, 2015). Malgré les diverses investigations conduites sur la biologie et l'écologie de ce défoliateur, sa répartition spatiale et temporelle et son évolution au cours du temps restent à élucider davantage dans son aire de répartition.

Diverses essences des genres *Pinus* et *Cedrus* sont des plantes hôtes par excellence de *T.pityocampa*. Cependant, une variabilité dans l'impact des populations de ce ravageur entre ces deux groupes de plantes hôtes et également entre les peuplements d'une même essence est notée. De nombreuses hypothèses sont formulées sur les caractéristiques des sites choisis par les femelles pondeuses. La femelle se dirige invariablement vers l'arbre qui se découpe en silhouette et qui est visible sous le plus grand angle (Demolin, 1969). De plus la quantité et la qualité des ressources nutritionnelles contenues dans les aiguilles affectent la sélection de l'hôte et au même temps assurent le bon développement larvaire et la forte fertilité des adultes (Devkota et Schmidt, 1990; Thompson et Pellmyr, 1991; Tibéri *et al.*, 1999). A ce sujet, Bernay et Chapman (1994), notent que les adultes femelles sélectionnent les sites les plus favorables pour assurer une meilleure disponibilité de nourriture à leurs

descendants. Renwick et Chew (1994), notent que les caractéristiques physiques et chimiques de la plante hôte peuvent influencer la sélection des sites de ponte. Ce choix est l'un des facteurs les plus importants qui influe sur la dynamique des populations de *T. pityocampa*, et peut affecter indirectement l'activité des antagonistes embryonnaires de la chenille processionnaire qui jouent un rôle déterminant dans la régulation de la population. En phase de gradation, les parasitoïdes embryonnaires peuvent agir sur 50% de la population (Battisti et al., 2015).

Les programmes de lutte basés sur les différents moyens de contrôle ont permis de circonscrire les infestations dans certaines régions notamment celles renfermant les pineraies, sauf que la localisation des forêts de cèdre dans des sites protégés a limité les possibilités d'interventions et la cédraie de l'Atlas blideen en est un exemple.

Le service forestier de Parc National du Chréa est confronté à de nombreuses obstacles qui réduisent les méthodes de traitement. L'utilisation de la lutte microbiologique à base de *Bacillus thuringiensis*, est déconseillée dans la région de Chréa en raison de la concentration de population et donc d'éviter le risque environnemental. Quant aux méthodes mécaniques, elles restent insuffisantes quand les défoliations atteignant la totalité d'un peuplement en phase de gradation, surtout dans les zones à reliefs accidentés inaccessibles pour effectuer des opérations directes d'intervention.

L'importance économique considérable des défoliations provoquées par *T. pityocampa* dans la cédraie de Parc National du Chréa au cours des gradations périodiques et l'insuffisance pratique des différentes techniques de lutte pour rendre les populations de ravageur à un niveau inférieur au seuil de nuisibilité, nous ont incités à opter pour le choix du sujet.

L'objectif principal de cette étude est de tirer des informations sur les nouvelles interactions résultantes d'une modification de l'aire de répartition de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*. Cette espèce a montré dans les dernières décennies une progression rapide en latitude et en altitude directement liée au changement climatique. Dans un premier volet nous avons procédé d'une manière approfondie à la chronologie de développement et l'écologie de la processionnaire du pin qui sévit dans le biotope naturel du cèdre de l'Atlas de Chréa. Dans un second volet, nous avons suivi la dynamique de l'espèce au cours de sa gradation 2016-2019 dans la cédraie de l'Atlas Blidéen. Sur la base des données recueillies nous procédons à rechercher des possibilités d'intervention qui permettent de réguler l'intensité et le

taux des pullulations de cet insecte et d'assurer une protection intégrale du site protégé sans risque environnemental. Les informations fournies permettent de statuer sur les mécanismes de gestion de ce ravageur et de prédire les risques à l'échelle de l'écosystème forestier à travers une stratégie globale qui assure une protection durable des cédraies.

Le travail proposé s'articule en quatre chapitres, le premier porte sur la synthèse de données sur la processionnaire du pin *T. pityocampae*, et sur sa plante hôte. Le second chapitre regroupe la présentation des sites d'étude et des méthodes adoptées. Les résultats feront l'objet du troisième chapitre. Enfin, le dernier chapitre est consacré aux discussions et aux conclusions avec les perspectives possibles à entreprendre..

PREMIER CHAPITRE

Synthèse des données sur la processionnaire,

***Thaumetopoea pityocampa* Schiff et son environnement**

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

1.1 Place de la processionnaire du pin parmi les *Thaumetopoeinae*

Le groupe des *Thaumetopoeinae* appartient à la super famille de *Notodontidae* et à l'ordre des *Lepidoptera*. L'espèce se regroupe dans l'unique genre de *Thaumetopoea* (Fraval, 2007) qui représente une diversité de neuf espèces, dont trois sont inféodées aux cèdres ; *T. bonjeani* Powell, *T. libanotica* Kiriakoff et *T. pityocampa* Schiff. Toutefois, les espèces se caractérisent par des différences morphologiques (telles que l'intensité de la couleur des ailes) et biologiques (notamment en ce qui concerne les plantes hôtes et la date d'éclosion, qui peut avoir lieu au printemps pour *Thaumetopoea bonjeani*, ou vers la fin d'été pour *Thaumetopoea pityocampa* (Rivière, 2011). Cette dernière a un développement larvaire hivernal qui s'étale de la fin de l'été jusqu'au printemps de l'année suivante. Elle est connue et remarquable par son nid d'hiver, qui est tissé par les chenilles du troisième stade pour résister à la saison froide (Demolin *et al*, 1994).

1.2 Biologie et écologie de la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa*

1.2.1 Les écophases et leur évolution temporelle

La processionnaire d'hiver est un papillon nocturne à cycle monovoltin qui peut s'étendre sur plusieurs années en relation avec les conditions environnementales. Ce comportement est géré particulièrement par la température et l'ensoleillement. De même, l'altitude et la latitude, peuvent en effet fortement influencer le déclenchement des différents stades au cours du temps (Rivière, 2011).

Les chenilles de la processionnaire sont des chenilles à instinct grégaire qui forment des colonies et des processions organisées au cours de leur déplacement.

Le cycle de développement se déroule en deux phases distinctives, aérienne et souterraine :

1.2.1.1 Phase épigée

La phase aérienne dure cinq à huit mois, et comprend plusieurs étapes, de l'émergence des papillons jusqu'à l'enfouissement des chenilles dans le sol.

1.2.1.1.1 L'émergence imaginale

L'adulte est un papillon nocturne, qui émerge du sol de la fin juin jusqu'à la fin août. A l'émergence, il se libère de son cocon grâce à des crêtes sclérifiées localisées sur sa tête, qui lui permettent de sectionner l'enveloppe qui les entoure. La période d'émergence des papillons dépend essentiellement de l'altitude, de latitude et des conditions environnementales du milieu (Demolin, 1969 b).

Les papillons ont une longévité très éphémère, qui ne dépassent pas les trois jours. Ils sont de couleur gris clair et se caractérisent par trois lignes transversales noires sur les ailes antérieures, dont les lignes alaires sont plus marquées chez le mâle. Les adultes mesurent de 30 à 35 mm d'envergure et présentent un dimorphisme sexuel accentué, la femelle a une plus grande de taille que le mâle. Les antennes sont filiformes chez la femelle et pectinées chez le mâle. Le thorax est poilu chez les deux sexes (Fig. 1).

Les mâles sortent du sol une demi-heure environ avant les femelles pour une maturation de leurs gonades. Après une période d'inactivité de deux à quatre heures, la femelle se place dans une position d'appel en émettant une phéromone spécifique appelée la « pityolure » ((Z)-13-hexadecen-11-ynyl) (Guerrero et *al.*, 1981). L'accouplement dure environ une heure, et le mâle meurt un à deux jours après et la femelle fécondée recherche un support idéal de ponte (Demolin, 1969).

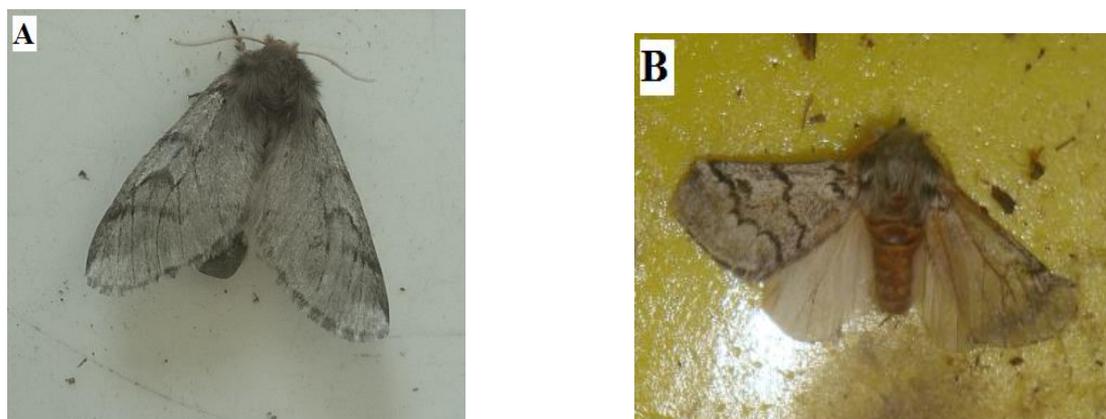


Figure 1. Papillon femelle (A) et mâle (B) de *Thaumetopoea pityocampa*

1.2.1.1.2 Les pontes

Sur le cèdre de l'Atlas, La femelle dépose ses œufs à la partie inférieure des jeunes rameaux de petites dimensions et les recouvre par des écailles protectrices présentes dans une poche à l'extrémité de son abdomen. Ces écailles sont disposées régulièrement à la surface des œufs, comme les tuiles d'un toit, ce qui conduit à la formation d'un manchon cylindrique de quatre à cinq centimètres de long, dont la couleur présente une homochromie avec son hôte, difficile à détecter (Fig. 2).



Figure 2. Ponte de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas

1.2.1.1.3 Les stades larvaires et leur évolution

L'éclosion des œufs a lieu 30 à 45 jours après la ponte, ce qui correspond à la durée de l'embryogenèse. Les chenilles passent par cinq stades larvaires. On distingue généralement dans la vie des chenilles trois périodes qui sont définies par le climat : la période ambulatoire, allant de l'éclosion aux premiers froids (à partir de mi-novembre dans le cas de la cédraie de Chrea), la période du nid d'hiver, correspond à celle durant laquelle la colonie tisse et confectionne un nid au même emplacement. A la période des processions de nymphose durant laquelle les chenilles du cinquième stage quittent le nid en procession vers un sol favorable à leur enfouissement (Demolin, 1971).

1.2.1.1.4 La phase ambulatoire

Après le développement embryonnaire, les jeunes chenilles se déplacent en groupe pour s'alimenter des aiguilles tendres de cèdre. La colonie change de place en fonction de ses besoins alimentaires (Huchon et Demolin, 1970), en laissant à chaque emplacement un léger tissage en soie en forme d'un (pré- nid) (Fig.3).

Au troisième stade larvaire, les miroirs urticants apparaissent par paire sur la face dorsale de la chenille. Ces poils sont libérés lors des déplacements particulièrement quand les chenilles se sentent en danger (Rivière, 2011).



Figure 3. Pré-nid de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas

1.2.1.1.5 Le nid d'hiver

Dès l'arrivée des premiers froids, les chenilles tissent des bourses de soies volumineuses très caractéristiques de l'espèce à l'extrémité des branches les plus ensoleillées des arbres, souvent à la cime des arbres (Bonnet et Martin, 2009) (Fig. 4).



Figure 4. Nid d'hiver de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas

Ce nid est plus ou moins piriforme, de 10 à 15 cm de diamètre peut atteindre 30 cm (Demolin, 1967). Il est constitué de deux enveloppes de soies superposées, contenant la totalité de la colonie composée de 200 ou 300 individus.

La bourse soyeuse construite joue le rôle d'un radiateur solaire en captant les chaleurs des rayons émis par le soleil pour augmenter la température à l'intérieur du nid (Martin, 2005). Ce qui permet aux chenilles de résister aux basses températures hivernales. Le nid d'hiver est aussi un abri protégeant la colonie contre l'action des différents bioagresseurs (Hoch *et al.*, 2009).

1.2.1.1.6 La procession de nymphose

Le départ en procession a lieu à partir du mois de février et s'échelonne jusqu'au mois de mai. La rigueur de l'hiver et les dates d'émergence des adultes déterminent le départ en procession. Elle commence quand la température au sol égale au moins 10°C. Si la température est inférieure ; les chenilles se regroupent au sol. Si la température dépasse le 22°C les chenilles s'enfouissent provisoirement et ressortent quand les conditions sont plus favorables, pour s'enterrer un peu plus loin à une profondeur de 5 à 20 centimètres. Dans certain cas l'enfouissement n'est pas fixe et les chenilles peuvent changer l'endroit de nymphose si les conditions ne s'y prêtent pas favorablement (Grojean *et al.*, 2006).

Ce mode de déplacement particulier est un phénomène organisé et structuré et ce qui a donné son nom aux chenilles processionnaires (Fig. 5).



Figure 5. Procession de nymphose de la colonie de *T. pityocampa*

La procession est toujours gérée par une chenille femelle. En effet, les larves femelles ont un caractère spécial est la sensibilité photo tactique positive, ce qui permet à la colonie de se déplacer vers une zone éclairée pour son enfouissement.

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

Si une chenille perd le contact lors de la procession, la chenille précédente s'arrête et effectue des mouvements oscillants en reculant. Toutes les chenilles s'arrêtent alors de proche en proche, jusqu'à ce que la « retardataire » regagne la file (Rivière, 2011).

La procession se termine par l'enfouissement des chenilles dans un lieu favorable choisi (Fig.6).



Figure 6. Chenille processionnaire du pin optant pour un endroit d'enfouissement adéquat

1.2.1.2 Phase hypogée

1.2.1.2.1 Nymphose

Une quinzaine de jours après l'enfouissement, les chenilles tissent des cocons individuels, dans lesquels elles se transforment en chrysalides et rentrent en diapause obligatoire variable selon le milieu et les conditions environnementales (Démolin, 1971).

1.2.1.2.2 Diapause

La diapause nymphale de la processionnaire du pin est un phénomène très complexe et varie en fonction de plusieurs facteurs environnementaux, on distingue :

a) Le cycle annuel :

Le cycle de développement de la chenille processionnaire du pin est habituellement annuel : ainsi, la durée de la diapause s'adapte à celle du développement larvaire, pour que le cycle s'achève sur l'année, de ce fait il existe une équation proposée par Demolin (1969) qui note que la durée de la morphogenèse + durée d'incubation avec la durée de l'évolution larvaire et la période d'arrêt de développement se déroulent au cours d'une année. Par exemple, en altitude, où les hivers sont particulièrement rigoureux, la durée d'évolution larvaire est plus longue : la diapause sera alors plus limitée pour synchroniser le cycle annuel.

b) La diapause prolongée

Dans le cas où les conditions environnementales sont particulièrement défavorables, la période de diapause peut se prolonger sur plusieurs années (parfois jusqu'à cinq ans). Durant cette phase, les mortalités peuvent s'élever à plus de 60% de la colonie (Grojean *et al.*, 2006).

1.2.2 Chronologie des écophases de développement

La processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* est un papillon nocturne, dont le cycle est géré par les conditions climatiques. A ce propos, l'altitude et latitude peuvent en effet fortement influencer le déclenchement des différents stades (Rivière, 2011).

Les populations de la processionnaire, *T. pityocampa* se caractérisent par des variations temporelles importantes, appelées des gradations qui sont conditionnées par plusieurs facteurs environnementaux, notamment les variations climatiques, la présence des auxiliaires, la quantité et la qualité des ressources alimentaires (Démolin, 1970). Le cycle d'une infestation se déroule en 4 phases : phase de progradation suivi par une phase de culmination qui durent 1 à 3 ans et se caractérise par l'augmentation des niveaux de la population, dans ce cas-là, les dégâts sont intenses et étendus sur le plan géographique. Par la suite, les niveaux de la population diminuent pour atteindre le seuil de latence passant par la phase de retrogradation qui s'échelonne sur une durée variable allant de 5 à 8 ans, pendant lesquelles les dommages sont relativement limités. Battisti (1988) dans le peuplement de pin noir en Italie note qu'après une forte défoliation causée par la processionnaire du pin, on assiste l'année suivante à une diminution brutale de la population de chenille.

1.3 Facteurs influençant le développement de la processionnaire

L'ensoleillement et la température sont des facteurs qui peuvent influencer le cycle de développement de *T. pityocampa*. C'est pourquoi certaines zones géographiques sont plus favorables que d'autres au développement des chenilles processionnaires du pin. A ce propos, Demolin (1987), note que les différentes phases de gradations sont corrélées aux variations climatiques. Bouhout-Deluc (2005) confirme que la chenille processionnaire du pin n'est présente que dans les régions où la durée moyenne d'insolation annuelle est supérieure à 1800 heures et que la zone méditerranéenne est la plus favorable à son extension parce qu'elle est suffisamment ensoleillée pour compenser les froids hivernaux (1900 à 2800 heures de soleil par an, et 2.3 à 3.0 KWh/ /J d'irradiation solaire quotidienne au mois d'octobre). D'autre part Marçais et

al., (1999) montrent que la température est un des facteurs déterminants de la dynamique de la population des insectes et elle joue un rôle essentiel dans plusieurs phases de leur cycle biologique. Il existe cependant des seuils critiques de température à ne pas dépasser. Une température supérieure à 32°C peut causer la mortalité de nombreux individus ou faciliter l'installation de maladies épidémiques sur les pontes ou les larves. Dans les régions où la température estivale est supérieure à 25° C, les adultes de *T. pityocampa* émergent tardivement afin d'assurer à leur descendance un optimum thermique vital.

Le seuil critique inférieur, température basse à laquelle les chenilles meurent, est de -7°C pour un individu isolé, mais il est diminué à -16°C lorsque les chenilles sont regroupées (Hoch *et al*, 2009).

L'alimentation des chenilles dépend également de la température. Deux conditions sont en effet nécessaires : une température supérieure à 9°C dans le nid durant le jour et une température supérieure à 0°C durant la nuit (Battisti *et al*, 2005). Si l'une de ces conditions n'est pas respectée, le taux de survie des chenilles diminue, car elles ne peuvent pas quitter le nid pour s'alimenter (Buffo *et al*, 2007).

A ce sujet, Demolin (1969) a élaboré un abaque synthétique représentant la date de déclenchement et la durée des différentes phases du cycle en fonction de la latitude ou de l'altitude. Plus en élévation, ou plus la latitude est nordique, plus la température moyenne diminue. La durée du développement larvaire augmente alors, au préjudice de la diapause nymphale.

De récentes études ont révélé que la fécondité de la chenille processionnaire du pin augmente avec la latitude (Pimentel *et al*, 2010).

1.4 La chenille processionnaire et le réchauffement climatique

Les effets du changement climatique sur les populations d'insectes se produisent soit directement par l'influence de la météo sur la physiologie ou le comportement des insectes, soit indirectement par des effets physiologiques sur leurs hôtes ou leurs auxiliaires. La dynamique des populations de nombreux ravageurs forestiers, notamment *T. pityocampa* dépend fortement de la température. Le réchauffement dû au changement climatique va accroître l'intensité et la fréquence des infestations.

Principalement étudiée depuis quelques années, *T. pityocampa* fait partie des indicateurs biologique du changement climatique. En effet, la répartition de l'espèce est fortement impactée par le réchauffement global. Les climatologues soulignent

qu'une hausse des températures de deux degrés se traduit par une migration de 600 kilomètres vers le Nord et de 330 mètres en altitude chez les lépidoptères (Imbert, 2012).

Dans le bassin méditerranéen et depuis quelques décennies, une forte expansion de l'aire de répartition de *T. pityocampa* vers le nord, ainsi qu'en altitude a été observée. Sa remontée vers le nord est très contrôlée et s'avère très rapide, atteignant une cinquantaine de kilomètres par décennie (Battisti et al., 2006).

Le réchauffement hivernal affectant les zones montagneuses dans les versants nordiques a largement réduit les taux de mortalité, permettant ainsi aux populations de *T. pityocampa* de coloniser des zones préalablement défavorables et d'étendre leur distribution en altitude et en latitude. Robinet et al., (2007), souligne que le sud du bassin parisien n'a été jamais une zone favorable à l'installation de la processionnaire, cependant, dès le début des années 2000, l'ensemble du Bassin Parisien est devenu un milieu favorable à l'invasion de *T. pityocampa* et la seule limite à sa progression étant la faible capacité de vol des femelles. Une expansion continue vers le nord de plus de 120 km, à la vitesse de 2,6 km/an en moyenne, avec une vitesse de 5,5 km/an depuis les années 2000. Cette vitesse de progression dépend des capacités de *T. pityocampa* à coloniser les zones à climats plus favorables et son adaptation aux modifications créées par l'homme. En plus les changements de l'aire de répartition, peuvent entraîner un changement d'hôtes et des décalages du cycle, comme au Portugal où des chenilles se développent en été (Kerdelhue et al., 2009).

1.5 Diversité des antagonistes naturels de *T. pityocampa*

Les ennemis de la chenille processionnaire, nombreux et diversifiés sont présents à tous les stades du cycle de développement : il s'agit de prédateurs, de parasitoïdes, ou encore de virus, de bactérie et de champignons. La liste des principaux prédateurs et parasitoïdes est décrite par plusieurs auteurs notamment Bilotti (1958), Demolin (1968), Du merle (1969), Bellin et al., (1990), et Bonnet et Martin (2008) (Tableau 1).

Tableau 1. Complexe des ennemis naturels de la processionnaire, *T. pityocampa*

| Ecophases | ennemis naturels |
|------------|---|
| Œufs | <i>Ephippiger</i> <i>Ephippiger</i> (Orth., Tettigoniidae), |
| Prédateurs | <i>Oecanthus</i> <i>pellucens</i> (Orth., Grillidae), <i>Paraechinus</i> sp (Hérisson) |

PREMIER CHAPITRE : Synthèse des données sur la processionnaire

| | | |
|--------------|-------------|--|
| | Chenilles | <i>Xanthandrus comtus</i> (Dipt., Syrphidae), <i>Scolopendra cingulata</i> , <i>Clamator glandarius</i> (oiseau), <i>Parus major</i> (Oiseau), <i>Coccinella septempunctata</i> (Cleo, Coccinellidae), <i>Calosoma sycophanta</i> (Coleo, Carabidae), <i>Linepithema humile</i> (Hym, Fourmis) |
| | Chrysalides | <i>Upupa epops</i> (Huppe), <i>Sus scrofa</i> (Sanglier) |
| | Papillons | <i>Vespa germanica</i> (Hym, vespidae), <i>Crematogaster Scutellaris</i> (Hym, Mirmicinae), <i>Leptothorax recedens</i> (Hym.), Chauves-souris |
| | Œufs | <i>Ooencyrtus pityocampae</i> (Hym., Encyrtidae), <i>Baryscapus servadeii</i> (Hym., Eulophidae), <i>Trichogramma embryophagum</i> (Hym., Trichogrammatidae), <i>Eupelmus vesicularis</i> (Hym., Eupelmidae), <i>Anastatus bifasciatus</i> (Hym., Eupelmidae) |
| Parasitoïdes | Chenilles | <i>Phryxe caudata</i> (Dipt., Tachinidae), <i>Erigorgus femorator</i> (Hym., Ichneumonidae), <i>Compsilura concinnata</i> (Dipt, Tachinidae), <i>Ctenophorocera pavidata</i> (Dip, Tachinidae), <i>Exorista segregata</i> (Dipt, Tachinidae), <i>Apanteles vestalis</i> (Hym, Braconidae) |
| | Chrysalides | <i>Coelichneumon rudis</i> (Hym, Ichneumonidae), <i>Conomorium erimita</i> (Hym, Pteromalidae), <i>Conomorium pityocampa</i> (Hym, Pteromalidae), <i>Villa brunnea</i> (Dipt, Bombyliidae), <i>Cordiceps militaris</i> (Nématode) |
| | Chenilles | <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Paecilomyces fumosoroseus</i> |
| Champignons | Chrysalides | <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Paecilomyces fumosoroseus</i> , <i>Verticillium</i> sp. |
| Bactéries | Chenilles | <i>Bacillus thuringiensis</i> |
| Virus | Chenilles | <i>Smithiavirus pityocampa</i> , <i>Borrelina pityocampa</i> |

1.5.1 Exemple de parasitisme

Les parasitoïdes sont des biocides autonomes utilisés particulièrement en lutte biologique contre les insectes bioagresseurs en général (Cloutier *et al.*, sd).

Les espèces, *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampae* et *Trichogramma embryophagum* (Fig. 7) sont les plus actives sur les œufs des pontes de la processionnaire du pin. Les deux premiers sont même présents sur les pontes de la processionnaire du cèdre *T. bonjeani* (Demolin 1987). En Algérie, une espèce du genre *Trichogramma* est signalée par Bertella (1987) dans la pinède de Bouilef. Les espèces *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae*, ont été déjà signalées par divers auteurs notamment par Bertella (1987) dans le pin d'Alep de Batna et par Zamoum (1998) et Hezil (2018) dans les pinèdes des zones semi-arides et par Sebti (2011 et 2014) en cédraie de Chréa. Ces deux parasitoïdes actifs connaissent une large distribution dans le pourtour du bassin méditerranéen. Il est à souligner que le *Baryscapus servadeii* est l'hôte spécifique de la processionnaire, *T.pityocampa* (Gachi *et al.*, 1986), et que *Ooencyrtus pityocampae* peut parasiter une large gamme d'insectes hôtes appartenant à l'ordre des Lépidoptères.

Trichogramma embryophagum se reproduit par la parthénogénèse thélytoque et présente deux générations par an. Zamoum (1998) note que la première génération termine son développement avant les éclosions des chenilles alors que les larves de la seconde génération entrent en diapause et hivernent à ce stade jusqu'à la fin de printemps. Les larves de la première génération ont un parasitisme grégaire fréquent, par contre chez les larves des générations suivantes, le parasitisme solitaire est la règle générale mais non absolue (Morel, 2008). Avant de pondre, la femelle inspecte la surface de l'hôte en se déplaçant sur l'œuf de long en large et en le tambourinant constamment avec ses antennes (Salt, 1936; Klomp et Teerink, 1962). La durée de l'examen est corrélée à la distance parcourue sur la courbure de l'hôte (Klomp et Teerink, 1962; Schmidt et Smith, 1985 ; 1986). Si les œufs sont adéquats, la femelle prend une posture typique de forage et commence à trouser le chorion de l'hôte grâce à son ovipositeur. Après avoir percé le chorion, la femelle dépose ses œufs dans l'hôte durant une seule insertion de l'ovipositeur (Klomp et Teerink, 1962).

Parmi les parasitoïdes larvaire et nymphal, *Phryxe caudata* et *Villa brunea* ont été particulièrement bien étudiés. La femelle de *Phryxe caudata* dépose ses œufs à l'aide d'un ovipositeur, sur le tégument d'une chenille, souvent du troisième stade. Les œufs

éclosent quelques jours après et les larves attaquent le tégument de la chenille : elles pénètrent ainsi dans la chenille. Lorsque la chenille mue au stade L4, la larve perce une trachée en partie postérieure de l'abdomen de la chenille, et crée ainsi une « gaine respiratoire » par réaction des tissus hôtes, ce qui lui permet de se développer. La nymphose des larves s'effectue donc dans le nid d'hiver des chenilles. Ce parasite effectue deux générations par an : la deuxième ponte a lieu sur les chenilles du cinquième stade. Les larves, qui ne se développent pas pendant la diapause de la chenille, reprennent leur développement avec celui de la chrysalide, et leur nymphose aura lieu au sol.

1.5.2 Le miellat produit par les pucerons et l'activité des parasitoïdes

Les parasitoïdes, malgré leur rôle important dans la régulation des populations d'insectes phyllophages, sauf qu'ils ne peuvent pas toujours avoir un bon succès de reproduction dans des conditions naturelles, en particulier, car ils manquent des ressources en glucides pour maintenir leur activité de recherche de nourriture (Jonsson et *al.*, 2008).

Plusieurs essais d'élevage en laboratoire (Imbert, et *al.*, 2007 ; Dulaurent, 2010 ; Ayache, 2016) ont montré que les aliments riches en sucre améliorent la capacité des parasitoïdes adultes, en augmentant la durée de vie reproductive, la fécondité, l'activité de vol. Le nectar et le miellat produit par les homoptères qui se nourrissent de sève des plantes sont d'importantes sources de glucides (Hogervorst et *al.*, 2007). Bien que le nectar soit l'aliment riche en glucides liquides le plus courant dans des conditions naturelles, il peut être rare dans les forêts de plantation où la diversité et l'abondance des plantes à fleurs sont faibles (Dulaurent, 2010). Dans ce contexte, le miellat peut être une alternative intéressante au nectar. L'exemple de *Cinara spp.* qui peut produire 400–700 kg de miellat / ha / an dans les forêts de conifères (Dulaurent, 2010).

Les mélanges d'espèces végétales sont plus susceptibles de fournir un approvisionnement constant en miellat parce que différentes espèces hébergent différents pucerons qui se produisent à des moments différents. De plus, le miellat diffère en termes de composition en sucre et en acides aminés entre les espèces de pucerons et selon leur espèce hôte, fournissant ainsi aux adultes des parasitoïdes divers aliments. Par exemple, cas de la station de 40 Ouali au Parc National de Chréa qui se caractérise par un mélange de peuplement formé de chêne vert et de cèdre de

l'Atlas où se localisent le puceron de chêne, *Lachnus roboris* (Khelfoune, 2020) et le puceron de cèdre, *Cinara tellinica* (Ayache et al., 2020), serait éventuellement un milieu où les parasitoïdes jouent un rôle fondamental dans cet environnement naturel.

1.5.3 Les prédateurs

Les prédateurs sont des organismes qui consomment plusieurs proies au cours de leur vie.

Ephippiger ephippiger est l'un des principaux orthoptères prédateurs inféodés aux œufs de la processionnaire du pin.

D'autre part, y'a une diversité d'espèces d'oiseaux prédateurs de la chenille processionnaire du pin : des spécialistes des chenilles processionnaires qui possèdent des stratégies d'évitement des poils urticants, le cas du coucou-geai, le coucou commun et le gésier qui empêchent l'ingestion des poils. La huppe et sa structure de bec qui le permet de déterrer les cocons et les frotter au sol. La consommation des imagos par les engoulevents, plus les mésanges qui consomment les œufs, les deux premiers stades larvaires ou extraire le tube digestif pour les stades urticants (Barbaro, 2008). Des études ont notamment mis en évidence que la densité des nids de chenilles processionnaires était moins élevée à proximité de nichoirs.



Baryscapus servadeii (Femelle)



Ooencyrtus pityocampa (Femelle)



Trichogramma embryophagum (Femelle)

Figure 7. Parasitoïdes embryonnaires de la chenille processionnaire du pin

1.6 La lutte biologique et la chenille processionnaire

Il est connu que la lutte biologique repose généralement sur l'exploitation directe d'organismes entomophages qui s'attaquent à un ou plusieurs ravageurs. Cela inclut l'utilisation des prédateurs, des parasitoïdes et des agents pathogènes. Environ 80% des espèces utilisées en lutte biologique sont des parasitoïdes, 17% sont des prédateurs et le reste des pathogènes (Suty, 2010).

Ces auxiliaires utilisées dans le cadre de lutte biologique sont capables de se propager par eux-mêmes, et ont donc un effet prolongé, voire même permanent et régulateur des populations d'insectes agresseurs. Le cas de *Bacillus thuringiensis* (Bt), qui est une bactérie aérobie, présente naturellement dans la nature, reste actuellement le recours biologique le plus efficace et le plus utilisé contre la processionnaire d'hiver car elle n'a pas d'effet sur la santé humaine, aucun effet néfaste chez les reptiles et les amphibiens et pas d'effets sur les plantes. La toxicité ne s'exprime que dans des conditions de pH basique (9.0 à 10,5) et de température particulière pour activer la protéine. Elle produit un grand nombre de protéines dont certaines, sous forme de cristaux, présentent des propriétés insecticides agissant par réactions enzymatiques intestinales, après ingestion, elle possède cinq endotoxines, qui sont libérées lors de la lyse de la bactérie et se fixent sur des récepteurs spécifiques de la paroi intestinale de la chenille, induisant une perforation membranaire et une lyse des cellules intestinales. La chenille arrête son alimentation, et meurt d'inanition et de septicémie quelques jours plus tard. La septicémie est en partie provoquée par la germination de la bactérie, favorisée par le pH alcalin de l'intestin des larves (Martin et Bonnet, 2008).

Les antagonistes utilisés contre les ravageurs sont le plus souvent des Diptères de la famille des Tachinidae et des Hyménoptères faisant partie de la famille des Chalcidoides et des Ichneumonoides (Debach et Rosen, 1991 ; Vincent et Caderre, 1992). Ils peuvent être ectoparasites, déposant leurs œufs sur leur hôte, ou endoparasites, où la larve se développe et croit d'abord comme parasite puis, dans un acte final identique à la prédation ; consomme son hôte au complet. Le stade nymphal se passe généralement à l'extérieur de son hôte.

Parmi les 16 familles d'Hyménoptères parasitoïdes oophages, les Trichogrammatidae sont les plus utilisés et considérés en lutte biologique (Stinner, 1974).

Les espèces du genre *Trichogramma* sont cosmopolites représentant une diversité de 200 espèces. Des lâchers inondatifs de ces parasitoïdes oophages sont effectués sur des millions d'hectares de cultures répartis dans de nombreux pays (Pintureau, 2009).

Trichogramma embryophagum, le parasite généraliste qui peut être élevé sur des hôtes variés de défoliateurs de résineux et de feuillus peut rendre un grand service dans l'alternative de lutte. Ces petits Hyménoptères parasitent les œufs, cela signifie qu'ils pondent leurs propres œufs dans les œufs des insectes nuisibles, tout le développement embryonnaire, larvaire et nymphal se fait dans l'œuf-hôte. Un nouveau trichogramme en sort en découpant grâce à ses mandibules un trou de sortie en environ de 10 jours. Ce qui va stopper le développement de l'œuf du parasite (Pintureau, 2009).

Les trichogrammes parasitent surtout les œufs d'une diversité d'espèces de Lépidoptères hétérocères tels que : *Bupalus piniarius*, *Semiothis aliturlata*, *Dendrolimus pini*, *Nycteola asiatica*, *Panolis flammea*, *Thaumetopoea pityocampa*, *Choristoneura murinana*, *Hedyanubiferana*, *Laspeyresia pomonella*, *Lobesia botrana*, *Retinia resinella*, *Rhyacionia buoliana*, *Spilonota ocellana*, *Zeiraphera diniana* (Pintureau, 2011). Encore, d'autres

Hyménoptères signalés comme hôtes parasités par cette espèce oophage : *Acantholyda posticlis*, *Diprion pini* L (Pintureau *et al.*, 2003). Les femelles de cette espèce ont la capacité de détecter et de s'attaquer à leurs hôtes et de distribuer leur descendance efficacement lorsque les hôtes sont éloignés. Par ailleurs, l'élevage des *Trichogramma* se pratique non pas sur le ravageur-cible mais sur un hôte de substitution (Processionnaire du pin, grâce à son comportement des clades et leur décalage temporel dans son aire de répartition), pour assurer le développement de sa descendance (Ayache, 2016). Des tentatives d'élevage et de multiplication sont conduites par Ayache depuis 2016 en coordination avec l'Institut de Protections des Végétaux.

1.7 Stratégie de défense de la processionnaire du pin

Les chenilles de la processionnaire sont recouvertes de poils urticants creux et fermés à leurs extrémités et contenant du produit urticant. Le contact avec ces poils, excite la sécrétion de ce produit qui peut provoquer des dommages plus ou moins graves chez l'homme et les animaux. Les réactions allergiques surviennent habituellement dans ou

à proximité des forêts, et ceci selon deux manières : soit par contact direct avec les chenilles ou le nid, soit par contact indirect avec le sol ou des poils urticants en suspension dans l'atmosphère environnant. Cette dernière est assurée généralement par le vent. Les poils peuvent en effet conserver leurs propriétés urticantes pendant plusieurs mois, une fois détachés du corps de la chenille, voire un à deux ans si les nids sont à l'abri de l'humidité. Les problèmes sanitaires commencent cependant dès le troisième stade larvaire (Vandenbrouck, 2007).

Les poils urticants sont libérés dans l'air dès que la chenille se sent menacée ; les poils sont très présents dans les nids d'hiver, même après plusieurs années. Manipuler des nids même vides est donc dangereux. Quatre voies d'expositions sont définies : le contact cutané, le contact oculaire, l'inhalation (des signes d'asthme et dans les cas rares de réaction allergique grave) et l'ingestion (des œdèmes au niveau de la langue). Pour un chien par exemple, le fait d'avaler une chenille processionnaire peut être mortel car cela occasionne parfois une nécrose de la langue qui le rend incapable de boire (Fig.8) (Vandenbrouck, 2007).

La gravité des symptômes liés aux chenilles processionnaires du pin dépend de l'importance de l'exposition, de la voie de contamination et de la susceptibilité du sujet (Grojean *et al.*, 2006).

1.7.1 Les manifestations allergiques chez l'homme

- **Atteinte cutanée « érucisme »** (Vegaet *et al.*, 2011) (Fig.9).
- **Atteinte oculaire « ophtalmie noueuse »** (Fig.10).
- **Atteinte respiratoire** : L'inhalation de poils urticants peut provoquer des éternuements, des maux de gorge, des difficultés à avaler et éventuellement des difficultés respiratoires due à un bronchospasme.
- **Atteinte digestive** : La toxicité digestive est rare et les cas d'ingestion chez l'homme étant peu fréquents. Une inflammation des muqueuses buccales et intestinales peut être notée, et s'accompagne alors d'hypersalivation et de douleurs abdominales (Grojean *et al.*, 2006).

1.7.2 Les symptômes liés aux processionnaires chez l'animal

- La muqueuse buccale, les lèvres et la langue présentent une forte inflammation
- Atteinte cutanée retrouvée sur des zones où la peau est fine, comme les babines, le chanfrein, les paupières et les oreilles.

- L'atteinte oculaire a lieu lorsque des poils urticants, transportés par le vent, entrent en contact avec les yeux de l'animal.



Khairallah (2009)

Figure 8. Langue d'un chien nécrosée par les poils urticants de la processionnaire



Figure 9. Troubles cutanés après contact avec les chenilles processionnaires



Figure 10. Rétention intraoculaire de poil de chenille processionnaire

1.8 Conséquences environnementales et les dégâts forestiers

La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* est en effet l'un des principaux défoliateurs des peuplements résineux de la zone méditerranéenne (Huchon et Demolin, 1970). Elle provoque des défoliations conséquentes sur les pins et le cèdre de l'Atlas. En phase de gradation, la défoliation est spectaculaire et des arbres entiers sont totalement défoliés. Les conséquences directes de la défoliation sont l'affaiblissement et la perte de croissance des arbres, par diminution du pouvoir de photosynthèse (Sbabdji, 2012).

Les chenilles ont donc une action néfaste sur la production et l'accroissement des arbres, mais pas directement sur la mortalité des pins. Les arbres deviennent toutefois plus vulnérables aux ravageurs secondaires (insectes xylophages notamment) et aux stress thermiques et hydriques (Martin, 2005).

En Algérie, les attaques sont temporaires et elles concernent toutes les pinèdes et les cédraies avec des dégâts significatifs dans les reboisements particulièrement en zones semi arides (Zamoum, 1998) (Fig.11). La colonie de la chenille processionnaire se déplace durant la nuit et s'alimente des aiguilles des arbres. Dans un premier temps les chenilles des deux premiers stades consomment les feuilles à proximité de la ponte, puis s'éloignent progressivement au cours de leur développement larvaire, une colonie utilise 1.5 à 2 Kg (en poids sec) d'aiguilles et il suffit à 4 ou 5 colonies pour défolier entièrement un arbre de pin d'une vingtaine d'années (Fraval, 2007). En fortes pullulations les chenilles s'attaquent même aux sujets âgés (Rio-Nivert, 2005).

Les conséquences économiques sont principalement liées aux pertes de croissance en forêt de production, dues aux défoliations massives par les chenilles processionnaires du pin qui peuvent se répercuter sur plusieurs années. Ainsi, d'après Morel (2008), une année de forte pullulation entraîne une perte économique d'une année complète de production de bois, étalée sur les 3 années suivant l'attaque.



Impact sur cèdre



Impact sur pin

Figure 11. Dégâts localisés des chenilles de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas

1.9 Les alternatives conduites contre les populations de la processionnaire

Les méthodes d'intervention dépendent de la surface à traiter et des facilités d'accès aux arbres infestés. Quelles qu'elles soient mécaniques, biologiques ou chimiques, elles doivent être adaptées aux cycles biologiques des insectes afin d'intervenir au moment opportun. La biologie des espèces de papillon fait que la lutte ne peut intervenir que sur un délai limité dans le temps.

La figure 12 illustre les possibilités en adéquation avec les périodes d'intervention.

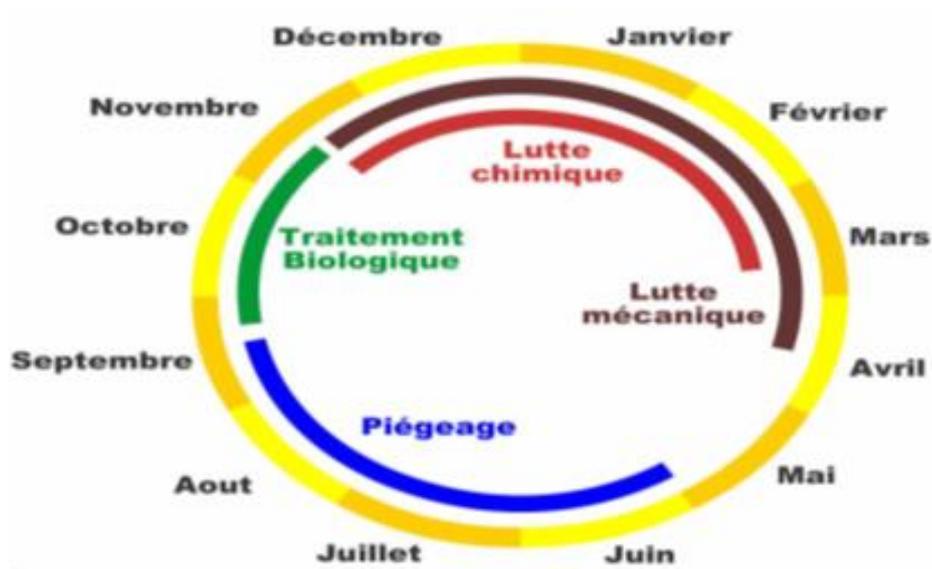


Figure 12. Pratiques de lutte contre la processionnaire du pin

La gestion des populations de chenilles processionnaires doit être réalisée par la combinaison des différentes méthodes de lutte adaptée au contexte local et à la période d'intervention : le piégeage des papillons (par des phéromones), le piégeage des chenilles par "Eco piège", la lutte chimique, la lutte mécanique : l'échenillage, le brûlage des nids, la lutte microbiologique et les luttes alternatives.....

La lutte est d'autant plus efficace qu'elle associe plusieurs techniques (Leblond, 2009).

1.9.1 En période automnale-hivernale

1.9.1.1 Lutte sylvicole

Éviter la plantation de pin dans les zones fréquentées ou implanter des haies de feuillus en bordure de boisement de pins pour empêcher les femelles de repérer leurs hôtes.

Des espèces d'arbres non sensibles à la processionnaire peuvent être sélectionnées dans le cadre des reboisements

La diversité des essences forestières réduit généralement la colonisation par la processionnaire du pin.

1.9.1.2 Récolte des pontes et échenillage

L'échenillage a été depuis longtemps la méthode de lutte la plus pratiquée dans les jeunes plantations de pin. Cette technique est encore utilisée sur de petites surfaces dans les parcs et jardins. Elle consiste à prélever les pontes, les pré-nids (de mi-septembre à fin octobre) qui seront brûlés. De novembre à février de l'année suivante, les nids d'hiver sont éliminés ou découpant les rameaux porteurs à l'aide d'un sécateur ou d'un échenilloir (sécateur au bout d'un mat). Le matériel ainsi prélevé est incinéré (Fig.13). Cette méthode est efficace lorsque les nids sont accessibles.



(Martin, 2005)

Figure 13. Matériels nécessaires à la lutte mécanique : écheloir à gauche, échenillage

à la perche à droite.

1.9.1.3 Piégeage des chenilles

Depuis peu, un piège à chenilles a été mis au point et commercialisé. Ce piège appelé Écopiège est formé d'une simple collerette entourant le tronc à une hauteur d'homme. Une fois que les chenilles partant en procession de nymphose sont regroupées dans la collerette, elles sont dirigées dans un sachet de terre suspendu à l'arbre dans lequel, elles vont se nymphose. Vers la fin de l'hiver, le matériel biologique récolté et brûler. Ce piège est un outil efficace dans la protection des risques de poils urticants particulièrement dans les jardins et dans les zones fréquentées par le public (Fig. 14).



(Rivière, 2011)

Figure 14. Eco piège suspendu à un arbre avec son sachet collecteur rempli de terre et chenilles en cours de descente dans l'éco piège.

1.9.1.4 Lutte chimique

Cette technique de lutte, très utilisée jusqu'au début des années 1990.

En effet, les produits utilisés sont soumis à une réglementation stricte et doivent être homologués : les molécules actuellement autorisées sont le Diflubenzuron et la Bifenthrine (agrée pour les arbres et arbustes d'ornement).

1.9.2 En période estivale

1.9.2.1 Possibilités de lutte biologique

L'utilisation des parasites et des prédateurs naturels de la chenille processionnaire du pin peut être considérée comme un moyen de lutte très respectueux à l'environnement et la biodiversité.

Les différentes espèces se développant aux dépens des œufs, des différents stades larvaires, des nymphes ou des adultes. Certains de ces ennemis naturels sont des spécialistes, qui ne sont connus que de l'espèce *T. pityocampa* ; d'autres sont des généralistes, associés à un spectre d'hôtes plus ou moins large (Hezil, 2019).

Ces auxiliaires sont partie intégrante de l'équilibre biologique, ce qui explique en partie l'abandon progressif des traitements chimiques qui détruisent ce cortège d'ennemis naturels (Vincent et Coderre, 1992).

Deux manières pour les exploiter; la première consiste à augmenter la densité numérique de l'auxiliaire, par implantation d'une espèce qui existe dans le milieu mais qui est déficiente. La seconde, consiste à favoriser l'action des auxiliaires, présent dans le milieu, en facilitant sa multiplication, en stimulant son activité et en les protégeant de leurs ennemis (Aubry, 2008). Les parasitoïdes sont souvent favorisés en lutte biologique selon leur mobilité, spécificité et capacité de localisation des hôtes (Cloutier, 1992).

1.9.2.2 Lutte microbiologique

- **Lutte bactériologique**

Le traitement microbiologique est réalisé à l'aide d'un bio-pesticide à base de *Bacillus thuringiensis* (Bt) qui est une bactérie aérobie, présente naturellement dans la nature, reste actuellement la méthode la plus efficace et la plus utilisée car elle n'a pas d'effet négatif sur la biodiversité et son environnement (tableau 2). Les traitements doivent être pratiqués sur les jeunes stades de chenilles (septembre-octobre) (Fig.15).



Figure 15. Traitement microbiologique par hélicoptère (en haut), ou par pulvérisateur (en bas) (Martin et Bonnet, 2008)

Tableau 2. Les avantages et les inconvénients de la lutte bactériologique

| Avantages | Inconvénients |
|--|---|
| -spécifique des larves de Lépidoptère | -risque environnemental : substance toxique pour les larves des autres Lépidoptères et autres insectes nuisibles. |
| -faible persistance dans l'environnement (6 à 8 jours) | -nécessite des conditions climatiques adéquates lors de l'application (temps sec et feuillage sec, absence de vent et de pluie dans les trois jours suivant la pulvérisation), sous peine de devoir renouveler le |
| -non toxique pour la santé humaine et animale | traitement |
| -préserve la faune utile (notamment les abeilles) | -efficacité moindre sur les stades L4 et L5 |
| -applicable à grande échelle | -coût du mode de pulvérisation aérien et du matériel au sol |

- **Lutte à base de virus**

L'utilisation potentielle d'un virus cytoplasmique, le *Smithiavirus pityocampa* comme un virus responsable de la mortalité des chenilles processionnaires du pin (Grison et al., 1959). Il induit l'hypertrophie des cellules de l'épithélium de l'intestin moyen et leur destruction, ce qui conduit à la mort de la chenille infestée. (Fig.16).



Figure 16. La disposition particulière des chenilles est également observée lors d'un traitement biologique viral (Martin, 2005)

Le procédé de lutte virale, n'a aucun impact sur la santé humaine et sur l'environnement en général, il est à encourager (tableau 3).

Tableau 3. Les points positifs et négatifs de la lutte microbiologique virale

| Avantages | Inconvénients |
|------------------------------------|--|
| -écologique | -non spécifique des larves de chenilles processionnaires du pin |
| -non toxique pour la santé humaine | -coût élevé (élevage des hôtes, coûts d'extraction et de purification) |

1.9.2.3 Lutte physiologique par utilisation de phéromones sexuelles de synthèse :

Au mois de juillet (période de reproduction), les femelles attirent les mâles en émettant une phéromone sexuelle appelée la pityolure. Cette phéromone peut être recrée artificiellement, et utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges (Fig. 17), Ces pièges sont installés sur les branches basses des pins. Ils peuvent être suspendus sur n'importe quel support (Feuillus, résineux, clôture...).



Martin et Bonnet (2008)

Figure 17. Exemples de pièges à phéromones

Des capsules possédant l'odeur du papillon femelle qui attirent les papillons mâles dans lesquels ils tomberont sans pouvoir se reproduire. Le taux d'accouplement est donc diminué, et, même si celui-ci a lieu, sa réalisation plus tardive peut contribuer à diminuer la fécondité de la femelle et donc les effectifs de la génération suivante (Martin, 2005) (tableau 4).

A la fin, la lutte par confusion sexuelle, bien que très prometteuse par la méthode et les résultats, n'est pas homologuée contre cet insecte faute de firmes pour en assurer le développement.

Tableau 4. Les avantages et les inconvénients du piégeage de masse des papillons mâles (d'après Martin, 2005 ; Leblond, 2009)

| Avantages | Inconvénients |
|------------------------------------|---|
| -écologique et spécifique d'espèce | -efficacité variable selon les pièges et les diffuseurs, les doses de phéromone, l'entretien, la localisation et la densité des |
| -facile d'utilisation | |
| -peu coûteux, piège réutilisable | |
| l'activité de la phéromone couvre | |

| | |
|--|---|
| toute la | pièges |
| période de vol des adultes | -bonne efficacité seulement si les phéromones sont répandues |
| -utilisable pour réguler le niveau des populations de chenilles, mais aussi pour leur surveillance | sur une grande surface -pièges à glu : nécessite de changer régulièrement les plaques collante |

2. Le cèdre de l'Atlas, hôte de la processionnaire du pin

La chenille processionnaire du pin est un défoliateur qui s'attaque à toutes les espèces de pins et de cèdres présents dans son aire de distribution. Il est possible d'établir une classification préférentielle des essences hôtes (Martin, 2005).

- 1) Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *nigricans* Host)
- 2) Pin laricio de Corse (*Pinus nigra* subsp. *laricio* Poiret).
- 3) Pin laricio Salzmann (*Pinus nigra* subsp. *clusiana* Clem).
- 4) Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.).
- 5) Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.).
- 6) Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill).
- 7) Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Carr.).
- 8) Cèdre du Liban (*Cedrus libani* Rich.).

La processionnaire s'attaque souvent à un grand nombre de pinacées exotique utilisées en plantations de production ou à titre ornemental (Rousselet, 2010).

La distinction entre les diverses essences est réalisée par la femelle en relation avec le critère : diamètre qui est le principal critère de choix. De même le support recherché doit être rugueux afin de permettre une attache optimale des griffes. Des études ont également montré que le choix de l'arbre hôte dépendait de la présence de substances volatiles émanant des tissus des aiguilles.

2.1 Grandes lignes de la classification et son aire de répartition

Le cèdre de l'Atlas, espèce essentiellement montagnarde, a pour noms berbères *Begnoun* ou *Inguel* et pour noms arabes, *Elarz* ou *Elmedad*. Cette dernière appellation arabe viendrait du fait que les branches de l'espèce plient sous le poids de la neige sans se casser. Cette essence revêt une importance écologique et économique incontestable.

2.1.1 Systématique

Le cèdre de l'Atlas appartient à l'embranchement des Spermaphytes, et au Sous-Embranchement des Gymnospermes, à la Classe des Vectrices et d'ordre des Coniférales, Famille des Pinacées et à la Sous famille des Laricoïdeae et au genre *Cedrus*. En se basant sur des critères biogéographiques, Panetsos *et al.*, (1994) s'accordent que ce genre comprend quatre espèces présentes sur le pourtour méditerranéen et dans l'Himalaya. Il s'agit du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) ; du cèdre de Chypre (*Cedrus brevifolia*) ; du cèdre de l'Himalaya (*Cedrus deodara*) et du cèdre de Liban (*Cedrus libani*).

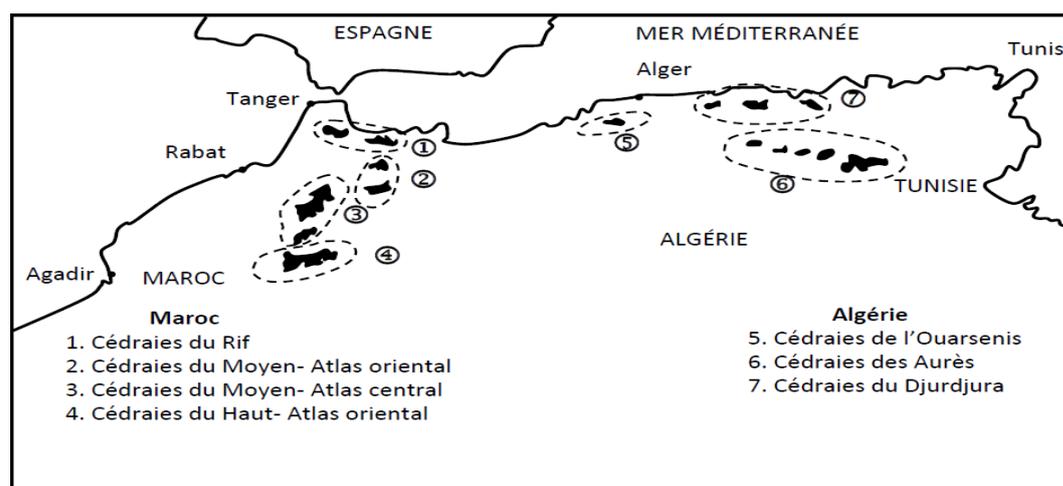
2.1.2 Aire de répartition

Le genre *Cedrus* occupe des surfaces d'importance inégale et forme spontanément trois blocs géographiques distincts : Afrique du Nord, Asie mineure et Himalaya (M'hirit, 2006).

Le premier bloc représenté par *Cedrus atlantica* Manetti, s'étend du Rif marocain à l'ouest aux Aurès Algériens à l'est (Sabatier et Barthelemy, 1994) (Fig.18).

Au Maroc où se trouve la majeure partie de l'aire naturelle du cèdre qui couvre environ 130 000 ha, on reconnaît deux ensembles (Benhalima, 2006):

- l'un dans le Rif occidental et central couvrant à peu près 15 000 ha.
- l'autre dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas oriental couvrant environ 116 000 ha.



M'hirit(1994)

Figure 18. Répartition du cèdre de l'Atlas.

En Algérie, les massifs des cédraies sont très dispersés et beaucoup plus réduits qu'au Maroc, occupe 30 000ha au total. (Boudy, 1950 et 1952), répartis en quatre blocs :

- l'Atlas Tellien Sublittoral avec deux sommets principaux : monts Babors (2006 m), Tababors (1965m) couvrant environ 1300 ha (M'hirit, 2006) et le massif du Djurdjura avec 2 000 ha.

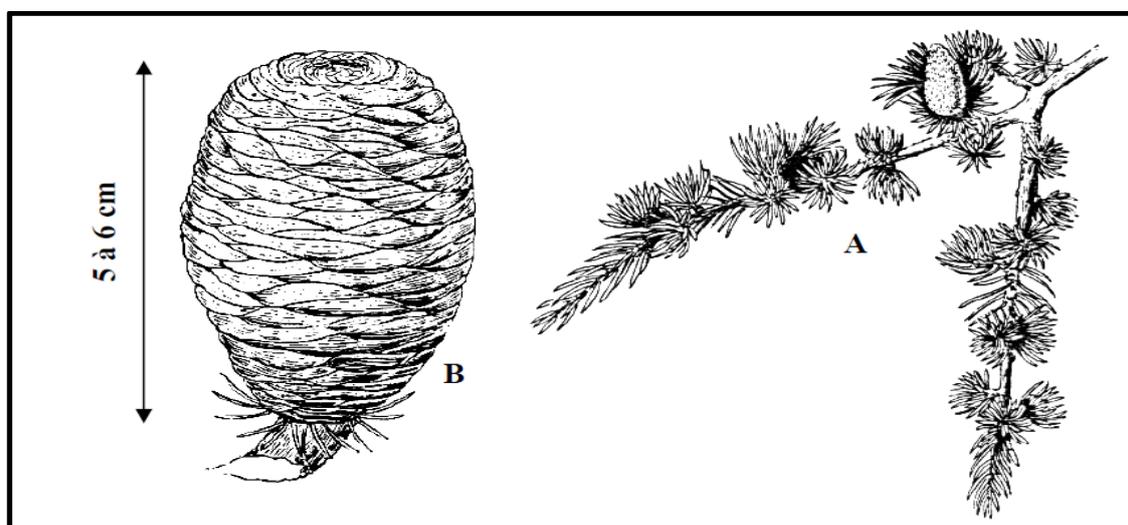
- l'Ouarsenis réparties sur 1500 ha à Thniat-El-Had et 150 ha à Sraa- Si- Abdelkader (Sari, 1975).

- l'Atlas Blidéen occupant environ 1040 ha (M'hirit, 2006)

- Les monts des Aurès couvrent 17450 ha avec les principaux massifs de Bélezma avec 8100 ha ; la cédraie de Chelia qui s'étend sur près de 7 000 ha (Derridj, 1990 et Rahmani, 2010). Les monts du Hodna avec 8000 ha.

2.2 Caractéristiques botaniques

Les caractéristiques botaniques du cèdre de l'Atlas ont été décrites par plusieurs auteurs, dont les plus importantes sont résumées dans le tableau 4 et illustrées par la figure 19.



(Boudy, 1952)

Figure 19. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*). A : rameau avec inflorescence mâle ; B : cône.

Tableau 5. Principales caractéristiques botaniques des différents organes de *Cedrus atlantica*.

| Organe | Description | Références |
|--------|-------------|------------|
|--------|-------------|------------|

PREMIER CHAPITRE : Synthèse des données sur la processionnaire

1. Port

Arbre jeune : port conique pyramidal. Boudy, 1950, 1952 –

Arbre âgé : présente de grosses branches étalées et une cime tabulaire. Sabatier et Barthelemy, 1994

Hauteur : de 50 à 60 m.

Circonférence du tronc: de 1 à 2 m généralement, et parfois 8 m (À Azrou au Maroc) et même très grande circonférence à Chrea et Djurdjura. Maire et Boudy, 1952
2. Ecorce

Ecorce lisse

Couleur : grise remplacée par un rhytidome brun, noir et épais, fissuré et écailleux Maire, 1952
3. Branches

Forme : grosses branches étalées, elles naissent isolément sur le tronc et portent une multitude M'Hirit, 2006

de petits rameaux qui se situent tous dans le même plan, finissant par

donner à l'arbre sa silhouette tabulaire et irrégulière.
4. Racines

Développées, très fortes, assurent la stabilité de l'arbre, colonisent les sols profonds et humides. Boudy, 1952

- Longueur** : 25 mm en général Boudy, 1952
5. Aiguilles Est comprise entre 10 et 20 mm
- Couleur** : vert ou glauque. Boudy, 1952
- Varie du vert bleuté au vert foncé selon les individus Maire, 1952 – Boudy, 1952
- Persistance, vivent** 3 ans. M'Hirit, 2006
- Forme** : raide et fine, peu aigüe, sont portés sur les rameaux long dits auxiblastes et en rosettes par les rameaux dressés dits mésoblastes
6. Les rameaux ils sont de deux sortes :
- les rameaux longs, de couleur grise jaunâtre qui ne portent que des aiguilles isolées pendant la première année. Arbez *et al*, 1978
- Les rameaux courts qui sont trapus, insérés sur les précédents et terminés par un bouquet d'aiguilles très nombreuses et serrées.
- Forme** : cône ovoïde.
7. Cône **Longueur** : 6.28 cm. Boudy, 1950, 1952
- Diamètre** : 5.17 cm Derridj, 1994
- Couleur** : passe du vert-bleuâtre au marron foncé à la maturité.
- Poids** : 55.38 g
- Orientation** : dressés vers le ciel, portés par des rameaux courts et forts.

Les graines dispersées en automne restent au sol durant l'hiver et peuvent être recouvertes d'une couche de neige qui leur assure une sorte de stratification au froid humide les préparant à la germination au cours de printemps suivant.

Les premiers bourgeons mâles commencent à se différencier morphologiquement vers la fin juin. Chaque bourgeon, apparaît au milieu d'une rosatte d'aiguilles insérées sur un rameau court. Il mesure quelques millimètres de longueur. La rupture de l'enveloppe qui le protège, laisse apparaître un petit chaton de couleur vert tendre, qui va évoluer courant juillet pour acquérir progressivement une plus grande taille (Krouch, 2010). A la fin de son développement, il atteint de 4 à 5 cm de long et 1 cm de diamètre.

A maturité, il prend une couleur marron et le pollen sec et poudreux commence à être libéré.

L'apparition des inflorescences femelles a lieu vers la fin août.

L'inflorescence femelle apparaît sous forme d'un bourgeon gonflé dont l'extrémité ovale est plus claire que la base. La rupture de l'enveloppe protectrice laisse voir partiellement une inflorescence aux écailles tendres au toucher et de couleur verte.

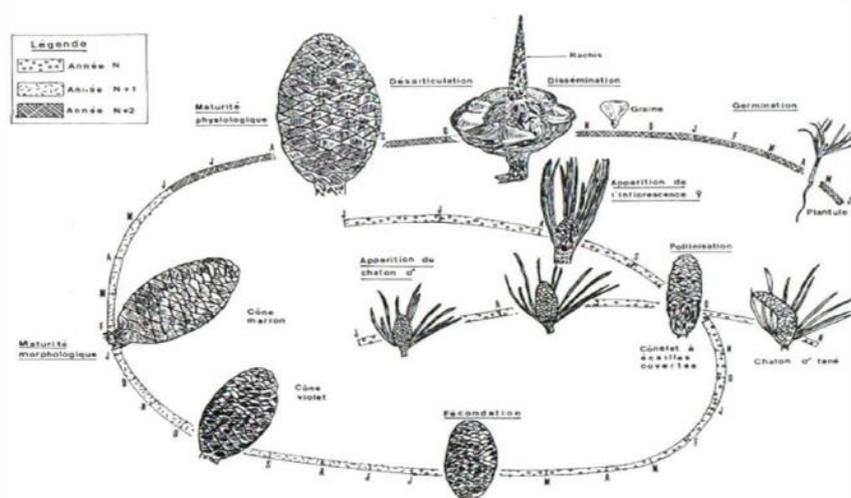


Figure 20. Cycle de reproduction du cèdre de l'atlas (Derridj, 1990).

2.4 Ecologie du cèdre

Les conditions écologiques du cèdre sont très variables et varient selon plusieurs facteurs dont les plus importants sont l'altitude, le climat et le sol (Boudy, 1950).

2.4.1 Climat

Le cèdre de l'Atlas se trouve donc en climat méditerranéen humide (Rif), sub-humide (Moyen Atlas) ou semi-aride (Aurès, Grand Atlas oriental). Il trouve son optimum écologique dans le climat méditerranéen humide à hiver froid (Quezel, 1980).

En Algérie, les cédraies des Aurès sont à la limite des étages semi-aride à hiver froid : Chélia, Djebel Azreg, et Subhumide à hiver froid et très froid : Thniet El had, nord du Belezema (Abdessemed, 1981 ; Boudy, 1950). Les cédraies du Djurdjura sont humides, Babor, Chréa (Atlas Blidéen) sont per humide frais et froid (Boudy, 1950).

Au Maroc, le cèdre de l'atlas ne se retrouve pas en étage semi-aride. Il est évalué que les trois quarts des cédraies du Maroc sont dans l'étage humide froid (Boudy, 1950). Du point de vue écologique, le cèdre aurasien est donc très différent du cèdre marocain (Boudy, 1950).

2.4.1.1 Température

La température constitue un facteur écologique limitant et important.

Le cèdre résiste sans dommage à des températures de -25°C , il pousse entre -20°C et $+39^{\circ}\text{C}$ (Boudy, 1950).

Au Maroc et en Algérie le cèdre pousse à des températures moyennes entre 8°C et 12°C .

2.4.1.2 précipitation

La pluviométrie joue un rôle important sur la croissance du cèdre. Le cèdre de l'Atlas a besoin d'une pluviométrie annuelle comprise entre 500 et 1500mm (Ducrey, 1994). En Algérie, les cédraies des Aurès et Hodna reçoivent une tranche pluviométrique modeste variant de 720 à 770 mm/an. Les cédraies du Djurdjura, des Babors, l'Ouarsenis, Chréa et Meurdja reçoivent de 1100 à 2100 mm/an de pluie (Khanfouci, 2005).

Au Maroc, les cédraies bénéficient d'une pluviométrie annuelle allant de 850 à 1200 mm (Boudy, 1950).

2.4.1.3 Altitude

Cedrus atlantica, est une essence montagnard méditerranéen, ses limites inférieures diffèrent d'une cédraie à l'autre. Il se localise entre 1500 et 2600 m d'altitude.

D'après Pujos (1966), trois types de cédraies se distinguent en fonction de l'altitude :

1. Les cédraies basses : inférieures à 1800 m.

2. Les cédraies moyennes : comprises entre 1800 – 2100 m

3. Les cédraies hautes : supérieures à 2100 m.

Au Maroc, la cédraie se localise entre 1300 et 1800 m comme limite inférieure et entre 2300 et 2500 m comme limite supérieure. Au-delà de 2800 m, le cèdre est dominé par le genévrier thurifère (Boudy, 1952). M'hirit (1982) note qu'on peut le rencontrer sous forme d'individus à partir de 2600 m.

En Algérie, le cèdre se localise préférentiellement à partir de 1400 m sur le versant Nord et 1600 m sur le versant Sud (Derridj, 1990).

2.4.2 Substrat

Le cèdre s'accommode de bioclimats différents (subhumide, humide et perhumide frais, froids et très froids) sur des substrats variés (schiste, basalte, calcaire...).

Le cèdre préfère les sols profonds, meubles et caillouteux, généralement, il se rencontre mieux sur les calcaires plus ou moins compactés que sur les schistes calcaires ou gréseux et en grès. Le cèdre peut pousser aussi bien sur sol acide que sur sol basique (Alexandrian et Gouiran, 1992).

2.4.3 Groupement végétale du cèdre de l'Atlas

En Afrique du nord, le cèdre est partout plus au moins associé à une diversité d'espèces végétales.

En Algérie, dans les Aurès, les Monts des Hodna, Theniet El Had, le faciès relativement sec est caractérisé par les essences: *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Juniperus thurifera*, *Sorbus aria*, *Ampelodesma mauritanica* et *Fraxinus xanthoxyloides*, *Taxus baccata*. (Halitim, 2006)

Dans les Monts de Chréa sur l'Atlas Blidéen et dans les Babors le faciès plus humide est caractérisé par les espèces *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex*, *Quercus zeen* et *Taxus baccata* (Halitim, 2006). Cependant on note une l'absence de genévrier thurifère.

2.5 Facteurs Anthropozoïques de la dégradation des cédraies

Plusieurs éléments de nature biotiques qu'abiotiques sont, aujourd'hui, des principaux déclencheurs du phénomène de dépérissement du cèdre de l'Atlas en Algérie.

2.5.1 Les facteurs abiotiques

Parmi les facteurs abiotiques, le stress hydrique est un facteur principal provoque une déstabilisation des écosystèmes forestiers et le déclenchement des phénomènes de dégradation de l'état sanitaire de cèdre. Selon Bentouati et Bariteau (2006), la

première cause de déclin du cèdre aux Aurès est le déficit hydrique résultant d'une sécheresse prononcée et persistante durant les 20 dernières années.

A ce facteur s'ajoute le stress chimique traduit par l'acidification des sols (Caspary, 1991) est d'autant un élément contribuant à l'affaiblissement des arbres.

2.5.2 Les facteurs biotiques

Parmi les facteurs biotiques, diverses groupes d'espèces d'insectes existent dans les cédraies et provoquent des dégâts avec des attaques de champignons qui présentent des signes d'affaiblissement à l'arbre.

2.5.2.1 Les insectes

- **Les insectes défoliateurs**

Les espèces défoliatrices du cèdre sont des insectes phyllophages tel que *Thaumetopoea bonjeani*, *T. libanotica*, *T. solitaria*, *T. pityocampa*, *Epinotia algeriensis*, *Prionomeion gaullei* et *Scythropus warioni* (Mouna et Fabre, 2005).

- **Les insectes mangeurs de graines et de fleurs**

D'après Mouna(1994), les principaux insectes mangeurs de graines et de fleurs sont par ordre : *Dioryctria peltieri*, *Megastigmus pinsapinis*, *Dioryctria peyerimhoffi*.

- **Les insectes suceurs de sève**

Les principales espèces suceuses de sève responsables souvent des dégâts considérables sur les cédraies sont : *Cedrobium laportei*, *Cinara cedri* (Fabre, 1988).

2.5.2.2 Les Champignons

Parmi les champignons qui provoquent des dommages redoutables au cèdre :

- *Polyporus officinalis* : cause des altérations plus au moins graves au cèdre (Boudy, 1952).

- *Armillaria mellea* : attaque surtout les racines et le tronc, il se développe surtout sur les arbres affaiblis par une cause quelconque (Boudy, 1952).

2.5.2.3 Les animaux

Le sanglier est un mammifère qui endommage en partie la régénération naturelle du cèdre par son mode de nourriture et ses déplacements en groupes.

Le surpâturage est une cause de la dégradation particulièrement par leur broutage (broute les parties terminales vertes de jeune cèdre)

D'une manière générale, le pacage incontrôlé constitue l'une des principales causes de la destruction de l'écosystème forestier dans son ensemble.

2.5.3 Action anthropique

L'action directe de l'homme par les coupes illicites et les défrichements ou indirecte par la régression des formations végétales en général et de la cédraie en particulier, reste le facteur de dégradation du cèdre de l'Atlas (Abdessemed, 1981 ; El Yousfi, 1994).

2.6 Importance économique du cèdre

Le cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* est une essence qui a une importance écologique et économique incontestable. Il assure une activité économique très importante, et forme depuis son existence une source vitale des populations locales du fait de ses qualités remarquables : sa longévité, sa résistance à la compression et sa bonne production de bois (Benhalima, 2006). Le bois de cèdre est tendre, odorant, mi-lourd, brun rosé, se conserve bien en grumes et est facile à couper. Le cèdre de l'Atlas a un intérêt dans la construction des toitures, des planchers, des charpentes et des poteaux (Benhalima, 2006), voies ferroviaires (Boudy, 1950). Le bois du cèdre est de qualité pour la menuiserie. Les produits d'éclaircie peuvent être utilisés en papeterie, mélanges en faible quantité avec les pins (M'hirit, 2006).

DEUXIEME CHAPITRE MATERIELS ET METHODES

1. La cédraie du Parc National de Chréa, site d'étude

1.1 Situation géographique et limites du parc

Le parc National de Chréa occupe une superficie de 26587 ha et se localise sur le massif de l'Atlas tellien (Blidéen),   50 Km au sud-ouest de la capitale Alger.

Ce milieu environnement se localise à une altitude comprise entre 500 et 1550 m. Il est circonscrit entre : les latitudes Nord $36^{\circ} 19'$ / $36^{\circ} 30'$ et les longitudes Est $2^{\circ} 38'$ / $3^{\circ} 02'$. Ce territoire est limité au Nord par la plaine de Mitidja et au Sud par l'oued Melah. La limite   l'Ouest suit la terminaison occidentale du pic Mouzaia et à l'Est, elle suit l'oued Boumaane. Administrativement, le Parc réunit plusieurs communes Chréa, Hamdania, Bouinan, Soumaa (Fig. 21).

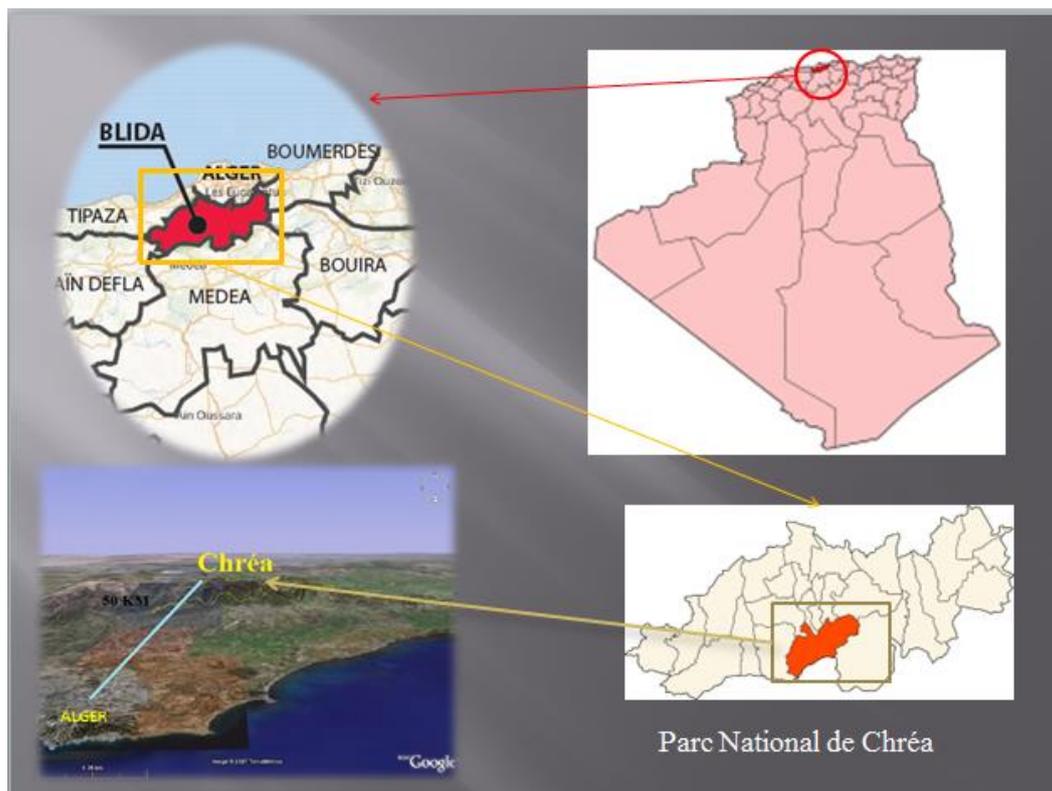


Figure 21. Situation géographique du Parc National de Chréa

1.2 Environnement physique

La région de Chréa est presque entièrement constituée par des schistes de l'âge de crétacé supérieur sans fossile et par des éboulis de pentes de même origine. Elle est pauvre en éléments nutritifs, les roches cristallines sont quasiment absentes (Halimi, 1977).

Les sols de la région d'étude résultent d'un mélange propre de matières minérale et matière organique. Ils sont constitués de schistes marneux avec une faible proportion d'argiles et de limons. Sur les versants à forte pente, les sols sont dominés par les cailloux et les graviers. Dans les poches de ravins, ils sont très pauvres en calcaire, en chlore et en phosphore (Halimi, 1977).

Le Parc National de Chréa se distingue par trois ensembles topographiques : le premier constitué d'Ouest en Est par les Djebels de Tamezguida, de Mouzaïa, de Djemaa, de Guerroumène et de Faroukha. Le deuxième ensemble englobe les contreforts partant de la ligne de crête principale et s'orientent soit vers le Sud ou vers le Nord. Le troisième ensemble, regroupe les zones proportionnellement plates et un peu inclinées (Sebti, 2015).

1.3 Caractéristiques des sites d'étude

Après une prospection préalable dans les peuplements de la cédraie du Parc National de Chréa qui subissent des attaques périodiques de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, nous avons opté pour le choix des stations suivant leur altitude et leur composition végétale et leurs conditions environnementales. Les caractéristiques des stations sont regroupées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques des sites prospectés

| Sites | Latitudes | Longitudes | Altitudes (m) |
|-----------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| Beni Ali | 36°22'27N | 2°51'15 E | 1050 |
| Les glaciers | 36°22'19 N | 2°51'58 E | 1200 |
| La forêt noire | 36°22'49 N | 2°51'40 E | 1300 |
| Quatre Bacs | 36°24'12 N | 2°50'01 E | 1450 |

- **Station de Beni Ali**

La station prospectée s'étend sur une dizaine d'hectares, elle est située à une altitude de 1050m. La structure générale du peuplement est hétérogène, elle est caractérisée par un mélange de peuplement formé de châtaignier, de chêne vert, de chêne liège,

robinier, merisier, peuplier blanc, de pins noir, de pin pignon, de pin d'Alep et de cèdre. La hauteur des arbres est comprise entre 14 m et 20 m. La figure 22 illustre une vue générale de la station retenue.

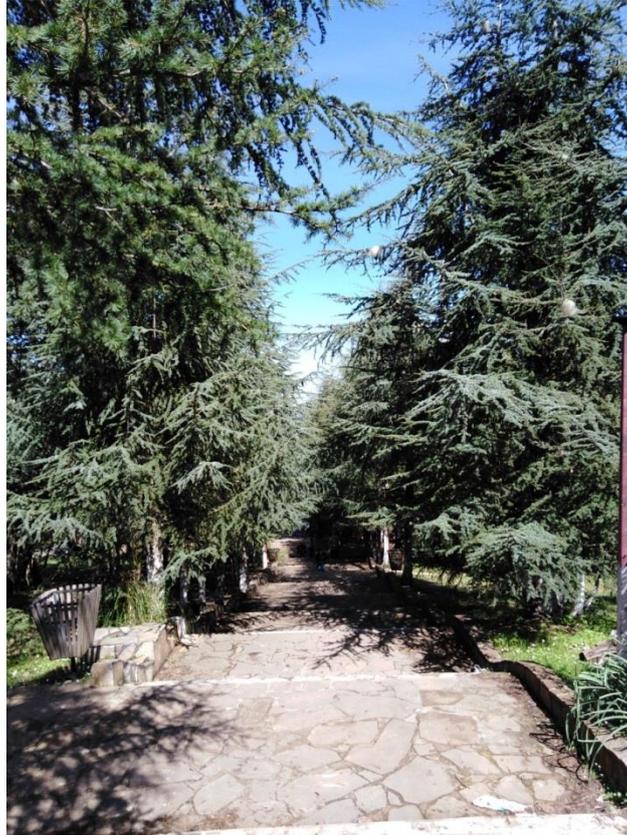


Figure 22. Vue générale de la Station prospectée à Beni Ali

- **Station les glacières**

A ce niveau, la station retenue se localise à 1200 m, elle renferme un mélange de cèdre et de chêne vert, de robinier et de l'if mais à dominance cèdre.



Figure 23. Les glacières

- **La forêt noire**

Ce site se localise à de 1300 m d'altitude. Le peuplement prospecté est hétérogène, à dominance de cèdre, de chêne vert, de genévrier, et d'oxycèdre.



Figure 24. La forêt noire

- **Station des quatre Bancs**

Il s'agit d'une station à 1450 m, correspond à la cédraie pure avec quelques reliques de chêne vert.



Figure. 25 Station les quatre Bancs

1.4 Données climatiques

La pluviométrie et la température sont parmi les principaux facteurs qui gèrent le climat, leur combinaison constitue un élément important pour caractériser les écosystèmes de type méditerranéen par ce qu'elles déterminent la répartition et le développement de ces milieux (Quezel & Medail, 2003). La région de Chrea fait partie de l'étage bioclimatique Subhumide à l'hiver froid.

Pour nous permettre d'expliquer la relation entre les variations climatiques et la chronologie de développement de la chenille processionnaire, nous avons recueilli et considéré les données climatiques fournies par l'Office National Météorologique de Dar El-Beida.

1.4.1 Température

La température est un facteur fondamental dans la régulation du développement des insectes ravageurs et de leurs ennemis naturels (Huchon et Demolin, 1970). Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques, et joue un rôle fondamental dans la répartition géographique des espèces végétales. Les valeurs des températures moyennes, mensuelles, maximales et minimales dans le territoire du parc national de Chréa durant la période allant de 1995 à 2010 sont reportées dans la figure 26.

Les données moyennes de 1995 à 2010 montrent que la température minimale moyenne la plus faible est enregistrée au mois de janvier (2,6° C) et la température maximale moyenne au mois de juillet (28,4° C).

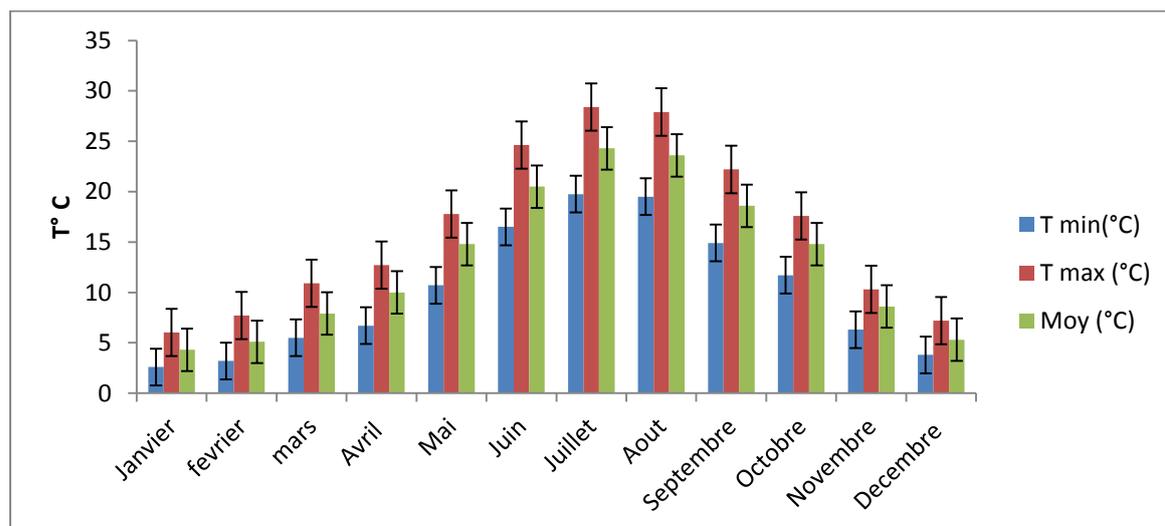


Figure 26. Variations des températures moyennes mensuelles corrigées pour la période 1995- 2010 à Chréa

1.4.2 Précipitation

La pluviométrie est un paramètre fondamental dans la caractérisation du climat. Elle a une influence importante sur la biologie des espèces animales (Mutin, 1977), sur leur développement, leur longévité et leur fécondité (Dajoz, 1971). Selon Sletzer, elle augmente de 40 mm pour 100 m d'altitude. L'Atlas blidéen se caractérise par une pluviométrie à rythme irrégulier annuel concentrée durant la période froide de l'année et par ailleurs, elle fait défaut en été, au moment où la température favorise l'évaporation. Les variations des moyennes mensuelles de la pluviométrie du parc National de Chréa sont illustrées dans la figure 27.

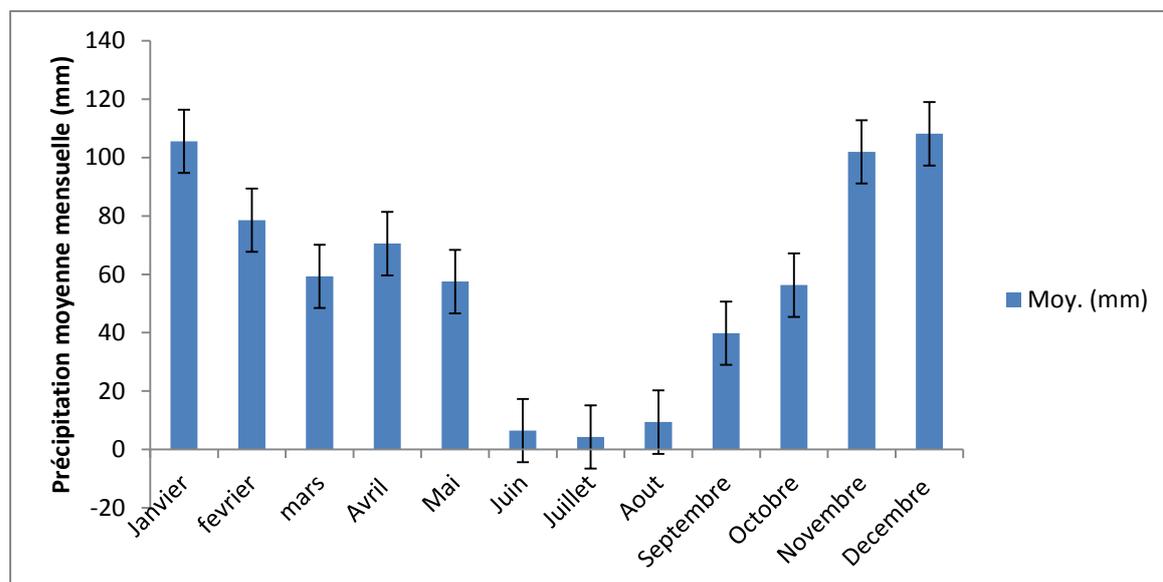


Figure 27. Précipitation moyenne mensuelle de 1995 à 2010 à Chrea

1.4.3 Vent

Dreux (1980) note que le vent est un paramètre secondaire. Il active l'évaporation et il contribue à la sécheresse. Halimi (1977) note qu'à Chréa les vents Nord-Est prédominant toute l'année avec une vitesse moyenne 40 km/h, le vent chaud sud (Sirocco) se manifeste généralement de 1 à 3 fois par an.

1.4.4 Neige

La neige commence à couvrir les cimes des arbres de l'Atlas blidéen à partir du mois de décembre, elle est fréquente sur les altitudes qui dépassent les 400 m. Le mois de janvier se distingue par un fort enneigement ; mais le mois de mars l'emporte sur la persistance. La couche de neige atteint dès fois 1 mètre d'épaisseur (Sbabdji, 1997).

1.4.5 Brouillard

Le brouillard est relativement fréquent dans les hauteurs du Parc. En ce qui concerne le brouillard, on compte 104 jours de brouillard en moyenne par an.

1.4.6 Bilan climatique

La synthèse climatique d'une région donnée consiste à déterminer ses périodes sèches et humides par l'intermédiaire du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен. Son étage bioclimatique est illustré par le climagramme d'Emberger.

- **Diagramme ombrothermique de Gausсен**

Le diagramme ombrothermique de la station d'étude met en évidence l'existence de deux périodes, sèche qui dure presque 03 mois et demi, elle débute de la dernière décennie du mois de mai jusqu'au mois d'octobre, tandis que la période humide s'étale de la deuxième quinzaine d'octobre jusqu'à la deuxième décennie du mois de mai de l'année suivante (Fig. 28).

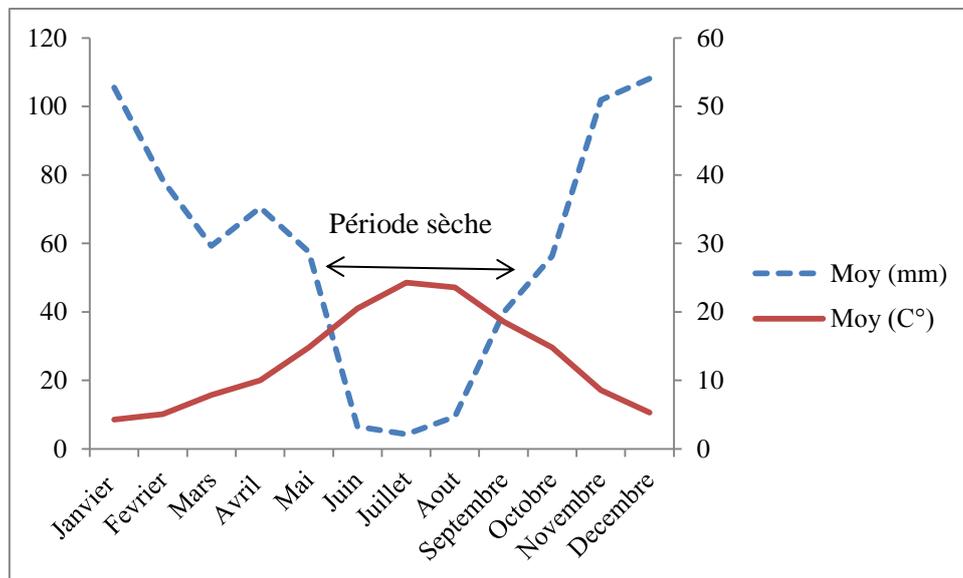


Figure 28. Diagramme ombrothermique de Gausсен de la zone d'étude (Chréa)

- **Climagramme d'Emberger**

Le calcul du quotient Q2 est déterminé grâce à la formule suivante

$$Q2 = 3,43 \times P / (M - m)$$

Où :

Q2 : Quotient pluviothermique d'Emberger

P : Moyenne des précipitations annuelles exprimées en mm

M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud

m. : Moyenne des températures minima du mois le plus froid

Pour la station de Chr ea, la valeur de quotient pluviométrique calculé est de 91.6. Cette valeur reportée sur le climagramme d'Emberger détermine que la région appartient à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais (Fig. 29).

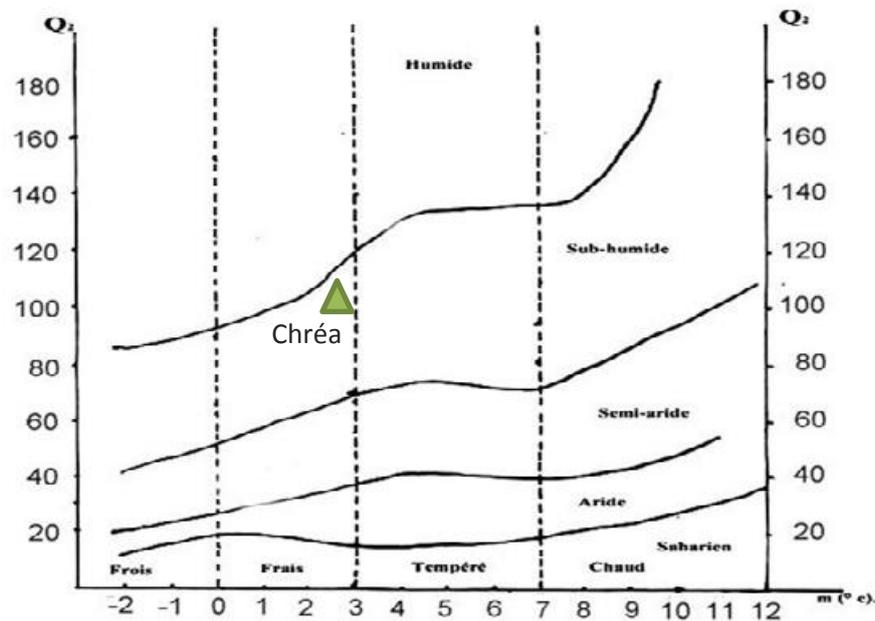


Figure 29. Position de la station de Chr ea dans le Climagramme d'Emberger

2 Expérimentation

Afin de recueillir des informations spatio-temporelles sur les caractéristiques biologiques de la processionnaire du pin *T. pityocampa*, les facteurs écologiques régissant sa distribution dans son biotope naturel de la cédraie de Chr ea, et déterminer comment se situe dans le temps ses différents stades de développement, nous avons conduit des relevés et des observations au terrain et au laboratoire.

La démarche scientifique adoptée est ax e sur quatre aspects distincts, le premier est consacré à l'étude des principales phases aériennes de *T. pityocampa*, avec une étude détaillée sur la fécondité des femelles. La chronologie des écophases est établie. Le second est axé sur l'étude de la durée de la phase hypogée de l'insecte. Le troisième est consacré à l'identification des principaux facteurs de régulation des populations de l'insecte aux stades ; embryonnaire, larvaire et nymphal. Le dernier point abordé porte sur la dynamique des populations de la processionnaire du pin et l'extension de son aire de colonisation de 2017-2019 dans le Parc National de Chr ea.

2.1 Etude des émergences des adultes

2.1.1 Protocole des pièges à phéromone

Afin de déterminer la durée de la phase hypogée de l'insecte, contrôler la population et tirer des informations sur la chronologie des émergences des adultes, deux pièges à phéromone ont été installés par station au cours de la période de 2017 à 2019. Les pièges préparés sont placés à une distance de 100 m entre eux, sur des arbres en bordure du peuplement, et accrochés à une hauteur de 2 à 3 mètres du sol. Le piège delta utilisé est muni d'une plaque engluée. Des capsules de phéromone sexuelle ont été installées et renouvelées tous les quinze jours (Fig. 30). L'installation des pièges a été effectuée à partir de la mi-juin et les captures ont débuté à partir de fin juin jusqu'au le début de mois d'aout des années considérées. Les relevés ont été effectués deux fois par semaine durant la période de vol.

Les mesures des longueurs des papillons capturés ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse électronique (Fig. 31).



Figure 30. Piège à phéromone en place



Figure 31. Mensuration de la longueur des papillons

2.1.2 Emergence dans les conditions ambiantes

En 2017, 2018 et 2019, nous avons récolté une trentaine des nids d'hiver des quatre stations d'étude à la fin de mois de février de chaque année, coïncidant avec le départ en procession. Les colonies relatives à chaque nid, ont été placées séparément dans des boîtes d'élevage transparentes en plastique de dimensions (26,5 x 13,5 x 7,5 cm), sur une couche épaisse de sciure pour faciliter le passage des chenilles du dernier stade à l'état nymphal

Les couvercles des boîtes sont recouverts par un tissu fin pour permettre une aération suffisante. Les boîtes sont numérotées et mis aux conditions ambiantes (Fig. 32). Les chrysalides ont été prélevées au mi- juin, avant la sortie des papillons.

Au début du mois de juillet, les lots de chrysalides ont été mis sous surveillance journalière et les adultes émergés sont notés quotidiennement. Ces observations nous ont permis de comparer entre la chronologie des émergences en fonction de l'altitude, notamment en ce qui concerne :

- Les fréquences journalières d'émergences des adultes mâles et femelles.
- Les rythmes horaires d'émergence des adultes mâles et femelles.
- Calcul de sex-ratio.

Afin d'étudier le comportement de l'adulte : formation des ailes, nous lui avons facilité la procédure de développement par un support constitué d'une brindille de bois que nous installé dans les boîtes, l'adulte grimpe sur ce support. Nous observons l'adulte jusqu'à l'étalement totale de ses ailes.



Figure 32. Protocole d'étude de la phase nymphale

2.2 Ecologie des pontes et éclosions des œufs

2.2.1 Récolte et préparation des pontes

La récolte des pontes a été effectuée d'une manière aléatoire à une hauteur accessible dès le mois de juillet 2017 et 2018. Un total de 360 pontes (30 pontes par site/an) a été prélevé dans les quatre d'étude.

Les pontes récoltées ont été conservées individuellement dans des tubes en verre numéroté, et bouché du coton fin pour permettre une aération. Le matériel ainsi préparé est mis aux conditions ambiantes de laboratoire (Fig.33).

Le matériel biologique préparé est contrôlé quotidiennement. L'éclosion des chenilles et l'émergence des parasitoïdes sont notées au cours du temps.



Figure 33. Protocole d'étude des pontes

2.2.2 Mensuration des pontes et des rameaux supports

Les mesures des longueurs des pontes récoltées ont été effectuées préalablement à l'aide d'un pied à coulisse électronique (Fig.34). Pour les quatre stations, nous avons pris en considération les diamètres des rameaux supports. Ceci nous permet de réaliser une comparaison des moyennes entre les pontes et de tirer les corrélations possibles entre la longueur et le nombre d'œufs des femelles pondeuses et le diamètre des rameaux.

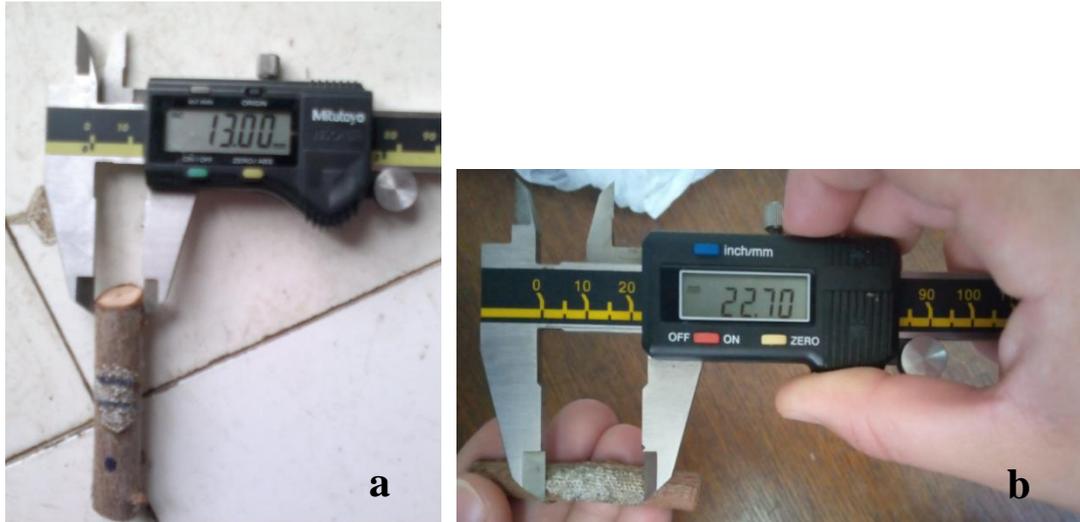
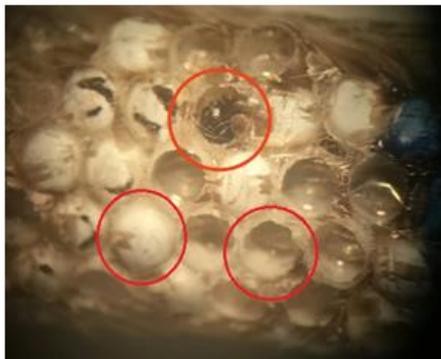


Figure 34. Mensuration de la longueur de ponte et le diamètre de rameau de cèdre de l'Atlas (a : Diamètre du rameau support ; b : longueur des pontes)

2.2.3 Dénombrement des œufs

A la fin des éclosions des chenilles et de parasitoïdes, nous avons nettoyé les pontes des écailles protectrices à l'aide d'un papier adhésif. Pour quantifier le nombre total des œufs par ponte, donc en multipliant le nombre d'œufs par rangée longitudinale par le nombre d'œufs en forme circulaire pour faciliter l'opération et avoir des données fiables. Le dénombrement des œufs est conduit sous loupe binoculaire (Fig. 35).



Œufs non éclos



Trous de sortie de la chenille

Trou de sortie de *Baryscapus servadeii*



Trou de sortie d' *Ooencyrtus pityocampa*



Trou de sortie de *Trichogramma embryophagum*

Figure 35. Trous d'émergence des chenilles et des parasitoïdes

2.3 Phénologie larvaire, nid d'hiver et procession de nymphe

2.3.1 Phénologie des stades larvaires

La récolte des nids a été conduite à la même date pour les cycles (2017/2018), (2018/2019). Pour chacune des stations d'étude, nous avons tiré au sort 8 arbres. Pour les arbres échantillonnés 2 nids d'hiver ont été prélevés. Pour chacune des colonies récoltées propre à chacune des stations retenues. Les effectifs des chenilles sont classés par stade larvaire ce qui nous a permis de définir les variations phénologiques parcellaires au cours des années d'étude.

2.3.2 Mesure des stades larvaires et nymphal

Les mensurations des longueurs et de largeurs maximales des capsules céphaliques des différents stades larvaires ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse électronique.

Après l'enfouissement des chenilles du dernier stade, des nymphes mâles et femelles provenant des quatre stations d'étude ont été pesées et mesurées (Fig. 36).



Figure 36. Mensuration et poids des chrysalides

2.3.3 Caractéristiques écologiques et biométriques des nids d'hiver

- **Dénombrement des nids d'hiver**

Pour étudier la dynamique des infestations, un dénombrement des nids d'hiver a été effectué dans chacune des parcelles entre les mois de mars et avril pour les cycles considérés. La méthode d'échantillonnage aléatoire systématique a été adoptée. Pour cela nous avons choisi une parcelle de 1 ha, située nord de chaque station renfermant des peuplements purs de cèdre de l'Atlas. Nous avons échantillonné systématiquement 1 arbre sur 5 pour toutes les stations considérées. Pour chaque arbre, nous avons noté la hauteur des arbres, la hauteur de la couronne, le nombre de nids et leur exposition sur l'arbre. Les mesures de la hauteur des nids et des arbres ont été déterminées par la technique forestière « croix de bucheron ».

Pour étudier la relation entre le nombre de la population et l'effectif des nids tissé par les larves 3^{ième} stade, chaque station est divisée en 2 parcelles, une témoin (sans aucun piège) et l'autre caractérisée par l'installation de deux pièges sexuels.

Une comparaison des moyennes du nombre des nids de 100 arbres échantillonnés/station entre les années 2017 et 2018.

Les résultats de l'année 2017 seront corrigés à l'aide de la formule d'Henderson et Tilton qui prend en compte les niveaux de population de l'année 2016 dans les parcelles traitées par mass-trapping et dans les témoins.

Selon la formule d'Henderson et Tilton :

$$\text{Efficacité} = \left[1 - \frac{A*b}{B*a} \right] / 100$$

Avec : A= Nombre des nids dans la parcelle témoin avant l'installation des pièges à phéromone

B= Nombre des nids dans la parcelle témoin après l'installation des pièges à phéromone

a= Nombre des nids dans la parcelle traitée avant l'installation des pièges à phéromone

b= Nombre des nids dans la parcelle traitée après l'installation des pièges à phéromone

- **Taille des nids et effectifs des colonies**

A partir de la récolte des nids qui a été effectuée pour déterminer la phénologie larvaire, durant les cycles de 2017 à 2019 et pour chacune des stations, nous avons tenté de définir :

La biométrie des nids et le nombre de chenilles par nid. Pour cela, pour chacun des nids récoltés, nous avons mesuré son diamètre (Fig. 37).



Figure 37. L'ouverture et examen des nids d'hiver

- **Etude de la répartition spatio-temporelle des processions de nymphose**

Entre le 23/02 et 20/04 pour 2017 et le 22/02 et le 20/05 pour 2018, correspondant à la période de départs en procession de nymphose des chenilles, nous avons compté les nids ouverts, nous avons suivi la même méthode de dénombrement des nids (La méthode d'échantillonnage aléatoire systématique).

2.4 Les facteurs de mortalité

2.4.1 Impact des parasitoïdes embryonnaire

Pour évaluer l'importance des antagonistes d'ooparasitoïdes, les pontes, récoltées à la fin juillet de chaque année considérée ont été suivi minutieusement pour évaluer les émergences aux conditions ambiantes de laboratoire (Température : $22 \pm 2^\circ\text{C}$, Humidité : $65 \pm 5\%$). Le matériel biologique est contrôlé quotidiennement et les émergences des parasitoïdes sont notées au cours du temps.

Après l'émergence des parasitoïdes et après avoir retirés, les écailles de chaque ponte à l'aide d'un papier adhésif nous avons procédé à l'examen et l'analyse des pontes. La ponte est divisée en trois parties à l'aide d'un marqueur (partie supérieure, partie médiane et partie basale) selon l'orientation de la disposition des écailles (Fig.38).



Figure 38. Division de la ponte en trois parties

Les œufs éclos présentent une ouverture de forme arrondie, de couleur blanchâtre. Les œufs parasités prennent la couleur noirâtre, décelé quelques jours après la ponte. Les œufs éclos se caractérisent par des formes circulaires et se divisent en deux catégories. La première catégorie, c'est les orifices à gros diamètre représentant l'émergence des chenilles qui ont réussi leur développement larvaire, et parfois on observe des chapeaux noirs poilus facile à identifier qui présentent les chenilles mortes à l'éclosion. Cependant la seconde catégorie caractérise les œufs des parasitoïdes émergés et sont facilement reconnaissables par des trous d'émergences plus réduits que ceux des chenilles à l'éclosion. A l'intérieur de l'œuf, on retrouve souvent des restes de l'embryon de la chenille, ainsi que le méconium laissé par le parasitoïde

juste avant l'émergence. C'est ce méconium qui facilite l'identification de l'espèce de parasitoïde d'après la méthode présentée par Tsankov et al.(1996a). La forme de méconium est variable selon l'espèce. Le reste de l'espèce l'*Ooencyrtus pityocampa* est un disque plat et jaune tandis que celui de l'espèce *Baryscapus servadeii*, boule unique collée sur le chorion de l'œuf. L'émergence de *Trichogramma embryophagum* est caractérisée par des trous arrondis et plus réduits par rapport aux parasitoïdes précités. Cette dernière espèce se caractérise par un nombre variable d'un à trois trous de sortie par œuf. Les œufs non éclos sont intacts. Ces derniers ont été disséqués soigneusement à la fin des émergences à l'aide des épingles entomologiques sous une loupe binoculaire (Gr×25) afin d'établir la nature du facteur de réduction impliqué. Les œufs vides présentent des œufs stériles de couleur jaunâtre, généralement due à une morte embryonnaire. La seconde possibilité, l'œuf contient un parasite en diapause.

2.4.2 Facteurs de mortalité des populations de *T. pityocampa* au stade larvaire et nymphal

Pour évaluer les facteurs de mortalité des populations de *T. pityocampa* et quantifier leur action pendant la période s'étendant du l'éclosion au départ de procession de nymphose et l'émergence des adultes, un effectif de 60 nids ont été récoltés du 16 janvier au fin février au cours de deux cycles. Les nids ont été ouverts avec beaucoup de précautions. Des pupes de diptères et des parasitoïdes à l'intérieur des nids ont été notés. Chaque colonie est placée sur une couche épaisse de sciure dans des boites d'élevage transparentes de dimensions (26,5 x 13,5 x 7,5 cm) dont l'ouverture est couverte par un tissu très fin pour assurer une aération favorable et empêcher l'envol des parasitoïdes ayant agi avant la descente des chenilles en procession de nymphose et que se manifestent sous terre. Toutes les émergences sont contrôlées, identifiées et comptabilisées quotidiennement.

3 Méthodes d'analyses des données

Deux groupes de variables ont été pris en considération sur les sites prospectés : il s'agit des variables considérées sur l'arbre dans la cédraie et des variables liées à l'insecte afin de d'établir les relations possibles entre les deux.

Les variables considérées sur l'arbre hôte sont la taille de l'arbre et la hauteur de la couronne, le diamètre des rameaux support des pontes et l'exposition de l'arbre. Celles liées à l'insecte sont : la taille des pontes, la fécondité, la morphobiométrie des stades larvaires et des nymphes, le dénombrement des nids. Des analyses descriptives,

fréquentielles, régressions simples, des comparaisons des moyennes par des analyses de variance et des analyses multivariées se sont avérées nécessaires. De même des tests LSD petite différence significative

- **Régressions et corrélations**

L'analyse des régressions reste l'un des outils les plus couramment utilisés dans plusieurs domaines. L'objectif est de choisir un modèle afin d'établir une relation fonctionnelle conduisant à tirer d'éventuelles corrélations. L'analyse a été effectuée pour tirer les corrélations et déduire les équations qui décrivent significativement les relations entre le nombre d'œufs et la taille des pontes.

Le coefficient de détermination R^2 calculé, représentant la mesure de la proportion de la variable explicative par la variable à expliquer, évalue le degré d'association entre les deux variables et permet de juger la qualité de l'ajustement des points par la droite de régression. L'étude des régressions a été effectuée à l'aide du logiciel Excel.

- **Distribution fréquentielle**

L'analyse fréquentielle est l'élément de base de la statistique. Elle représente la méthode pratique de la description d'une population ou d'un échantillon et d'en procéder avant tout à une distribution de fréquence. Ceci dans le but de caractériser les populations dans leur ensemble et de présenter les données sous une forme synthétique et sans perdre l'essentiel de l'information contenue dans les valeurs de la variable à établir (Chakali, 2006). Les données sont classées, puis regroupées dans un nombre restreint de classes. En statistique on postule souvent que les valeurs des données sont calculées à partir d'une population ayant une distribution normale. Cette analyse a concerné la répartition des effectifs des mâles capturés dans les quatre sites d'étude selon les conditions environnementales.

- **Analyse de variance**

ANOVA est un test statistique permettant de vérifier que plusieurs échantillons sont issus d'une même population, et de tester les différentes significations entre les moyennes, des analyses à un et plusieurs facteurs ont été effectuées pour vérifier des facteurs contrôlés ayant des modalités sur les moyennes d'une variable quantitative. En nature, les variables sont complexes, nombreuses et des exemples où une seule variable explique un phénomène sont rares (Chakali, 2006). Toutes les analyses de variance ont été traitées avec le logiciel Statistica 6.0.

- **Analyse croisée**

L'analyse croisée dérive de l'analyse canonique, elle permet d'avoir des informations sur la relation entre deux variables prises en considération. Elle est représentée par une boîte de 50 % de variation de la population qui borde un point central, représentant la médiane ainsi que des étendues de variation de 50% en haut et en bas de la boîte. Cette analyse a été réalisée par le logiciel Statistica 6.0.

- **Classification hiérarchique des variables**

La Classification des variables est un ordre hiérarchique, représenté par un graphique linéaire avec des distances d'agrégation. L'objectif de cet algorithme est de rassembler des objets dans des classes de plus en plus large, en utilisant certaines mesures de similarités.

La classification hiérarchique a traité des variables environnementales (les stations, les longueurs de la couronne) et celles liées à la ponte de la processionnaire du pin (nombre des nids/ arbre, l'exposition des nids). Cette analyse a été traitée avec le logiciel Statistica 6.0

TROISIEME CHAPITRE

RESULTATS

1. Emergences des adultes mâles de *T. pityocampa*

1.2 Variation interannuelle des émergences

Le tableau 07 regroupe les effectifs des mâles adultes capturés de *T. pityocampa* dans les parcelles de piégeage pendant les années d'étude.

Tableau 07 : Analyse descriptive des captures de papillons mâles

| Année Station | Mâles adultes capturés | | | | | | | |
|------------------|------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | Station 1050 m | | Station 1200 m | | Station 1300 m | | Station 1400 m | |
| | P 1 | P 2 | P 1 | P 2 | P 1 | P 2 | P 1 | P 2 |
| 2017* | 46 | 34 | 50 | 19 | 18 | 18 | 18 | 10 |
| 2018* | 56 | 32 | 42 | 45 | 38 | 57 | 69 | 68 |
| 2019** | 14 | 4 | 10 | 11 | 21 | 20 | 23 | 44 |
| P | p= 0,0001*** | | | | | | | |

Afin de tirer des renseignements plus fiables, nous proposons de présenter analyse de comparaison des moyennes (Anova) des captures des adultes mâles qui met en évidence la signification temporelle entre les captures (Fig. 39). Cette variation interannuelle retrace une partie de la gradation de l'insecte en cédraie de Chréa.

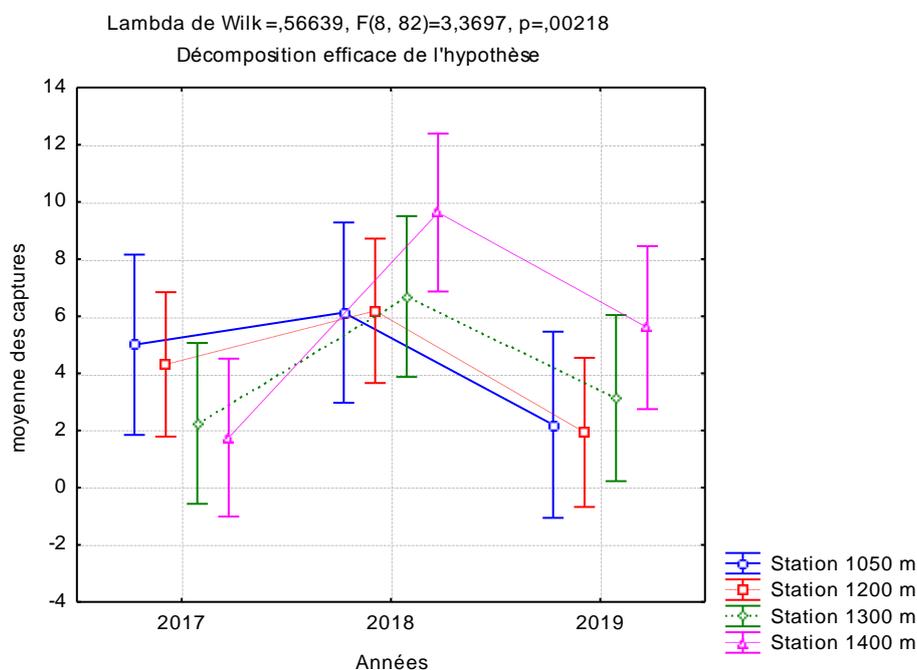


Figure 39. Comparaison des moyennes des émergences interannuelles de la population des adultes mâles dans les stations prospectées

1.2 Chronologie des émergences des adultes

Les courbes cumulatives temporelles des captures des adultes mâles de la processionnaire sont présentées dans la figure 40.

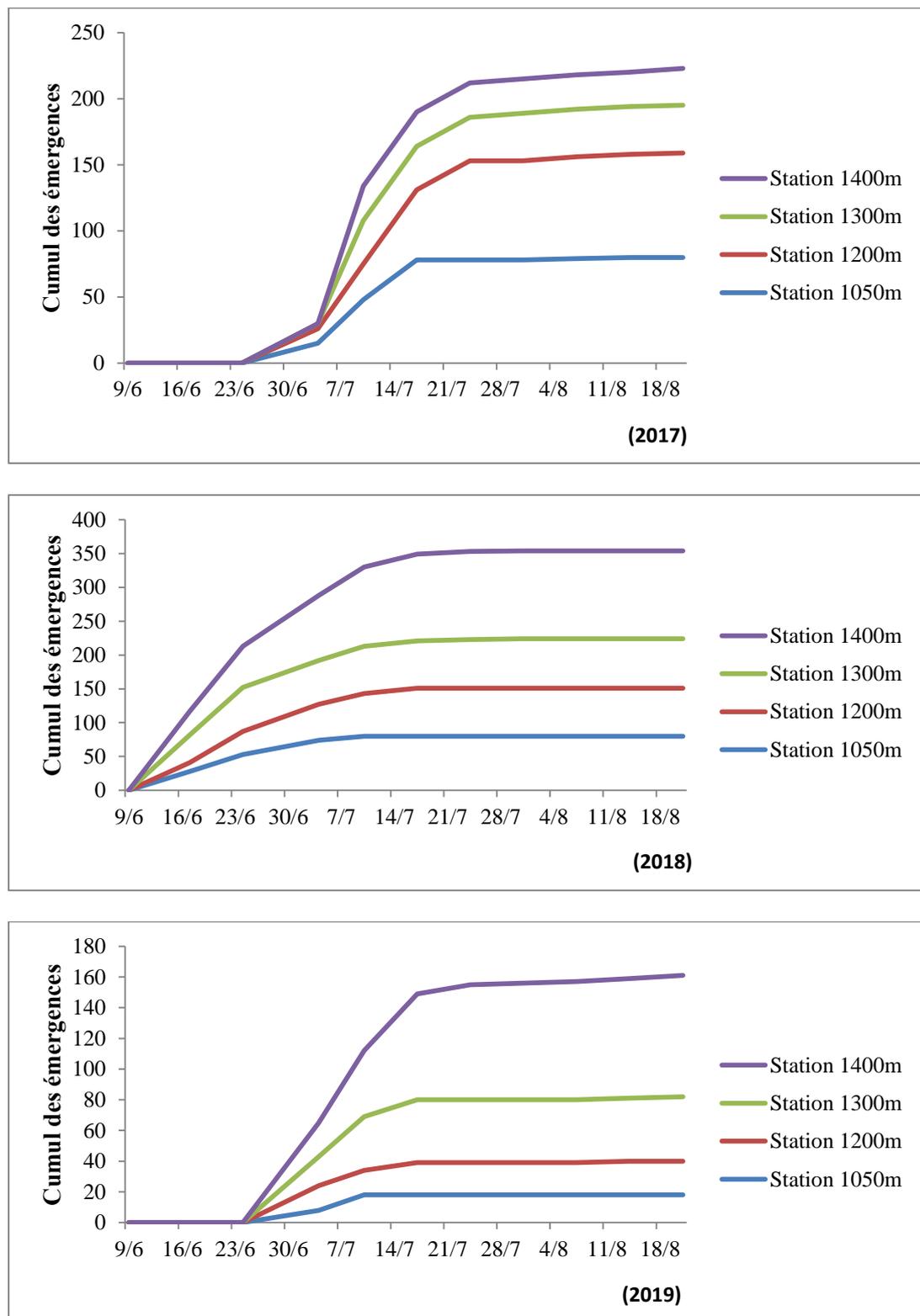


Figure 40. Courbes cumulatives des émergences des adultes mâles au cours du temps

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

Dans le cas des 4 stations réparties selon un plan altitudinal, 50% des adultes mâles ont émergé à la mi-juillet 2017. Les mêmes taux de 50% des émergences ont été notés à la fin de mois de juin 2018 et 2019. Un décalage plus précoce est noté pour les 2 dernières années de prospection.

1.3 Analyse fréquentielle des captures de mâles adultes

Cette analyse permet d'avoir une idée sur la répartition des effectifs des mâles capturés dans les quatre sites d'étude selon les conditions environnementales. Elle est regroupée dans le tableau 8.

Tableau 08. Catégories des captures dans les sites prospectés (cas de l'année 2017)

| Station 1050 m | | | | Station 1200 m | | |
|----------------------|----------------|---------------|-----------|----------------|---------------|-----------|
| Nbr des mâles/ piège | Nbr des pièges | Cumul observé | % observé | Nbr des pièges | Cumul observé | % observé |
| ≤ 15 | 5 | 5 | 62,5 | 4 | 4 | 50 |
| 15- 30 | 0 | 5 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| 30- 45 | 0 | 5 | 0 | 1 | 5 | 12,5 |
| 45-60 | 2 | 7 | 25 | 2 | 7 | 25 |
| ≥ 60 | 1 | 8 | 12,5 | 1 | 8 | 12,5 |
| Station 1300 m | | | | Station 1400 m | | |
| Nbr des mâles/ piège | Nbr des pièges | Cumul observé | % observé | Nbr des pièges | Cumul observé | % observé |
| ≤ 15 | 5 | 5 | 62,5 | 4 | 4 | 50 |
| 15- 30 | 1 | 6 | 12,5 | 1 | 5 | 12,5 |
| 30- 45 | 0 | 6 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 45-60 | 0 | 6 | 0 | 2 | 7 | 25 |
| ≥ 60 | 2 | 8 | 25 | 1 | 8 | 12,5 |

Le nombre des mâles capturés par piège varie entre 15 et 60 mâles capturés pour les 4 sites d'étude.

Dans le cas de la population évoluant dans les sites de Beni Ali et de la forêt noire, la première classe représente le taux le plus conséquent (62,5%). Un pourcentage de 50 %, soit 4 pièges installés dans les sites des glaciers et des 4 bancs capte des effectifs inférieurs à 15 mâles.

1.4 Longévité des adultes

Les durées de vie des adultes *T. pityocampa*, relatives aux 2 sexes a sont regroupées dans le tableau 9.

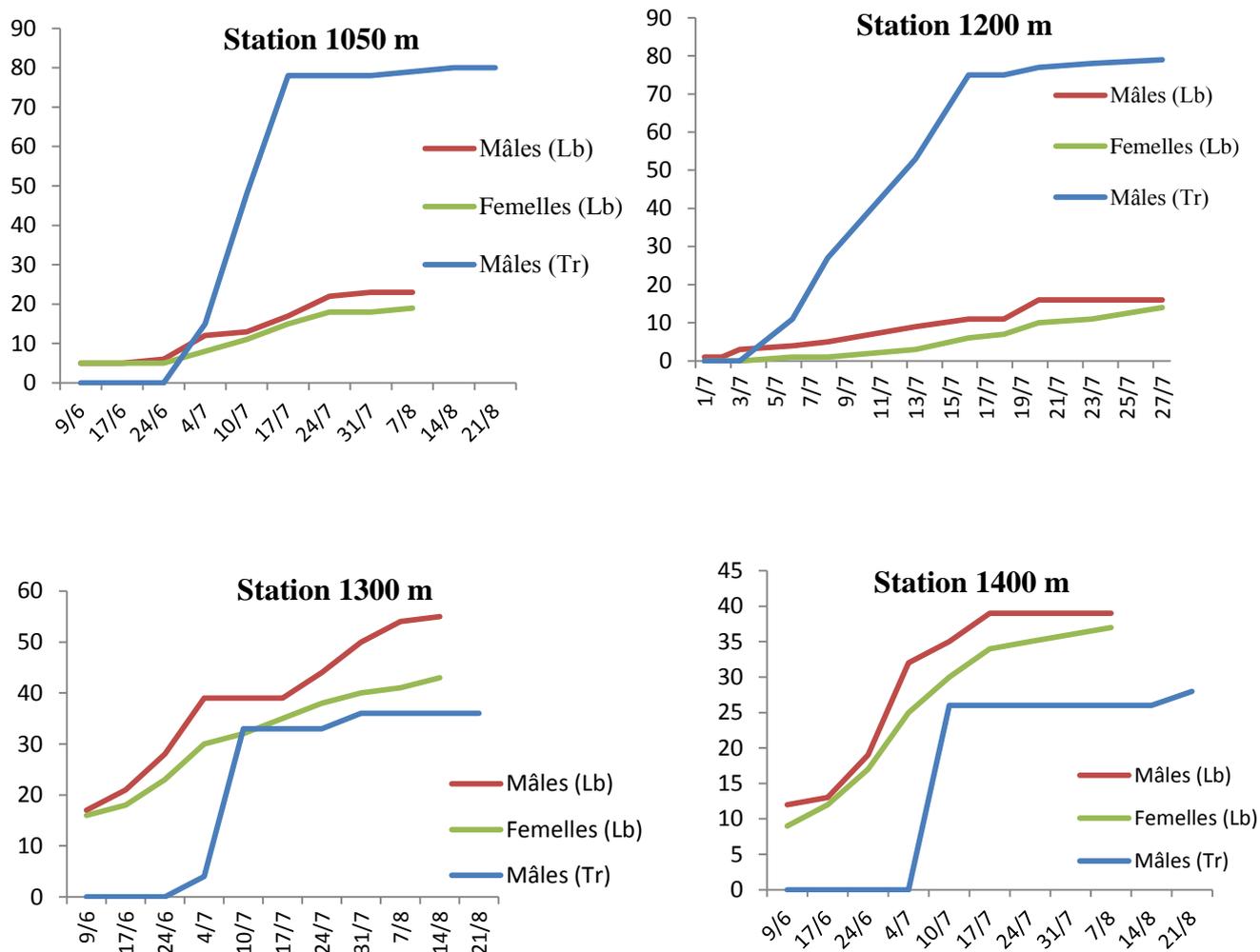
Tableau 09. Longévité des adultes mâles et femelles de *T. pityocampa*

| Adultes | | | |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Mâles (N=30) | | Femelles (N=30) | |
| Moyenne | Valeurs Extrêmes | Moyenne | Valeurs Extrêmes |
| 3,2 ± 0,7 | 2 - 6 | 2,8 ± 0,4 | 1 - 3 |

Dans les conditions ambiantes, la longévité des adultes est éphémère, elle varie de 2 à 6 jours pour les mâles et de 1 à 3 jours pour les femelles.

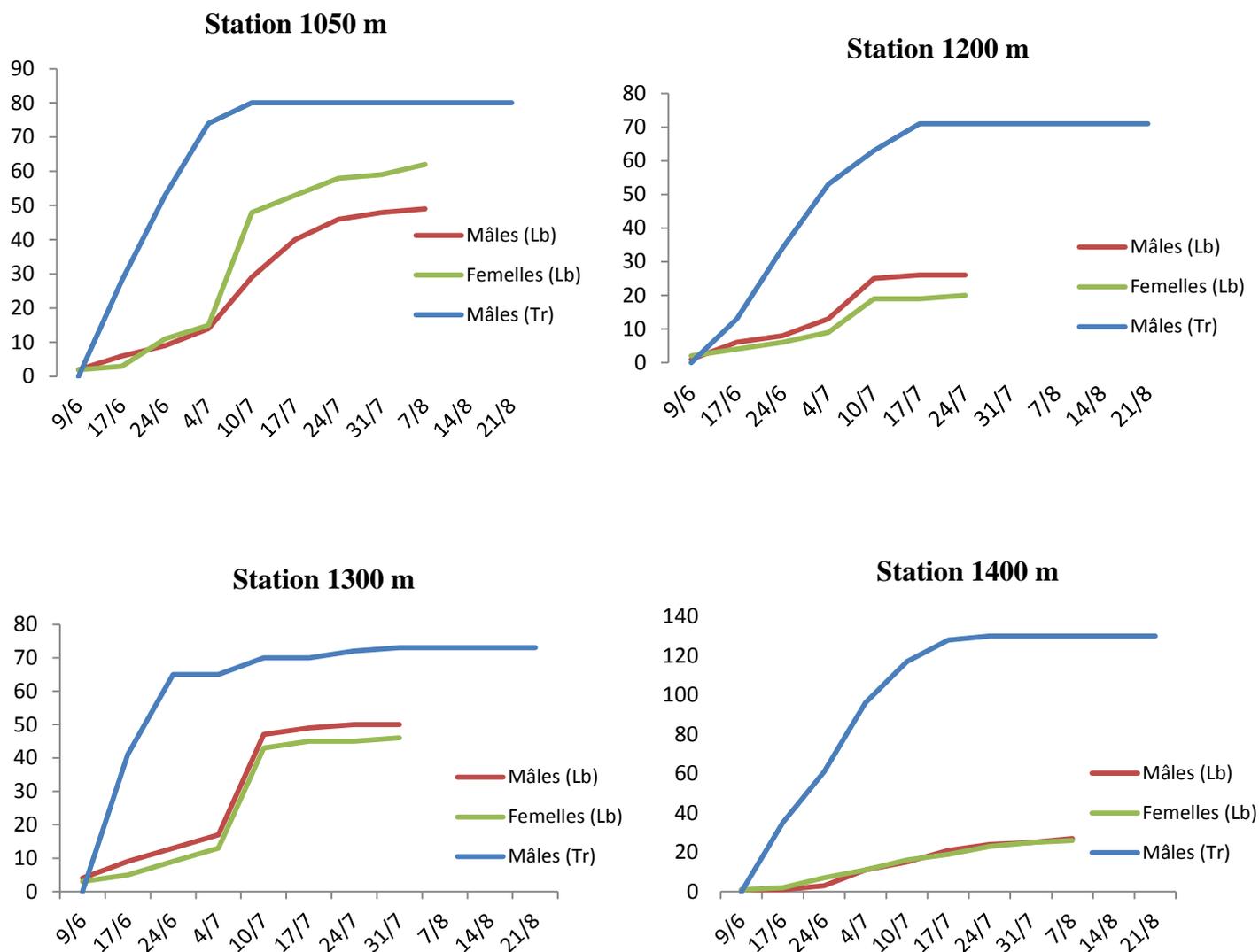
1.5 Rythmes des émergences des papillons mâles et femelles dans les conditions ambiantes (24 ± 1 °C. 65% HR)

Les figures 41 et 42 illustrent l'évolution temporelle des émergences des populations mâles dans les quatre stations prospectées et les émergences des sexes dans les conditions ambiantes de laboratoire



(2017)

Figure 41. Courbes cumulatives des émergences des adultes de la processionnaire du pin dans les conditions ambiantes de laboratoire et dans son aire naturelle au cours de l'année 2017



(2018)

Figure 42. Courbes cumulatives des émergences des adultes de la processionnaire du pin dans les conditions ambiantes de laboratoire et dans son aire naturelle au cours de l'année 2018

L'émergence des adultes a débuté dès le début du mois de juin dans les conditions de laboratoire et fin juin dans la nature, pour les sites de Beni Ali, de la forêt noire et des 4 Bancs durant l'année 2017. Cependant, dans le cas de site des glaciers, la date des émergences est notée plus tard, vers le début du mois de juillet. En ce qui concerne le

2^{ème} cycle (2018), pour les quatre sites prospectés, les papillons ont tendance à émerger vers la deuxième semaine de juin.

1.6 Biométrie des adultes de *T. pityocampa*

Les données des mensurations des longueurs des papillons sont consignées dans le tableau 10.

Tableau 10. Mensuration des longueurs des adultes mâles de *T. pityocampa* dans les 4 stations

| Adultes mâles | | | | | | |
|------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----|----------|
| Stations | Beni Ali (effectif= 50) | Glacières (effectif= 50) | Forêt noire (effectif= 50) | 04 Bacs (effectif= 50) | F | P |
| Longueur (mm) | 10,25 ± 1,64 (7,27-13,1) | 10,32 ± 1,28 (8,02- 12,8) | 11,22±2,48 (2,54- 15,5) | 10,92±2,59 (2,54- 16,2) | 1,2 | 0,0034** |

Les mensurations des longueurs des populations mâles en provenance des quatre sites prospectés présentent une variabilité entre leur taille. Les valeurs extrêmes sont variables d’une station à une autre. L’analyse de comparaison des moyennes (ANOVA) entre les quatre sites prospectés montre une différence hautement significative (p= 0.0034**).

La figure 43 illustre davantage la variabilité des données recueillies dans les diverses stations prospectées

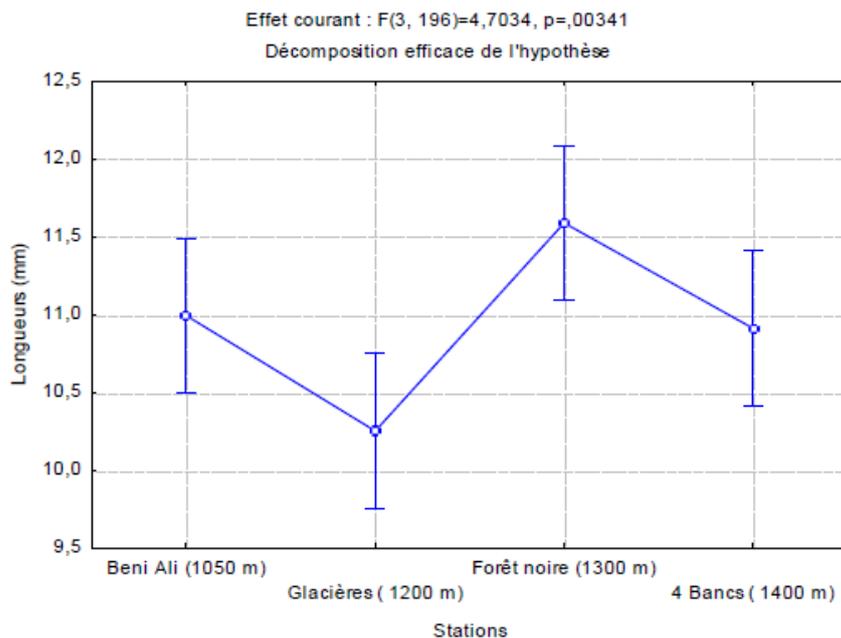


Figure 43. Comparaison des moyennes des longueurs des populations des adultes des 4 populations

1.7 Sex-ratio

Le sexage de la processionnaire a été effectué sur les populations de papillons des années 2017 à 2019. Le tableau 11 regroupe les résultats calculés au stade adulte. Il est à rappeler que le sex-ratio est obtenu par la relation nombre de mâles / nombre de femelles.

Tableau 11. Sex-ratio au cours du temps de *T. pityocampa*

| Année | Sex-ratio | | | |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|
| | Stations | | | |
| | Beni Ali (1050m) | Glacière (1200m) | Forêt noire (1300 m) | 04 bancs (1400 m) |
| 2017 | 0,7 | 1,12 | 0,88 | 1,89 |
| 2018 | 0,63 | 1,09 | 0,73 | 1,52 |
| 2019 | 0,72 | 1,2 | 0,82 | 1,69 |

Les valeurs des sex-ratios calculées sont en faveur des femelles dans le site Beni Ali et la forêt noire contrairement pour les sites des glaciers et 4 bancs, les valeurs sont variées respectivement entre 1,09 et 1,2 ; et 1,52 et 1,89 en faveur des mâles.

2. Caractéristiques biométriques des pontes

2.1 Analyse descriptive des pontes

Les données recueillies sur les pontes analysées sont consignées dans le tableau 13.

Tableau 13. Analyse biométrique des pontes en relation avec les sites prospectés

| Paramètres | Sites prospectés | | | | F calculées | Valeur de P |
|--|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------|----------------|
| | Beni Ali 1050 m | Glacières 1200 m | Forêt noire 1300 m | 04 bancs 1400 m | | |
| Effectifs des pontes | 30 | 30 | 30 | 30 | | |
| Longueur moyenne des pontes (mm) | 26,87 ± 6,34 (17,3- 48,92) | 26,74 ± 5,89 (17 – 40,3) | 24,05 ± 5,04 (12,92- 34, 01) | 23,59 ± 4,26 (17,03- 31,13) | 2,36 | 0,075* |
| Diamètre moyen des rameaux support (mm) | 3,42 ± 1 (1,39 – 5,38) | 4,5 ± 1,1 (2,43- 7,18) | 4,13 ± 1,06 (2,75- 6,52) | 3,7 ± 1,07 (2,2– 6,63) | 4,6 | 0,005** |
| Nombre moyen des rangés d’œufs/ponte | 6 ±1, 27 (2-9) | 8±2 (4-12) | 7 ± 1,7 (5 – 11) | 6 ± 2 (4- 11) | 4,3 | 0,007** |
| Effectifs des œufs | 5016 | 5333 | 3809 | 4374 | 4,6 | 0,005** |
| Moy/ ponte ± SD | 209±30 | 197,5±39,5 | 181, 38± 38 | 174,96± 35,14 | | |

A la première lecture, tous les paramètres testés, présentent une signification à des variables. La comparaison des moyennes des longueurs des pontes et des diamètres

des rameaux choisis pour la fécondité des femelles montre que ces deux paramètres sont plus conséquents dans les sites d'altitude de Beni Ali et la station glacière. Le nombre de rangés des œufs confectionnés par la femelle varie entre les quatre sites. Il varie de 5 et 11 dans la forêt noire et se limite entre 2 et 9 pour la population de Beni Ali ($p=0,007^{**}$).

Quantitativement, la fécondité chez les femelles en provenance du site de Beni Ali et des glacières est plus conséquente et hautement significative par rapport à la population de forêt noire et 4 Bancs ($p=0,005^{**}$).

2.2 Analyse fréquentielle des diamètres du rameau support des pontes

La répartition des diamètres des rameaux support du matériel biologique récolté dans les sites de la réserve de biosphère du Parc National de Chréa et des rangés d'œufs effectués par les femelles de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas sont illustrées dans les figures 44 et 45.

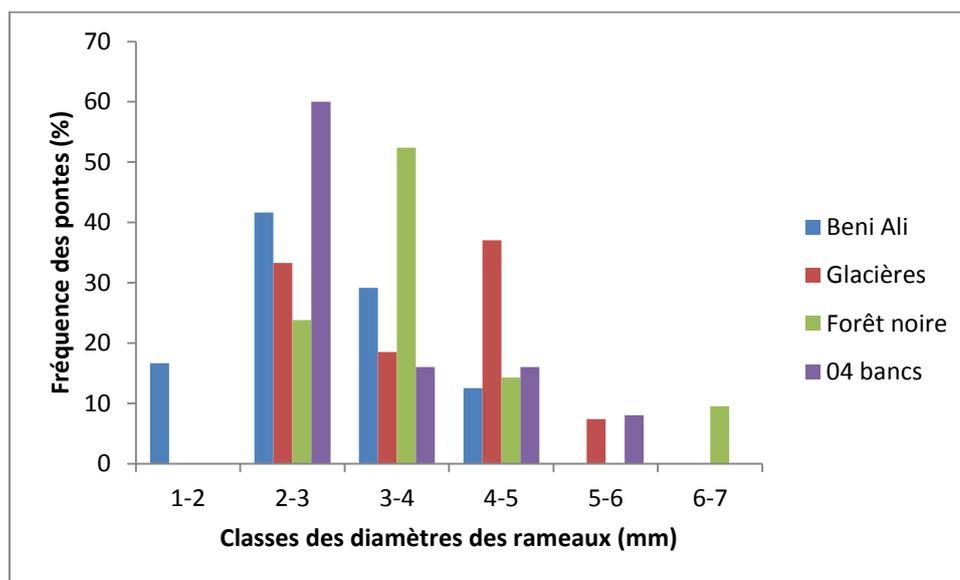


Figure 44. Distribution des pontes de *T. pityocampa* par classe de diamètre des rameaux

L'analyse fréquentielle de ce paramètre met en évidence six classes pour les quatre sites d'étude avec une probabilité hautement significative ($p=0,005$).

Les diamètres des rameaux supports des pontes en provenance du site de Beni Ali varient entre 1 et 4 mm, dont 40% appartiennent à la classe allant de 2 à 3mm. Dans le site prospecté dans la forêt noire, les diamètres mesurés varient entre 3 et 7 mm avec plus de 50% de l'effectif de la classe de 3 à 4mm. Dans le site des 4 bancs, les

pontes sont concentrées davantage (60%) sur des diamètres de la classe de 2 à 3 mm. Pour les autres catégories de diamètres, très peu de femelles pondent leurs œufs.

2.3 Analyse fréquentielle de rangés d'œufs

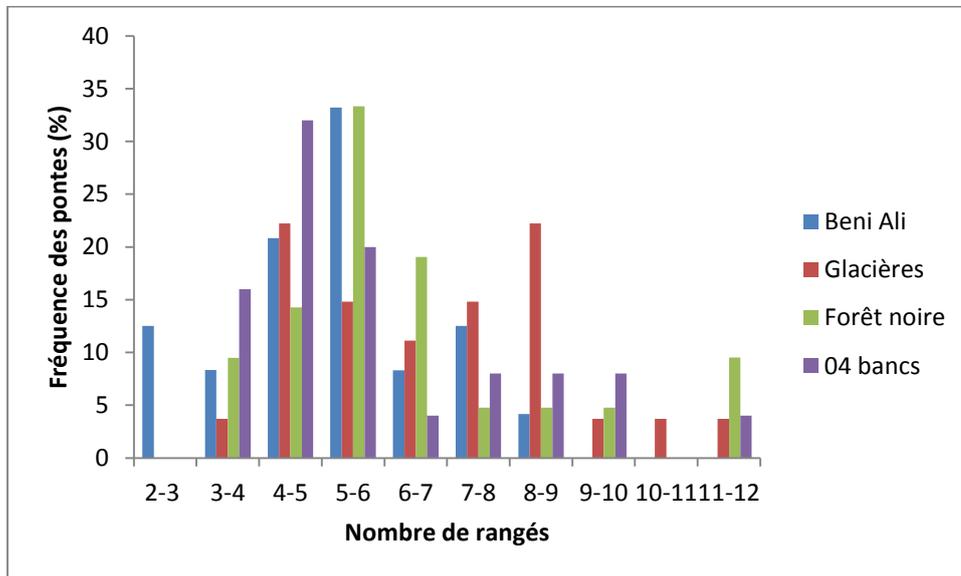


Figure 45. Distribution des pontes de *T. pityocampa* par classe de rangées d'œufs

Le nombre de rangées d'œufs quantifiées varient entre 2 et 9 pour la station de Beni Ali et de 3 à 12 pour les trois autres stations. Ces résultats restent très discutables et son sous l'égide des variables environnementales.

Les données recueillies se distribuent en 7 catégories pour la station Beni Ali, 8 pour les sites de la forêt noire et les 4 bancs et 9 catégories pour la station glacières.

Si nous considérons les classes établies, 35 % de la population des sites de la forêt noire et des 04 bancs, effectue des pontes sur 5 à 6 rangées. A Beni Ali, l'intervalle de 4 à 5 rangées représente 32 % de l'effectif total. Pour les autres catégories, le taux calculé ne dépasse pas 20 % de population considérées. Seule la classe de 8 à 9 rangés la population évoluant dans le site des glacières, représente un taux de l'ordre de (22 %).

Si nous considérons l'analyse croisées de la figure 46 conduite entre le diamètre et le nombre de rangées, une parfaite relation est notée pour le matériel biologique pris en considération.

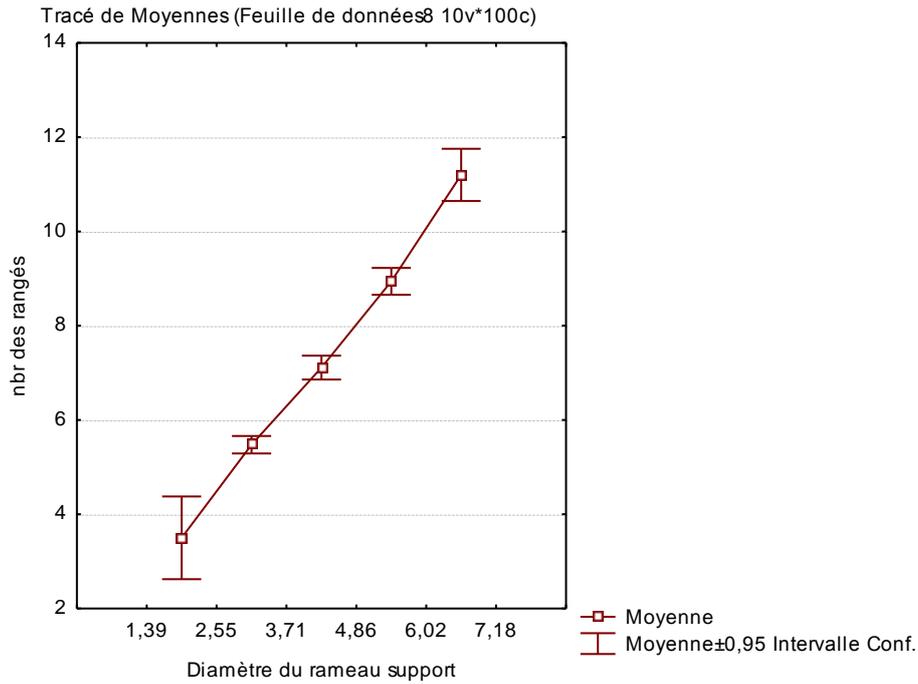


Figure 46. Distribution du nombre des rangés en fonction des diamètres du rameaux support

2.4 Analyse fréquentielle du nombre des œufs

Cette analyse permet d'avoir une idée sur la fécondité des femelles dans la cédraie du Parc de Chréa selon un plan altitudinale. La figure 46 illustre la distribution des classes des pontes de *T. pityocampa* (Cas représentatif du site de Beni Ali).

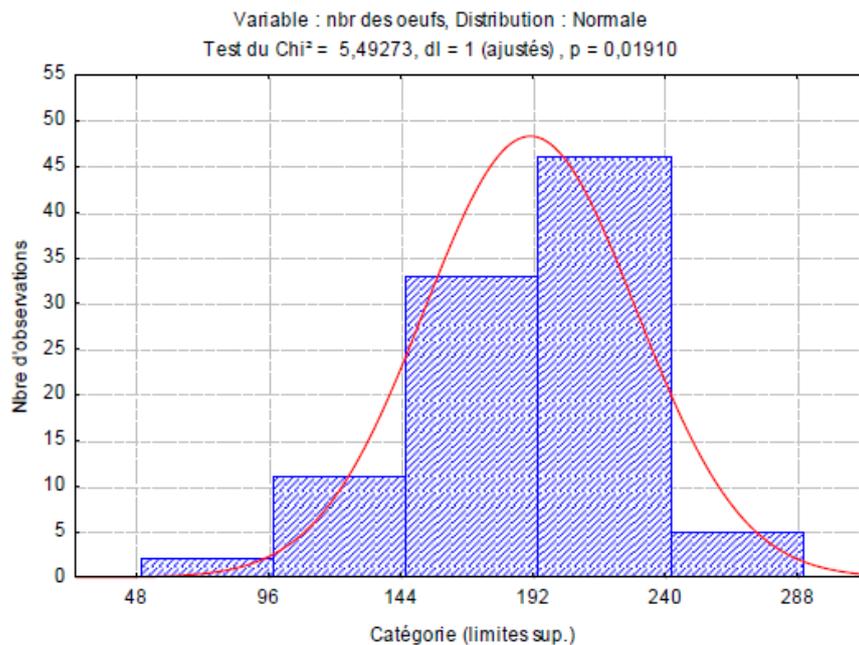


Figure 47. Analyse fréquentielle des effectifs des œufs.

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

Les femelles de la processionnaire en provenance du cèdre de l'Atlas à Chréa pondent un nombre variable compris entre 48 et 288 œufs. Une variabilité est notée entre les sites prospectés et même entre les femelles d'une même station.

Les données recueillies se distribuent en 5 catégories et mettent en évidence une probabilité significative ($p=0,01^*$). La première classe, se limite à 3 pontes dont le nombre d'œufs est compris entre 50 et 96. La seconde classe, représentée par 11 cas, regroupe les pontes ayant 96 à 144 œufs. La quatrième classe regroupe un maximum d'observations, soit 46 pontes, renfermant entre 192 et 240 œufs. La dernière classe représentée par 5 cas, regroupant les pontes ayant entre 240 à 288 œufs.

Afin de de mettre en évidence les significations possibles entre les stations, nous avons procédé un test LSD (Tableau 14).

Tableau 14. Comparaison des effectifs des œufs dénombrés dans les sites prospectés.

| Stations | (1) | (2) | (3) |
|-----------------|--------------------|-------------------|-------------|
| Beni Ali (1) | | | |
| Glacières (2) | P= 0,2662 | | |
| Forêt noire (3) | P= 0,0132* | P= 0,1329 | |
| 04 Bancs (4) | P= 0,0015** | P= 0,0287* | P= 0,554758 |

Une signification est marquée selon le gradient altitudinal.

2.5 La relation entre la longueur des pontes, le diamètre de leurs rameaux supports et le nombre d'œufs

La corrélation entre les longueurs, les diamètres des rameaux et le nombre d'œufs pour les quatre populations examinées est illustrée par les figures 48, 49.

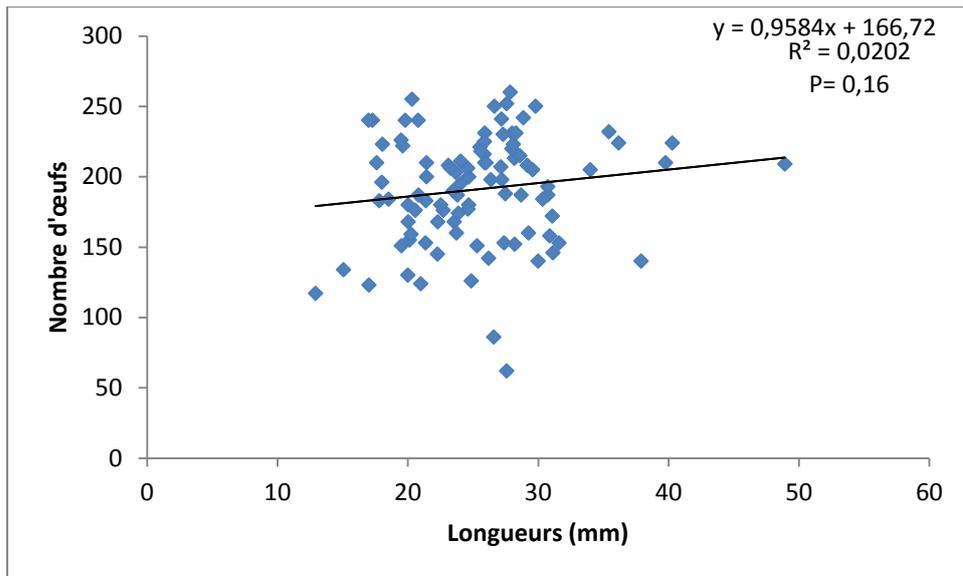


Figure 48. Relation entre les longueurs des pontes et les effectifs des œuf (Cas de la station Beni Ali)

La courbe linéaire ne présente pas la corrélation (R^2 0,16) entre la longueur des pontes de *T. pityocampa* et l'effectif des œufs pondus par les femelles. Les mêmes observations sont notées pour les autres stations.

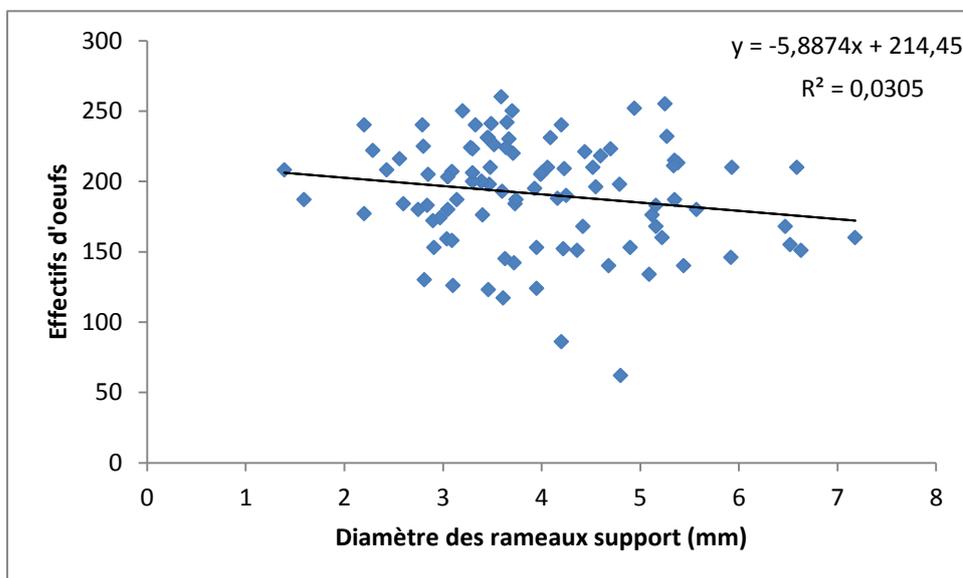


Figure 49. Relation entre le nombre d'œufs et le diamètre des rameaux supports des pontes.

De même que précédemment, La régression linéaire ne montre pas de corrélation entre les paramètres, diamètre du rameau et l'effectif des œufs. Les diamètres choisis

par les femelles pour émettre leurs œufs sont très variables. Ce choix rentre certainement dans la stratégie des pontes des femelles. Les conditions environnementales jouent vraisemblablement un rôle dans la distribution des pontes sur les rameaux de Cèdre de l'Atlas.

2.6 Chronologie des éclosions des pontes

Le tableau 15 regroupe les durées relatives aux éclosions des pontes de la processionnaire.

Tableau 15: Chronologie des éclosions des œufs de *T. pityocampa*

| Station | Cycle | Date de début des éclosions | Date de la fin des éclosions | Durée en jours |
|------------------------|--------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Beni Ali (1050 m) | 2017/2018 | 27 juillet | 25 août | 30 |
| | 2018/2019 | 05 août | 13 août | 8 |
| Glacières (1200 m) | 2017/2018 | 04 août | 28 août | 24 |
| | 2018/2019 | 06 août | 15 août | 10 |
| Forêt noire (1300m) | 2017/2018 | 06 août | 30 août | 24 |
| | 2018/2019 | 11 août | 20 août | 10 |
| 04 Bances (1400 m) | 2017/2018 | 10 août | 02 septembre | 24 |
| | 2018/2019 | 06 août | 01 septembre | 28 |

L'éclosion des pontes s'est échelonnée de la fin du mois de juillet jusqu'au début septembre. La fréquence des émergences est observée au cours du mois d'août. Elle reste un peu tardive pour la station en altitude des 4 Bances

2.7 Fécondité et facteurs de mortalité des œufs

2.7.1 Taux d'éclosion des chenilles impact des parasitoïdes

Les différentes catégories d'œufs examinées, 30 pontes récoltées dans chacun de site d'étude sont regroupés dans le tableau 16.

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

Tableau 16. Analyse descriptive des catégories des œufs

| Paramètres | Sites prospectés | | | | F calculées | Valeurs de P |
|--|------------------|------------|----------------|----------|----------------|-----------------|
| | Beni Ali | Glacières | Forêt noire | 04 Bancs | | |
| Altitude (m) | 1050 | 1200 | 1300 | 1400 | | |
| Effectifs des pontes | 30 | 30 | 30 | 30 | | |
| Nombre des œufs | 3299 | 3096 | 2145 | 2845 | | |
| éclos | 82±60 | 65±45 | 54±26 | 61±34 | 11,993 | 0,001** |
| Moy / ponte ± SD | | | | | | |
| Nombre des œufs | 449 | 384 | 325 | 365 | | |
| parasités | 9±8 | 8,2±5,7 | 7,8± 6,1 | 8 ±6,14 | 4,323 | 0,0418* |
| Moy/ponte ± SD | | | | | | |
| Nombre des œufs | 1268 | 1853 | 1339 | 1164 | | |
| non éclos | 48±27 | 65± 42 | 51±42 | 32±29 | 27,166 | 0,001** |
| Moy±SD | | | | | | |
| | 1067 | 1203 | 985 | 1005 | | |
| | 32± 23 | 52± 24 | 28±18 | 26±21 | 45,399 | 0,001** |
| • Effectifs des œufs parasités en diapause | | | | | | |
| Nombre des œufs | 3175 | 2917 | 2245 | 2542 | 0,06 | 0,8 |
| éclos | 39,19±33,5 | 25,5±33,44 | 32±30,1 | 29,05±32 | | |
| Moy / ponte ± SD | | | | | | |
| Nombre des œufs | 221 | 368 | 305 | 232 | 4,22 | 0,017* |
| parasités | 1±2,27 | 4,34±2 | 2,5±1,5 | 3±2,4 | | |
| Moy/ponte ± SD | | | | | | |
| Nombre des œufs | 2267 | 1298 | 1352 | 1229 | 2 | 0,14 |
| non éclos | 20,37±9,4 | 16,2±6,27 | 15,3±6,8 | 12,8±5,1 | | |
| Moy±SD | | | | | | |
| | 1969 | 1236 | 1310 | 1200 | 2,1 | 0,1 |
| | 24,92±30,4 | 24,08±13,5 | 25,8±14 | 23,5±12 | | |
| • Effectifs des œufs parasités en diapause | | | | | | |

2017/2018

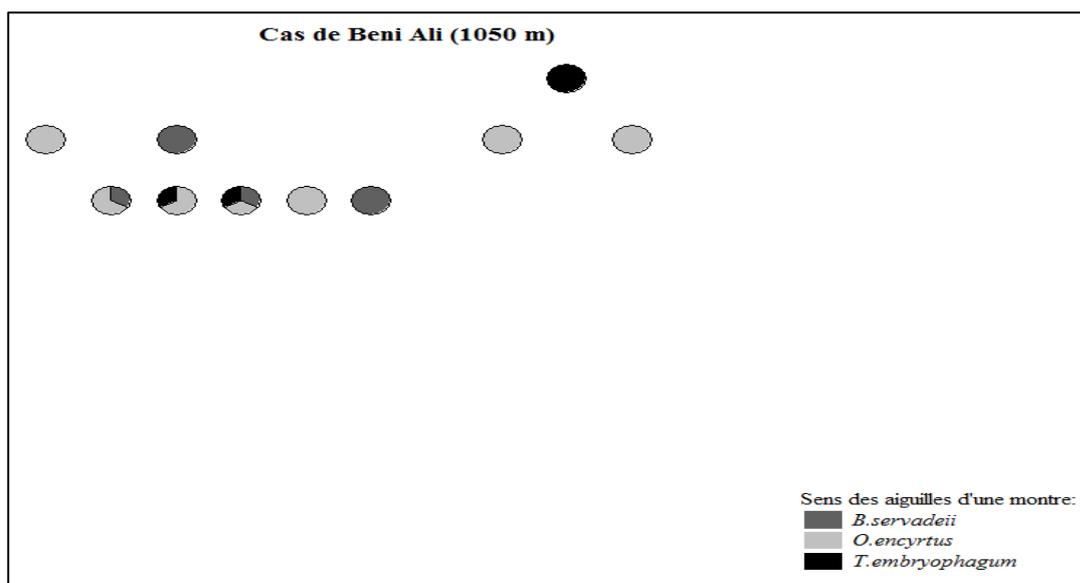
2018/2019

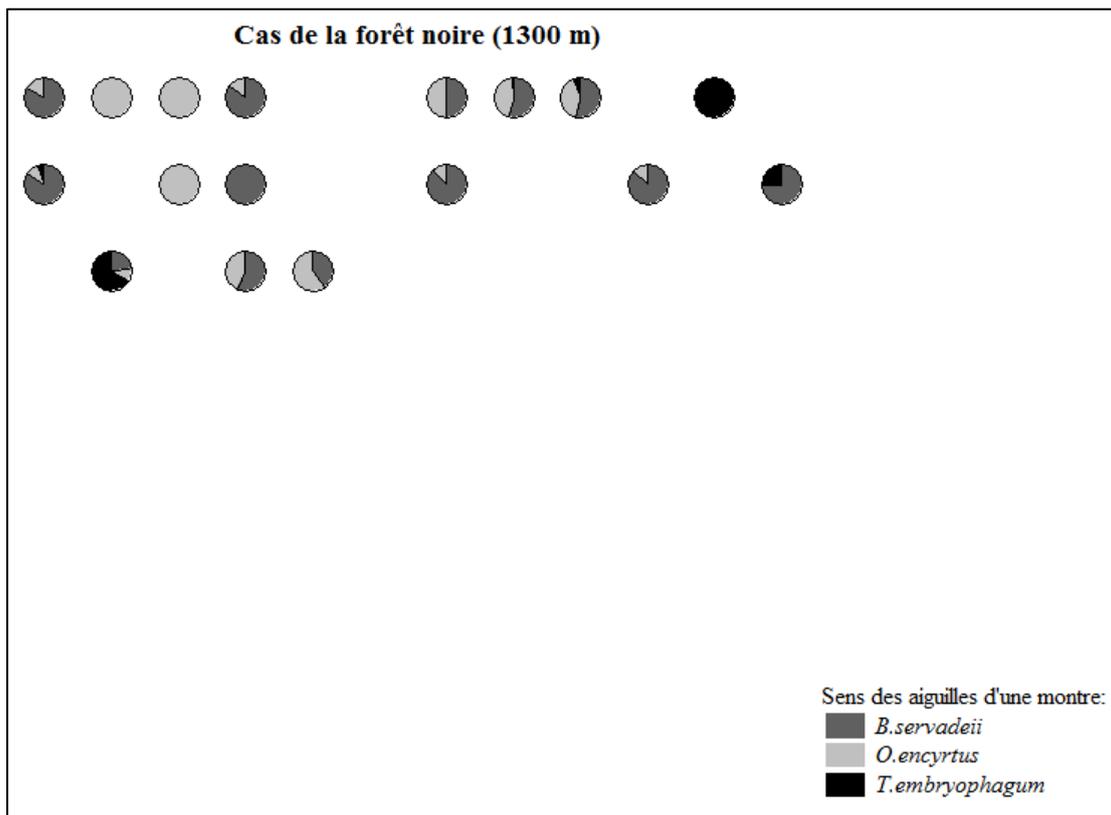
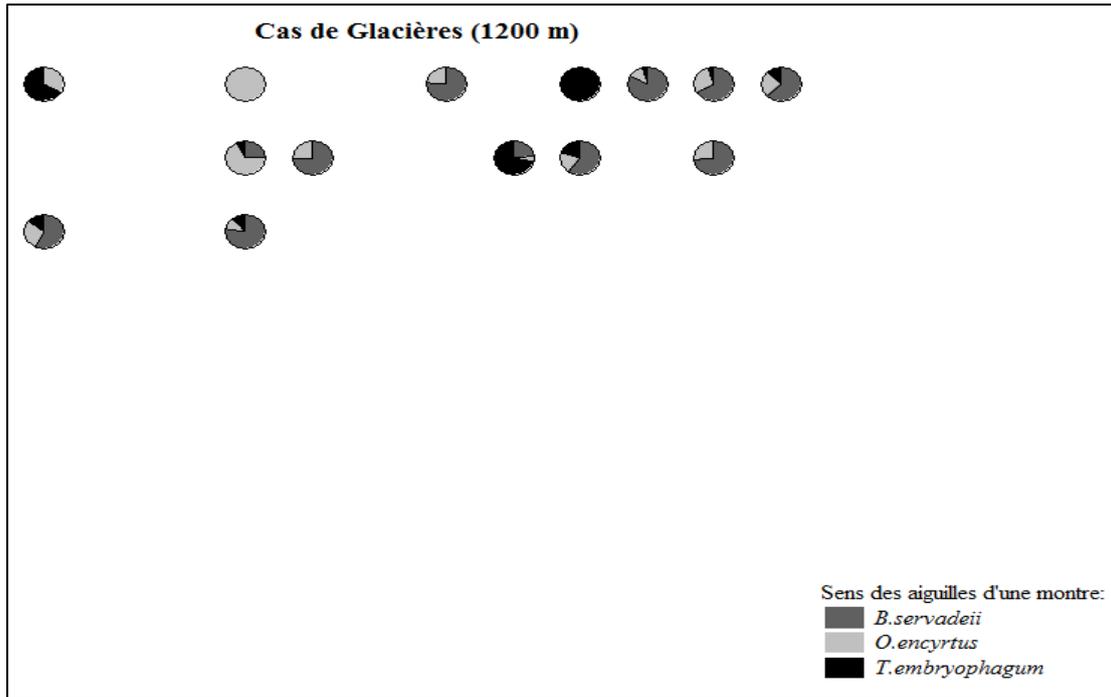
L'analyse des données embryonnaires du cycle (2017/2018) montre que la comparaison des moyennes des effectifs des œufs éclos et non éclos entre les quatre sites prospectés présente une signification variable pour les différentes catégories des œufs. Une plus forte éclosion est notée à partir du matériel biologique récolté à Beni Ali, malgré une fécondité plus conséquente pour la population des glaciers. Un taux qui dépasse 70% d'œufs disséqué renferme des parasitoïdes en diapause pour les quatre sites étudiés.

Comparativement au cycle (2018/2019), les résultats de l'ANOVA entre les différentes catégories d'œufs montrent qu'il n'existe aucune signification concernant l'effectif des œufs éclos, non éclos et parasites en diapause, par contre on note une probabilité significative pour la catégorie des œufs parasités. Les œufs non éclos sont presque deux fois plus conséquents dans le matériel en provenance du site de Beni Ali. Un taux dépasse 90% d'œufs disséqué renferme des parasitoïdes en diapause pour les quatre sites étudiés. Le nombre important des œufs non éclos peut s'expliquer par la récolte des pontes tardives en altitude qui donnent souvent des œufs non fertiles comme le rapporte Démolin (1969a).

2.7.2 Fréquence spécifique des parasitoïdes

Sur l'ensemble du matériel biologique examiné, la fréquence de présence des parasitoïdes dans les sites prospectés est illustrée par la figure 50.





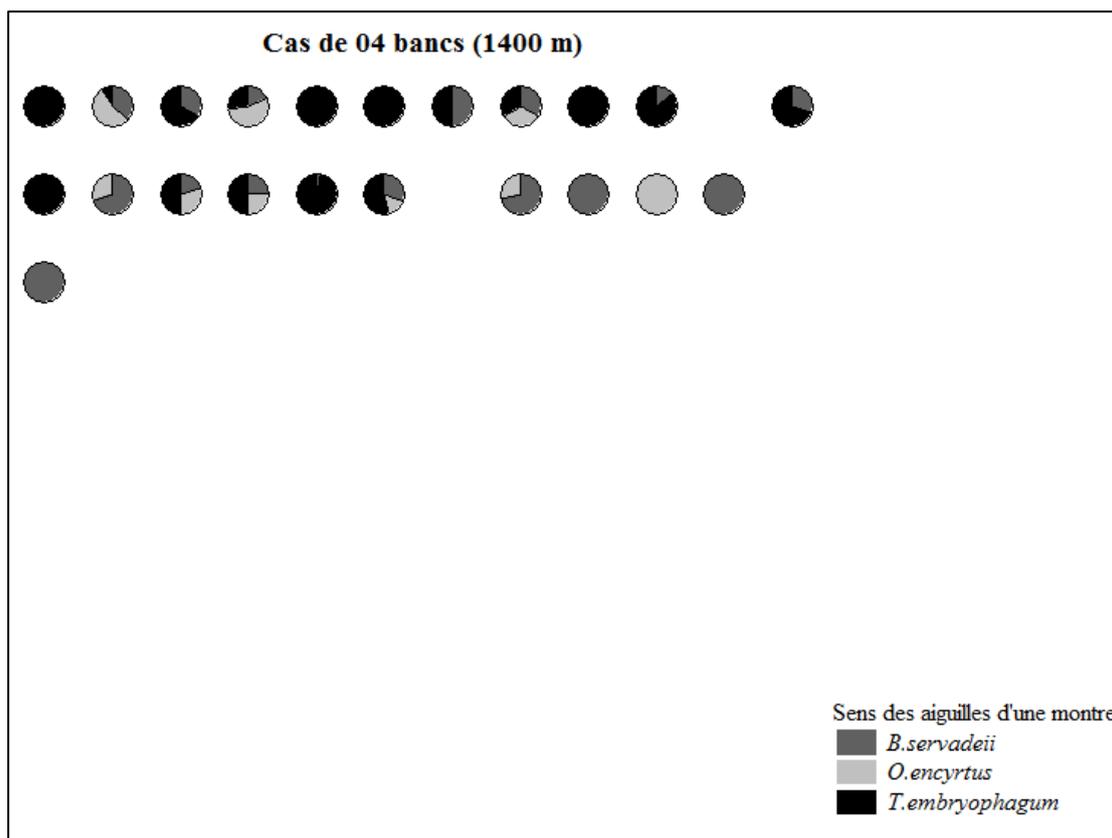


Figure 50. Taux de présence des espèces de parasitoïdes identifiés dans les divers sites prospectés

Dans les quatre sites prospectés, trois espèces de parasitoïdes des œufs ont été identifiées ; il s'agit de deux solitaires *Baryscapus servadeii* (Domenichini) (Hymenoptera : Eulophidae) et *Ooencyrtus pityocampa* (Mercet) (Hymenoptera : Encyrtidae). A cela s'ajoute, le polyembryonie *Trichogramma embryophagum* (Hartig) (Hymenoptera : Trichogrammatidae). Il est important de souligner qu'une ponte peut contenir, une, deux ou trois espèces de parasitoïdes simultanément avec taux variables, ce qui explique les valeurs de la fréquence.

Ooencyrtus pityocampa est l'espèce la plus présente dans le matériel biologique récolté à Beni Ali, glaciers et forêt noire. Par contre, les parasitoïdes, *Baryscapus servadeii* et *Trichogramma embryophagum* représentent des fréquences relativement plus limitées.

2.7.3 Emergence des parasitoïdes embryonnaires

Les effectifs des parasitoïdes émergés sont consignés dans le tableau 17.

Tableau 17. Importance et taux des parasitoïdes embryonnaires de *T. pityocampa*

| Variables considérées | Stations | | Beni Ali | | Glacières | | Forêt noire | | 04 bancs | |
|--|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| | Moy±SD (Min-Max) | Abondance relative (%) | Moy±SD (Min-Max) | Abondance relative (%) | Moy±SD (Min-Max) | Abondance relative (%) | Moy±SD (Min-Max) | Abondance relative (%) | Moy±SD (Min-Max) | Abondance relative (%) |
| Effectif des émergences de <i>Ooencyrtus pityocampae</i> | 2±1,2 (1-9) | 19 | 4,03±7,38 (3-33) | 27 | 7,26±14,1 1 (1-63) | 34 | 5,96±4,5 (1-17) | 18 | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'individus émergés avant la récolte des pontes • Nombre d'individus émergés après la récolte des pontes | 0,13±0,36 (1-3) | | 0,21±0,4 (3-10) | | 1,8±6,5 (1-10) | | 2,46±3,56 (2-9) | | | |
| | 3,1±2,1 (1-6) | | 3,1±5,1 (4-20) | | 5,8±12,3 (1-52) | | 1,8±1,3 (1-12) | | | |
| Effectif total des émergences de <i>Baryscapus servadeii</i> | 1,6±1,2 (2-5) | 52 | 1,9±4,02 (1-19) | 56 | 4,2±9,46 (1-47) | 60 | 1,65±3,7 (1-18) | 27 | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'individus émergés avant la récolte des pontes • Nombre d'individus émergés après la récolte des pontes | 0,36±0,7 (1-2) | | 1,4±1,5 (4-10) | | 2,1±5,7 (1-14) | | 2,2±1,5 (2-8) | | | |
| | 2,6±2,7 (2-4) | | 2,6±2,7 (2-15) | | 3,2±7,5 (1-42) | | 1,9±2,7 (2-15) | | | |
| Effectif total émergents de <i>Trichogramma embryophagum</i> | 12±8,1 (3-9) | 29 | 1,23±4,46 (1-25) | 17 | 0,73±1,78 (1-7) | 6 | 5,07±13,02 (1-68) | 55 | | |

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|----------------------|--|
| • Nombre des œufs parasités | 1 trou de sortie | 2,28±3,0 (1-8) | | 2,28±3,0 (1-20) | | 0,73±1,78 (1-7) | | 5,07±13,02 (1-68) | |
| | 2 trous de sortie | 0,2± 0,74 (1-4) | | 0,33± 0,6 (1-3) | | / | | / | |

Trichogramma embryophagum est l'espèce la plus commune sur le matériel biologique récolté à la station des 04 Bacs, où son effectif est à approximativement deux fois plus élevé que les deux autres parasitoïdes. Pour la population de Beni Ali, *B.servadeii*, *O. pityocampa* et *T. embryophagum* ont des effectifs très comparables. *B. servadeii* est l'espèce la plus dominante en provenance des stations, des glaciers et de la forêt noire. En majorité plusieurs adultes de *T.embryophagum* émergent du même trou de sortie. Très peu d'œufs possèdent deux trous de sortie. Il est à noter que les individus de *Barscapus.servadeii* ont une émergence précoce que l'*Ooencyrtus pityocampa* et *Trichogramma embryophagum*. Vraisemblablement, cette variabilité est en relation avec la date de récolte, la période des pontes et les conditions environnementales conditionnent la compétition interspécifique entre les parasitoïdes.

2.7.4 Répartition des parasitoïdes sur la surface des pontes

Pour les pontes récoltées dans les quatre sites prospectés, le dénombrement des œufs fait apparaître le taux de parasitisme le plus élevé pour les trois parties, il diffère sur la surface de la ponte. Les données relatives à la distribution des parasitoïdes de la processionnaire sur la surface des pontes sont représentées par la figure 51.

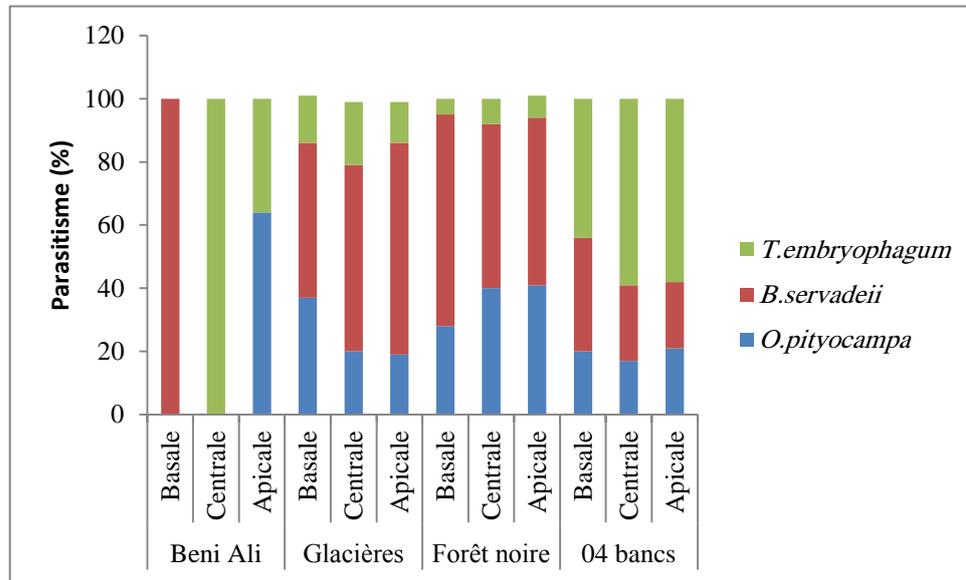


Figure 51. Distribution des parasitoïdes sur les pontes

Dans les quatre milieux prospectés, le nombre des œufs parasités par position est variable, les extrémités apicales et basale des pontes, faiblement recouvertes par les écailles protectrices sont plus recherchées par les parasitoïdes embryonnaires. Si nous considérons la population de Beni Ali, une hétérogénéité de distribution des parasitoïdes à travers les pontes est notée où le *B. servadeii* occupe uniquement la partie basale, *T. embryophagum* est dominant sur les œufs situés à la partie centrale. Vraisemblablement, les écailles protectrices et la forme de la ponte jouent un rôle déterminant vis-à-vis des auxiliaires.

2.7.5 Dynamique des émergences des parasitoïdes des œufs en relation avec les altitudes extrêmes

La chronologie des émergences quotidienne des populations des parasitoïdes est illustrée dans les figures 52, 53, 54.

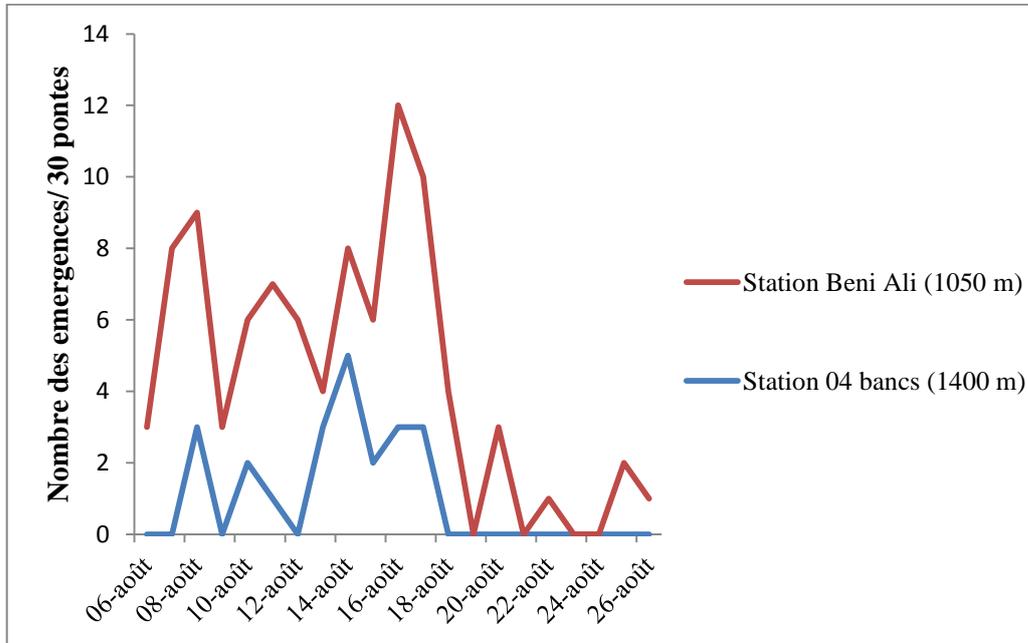


Figure 52. Courbe des émergences des adultes de l'*Ooencyrtus pityocampa*

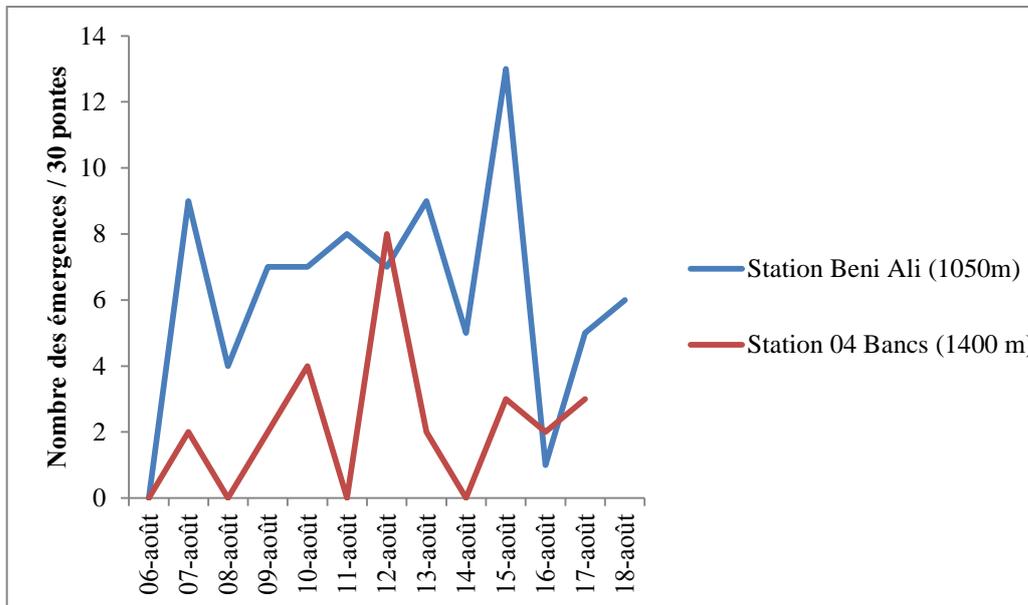


Figure 53. Courbe des émergences des adultes de *Baryscapus servadeii* au cours du temps

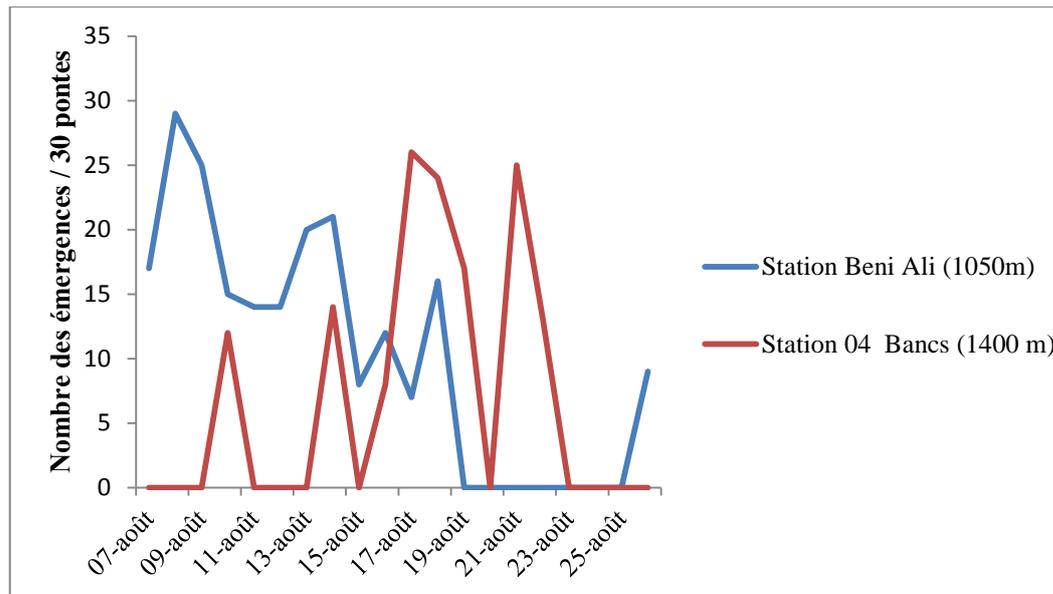


Figure 54. Courbe des émergences des adultes de *Trichogramma embryophagum* émergés au cours du temps

Il est important de souligner que les effectifs des parasitoïdes ont été comptabilisé sur l'ensemble du matériel biologique testé. Pour le site Beni Ali, la dynamique des espèces *O. pityocampa* et *B. servadeii* est plus conséquente et significativement par rapport aux populations notées dans le site des 4 bacs.

L'émergence des trois parasitoïdes s'est échelonnée au cours du mois d'août. Les trois parasitoïdes présentent des pics d'émergence temporelle variable.

3. Biométrie des stades larvaires

Les données des mesures des longueurs et des largeurs maximales des capsules céphaliques des stades larvaires sont regroupées dans les tableaux 18 et 19.

Tableau 18. Biométrie des stades larvaires de *T. pityocampa* (Cycle 2017/2018)

| Paramètres | | Sites prospectés | | | |
|--|----|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | Beni Ali | Glacières | Forêt noire | 04 bancs |
| Altitude (m) | | 1050 m | 1200 m | 1300 m | 1400 m |
| Effectifs des larves | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Longueur moyenne des stades larvaires (mm) | L1 | 2,1 ± 0,5 (1,5- 2,1) | 2,2± 0,6 (1,6-2,3) | 2,3 ± 0,8 (1,5 – 2,5) | 3,2 ± 1,1 (2- 4) |
| | L2 | 4,1± 1,2 (2,5- 6) | 3,25 ± 0,8 (2,8- 4,5) | 5,1+ 1,9 (4,5-6,5) | 8,4 ± 1,9 (4,2- 10,5) |
| | L3 | 9 ± 0,8 (3 -9) | 10,25± 0,1 (5-11) | 11,15 ± 2,8 (6,4 – 14) | 11,38 ± 0,11 (11-11,5) |
| | L4 | 20,6 ± 2,8 (17- 25) | 21,3 ± 1 (20-22,7) | 19,7 ± 4,2 (13.2 – 29) | 20,35± 0,85 (18,8-21,7) |
| | L5 | 27,9 ± 3,14 (23, 2- 31) | 27,8 ± 3,97 (24- 34,2) | 25,7 ± 9,6 (21,4 – 35,1) | 29,5 ± 2,6 (24-32,9) |
| Largeur maximale des capsules céphaliques (mm) | L1 | 0,5± 0,1 (0,3-0,7) | 0,8± 0,3 (0,5- 1,8) | 0,9 ± 0,7 (0,5- 2) | 1,1 ± 1 (0,8- 2) |
| | L2 | 0,8± 1 (0,7-1) | 1,5± 0,1 (0,8- 1,9) | 1,6+ 0,2 (1,2-2,2) | 1,5± 0,3 (1,3- 2,1) |
| | L3 | 1,4 ± 0,8 (1-1,4) | 1,9± 0,01 (1-2) | 2,18 ± 0,32 (1,8-2,8) | 2,25 ± 0,35 (1,9-2,6) |
| | L4 | 2,8 ± 1 (2- 2,7) | 2,86 ± 0,3 (2,34-3,1) | 3,5 ± 0,8 (2,1 – 4,9) | 3,5 ± 0,34 (2,61-3,5) |
| | L5 | 4,33 ± 0,85 (3- 5,1) | 4,27± 0,3 (4-4,8) | 4,7 ± 1,8 (3,5-6,4) | 4,69± 0,38 (4,01-5,01) |

Tableau 19. Biométrie des stades larvaires de *T. pityocampa* (Cycle 2018/2019)

| Paramètres | | Sites prospectés | | | |
|--|----|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | Beni Ali | Glacières | Forêt noire | 04 bancs |
| Altitude (m) | | 1050 m | 1200 m | 1300 m | 1400 m |
| Effectifs des larves | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Longueur moyenne des stades larvaires (mm) | L1 | 2,8 ± 1,2 (1,5 – 3,5) | 2,6± 1,5 (1,5-3,3) | 2,3± 2,1 (1-3,5) | 3,5 ± 1 (2- 5) |
| | L2 | 6,2+ 1,2 (4-6,5) | 3,75 ± 1,8 (2,75- 4,75) | 3,25 ± 1,5 (2,25- 3,5) | 9,4 ± 1,5 (4,8- 11) |
| | L3 | 12,15 ± 1,8 (8,4 – 14,5) | 10,2± 0,5 (4,5-11,5) | 8,1± 0,4 (3,5-10,5) | 14,37 ± 0,21 (11,5-15,2) |
| | L4 | 19,72 ± 1,6 (17 – 21,5) | 18,62 ± 5,56 (10-24,1) | 11,74 ± 9,83 (16,9-23,5) | 20,5± 2,43 (17,5-23,5) |
| | L5 | 29,68 ± 1,88 (27– 32) | 30,28 ± 3,12 (25- 34,1) | 29,06 ± 1,78 (26- 31,1) | 32,6 ± 3,22 (24,8-33,7) |
| Largeur maximale des capsules céphaliques (mm) | L1 | 0,8 ± 0,9 (0,3- 1,5) | 0,7± 1,4 (0,5- 1,6) | 0,5± 0,1 (0,2- 1) | 1,5 ± 1,01 (1- 2,2) |
| | L2 | 1,4+ 0,5 (1,1-2) | 1,6± 1,1 (0,9- 2) | 1,3± 1 (0,8- 1,5) | 2,05± 0,5 (1,5- 2,4) |

| | | | | | |
|--|----|----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | L3 | 2,5 ± 1,1 (1,25-3,5) | 2,1± 0,1 (1-2,5) | 1,6 ± 0,2 (1,2-2) | 3,4 ± 0,35 (2-4,2) |
| | L4 | 3,04 ± 1,05 (2-4,5) | 3,2 ± 0,9 (1,5-4,1) | 1,96 ± 1,6 (3,1-3,5) | 4,95 ± 0,57 (3,5-5,1) |
| | L5 | 4,72 ± 1,03 (3,1 – 6,1) | 4,4± 0,7 (3,1-5,2) | 4,5± 0,36 (3,9-4,9) | 5,7± 0,54 (4,6-6,2) |

Au cours de son développement, *Thaumetopoea pityocampa* passe par 5 stades larvaires, dont les trois premiers sont voraces et responsables de la construction des nids d'hiver. De même, au cours des 2 derniers stades, les chenilles s'alimentent considérablement la nuit en période hivernale et regagnent le nid, véritable radiateur solaire de la colonie. Au cours des 2 cycles les données biométriques recueillies restent comparables et leur taille dépend de la source d'alimentation.

4. Caractérisation et importance temporelle des nids d'hiver

4.1 Distribution interannuelle des nids d'hiver

Sur l'ensemble des arbres échantillonnés dans les quatre stations prospectées, une variation interannuelle est notée dans la distribution des nids d'hiver de la processionnaire (Tableau 20).

Tableau 20. Dénombrement des effectifs des nids d'hiver

| Année | Effectifs des arbres échantillonnés | Effectif total des nids | Nombre moyen de nids par arbre | Valeurs extrêmes |
|--------------|--|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 2017 | 400 | 730 | 1,43±1,32 | 0-8 |
| 2018 | 400 | 851 | 2,26±1,9 | 0-10 |
| 2019 | 400 | 4000 | 10 ±6,6 | 0-62 |

Une grande variabilité interannuelle entre les effectifs des nids/ arbre est notée au cours du temps. Le nombre moyen maximum de nids/arbre s'élève de 10 en 2019 avec des valeurs extrêmes de 0 et de 62. La valeur moyenne minimale enregistrée en 2017 se limite à 1,43 avec des valeurs extrêmes de 0 et 8. Une variabilité du nombre de nids est notée même entre les arbres échantillonnés. Une nette augmentation des niveaux de population est notée entre 2017 jusqu'au 2019 où la pullulation des chenilles a atteint un niveau très élevé. Cette variabilité du nombre reste sous l'égide de plusieurs facteurs notamment les facteurs climatiques qui conditionnent les gradations et l'action des parasitoïdes au cours du temps.

Le test ANOVA (Fig. 55) montre une différence interannuelle très hautement significative ($p= 0,0001$) entre les effectifs des nids au cours du temps.

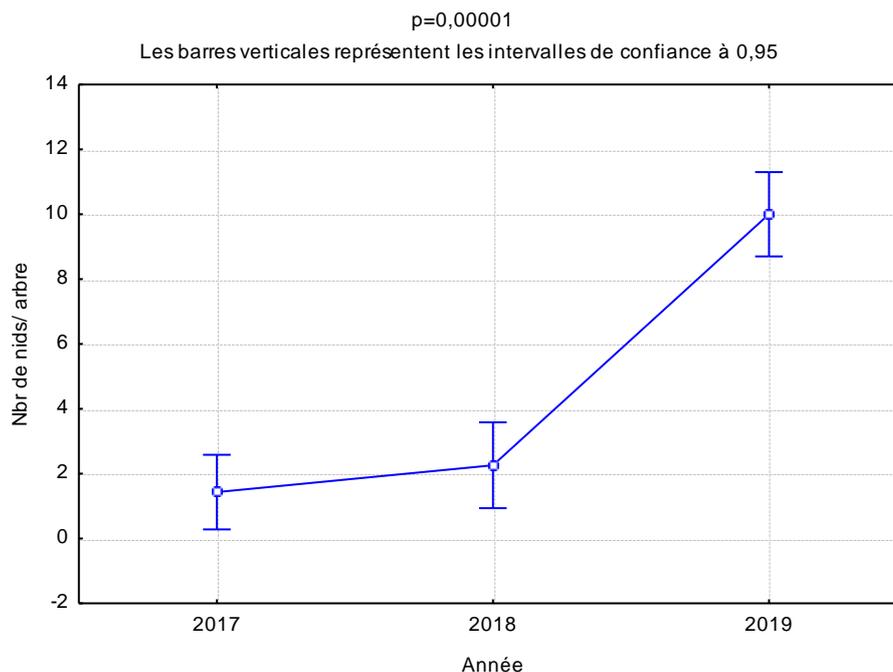


Figure 55 Comparaison interannuelle des moyennes entre les effectifs des nids d’hiver

4.2 Distribution altitudinale des nids d’hiver

Les données recueillies sur le dénombrement des nids durant deux cycles d’étude sont consignées dans le tableau 21.

Tableau 21. Caractéristiques morphobiométriques des nids d’hiver de la processionnaire.

| Cycle 2017/ 2018 | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|------------------|
| Paramètres | Sites prospectés | | | | F calculées | Valeur de P |
| | Beni Ali | Glacières | Forêt noire | 04 bancs | | |
| Altitude (m) | 1050 m | 1200 m | 1300 m | 1400 m | | |
| Effectif des arbres échantillonnés | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| Effectifs total des nids | 86 | 390 | 290 | 85 | | |
| Nbr moyen des nids/ arbre | 0,85 ± 1,14 (0-5) | 3,9 ± 2,6 (0- 10) | 2,9 ± 1,16 (0-6) | 1,24 ± 0,9 (0- 6) | 9,77 | 0,0002*** |
| Longueur moyenne des nids (mm) | 14,08 ± 4 (9,11 - 22,5) | 19,75 ± 5,12 (15,4 - 30) | 14,5 ± 2,9 (7-26,6) | 15,7 ± 3,2 (13,1- 23,6) | 1,4 | 0,25 |
| Largeur moyenne des nids (mm) | 9 ± 2,57 (6,4 - 15,5) | 12,1 ± 1,65 (9,6- 15,4) | 9,84 ± 1,13 (6,2-14,8) | 10,7 ± 2,03 (6,3 - 14,6) | 1,5 | 0,24 |
| Nombre moyen des chenilles /nids | 32 ± 10,1 (5-79) | 67,25 ± 18,2 (31-105) | 53,7 ± 28,74 (17- 145) | 71,8 ± 19 (36- 109) | 2,83 | 0,05* |

Cycle 2018 /2019

| Paramètres | Sites prospectés | | | | F calculées | Valeur de P |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|-------------|----------------|
| | Beni Ali | Glacières | Forêt noire | 04 bancs | | |
| Altitude (m) | 1050 m | 1200 m | 1300 m | 1400 m | | |
| Effectif des arbres échantillonnés | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| Effectifs total des nids | 1570 | 955 | 1130 | 345 | | |
| Nbr moyen des nids/ arbre | 15,7±10,21 (0-62) | 9,55 ± 5,6 (3- 27) | 11,3±4,13 (2-20) | 3,45 ± 2,6 (0-10) | 5,9 | 0,001** |
| Longueur moyenne des nids (mm) | 17,7± 5,44 (12,2-25) | 12,4±1,72 (10-14,5) | 16,2±2,84 (8-29) | 13,5±1,4 (10,5-15,52) | 1,04 | 0,4 |
| Largeur moyenne des nids (mm) | 9,86±3,47 (5-18) | 8,08±0,66 (7-9) | 10,5±2,84 (11-23) | 9,32±0,46 (8,3-10) | 1,7 | 0,2 |
| Nombre moyen des chenilles /nids | 51,8±27,36 (17-105) | 49±18 (30-73) | 54± 16,8 (20-110) | 40±10 (30-75) | 0,4 | 0,01* |

A la première lecture, le nombre moyen des nids/ arbre et le nombre moyen des chenilles/ nids présentent une signification variable entre les quatre stations et pour les deux cycles d'étude (Fig. 56). Cette variabilité traduit la progression selon un gradient verticale de *T. pityocampa* dans le Parc de Chréa.

La comparaison des moyennes des longueurs et des largeurs des nids présente une différence significative. Les nids construits sont comparables dans leur ensemble.

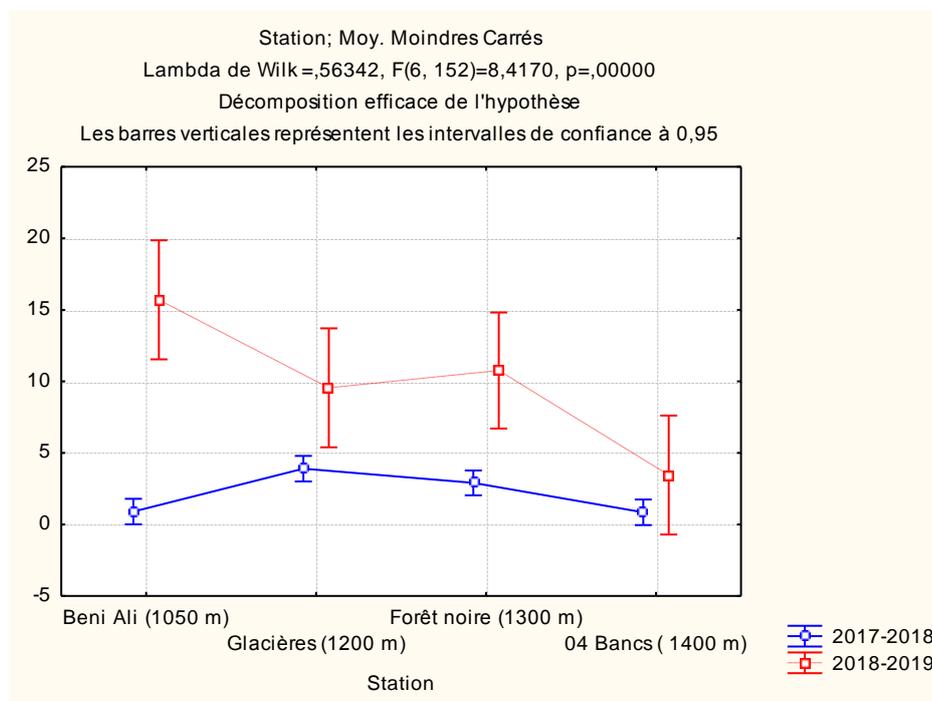


Figure 56. Distribution altitudinale des nids d'hiver

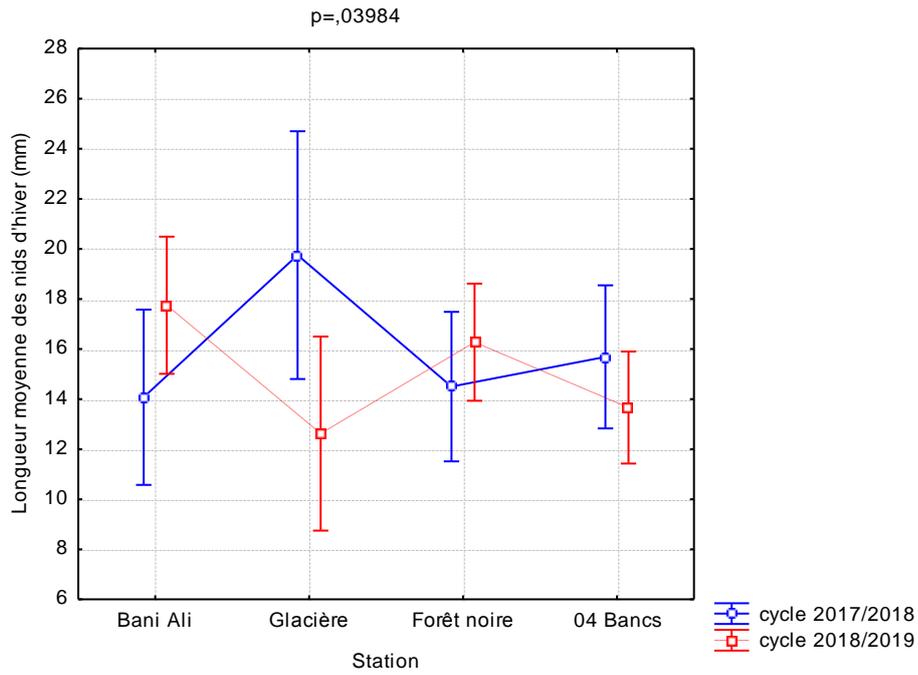


Figure 57. Comparaison des moyennes des longueurs des nids de quatre stations et pour les 2 cycles d'étude

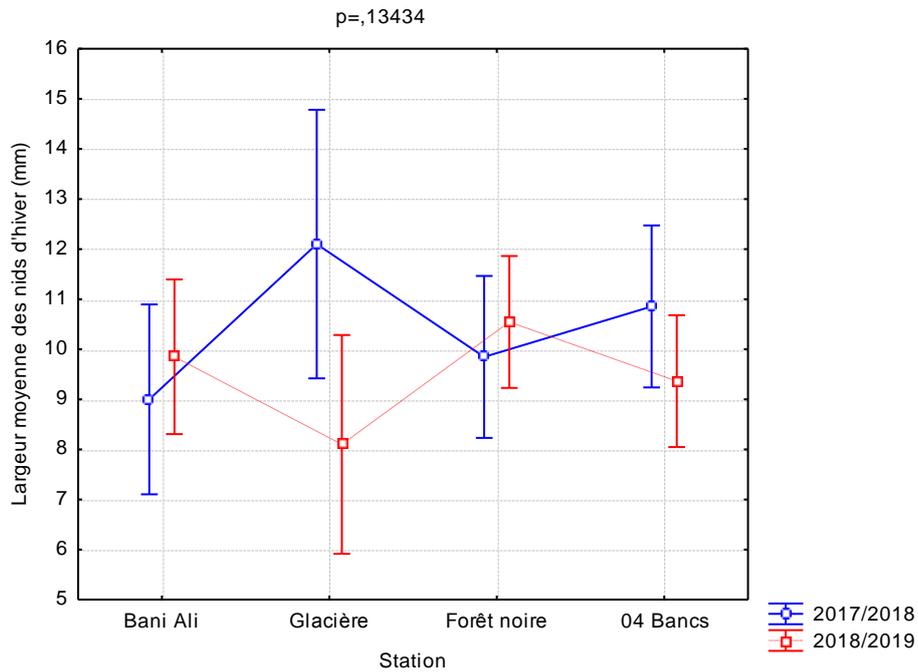


Figure 58. Analyse comparative entre les largeurs des nids de quatre stations

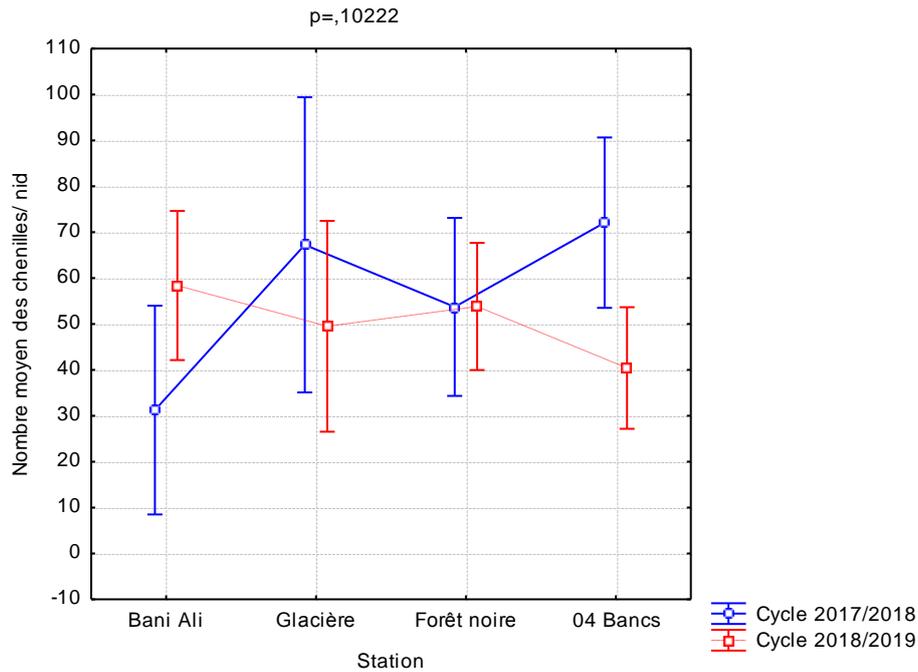


Figure 59. ANOVA relative aux nombres des chenilles dans les quatre stations d'étude durant les deux cycles

4.3 Répartition des nids d'hiver en fonction de l'exposition

Les figures 60 - 65 illustrent la distribution des nids dans chaque partie de la couronne des arbres échantillonnés.

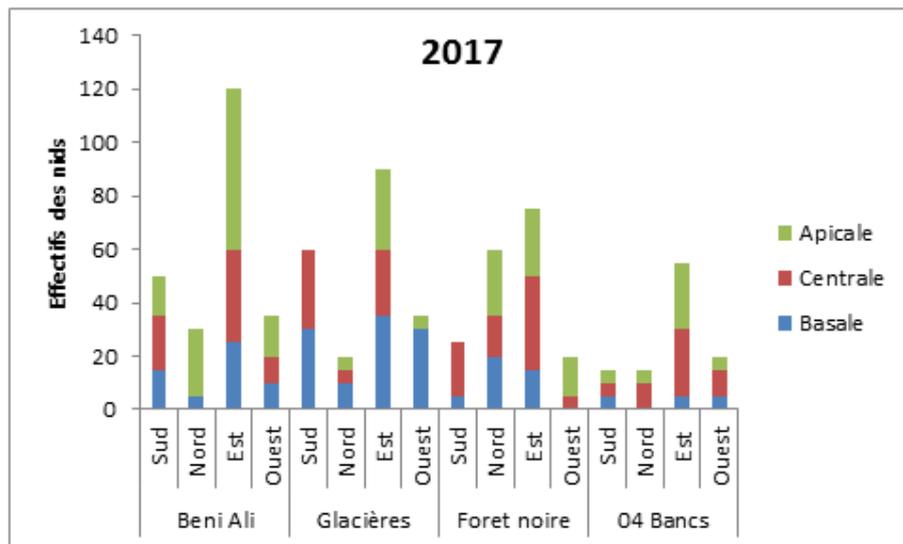


Figure 60. Distribution des nids en fonction de leur position et exposition sur l'arbre. En 2017, l'exposition Est reste la plus favorable pour la construction des nids d'hiver dans les sites prospectés au Parc de Chréa. La partie apicale reste la plus recherch e par les chenilles de 3^{ème} stade larvaire pour tisser leurs nids d'hiver.

Afin de tirer des informations plus fiables, nous proposons d'effectuer une analyse de comparaison des moyennes entre les effectifs des nids en fonction de l'exposition.

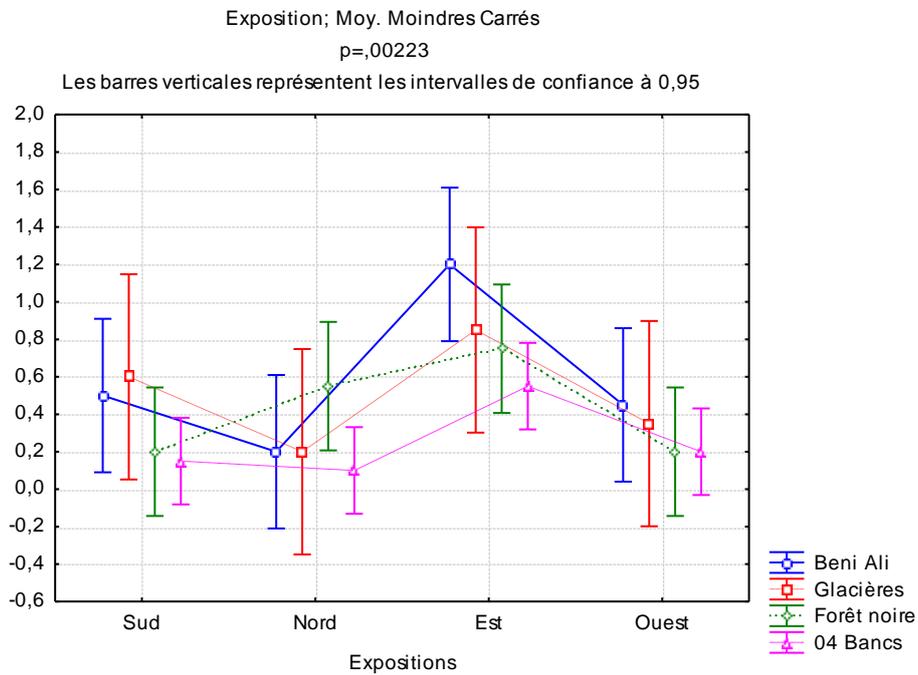


Figure61. Comparaison des moyennes du nombre des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre

La comparaison par ANOVA des moyennes du nombre des nids en fonction de leur exposition dans les sites prospectés montre une probabilité très hautement significative ($p=0,002^{**}$).

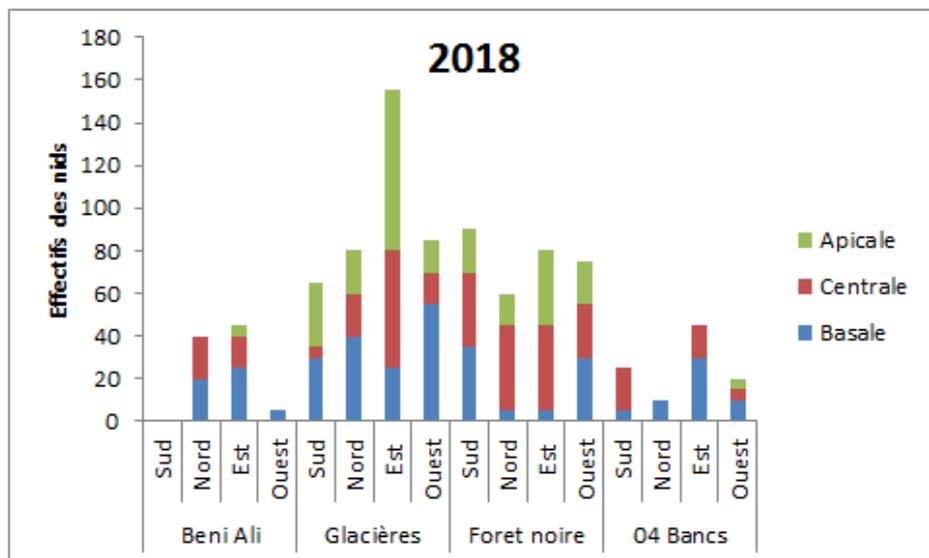


Figure 62. Distribution des nids en fonction de leur position et exposition sur l'arbre

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

Comme précédemment, en 2018 l'exposition Est reste la plus favorable pour le tissage des nids d'hiver. La distribution des nids se localise préférentiellement aux extrémités de la couronne de l'arbre. L'analyse de la comparaison des moyennes illustre davantage la signification de la distribution des nids selon le plan altitudinale des sites prospectés.

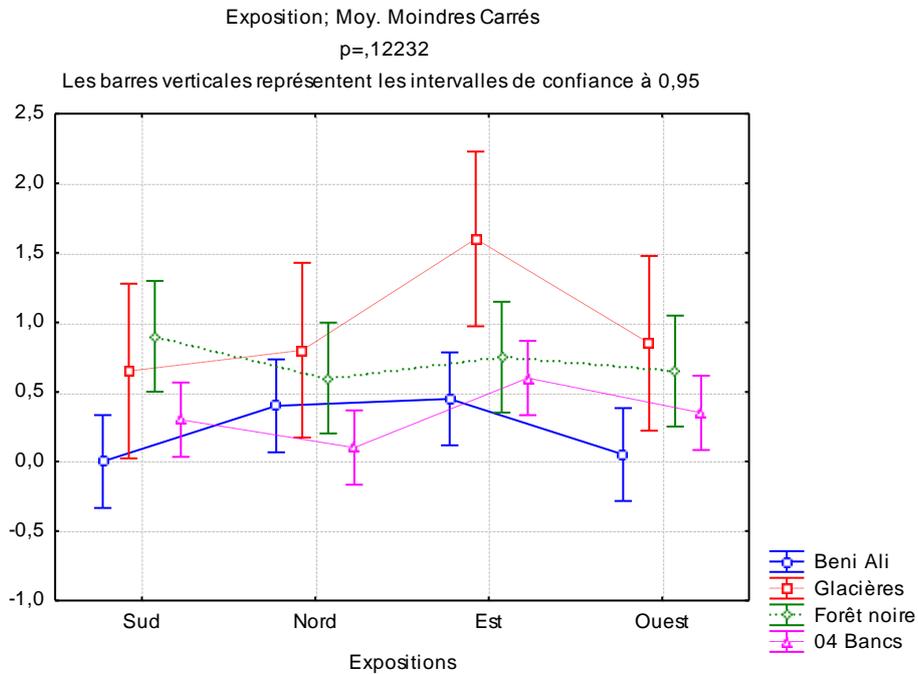


Figure 63. Comparaison des moyennes du nombre des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre

Dans les sites retenus, l'emplacement des nids est comparable les 4 positions cardiales (p=0,12).

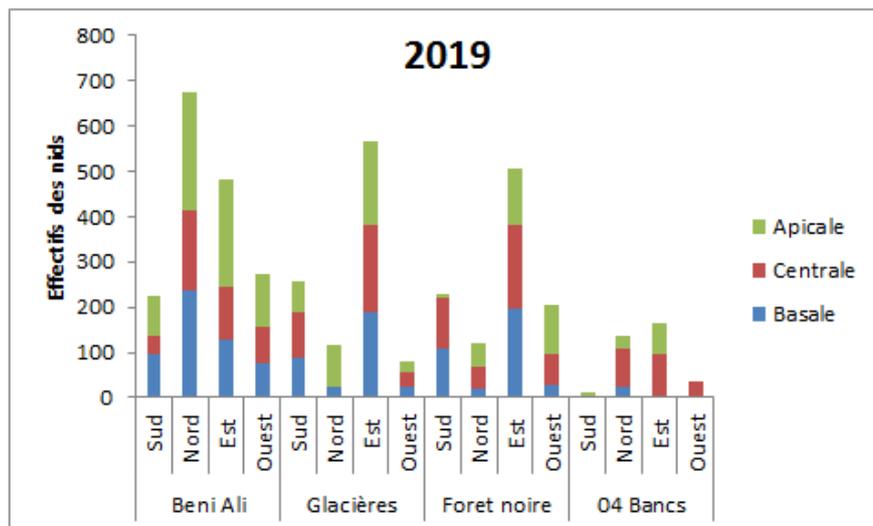


Figure 64. Distribution des nids en fonction de leur position et exposition sur l'arbre

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

Si nous considérons l'année 2019, la répartition des nids est hétérogène entre les sites d'étude où on note que l'exposition nord est la plus infestée dans le site de Beni Ali. Pour les autres stations, l'Est reste le plus favorable pour la construction des nids. Comme précédemment, une forte occupation des nids aux extrémités de l'arbre afin de profiter d'une meilleure insolation. La figure 64 illustre la variabilité de la distribution qui reste très hautement significative ($p= 0,00001***$).

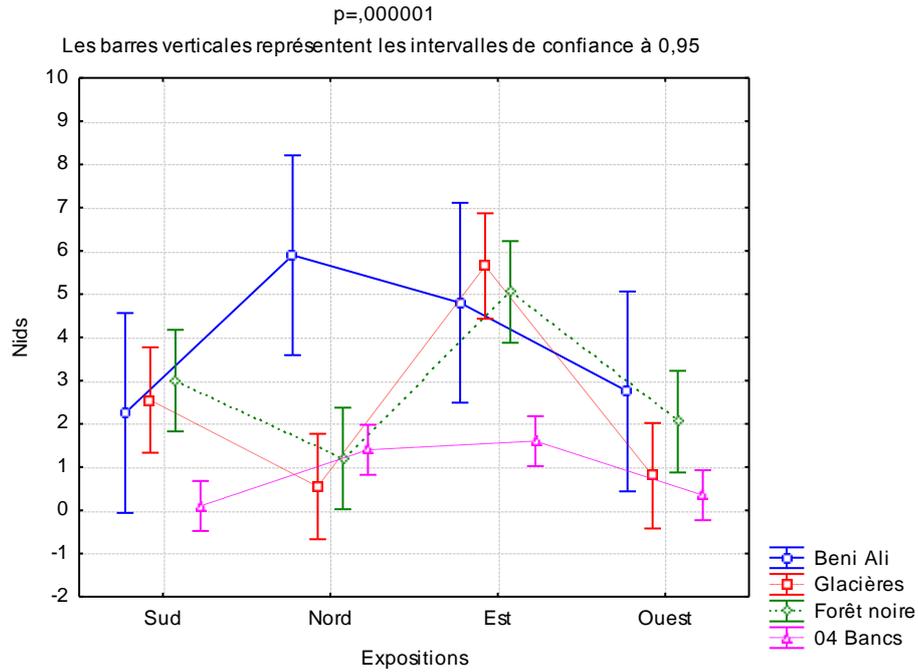


Figure 65. Comparaison des moyennes du nombre des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre

4.4 Distribution interannuelle des nids d'hiver par station en fonction de leur exposition sur l'arbre

Comme très souvent les moyennes cachent l'information, nous proposons une analyse de la comparaison des moyennes du nombre des nids par Anova (Fig. 66. 67. 68.69) et procédé à un test LSD.

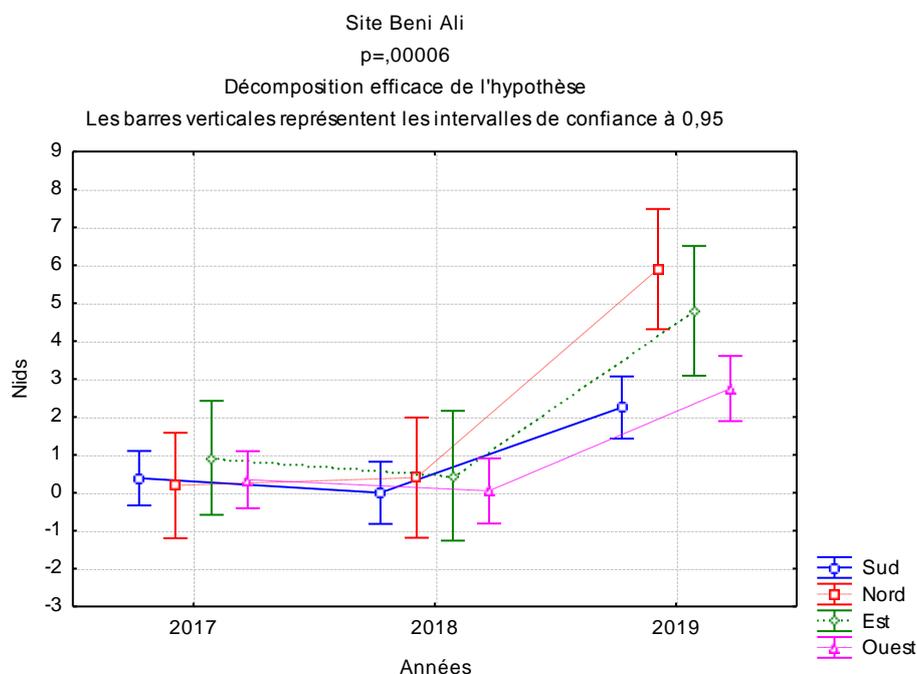


Figure 66. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre (Cas du site de Beni Ali)

Tableau 22. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d'étude

| Années | (1) | (2) |
|----------|----------------------|-----------------------|
| 2017 (1) | | |
| 2018 (2) | P= 0,483347 | |
| 2019 (3) | P= 0,001105** | P= 0,000253*** |

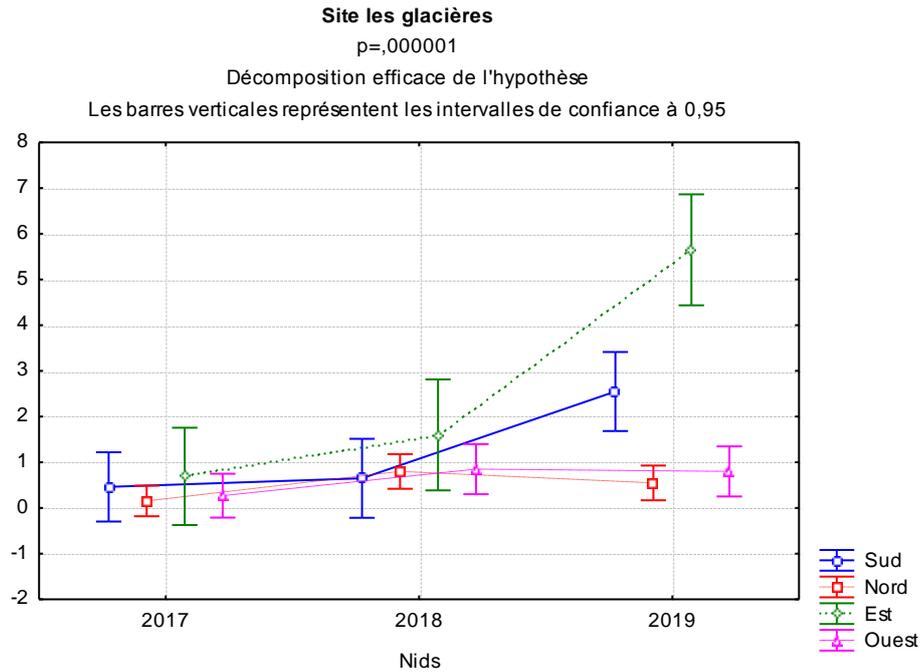


Figure 67. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l’arbre (Cas du site des glaciers)

Tableau 23. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d’étude

| Années | (1) | (2) |
|----------|-----------------------|----------------------|
| 2017 (1) | | |
| 2018 (2) | P= 0,744441 | |
| 2019 (3) | P= 0,000573*** | P= 0,002854** |

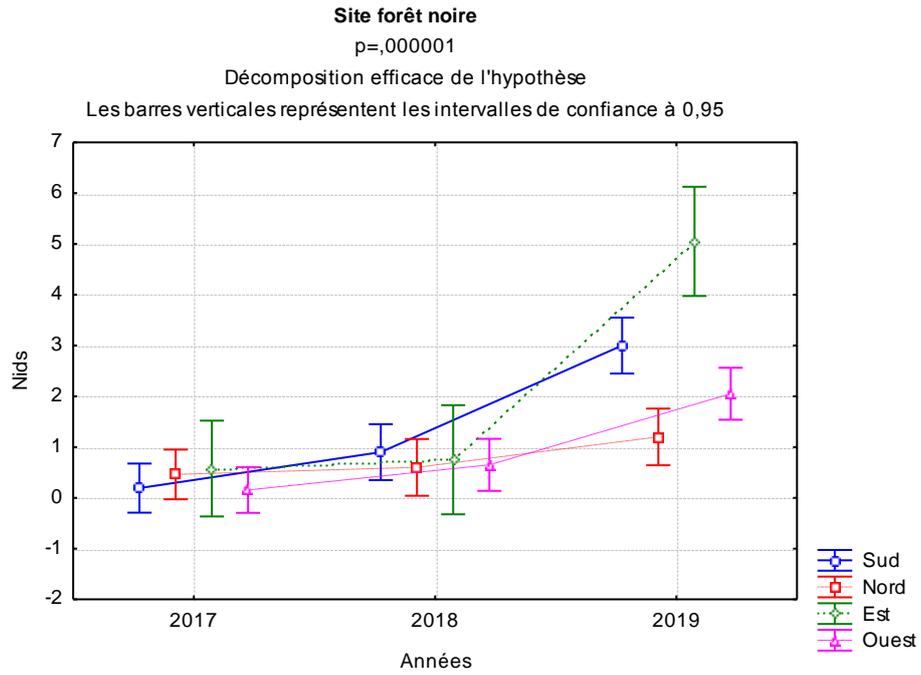


Figure 68. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre (Cas du site de la forêt noire)

Tableau 24. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d'étude

| Années | (1) | (2) |
|----------|---------------------|--------------------|
| 2017 (1) | | |
| 2018 (2) | 0,058218* | |
| 2019 (3) | 0,0000001*** | 0,000001*** |

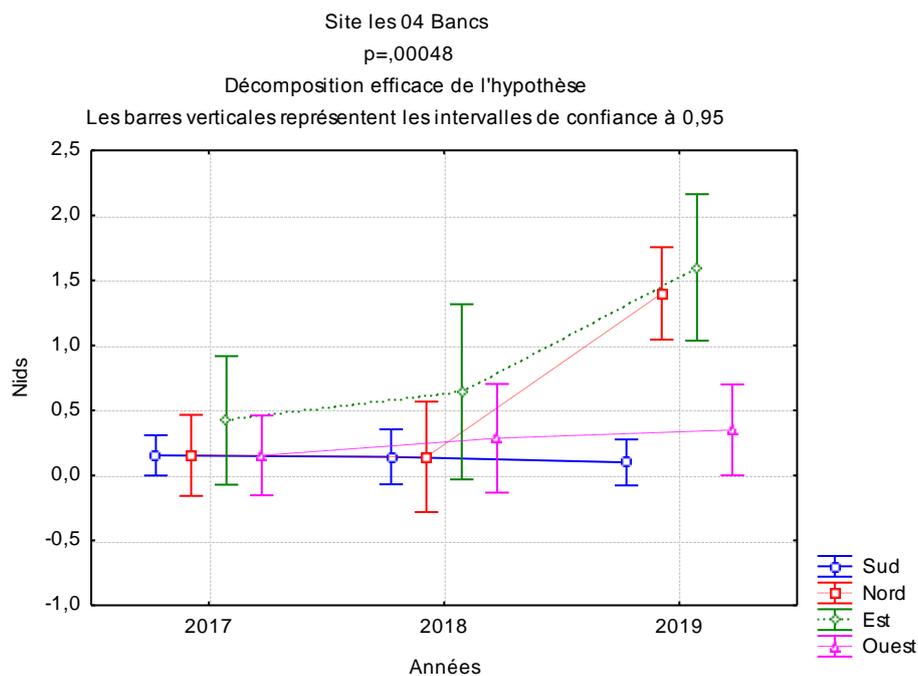


Figure 69. Distribution temporelle des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre (Cas du site des 4 Bancs)

Tableau 25. Test LSD de la répartition des nids en fonction de leurs expositions entre les années d'étude

| Années | (1) | (2) |
|----------|-----------|-----------|
| 2017 (1) | | |
| 2018 (2) | 0,9334 | |
| 2019 (3) | 0,00648** | 0,00756** |

La comparaison des moyennes relatives à l'exposition des nids entre les trois années d'étude présentent une probabilité très hautement significative pour les quatre sites prospectés.

4.5 Dénombrement des nids par modalité de mass-trapping

Tableau 26. Dénombrement des nids de la processionnaire du pin en 2017 et 2018 par modalité de mass-trapping

| Placettes | | Nbr des nids avant l'installation des pièges (2017) | Nbr des nids après l'installation des pièges (2018) | Différence | Efficacité (%) |
|-------------|----|---|---|------------|----------------|
| Beni Ali | P1 | 80 | 55 | -25 | 67,1 |
| | P2 | 155 | 35 | -120 | |
| Glacières | P1 | 75 | 210 | 135 | 50,5 |
| | P2 | 130 | 180 | 50 | |
| Forêt noire | P1 | 100 | 125 | 25 | -82,85 |
| | P2 | 70 | 160 | 90 | |
| 04 Bancs | P1 | 55 | 73 | 18 | 39,7 |
| | P2 | 50 | 40 | -10 | |

P1- parcelle contrôlée ; P2- Parcelle traitée

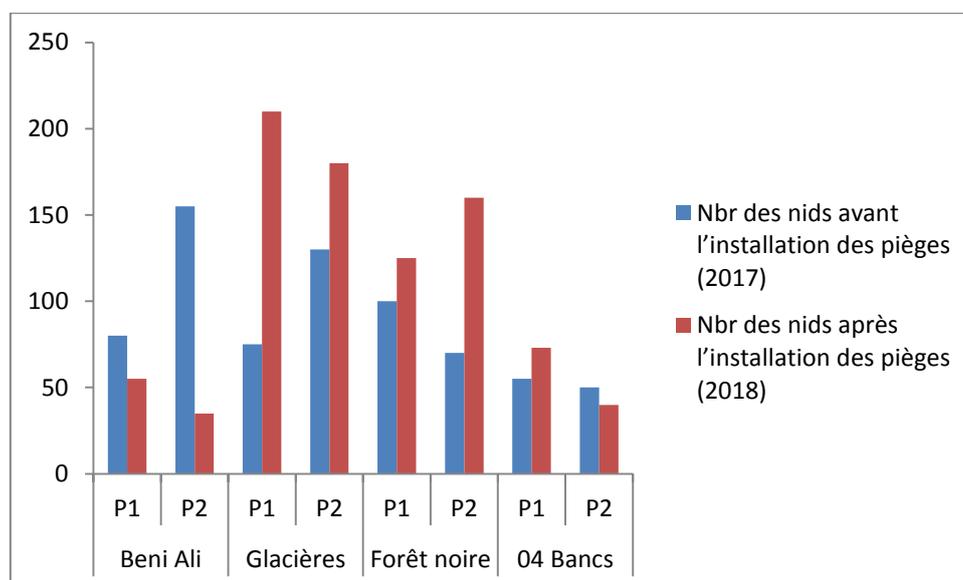


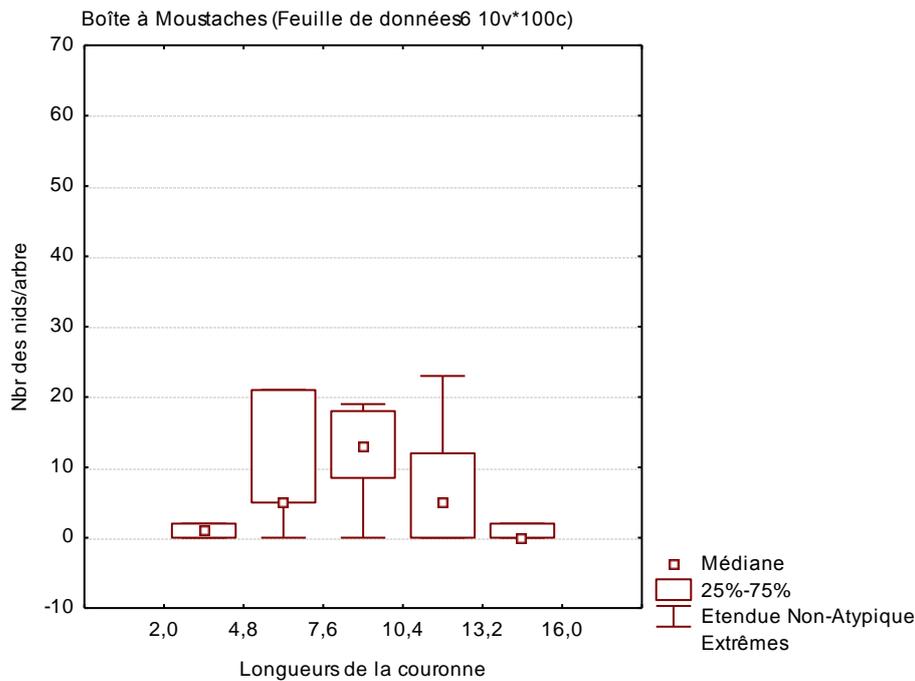
Figure 70. Dénombrements des nids de chenilles processionnaire du pin en 2017 et 2018 par modalité de mass-trapping. Comparaison avec le témoin.

Les chances de capture des adultes mâles par piégeage de masse sont moins importantes lorsque beaucoup de femelles sont présentes en forêt. La compétition entre les phéromones de synthèse et celles émises par les femelles est nettement en faveur des femelles, réduisant l'effet de ces pièges.

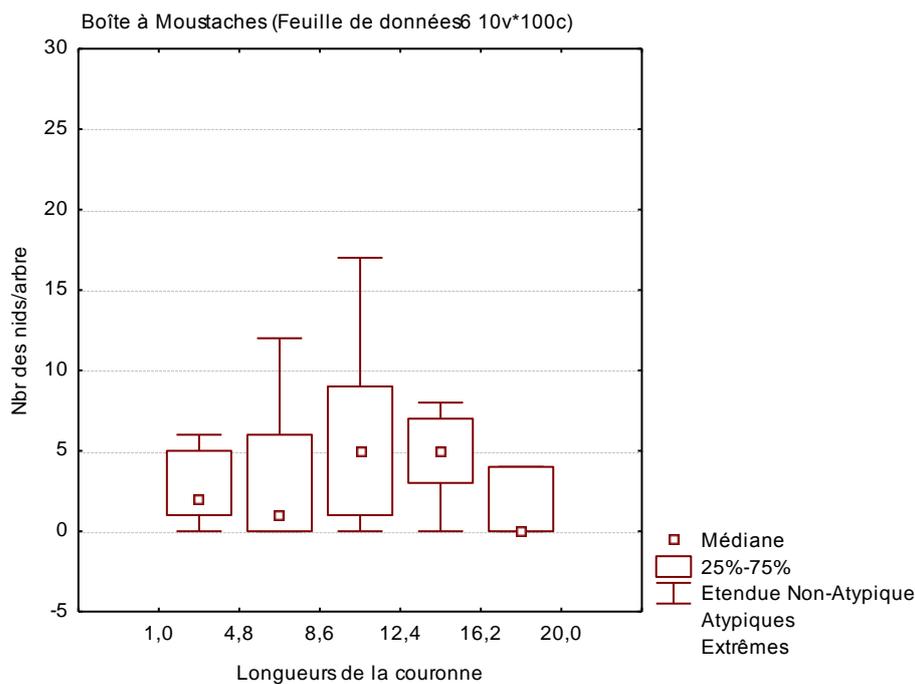
4.6 Relation entre la longueur de la couronne des arbres, le nombre des nids/ arbre en fonction de l'altitude

Le but de cette analyse est de tirer des résultats plus fiables sur le comportement des populations dans leur biotope. Le rapport des analyses croisées entre les longueurs des couronnes et le nombre des nids tissés par les chenilles est représenté par la figure 71.

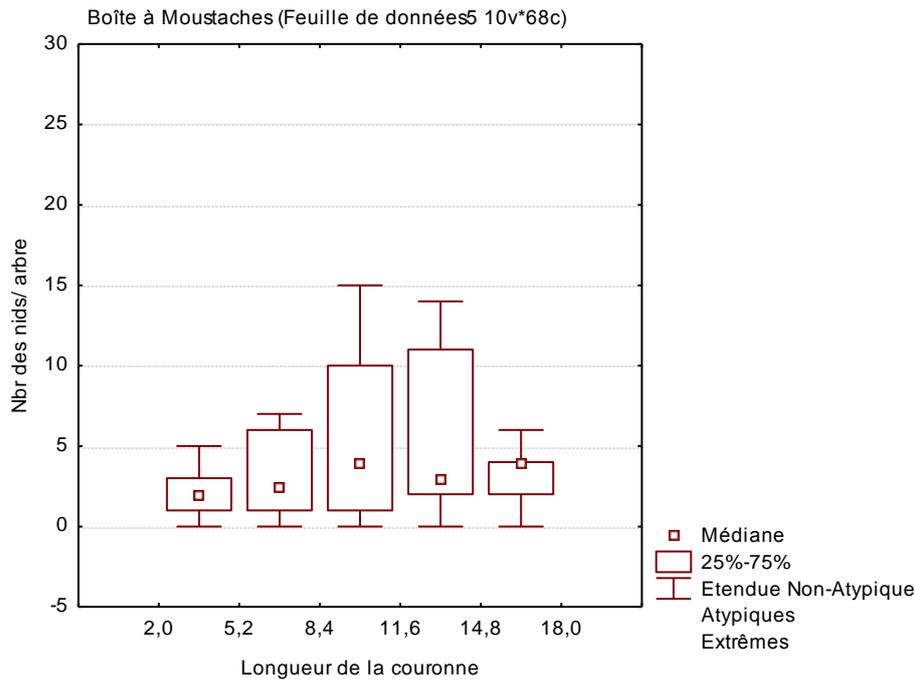
- **Cas de la station Beni Ali (1050 m)**



- **Cas de la station des glaciers**



• Cas de la station forêt noire



• Cas de la station 04 Bancs

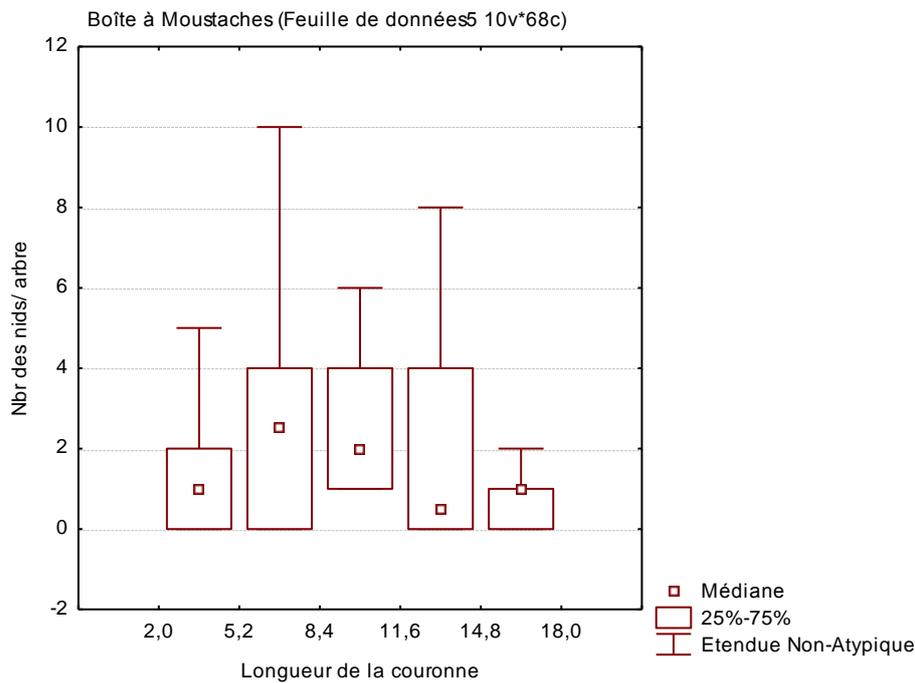


Figure 71. Distribution du nombre des nids/arbre en fonction des longueurs de la couronne sur le cèdre de l'Atlas

L'examen des valeurs médianes de la figure 71 confirme que le nombre des nids croit progressivement en relation avec les longueurs des couronnes jusqu'au un pic

spécifique à chacune des stations puis diminue progressivement. Les cas examinés se répartissent en 5 catégories. Si nous examinons les catégories pour chacune des stations prospectées, on note une variabilité des valeurs médiane en relation avec l'état de la gradation de la processionnaire. La valeur médiane maximale en provenance de Beni Ali est représenté par la troisième catégorie qui présente elle-même un pourcentage de 50 % des arbres portant des effectifs compris entre 8 à 18 nids/arbre, possèdent des longueurs des couronnes comprises entre 7,6 et 10,4 m. De même que précédemment pour le site des glaciers, la troisième catégorie représente les longueurs idéales comprises entre (8,6– 12,4 m) de la couronne des arbres pour un meilleur emplacement pour la construction des nids (50% des arbres qui possèdent cette longueur portent des effectifs compris entre 1 et 8 nids/arbre). A la station de la forêt noire, la valeur maximale est semblable avec la précédente. En outre, une classe varie de 0 à 4 nids/ arbre construit sur un intervalle de 50 % des couronnes ayant des longueurs comprises entre 5,2 et 8,4 m pour le site des 04 bancs. Cette variabilité met en évidence le choix des sites idéale par les femelles de la processionnaire afin d'assurer un bon développement pour ses descendants.

4.6 Dendrogramme des variables considérés

La classification des variables prises en considération est illustrée par la figure 72.

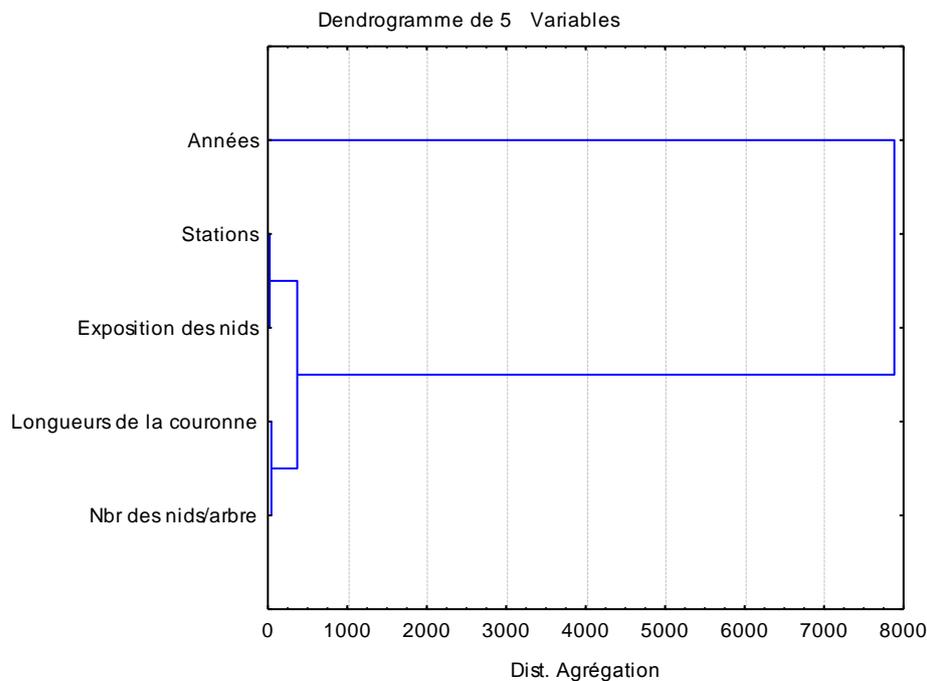


Figure 72. Classification hiérarchique des variables considérées

La distance d'agrégation en fonction des étapes consécutives montre qu'elle regroupe la similarité des variables voisines, nombre des nids par arbre et la longueur de la couronne des arbres. Les deux premières variables avec l'exposition des nids sont en étroite relation avec les sites prospectés. La variabilité des paramètres considérés est en étroites relation avec les années d'étude.

5. Evaluation des départs en procession de nymphose

Les sorties périodiques conduites dans les sites d'étude, au cours de la période allant de 2017 à 2019 ont permis de suivre l'évaluation des départs en procession de nymphose de la processionnaire dans son biotope naturel (Fig. 73 et 74).

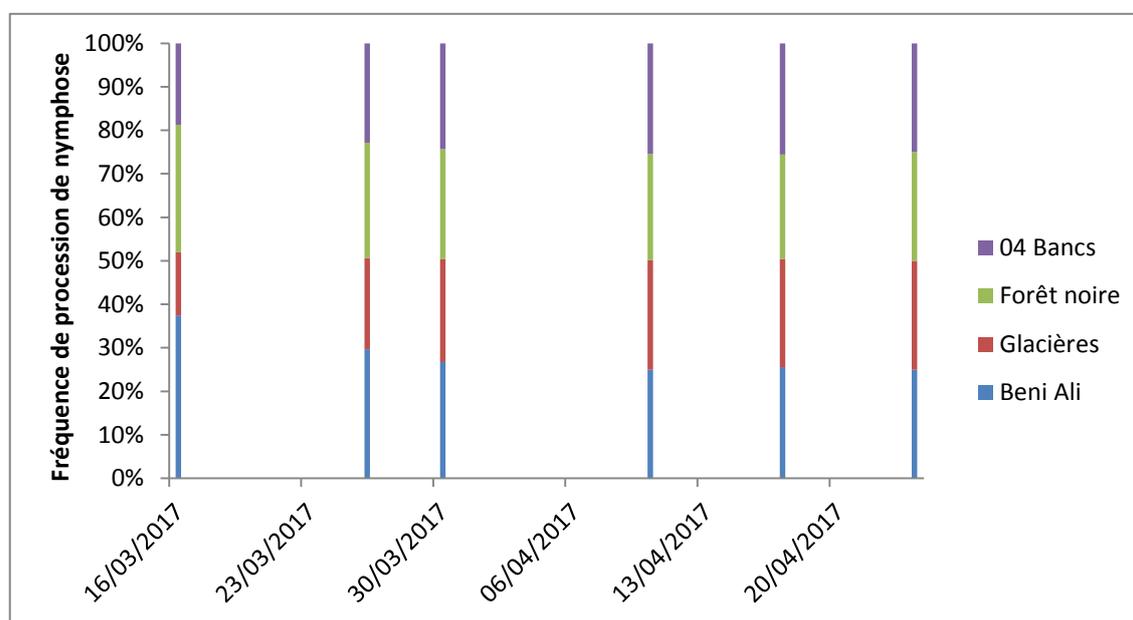


Figure 73. Fréquence de procession de nymphose des populations de *T. pityocampa* (2017)

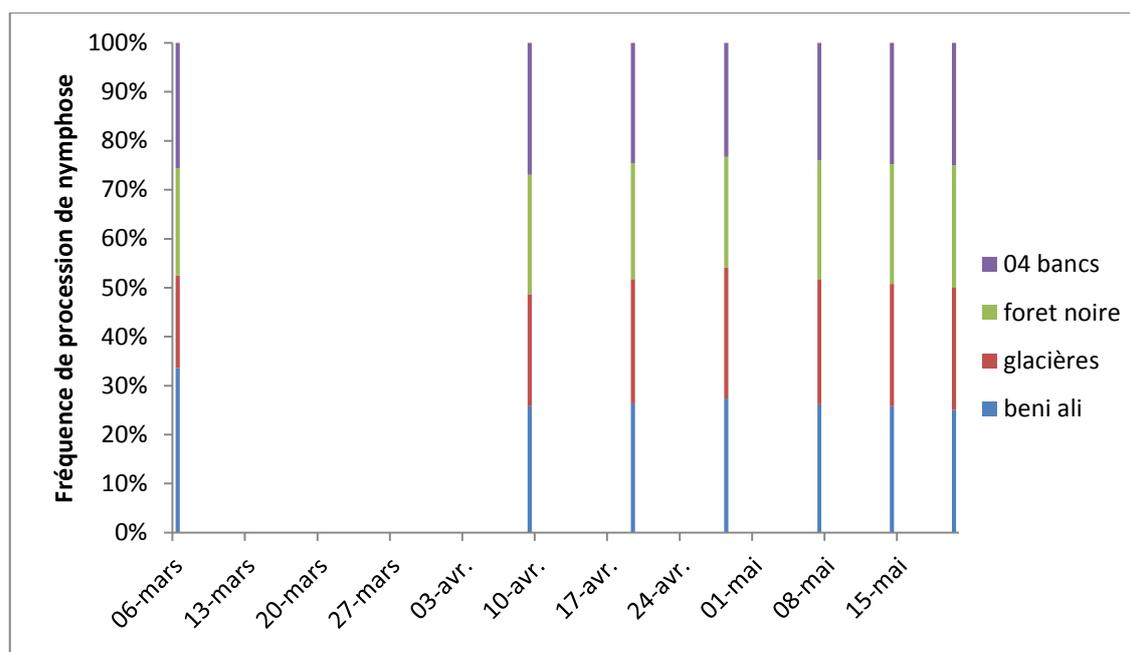


Figure 74. Fréquence de procession de nymphose des populations de *T. pityocampa* (2018)

En 2017, Le départ en procession a débuté à la mi-mars et s’est achevé vers la fin avril pour les quatre stations d’étude (Fig. 73) et à partir de la première décade de mars à la mi-mai pour l’année2018 (Fig. 74). Avec un maximum de descente à Beni Ali pour les deux cycles d’étude. Le nombre de chenilles par procession varie considérablement en fonction de la colonie.

5.1 Biométrie et poids des nymphes

Les données des mensurations des longueurs, des largeurs et des pesées des nymphes de *T. pityocampa* sont consignées dans le tableau 27.

Tableau 27 : Mensuration des longueurs et largeurs ainsi des pesées des chrysalides mâles et femelles de *T. pityocampa* en provenance de la station de Beni Ali

| | Chrysalides mâles (effectif=50) | | Chrysalides femelles (effectif=50) | | F | P |
|---------------|------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|--------|-----------|
| | Moyennes | Valeurs Extrêmes | Moyennes | Valeurs Extrêmes | | |
| Longueur (mm) | 14,2 ± 0,71 | 12,8-15,7 | 17,56± 0,83 | 16,1 – 18,8 | 502,73 | 0,0001*** |
| Largeur (mm) | 4,5 ± 0,48 | 3,6-5,3 | 6,16 ± 0,63 | 4,69- 7,5 | 205,93 | 0,0001*** |
| Poids (g) | 0,95 ± 4,14 | 0,21-0,450 | 0,61 ± 0,06 | 0,52 – 0,75 | 0,5 | 0,0001*** |

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

Tableau 28: Mensuration et poids des chrysalides de *T. pityocampa* en provenance de la station de Glacières

| | Chrysalides mâles (effectif=50) | | Chrysalides femelles (effectif=50) | | F | P |
|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|-------|-----------|
| | Moyennes | Valeurs Extrêmes | Moyennes | Valeurs Extrêmes | | |
| Longueur (mm) | 12,91±0,84 | 11,1 -14,8 | 15,77 ± 1,11 | 14,3-18,7 | 0,24 | 0,62 |
| Largeur (mm) | 4,13± 0,46 | 3,2- 5,36 | 5,63± 0,41 | 4,7- 6,7 | 264,2 | 0,0001*** |
| Poids (g) | 0,24 ± 0,04 | 0,18- 0,35 | 0,42 ± 0,07 | 0,32 – 0,6 | 247,4 | 0,0001*** |

Tableau 29: Mensuration et poids des chrysalides de *T. pityocampa* en provenance de la station de la forêt noire

| | Chrysalides mâles (effectif=50) | | Chrysalides femelles (effectif=50) | | F | P |
|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|-------|-----------|
| | Moyennes | Valeurs Extrêmes | Moyennes | Valeurs Extrêmes | | |
| Longueur (mm) | 19,15 ± 1,33 | 12,8 -18,1 | 34,97±1,74 | 15,4-24,6 | 238,2 | 0,0001*** |
| Largeur (mm) | 5,64±0,59 | (0- 6,7 | 7,11±0,68 | 5,2- 9,67 | 168,9 | 0,0001*** |
| Poids (g) | 0,35± 0,05 | 0,2 -0,43 | 0,67±0,08 | 0,5- 0,9 | 716,6 | 0,0001*** |

Tableau 30: Mensuration et poids des chrysalides de *T. pityocampa* en provenance de la station des 04 Bancs

| | Chrysalides mâles (effectif=50) | | Chrysalides femelles (effectif=50) | | F | P |
|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|--------|-----------|
| | Moyennes | Valeurs Extrêmes | Moyennes | Valeurs Extrêmes | | |
| Longueur (mm) | 12,72±0,84 | 11,1-14,8 | 15,77±1,11 | 14,3- 18,7 | 214,56 | 0,0001*** |
| Largeur (mm) | 4,13±0,46 | 3,2-5,36 | 5,87±1,44 | 4,7- 6,3 | 82,1 | 0,0001*** |
| Poids (g) | 0,24±0,04 | 0,18-0,33 | 0,42±0,07 | 0,32-0,6 | 248,7 | 0,0001*** |

Les données recueillies sur la biométrie des chrysalides en provenance des 4 sites sont approximativement comparables entre elles. La comparaison des moyennes des longueurs et des largeurs des nymphes montre une différence très hautement significative entre les chrysalides mâles et femelles ($P < 0,001$)

6. Facteurs de mortalité des populations de *T. pityocampa* au stade larvaire et nymphal

6.1 Diversité des parasitoïdes et les prédateurs récoltés dans les stations prospectées

Une diversité de deux espèces de Diptères Tachinaires parasitoïdes a été identifiée à partir des lots des chenilles enfuies et à l'intérieur des nids récoltés, il s'agit ; *Compsilura concinnata* (Meigen) et *Phryx caudata* (Rondani). De même, une espèce d'hyménoptère Braconide, *Apanteles* sp (Forster) et une espèce prédatrice de coléoptère appartenant aux dermestidés, *Dermestes* sp.

- *Phryxe caudata*

Distribution : L'espèce a été signalée en France, Espagne, Portugal, Italie, Grèce, Turquie, Maroc, Algérie et Tunisie (Tschorsnig, 1997).

Hôtes : Espèce spécifique aux processionnaires des pins et du cèdre

P. caudata effectue deux générations, la première émergence d'adulte est automnale alors que la seconde est printanière.

- *Compsilura concinnata*

Distribution : L'espèce a été signalée en Angleterre, en Suède, en Russie, et au Japon (Herring et Dely-Draskovits, 1993).

Hôtes : Espèce polyphage qui s'attaque principalement aux chenilles des Lépidoptères (Tschorsnig et Herting, 1994).

Les adultes de *C. concinnata* ont émergé durant le mois septembre.

- *Apanteles* sp.

Les émergences des adultes de *Apanteles* sp. ont été notés durant le mois de Mars.

- *Dermestes* sp

Les émergences des adultes de *Dermestes* sp. ont été notés de la seconde decade de mars à la fin mai.

6.2 Inventaire des espèces des parasitoïdes et des prédateurs au laboratoire

• **Cas de la station Beni Ali**

Les espèces notées dans la station de Beni Ali, sont regroupées dans le tableau 31.

Tableau 31. Diversité des espèces antagonistes des stades larvaires et nymphal

| | | Année 2017 (Effectif total 296 chenilles/ 100 chrysalides) | | Année 2018 (Effectif total 259 chenilles/ 100 chrysalides) | |
|--|------------------------------|---|------|--|----|
| | | Effectif | % | Effectif | % |
| Taux de mortalité | Chenilles | 100 | 34 | 82 | 32 |
| | Chrysalides | 12 | 12 | 4 | 4 |
| Régulation par <i>Beauveria bassiana</i> | Chenilles | 32 | 11 | 21 | 8 |
| | Chrysalides | 4 | 4 | 8 | 8 |
| Effectifs des antagonistes des chenilles | <i>Phryxe caudata</i> | 6 | 2,02 | 18 | 7 |
| | <i>Compsilura concinnata</i> | 0 | 0 | 12 | 5 |
| Effectifs des antagonistes des nymphes | <i>Phryxe caudata</i> | 7 | 7 | 12 | 12 |
| | <i>Dermestes</i> sp | 24 | 24 | 32 | 32 |

Pour les populations de la station de Beni Ali, le taux de mortalité des chenilles est de 34% en 2017 et 32% en 2018, en outre, la mortalité des chrysalides est limitée à 12% en 2017 et 4 % en 2018. La fréquence des parasitoïdes ne dépasse pas 7%. L'impact de *Phryxe caudata* sur la population nymphale est de 7 % et 12 % respectivement pour les années 2017 et 2018. Par ailleurs pour le *Dermestes* sp l'impact s'élève de 24% et de 32 % respectivement pour les deux cycles étudiés. La régulation des chenilles par le champignon entomopathogène, *Beauveria bassiana* est de l'ordre de 11 % en 2017 et de 8 % en 2018.

• **Cas de la station des glaciers**

Les espèces répertoriées durant l'année 2017 et 2018 dans la station des glaciers, sont regroupées dans le tableau 32.

Tableau 32. Diversité des espèces antagonistes des stades larvaires et nymphal

| | | Année 2017 | | Année 2018 | |
|--|------------------------------|--|-------|--|------|
| | | (Effectif total 269 chenilles/ 100 chrysalides) | | (Effectif total 210 chenilles/ 100 chrysalides) | |
| | | Effectif | % | Effectif | % |
| Taux de mortalité | Chenilles | 134 | 45,27 | 21 | 10 |
| | Chrysalides | 25 | 25 | 5 | 5 |
| Régulation par <i>Beauveria bassiana</i> | Chenilles | 18 | 6,7 | 11 | 5,23 |
| | Chrysalides | 10 | 10 | 5 | 5 |
| Effectifs des antagonistes des chenilles | <i>Phryxe caudata</i> | 24 | 8,9 | 18 | 8,6 |
| | <i>Compsilura concinnata</i> | 30 | 11,15 | 0 | 0 |
| | <i>Dermestes</i> sp | 18 | 6,7 | 6 | 2,9 |
| Effectifs des antagonistes des chrysalides | <i>Apanteles</i> sp | 6 | 2,23 | 0 | 0 |
| | <i>Phryxe caudata</i> | 5 | 5 | 9 | 9 |
| | <i>Dermestes</i> sp | 10 | 10 | 8 | 8 |

Pour les populations de la station des glaciers, une diminution des taux de mortalité des chenilles et des chrysalides est observée au cours des deux cycles étudiés. On note la présence de *Dermestes* sp comme prédateur et *Apanteles* sp comme parasitoïde des chenilles avec des taux inférieurs à 7% et à 2,23% respectivement pour les deux années considérées.

• **Cas de la station Forêt noire**

Les espèces notées durant les années 2017 et 2018 dans la station de forêt noire, sont regroupées dans le tableau 33.

Tableau 33. Diversité des espèces antagonistes des stades larvaires et nymphal

| | | Année 2017 | | Année 2018 | |
|--|-----------------------|--|-------|--|-------|
| | | (Effectif total 253 chenilles/ ... chrysalides) | | (Effectif total 220 chenilles/ ... chrysalides) | |
| | | Effectif | % | Effectif | % |
| Taux de mortalité | Chenilles | 28 | 11,06 | 45 | 20,45 |
| | Chrysalides | 8 | 8 | 5 | 5 |
| Régulation par <i>Beauveria bassiana</i> | Chenilles | 11 | 4,34 | 10 | 4,5 |
| | Chrysalides | 7 | 7 | 6 | 6 |
| Effectifs des antagonistes des chenilles | <i>Phryxe caudata</i> | 11 | 4,34 | 18 | 8,18 |
| | <i>Dermestes</i> sp | 19 | 7,5 | 42 | 19,1 |
| Effectifs des antagonistes des chrysalides | <i>Phryxe caudata</i> | 11 | 11 | 14 | 14 |
| | <i>Dermestes</i> sp | 8 | 8 | 11 | 11 |

Pour les populations de la station de Forêt noire, un taux de mortalité plus conséquent des chenilles est observé entre 2017 (11,06%) et 2018 (20,4%), en outre, la mortalité des chrysalides varie entre 5 et 8%. Une absence de *Compsilura concinnata* et d'*Apanteles* sp est observée au stade chenille. L'impact des antagonistes sur la population nymphale est plus élevé durant la deuxième année (2018).

• **Cas de station 04 Bacs**

Les espèces répertoriées durant les années de 2017 et de 2018 dans la station de 04 Bacs, sont regroupées dans le tableau 34.

Tableau 34. Diversité des espèces antagonistes des stades larvaires et nymphal

| | | Année 2017 (Effectif total 686 chenilles/ ... chrysalides) | | Année 2018 (Effectif total 576 chenilles/ ... chrysalides) | |
|--|------------------------------|---|-------|--|-------|
| | | Effectif | % | Effectif | % |
| Taux de mortalité | Chenilles | 250 | 36,44 | 119 | 20,7 |
| | Chrysalides | 20 | 20 | 14 | 14 |
| Régulation par <i>Beauveria bassiana</i> | Chenilles | 15 | 2,18 | 20 | 3,47 |
| | Chrysalides | 8 | 8 | 10 | 10 |
| Effectifs des antagonistes des chenilles | <i>Phryxe caudata</i> | 30 | 4,37 | 30 | 5,2 |
| | <i>Compsilura concinnata</i> | 24 | 3,5 | 0 | 0 |
| | <i>Dermestes</i> sp | 18 | 2,62 | 58 | 10,06 |
| | <i>Apanteles</i> sp | 0 | 0 | 6 | 1,04 |
| Effectifs des antagonistes des chrysalides | <i>Phryxe caudata</i> | 4 | 4 | 7 | 7 |
| | <i>Dermestes</i> sp | 12 | 12 | 24 | 24 |

Pour la population de la station des 4 bancs, une diminution des taux de mortalité des chenilles et des chrysalides est observée au cours des deux cycles étudiés. Une absence d'*Apanteles* sp en 2017 et de *Compsilura concinnata* en 2018 est notée au stade chenille. Par ailleurs un impact significatif de taux de parasitisme de *Phryxe caudata* et de *Dermestes* sp est noté sur les chenilles et les chrysalides.

6.3 Prédateurs de *T. pityocampa* répertoriés au terrain

Les observations menées au terrain ont permis d'observer une diversité de prédateurs des œufs, de chenilles et de nymphes de *T. pityocampa*. La prédation des chenilles, a été notée uniquement dans les stations forêt noire et des 4 bancs. L'action des prédateurs s'est manifestée au cours du mois de mars lors des processions et au juillet sur les pontes. Parmi les prédateurs les plus actifs de *T. pityocampa*, le coléoptère Carabide, *Calosoma sycophanta* (Linnaeus) s'attaque avec voracité aux chenilles des derniers stades. L'espèce de Staphilenide, *Ocypus olens* (Müller), vraisemblablement prédateurs des chenilles âgées a été observées dans l'aire de procession. Ceci reste à

confirmer. Il est à noter que l'espèce en question a été déjà signalée comme prédateurs des chenilles de la processionnaire d'été par Rahim (2016). De même, l'orthoptère *Ephippiger* sp s'attaque aux œufs de la chenille processionnaire.

Les photos des figures de 75 à 79 illustrent la diversité des antagonistes identifiés



Ooencyrtus pityocampa (Femelle)



Baryscapus servadeii (Femelle)



Trichogramma embryophagum en phase de parasitisme sur les œufs de
T. pityocampa

Figure 75. Les parasitoïdes embryonnaires de *T. pityocampa*



Uromenus brevicollis



Ponte de *T. pityocampa* prédatée



Ehippiger sp

Figure 76. Prédateurs oophages de *T. pityocama*



Phryxe caudata



Compsilura concinnata



Diptera sp

Figure 77. Parasitoïdes des stades larvaires et du stade nymphal de *T. pityocampa*



Calosoma sycophanta



Nid prédaté par les oiseaux



Dermestes sp récolté à partir des nids

Figure 78. Prédateurs des stades larvaires et du stade nymphal de *T. pityocampa*.



Chenilles de premier stade larvaire

infectées par *Beauveria bassiana*



Chenille de dernier stade larvaire

infectée par *Beauveria bassiana*



Autres maladie (Virus)

Figure 79. Impact des agents pathogènes sur les larves et les nymphes de la processionnaire

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

Tableau 35. Synthèses sur les données morphobiométriques des stades nymphal et adultes de la processionnaire dans son aire de répartition

| Cycles (Année) | Site d'étude | Sexe | Date d'enfouissement des nymphes | Date d'émergence des adultes | Durée de la diapause | Nbr total des adultes | Nbr total des nymphes | Longueur moyenne des nymphes | Poids moyen des nymphes | % des émergences |
|-------------------|-------------------------|---------|--|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 2017/2018 | Beni Ali (1050 m) | Mâle | 06 Mars | 11 juin | 3 mois | 9 | 50 | 14,2 | 0,95 | 18 |
| | | Femelle | | | | 20 | 50 | 17,56 | 0,61 | 40 |
| | Glacières (1200 m) | Mâle | 17 Mars | 03 juillet | 3 mois et 20 jours | 10 | 50 | 12,91 | 0,24 | 20 |
| | | Femelle | | | | 13 | 50 | 15,77 | 0,42 | 26 |
| | Forêt noire (1300 m) | Mâle | 03 Avril | 09 juin | 2 mois | 40 | 50 | 19,17 | 0,35 | 80 |
| | | Femelle | | | | 50 | 50 | 34,97 | 0,67 | 100 |
| | 04 Bancs (1400 m) | Mâle | 15 Mars | 09 juin | 3 mois | 35 | 50 | 12,72 | 0,24 | 80 |
| | | Femelle | | | | 40 | 50 | 15,77 | 0,42 | 70 |
| | | | | | | | | | | |

TROISIEME CHAPITRE : RESULTATS

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------|---------|---------|---------|--------|----|----|-------|------|--------------|
| 2018/2019 | Beni Ali (1050 m) | Mâle | 18 Mars | 17 juin | 3 mois | 50 | 70 | 13,8 | 0,8 | 71,42 |
| | | Femelle | | | | 62 | 70 | 17,7 | 0,95 | 88,57 |
| | Glacières (1200 m) | Mâle | 16 Mars | 09 juin | 3 mois | 28 | 50 | 13,5 | 0,22 | 56 |
| | | Femelle | | | | 20 | 50 | 16,24 | 0,51 | 40 |
| | Forêt noire (1300 m) | Mâle | 15 Mars | 09 juin | 3 mois | 50 | 50 | 17,57 | 0,29 | 100 |
| | | Femelle | | | | 45 | 50 | 29,87 | 0,42 | 90 |
| | 04 Bancs (1400 m) | Mâle | 19 Mars | 17 juin | 3 mois | 30 | 50 | 11,84 | 0,34 | 60 |
| | | Femelle | | | | 30 | 50 | 15,64 | 0,65 | 60 |

QUATRIEME CHAPITRE

DISCUSSION

Les captures des papillons mâles par piégeage ne peuvent pas donner des renseignements très fiables de l'efficacité de la méthode mais elles permettent de donner une première information sur l'état de la gradation. Le piégeage est capable de perturber l'activité biologique de la population *T. pityocampa* dans son environnement. Une forte signification interannuelle entre les effectifs des mâles capturés est notée dans les quatre sites d'études. Cette variabilité peut s'expliquer soit par une forte présence des femelles en forêt et la compétition entre la phéromone de synthèse et celle émise par la femelle qui est dans ce cas, nettement en faveur des femelles, soit par déplacement des populations adultes qui peuvent voler quelques kilomètres vers les milieux environnant. Nos résultats corroborent avec ceux de Sebti (2015) qui note que la variation interannuelle des effectifs des mâles capturés retrace le schéma de l'évolution démographique des populations de l'insecte.

L'action des facteurs climatiques sur la croissance interannuelle des niveaux de la population, notamment la variation de la température et de l'insolation annuelle qui ont été clairement établies par Démolin (1967 b) qui a suggéré que les gradations de ce ravageur sont en priorité liées au climat.

Pour les quatre sites d'étude prospectés, la période des émergences et des vols de *T. pityocampa* montre une faible variation interannuelle, contrairement avec l'idée de Huchon et Démolin (1970) qui notent que plus l'altitude est élevée plus la population est précoce. Une similarité des périodes de vol est enregistrée en 2017 et en 2019 (Fin juin). Dans les pinèdes de Djelfa, Zamoum (1998) a enregistré deux périodes de vol, la première du début de juillet jusqu'à la fin octobre dans les reboisements de Moudjbara et la seconde s'étale entre la première décade de juillet et la deuxième décade d'octobre dans la forêt naturelle de Senalba Chergui. Chez la population de *T. pityocampa* évoluant sur le cèdre de l'Atlas blidéen, la date d'émergence des papillons a lieu entre la mi-juin et le début de septembre (Sebti, 2015). Trematerra et al., (2018) dans les pinèdes de sud de l'Italie, montrent que les premières émergences des adultes chez la population de *T. pityocampa* se situent vers la deuxième semaine de juillet. En France, la date de sortie des adultes a lieu entre la mi-juin et la fin d'aout

suivant les régions (Huchon et Démolin, 1970) ce qui est comparable avec nos résultats. Cette précocité des émergences est tributaire de l'élévation altitudinale de la cédraie. Les variations environnementales, particulièrement climatiques interannuelles d'une station à une autre jouent un rôle déterminant sur l'échelonnement des émergences des adultes. Lavalees et *al.*, (1988) et Einhorn et *al.*, (1983) mentionnent une corrélation entre l'effectif des adultes mâles piégés et la dose des phéromones utilisées. De même, les auteurs cités notent que le piégeage augmente avec de fortes concentrations. Pour chacune des stations prospectées, les niveaux de population adulte semblent avoir une corrélation avec le nombre des nids dénombrés.

Les adultes qui évoluent en provenance des stations caractérisées par un peuplement homogène (forêt noire, et les 04 bancs), possèdent des longueurs plus significatives par rapport aux papillons des stations mixtes (Beni Ali, glaciers). A ce sujet, Siemann et *al.*, (1998) notent que les défoliateurs s'adaptent et se développent mieux dans les peuplement homogènes. L'altitude et les conditions climatiques conditionnent vraisemblablement le développement et les caractéristiques morphologiques des populations. Huchon et Démolin (1970) s'accordent que par le soleil et l'intermédiaire du nid, les chenilles passeront au quatrième puis au cinquième stade larvaire, ne marquant que de faibles arrêts de développement pendant les périodes de faible insolation ou de froid trop rigoureux. Une stratégie d'évolution des populations est gérée en parfaite synchronisation au cours de leur développement.

Les femelles de la processionnaire sont sous la dépendance de plusieurs variables environnementales et acquièrent une plus grande capacité de fécondité dans la cédraie d'altitude. Les adultes femelles de la processionnaire d'hiver ont une capacité de détecter le biotope favorable pour l'émission de leurs œufs et pour assurer l'alimentation à leur progéniture. La processionnaire à une stratégie de pondre selon un choix environnemental favorable pour sa descendance

Il est connu que les femelles de *Thaumetopoea pityocampa* durant leur cycle pondent en une seule séquence leurs œufs. Le nombre d'œufs par ponte correspond à la fertilité d'une femelle (Battisti et *al.*, 2015 ; Mirchev et *al.*, 2005). L'analyse des données recueillies sur la fertilité des femelles sur le cèdre de l'Atlas n'a pas mis en évidence de corrélation comme s'est mentionnée par Özkazans (1987) qui note que la fertilité des femelles de la chenille processionnaire augmente avec l'altitude.

Les études conduites par Parker et Begon (1986); Freese et Zwolfer (1996) ; Tiberi et *al.*(1999) affirment que la qualité et la quantité des ressources disponibles chez la plante hôte sont des facteurs écologiques déterminants qui influencent la productivité des œufs chez les femelles de *T. pityocampa*. À ce sujet, Demolin (1969) note que la fluctuation de la population chez la processionnaire est en relation avec divers facteurs particulièrement le climat, l'altitude, la nourriture et ses antagonistes.

L'analyse des données recueillies sur les diamètres des rameaux support en provenance des stations du parc de Chréa mettent en évidence que le choix du site est une stratégie adoptée par la femelle pour une protection évolutive de sa progéniture.

Tilmin (1980, 1982) affirme que la femelle choisie le site de ponte qui peut maximiser la survie larvaire à travers la quantité des ressources disponibles.

La variabilité de choix des diamètres de rameaux support peut être expliquée par la diversité haplotypique de l'espèce dans son biotope. La population considérée est d'origine de clade ENA (Kerdelhué, 2015). D'après le réseau haplotypique des deux clades (*pityocampa* et ENA) construit à partir des données d'ADN mitochondrial (fragment de 648 Pb du gène tRNA-Leu-cox2), La population de Chréa contient un haplotype majeur (E3), ainsi que les 3 autres haplotypes (E1- E4- E8) sont rares (El Mokhfi et *al.*, 2016). Les femelles qui évoluent dans les stations Glacières (1200 m) et forêt noire (1300 m), ont la particularité de rechercher davantage la partie inférieure des rameaux relativement plus en moins épais pour effectuer leur ponte afin de protéger leur descendants des périodes hivernales très rudes.

A propos du taux du parasitisme des œufs, il dépend de diamètre du rameau support choisi par les femelles pondeuses. Ceci est l'un des paramètres favorables à l'évolution des antagonistes embryonnaires. Les parasitoïdes ont plus de facilité à se multiplier et de se manifester sur la surface de la ponte portée sur des rameaux plus en moins épais. Cette particularité peut avoir une influence directe sur la régulation de la pullulation de la processionnaire dans son aire naturelle.

Parmi les antagonistes, les parasitoïdes embryonnaires identifiés sont des régulateurs naturels qui gèrent par excellence les gradations dans leurs biotopes d'évolution (Biliotti 1958, Battisti 1989 ; Tsankov et *al.*, 1995 ; Mirchev et *al.*, 2012 ; Mirchev et *al.*, 2015).

Halperin(1990b) mentionne que la survie des parasitoïdes polyphages tel que *O. pityocampae* ne nécessite pas une synchronisation entre leur émergence et la disponibilité des œufs non éclos de la chenille processionnaire. Contrairement, une

synchronisation de relai est nécessaire pour *B. servadeii* car ce parasitoïde est doté d'une spécificité vis-à-vis des espèces de processionnaires dans leur aire de répartition.

Pour la population de site des glaciers et la forêt noire, la présence de *O. pityocampa* est très remarquable. Cela peut suggérer que l'activité à découvrir et la facilité de parasitisme des pontes par ces parasitoïdes polyphages est en relation avec la disponibilité des œufs sur les rameaux plus en moins épais par rapport aux sites de Beni Ali et des 04 bancs. Mirchev et al.,(2015) montrent que l'action des parasitoïdes polyphages présente une large gamme d'hôtes et leur présence dans un biotope spécifique est accidentelle. Un antagonisme différent entre les parasitoïdes a été observé concernant leurs capacités à parasiter les œufs de la chenille processionnaire dans les quatre sites prospectés. La compétition interspécifique est déterminée par divers facteurs écologiques liés à la diversité entomologique qui assure la disponibilité d'hôtes alternatifs. Mirchev et al., (2005) notent que *B. servadeii* recherche les œufs de la processionnaire au moment de la ponte, alors que pour l'*O.pityocampa*, cette période est courte. À ce propos, Halperin, 1990b confirme l'idée que la phénologie d'*O. pityocampae*, contrairement à celle de *B servadeii* n'est pas synchronisé avec celle du *T.pityocampa*. Une diversité spécifique comparable des parasitoïdes embryonnaires a été notée dans les œufs de diverses espèces de processionnaires, *T. Bonjeani* en Algérie (Rahim et al., 2016) et *T. pinivora* en Espagne (Battisti et al., 2015). Une absence de *B. servadeii* dans les œufs de *T. ispartaensis* a été notée en Turquie (Avcı, 2003). Autres espèces de parasitoïdes appartenant à la super famille des Chalcidoidea ont été répertoriées en faibles nombre sur des œufs de *T. pityocampa* par divers auteurs. Mirchev et al., (2005) dans les pinèdes de la Grèce, Tibéri et al., (1999) dans la pinède de Toscane en Italie ont identifié les espèces *Baryscapus transversalis*, *Anastatus bifasciatus* et *Pediobius bruchicida*. De même l'espèce *Ooencyrtus telenomicida* a été notée sur des pontes récoltées dans les pinèdes de Pouilles au sud de l'Italie (Tibéri, 1990).

Dans les sites prospectés la période d'émergence des trois parasitoïdes répertoriés a été synchronisée avec la période de ponte de *T. pityocampa*, au mois d'août. Ce qui est comparable avec l'étude conduite par Zamoum et al., (2015) dans les pinèdes de la région subsaharienne. Arnaldo et Torres (2006) dans les pinèdes du nord du Portugal rapportent que les deux parasitoïdes précités émergent en deux périodes, la première à l'automne de la même année au cours de la période des pontes et la seconde au

printemps de l'année suivante, après une diapause hivernale. Ce qui explique l'effectif des œufs quantifiés avec des parasitoïdes en diapause dans le matériel biologique analysé.

La distribution des œufs parasités est un indicateur de leur acclimatation à cet hôte. Les diverses parties de la ponte sont recherchée indistinctement par *B.servadeii* en provenance de site glacières, forêt noire et 4 bancs, ce qui exprime l'adaptabilité de l'espèce. A ce sujet Massuti (1964) note que ce parasitoïde a la faculté de se glisser entre les écailles protectrices pour atteindre les œufs. De même, Biliotti (1958) considère que la présence d'écailles est une barrière de protection pour les encyrtides, alors qu'elles ne sont pas un obstacle pour les eulophides. Il est courant que les œufs des deux extrémités de la ponte ne sont pas en partie couvertes par des écailles et ce qui peut faciliter l'action des parasitoïdes, l'*O.pityocampa* et *T.embryophagum*. A ce propos, il convient de noter qu'il existe des rapports liés à la répartition des œufs parasités par les diverses espèces antagonistes. Kit et Schmidt (1993) ont constaté que *O. pityocampa* recherche principalement la partie apicale de la ponte, tandis que *B. servadeii* préfère la partie basale de la ponte, mais les résultats obtenus par Mirchev et al., (2012) montrent que les parties extrêmes sont les plus recherchées par les parasitoïdes.

Arnaldo et Torres (2006) notent que la structure des pontes de la processionnaire du pin et les espèces de parasitoïdes associés sont influencés par la morphologie des supports de pontes des différents hôtes potentiels de la processionnaire du pin. Ce qui est valable pour les résultats obtenus sur les rameaux de cèdre particulièrement pour les sites des glacières et des 04 bancs. Des données morphobiométriques sur les écailles protectrices pourraient confirmer davantage le choix et la répartition des parasitoïdes à la surface des pontes.

La variabilité de la fécondité et la signification des diamètres des rameaux sélectionnés par les femelles pondeuses entre les populations de la processionnaire, *T. pityocampa* des stations prospectées est sous l'égide de plusieurs facteurs notamment environnementaux et certainement sur la diversité haplotypique de l'espèce dans son biotope. Les femelles ne possèdent pas les mêmes capacités physiologiques et adaptatives pour l'élaboration de leur ponte respective et choisissent des sites qui peuvent maximiser la survie larvaire de leur progéniture à travers la quantité des ressources disponibles.

Une investigation de la dynamique à long terme des populations entre l'hôte et les ennemis naturels permet de mieux déceler la stratégie évolutive des parasitoïdes des œufs comme régulateur naturel le plus prometteur des populations *T. pityocampa* dans son aire de répartition naturelle.

Les valeurs extrêmes de la biométrie des différents stades larvaires sont variables d'une station à une autre. L'altitude, l'homogénéité de peuplement et la diversité haplotypique de la population est vraisemblablement des facteurs influençant sur la taille des chenilles ce qui peut rejoindre l'idée de Fuhrer et Huang (1979) qui notent que les ressources nutritifs de la plante hôte influent sur le développement larvaire d'un défoliateur). De même Parker et Begon (1986) reportent que les longueurs sont en relation avec les variations de la qualité et de la quantité des ressources disponibles chez la plante.

Les résultats pluriannuels de la distribution des nids d'hiver observés sur la population de la processionnaire au niveau du l'Atlas Blidéen mettent en évidence l'augmentation progressif au cours des cycles 2017- 2018 et 2018- 2019 du niveau de population. Une progression de l'infestation a été notée dans les zones de basse altitude (Beni Ali et glacières). A ce sujet, Sebti (2015) note que la distribution des nids d'hiver est sous l'effet de l'altitude et des conditions climatiques qui en découlent. L'auteur précité mentionne que le nombre moyen des nids varie entre 6,33 dans la tranche altitudinale de 1000 à 1200 m et 7,59 entre 1200 à 1400 m dans le même biotope (Parc de Chréa). A l'Est de l'Algérie, Bertella (1987) note une moyenne de 1,32 nid par arbre dans les boisements de pin d'Alep localisés entre 1000 et 1400 mètres à Batna. Cette fluctuation est également liée à la densité de peuplement dans la zone d'étude ce qui est confirmé par Géri (1983) qui note que les niveaux de population de l'insecte sont étroitement liés aux conditions physiques et aux caractéristiques du milieu forestier. Cette variabilité confirme la stratégie d'occupation de la population de *T.pityocampa* spatiale et temporelle dans son aire de répartition pour assurer un bon développement à sa progéniture. Le dénombrement des chenilles par nid de la processionnaire du pin présente des valeurs extrêmes montrant une variabilité entre les différents sites prospectés. Rivière (2011) note qu'un nid peut contenir jusqu'à 200 ou 300 chenilles. Le Parc de Chréa a connu en hiver 2018-2019 une forte remontée des populations de processionnaire du pin avec des populations multipliées par 2 ou 3 par rapport à celle de l'hiver 2017-2018.

Le choix de site d'emplacement définitif des nids d'hiver est une stratégie adoptée par les chenilles des premiers stades larvaires pour une protection évolutive de leur colonie. La migration des chenilles aux premiers temps est liée au manque de nourriture, puis à la baisse températures automnales (Huchon et Demolin, 1970), les chenilles de 4^{ème} stade larvaire se dirigent vers les branches plus hautes et plus ensoleillées pour construire leur nid d'hiver, ce qui explique la distribution des nids en fonction de leur exposition sur l'arbre. Dans les sites prospectés de cédraie de Chréa, la distribution interannuelle des nids en fonction de l'exposition des sites d'emplacement est très significative. L'exposition Est, et les extrémités de l'arbre (Apical et basal) sont les plus favorables à la construction des nids. A ce sujet, Sebti (2015) dans le même biotope, note que l'exposition sud est la plus adéquate pour la construction des nids. De même, Zamoum (1998) note que la distribution des nids est localisée à l'exposition sud dans la région semi-aride de l'Algérie. Géri (1983) rapporte que 1970, la population est plus faible en exposition Nord qu'en exposition sud dans la vallée de Niolo en Corse. Le choix de la position et de l'emplacement du nid reste très discutable.

Plusieurs hypothèses sont émises quant à l'efficacité des pièges à phéromones, est très faible en provenance de site des glacières et la forêt noire par contre une diminution des nids d'hiver a été enregistrée l'année suivante après le piégeage dans le site Beni Ali et les 04 Bancs. Cette faible efficacité est peut être exprimée par la phase de progradation vers la phase de culmination de la processionnaire du pin au parc de Chréa. Pour cela les chances de captures des adultes mâles par piège sont moins importantes lorsque beaucoup de femelles sont présentes en forêt. Il est bien connu que les lisières sont plus infestées que les forêts denses ce qui peut expliquer la faible efficacité dans les sites extrêmes. Les résultats similaires ont été rapportés par Baronio et *al.*, (1992), qui notent une réduction non significative du nombre de nids de *T. pityocampa* dans une zone expérimentale après l'installation de 20 pièges par hectare, par rapport à une zone témoin. Martin (2015) suggère qu'un minimum de quatre pièges est nécessaire pour être efficace même dans une petite zone et six pièges par hectare sont nécessaires pour de grandes zones. A ce propos, Jactel et *al.*, (2006) montrent que les résultats peuvent être influencés par divers facteurs, notamment l'emplacement du piège, le type de piégeage, la source de phéromone et d'autres stimuli visuels couleur de la surface du piège. D'après les données recueillies lors de nos essais dans les stations du Parc, la technique de piégeage de masse est capable de

réduire l'activité de reproduction des adultes de *T. pityocampa*, cependant davantage de données sont nécessaires pour obtenir une plus grande fiabilité sur son fonctionnement. Il reste que cette méthode ne limite pas la possibilité d'une nouvelle infestation causée par des papillons femelles provenant des zones environnantes, et pour cette raison, son efficacité est plus grande dans les sites isolés ou son utilisation en combinaison avec des techniques préventives.

Les processions de nymphose observées dans la cédraie de Chréa sont notées entre la première décennie de mars et la dernière décennie de mai. Les mêmes résultats sont confirmés par Sebti (2015) dans même biotope. Sur le pin d'Alep en provenance de Djelfa, Zamoum (1998), note que les processions sont plus précoces, à partir du mois de février jusqu'à mai. Dans les pinèdes de Mont Ventoux, le départ en procession est noté entre les mois de mars et mai (Demolin, 1971). Huchon et Démolin (1970) montrent que la maturité des chenilles et le départ en procession est en fonction de la rigueur de l'hiver. Vraisemblablement, cette variabilité des dates dépendent de la plante hôte (cèdre ou pin).

Les valeurs extrêmes de la taille et le poids des chrysalides sont variables d'une station à une autre, cette variabilité est peut être liée à la diversité haplotypique de l'espèce dans son biotope. Une variation du sex-ratio est notée chez la population étudiée. A ce propos, Fisher (1930) mentionne que ces variations sont liées à la sélection naturelle qui implique des mécanismes d'ajustement tendant à stabiliser les populations.

Le taux de mortalité des chenilles et des chrysalides varie d'une station à une autre, et d'une année à une autre, il dépasse 45 % au stade chenilles, 20 % pour le stade nymphal. Sebti (2015) note que le taux ne dépasse pas 30% dans le même biotope prospecté. Les taux d'incidence cumulés des parasitoïdes observés par Rahim (2016) chez l'espèce *T. bonjeani* évoluant en Algérie est de 16%. Avci et Kara (2002) ont enregistré un taux de 8,5 % de mortalité sur la population nymphale de *T. ispartaensis*. Halperin (1990) a noté une mortalité de l'ordre de 4,5 % sur la population de *T. solitaria*.

Les causes de ses mortalités sont diverses. Parmi elles, la présence des ennemis naturels (les parasitoïdes, les prédateurs et les agents pathogènes).

Les résultats des observations des deux années d'étude portées sur les populations larvaires et nymphales ont permis d'identifier deux espèces de Diptères Tachinaires parasitoïdes, il s'agit ; *Compsilura concinnata* (Meigen) et *Phryxe caudata* (Rondani).

De même, une espèce d'hyménoptère Braconide, du genre *Apanteles* sp (Forster) et une espèce prédatrice de Coléoptère Dermestidé, *Dermestes* sp ont été identifiés. L'espèce de *Phryxe caudata* est notée par Géri (1983) dans la vallée de Niolo en Corse avec une autre espèce de tachinaire *Ctenophorocera pavida*. Zamoum (1998) dans la zone semi-aride, note la présence l'espèce de *Exorista segregata* et Sebti (2015) au parc de Chréa montre la présence de *Villa brunnea* comme antagoniste larvo-nymphal.

Concernant la prédation des chenilles au terrain, elle est due essentiellement au *Calosoma sycophanta* et les oiseaux insectivores (mésanges).

La gradation de la chenille processionnaire du pin dépend de plusieurs facteurs écologiques, notamment l'ensoleillement, la photopériodique, la température, l'altitude et latitude, la présence des prédateurs et des parasitoïdes, ainsi que la quantité et la qualité des ressources alimentaires, c'est pourquoi on note des variations interannuelles de développement et des niveaux de populations d'une station à une autre. Une forte augmentation des niveaux de populations est notée au cours de l'hiver 2018- 2019. Cette progradation est vraisemblablement liée aux conditions favorables de certaines stations aux ressources alimentaires qui conditionnent notamment la fécondité des femelles. En outre, cette augmentation de niveaux est peut être expliquée par le déclenchement d'une diapause prolongée. La hausse marquée des niveaux de populations s'est fortement accentuée pour atteindre le pic de culmination au cours de l'hiver 2019-2020. Ce type de fluctuation est noté par diverses auteurs dans la région méditerranéenne (Graf et M'zibri ,1994 ; Sbabdji ,2012 ; Sabti, 2015). A ce propos Démolin (1969) note que les principaux facteurs responsables de fluctuations des populations sont, le climat, la nourriture et la prédation. La diminution des niveaux de population après le pic de culmination est en relation au l'un des mécanismes de défense développé par les arbres « changement de la composition biochimique de la plante hôte » qui influent sur le nombre des pontes, la productivité des œufs et la mortalité larvaire (Battisti, 1988 ; Carvalho *et al.*, 1999, Tiberi *et al.*, 1999). Géri (1983) montre que les défoliations des arbres induisent la synthèse de métabolites rendant le nouveau feuillage toxique.

CONCLUSIONS GENERALES

Les gradations épidémiques causés par la processionnaire d'hiver, *T. pityocampa* sont périodiques et prennent une extension et une expansion dans son aire de répartition en relation avec le réchauffement climatique. Malgré les diverses investigations conduites sur plusieurs aspects sur son écologie et sa biologie, nous assistons au cours de ces dernières années à une évolution stratégique dans diverses stations du Parc National de Chréa. D'année en année, et d'une station à une autre, les dégâts sont variables et sont gérés par les conditions environnementales en relation avec les expositions et l'état du peuplement.

Les prospections et les investigations conduites depuis l'année 2017 témoignent d'une augmentation conséquente des niveaux de populations au cours de périodes hivernales des années 2018 à 2019. Un schéma de progradation qui prédit une phase de culminations au cours des prochaines années si les conditions seront favorables au développement au défoliateur. De même, les ressources alimentaires conditionnent et favorisent les populations dans leur milieu. La hausse marquée des niveaux de populations s'est fortement accentuée pour atteindre un pic inquiétant au cours de l'hiver 2019-2020.

L'étude conduite dans les peuplements forestiers de Parc National de Chréa a mis en évidence les principaux aspects écologiques et biologiques de l'insecte ainsi que les facteurs de mortalité. Les résultats obtenus viennent enrichir et compléter les travaux réalisés sur l'insecte dans son biotope.

L'étude pluriannuelle de la chronologie de développement de *T. pityocampa* dans les sites prospectés nous a permis de suivre la dynamique de la population au cours de sa gradation pour la période (2016- 2019) sur le cèdre de l'Atlas Blidéen. Les adultes de *T. pityocampa* mènent une vie éphémère de quelques jours et effectuent leur vol entre les mois de juin à août. A la deuxième semaine de juillet en 2017, un taux de 50 % des émergences est enregistré. Pour les années 2018 et 2019, le maximum des émergences est noté plus précocement vers la fin du mois de juin. Ces dates de calage sont très intéressantes pour déclencher une alternative de lutte biologique à base d'ooparasites, cas de *Ooencyrtus pityocampa* et de *Trichogramma embryophagum*. Les variations environnementales, particulièrement climatiques interannuelles d'une station à une

autre jouent un rôle déterminant sur l'échelonnement des émergences des adultes et restent un élément fondamental pour un pouvoir décisionnel dans le contexte d'intervention biologique.

Les femelles de la processionnaire du pin ont une stratégie d'oviposition très complexe, la qualité et la quantité des ressources disponibles chez la plante hôte rentrent dans le choix et la sélection des sites par les femelles pondueuses pour assurer une protection évolutive de sa progéniture. L'analyse des données recueillies sur la fertilité des femelles montre une variabilité des femelles pondueuses avec l'altitude. Les premières éclosions se sont manifestées vers la fin du mois de juillet et se sont échelonnées jusqu'à la première semaine du mois de septembre. Au cours des 2 cycles les données biométriques recueillies sur les différents stades larvaires restent comparables et leur taille dépend de la source d'alimentation et de sa qualité.

Les résultats pluriannuels de la distribution des nids d'hiver comptabilisés sur la population de la processionnaire sur le cèdre de l'Atlas blidéen témoignent d'une croissance progressive au cours des cycles de 2017 à 2019. Une progression de l'infestation a été notée dans les zones de basse altitude (Beni Ali et glacières). De même, le dénombrement des chenilles par nid de la processionnaire du pin présente des valeurs extrêmes montrant une variabilité significative entre les différents sites prospectés. Le choix de site d'emplacement définitif des nids d'hiver est une stratégie adoptée par les chenilles des premiers stades larvaires pour une protection évolutive de leur colonie. Dans les sites prospectés de cédraie de Chréa, la distribution interannuelle des nids en fonction de l'exposition des sites d'emplacement est très significative. L'exposition Est, et les extrémités de l'arbre (Apical et basal) sont les plus favorables à la construction des nids. L'efficacité des pièges à phéromones est très faible dans les sites des glacières et la forêt noire par contre une diminution des nids d'hiver a été enregistrée l'année suivante après le piégeage dans les sites de Beni Ali et des 04 Bancs.

La chronologie des départs en processions de nymphose a débuté à la mi-mars vers la fin avril en 2017, et de la première décade de mars à mi-mai en 2018. Le protocole de suivi des chrysalides a permis de terminer que la durée de la phase hypogée varie de 2 à 3 mois. Les valeurs extrêmes de la taille et le poids des chrysalides sont variables d'une station à une autre et restent en faveur des femelles, marquant un dimorphisme sexuel. Une variation du sex-ratio est notée entre les populations testées.

A partir des lots de pontes examinées et analysées, une diversité entomologique de trois parasitoïdes embryonnaires récoltés dans les sites prospectés a été identifiée. Il s'agit des espèces de Chalcidoïdés ; *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampa* et *Trichogramma embryophagum*. L'activité spatio-temporelle de ces trois parasitoïdes embryonnaires est variable. Pour la population de site des glaciers et la forêt noire, la présence de *O. pityocampa* est très remarquable. Un antagonisme différent entre les parasitoïdes a été observé concernant leurs capacités à parasiter les œufs de la chenille processionnaire dans les quatre sites prospectés.

L'étude de la distribution de ces trois parasitoïdes embryonnaires sur la surface de la ponte montre que les différentes parties de cette dernière sont recherchées avec différentes fréquences par *B. servadeii* en provenance des sites glaciers, forêt noire et des 4 bancs.

A propos du taux de mortalité des chenilles et des chrysalides, il varie d'une station à une autre, et d'une année à l'autre, il dépasse 45 % au stade chenilles, 20 % pour le stade nymphal. Les résultats des observations, relatives aux deux années d'étude portées sur les populations larvaires et nymphales ont permis d'identifier deux espèces de Diptères Tachinaires parasitoïdes, il s'agit ; *Compsilura concinnata* (Meigen) et *Phryxe caudata* (Rondani). De même, une espèce d'hyménoptère Braconide, du genre *Apanteles* sp (Forster) et une espèce prédatrice de Coléoptère Dermestidé, *Dermestes* sp ont été identifiés. Concernant la prédation des chenilles au terrain, elle est due essentiellement au *Calosoma sycophanta* et les oiseaux insectivores (mésanges).

L'apparition des pullulations de *T. pityocampa* ces dernières années à Chréa, mérite une attention particulière sur son évolution. L'alternative de lutte mécanique, basée sur la récolte des pontes en été et la récolte des nids en hiver reste l'intervention prometteuse qui diminue considérablement la population, si ses concepts sont respectés. Une alternative de lutte biologique est à prévoir pour mieux cerner l'évolution de ce défoliateur dans toutes ses composantes. Les antagonistes embryonnaires répertoriés sont d'une grande utilité et leur élevage dans les sites de l'aire de répartition de la processionnaire, *T. pityocampa* est très souhaitable pour une meilleure gestion des populations dans leurs milieux naturels.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abdessemed K. 1981** - *Le Cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma - Étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement*. Thèse. Doct. Ing. Fac. St. Jérôme, Marseille, 199p.
2. **Alexandrian D., Gouiran M. 1992** - Les causes d'incendies. Levons le voile. *Forêt méditerranéenne*, (1), p.p. 41-47.
3. **Arbez M., Ferrandes P. et Uyar N. 1978** - Contribution à l'étude de la variabilité géographique des cèdres. *Ann. Sci. For.* 35(4), p.p. 265-284.
4. **Arnaldo P.S., et Tortes L.M. 2006**- Effect of different hosts on *Thaumetopoea pityocampa* populations in Northeast Portugal. *Phytoparasitica*, 34(5), p.p. 523-530.
5. **Aubry O. 2008**- *Lutte attracticide et lâchers inondatifs de trichogrammes contre le carpocapse de la pomme, cydia pomonella (lepidoptera: tortricidae)*. Mém. Université du Québec., Montréal. 76p.
6. **Avci M. 2003**- Parasitism of egg-batches of the cedar processionary moth *Traumatocampa ispartaensis* in Turkey. *Phytoparasitica*, 31: 118-123.
7. **Avci M., et Kara K. 2002** - Tachinidae parasitoids of *Traumatocampa ispartaensis* from Turkey. *Phytoparasitica*, 30(4) : p.p. 361-364
8. **Ayache S. 2016**- *Les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin sur le cèdre de l'Atlas, et possibilité de leur utilisation en lutte biologique*. Mem. Mas. ENSA. El-Harrach, Algérie, 84p.
9. **Ayache S., Strangi A., Chakali G., Dahmani L., Chellali M., Pennacchio F., Roversi R., Binazzi F. 2020**- A new species, *Cinara tellenica* Binazzi F. et Strangi (Aphididae Lachninae) associated with *Cedrus atlantica* in the Tell Atlas of Algeria. *Bulletin of insectology*, 73 (2): p.p. 275-283.
10. **Barbaro L. 2008** - Les oiseaux insectivores prédateurs de la processionnaire du pin. *In : Colloque Insectes et changement climatique*. Micropolis, Aveyron (FRA), 15 novembre 2008.
11. **Baronio P., Baldassari N., & Scaravelli D. 1992** - Quantitative evolution a *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera Thaumetopoeidae) population under mass trapping. *Frustrula Entomologica*, XV, 1-9.
12. **Battisti A. 1988** - host-plant relationships and population dynamics of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermüller). *J. Appl. Ent.* 105: p.p. 393-402.

13. **Battisti A. 1989** - field studies on the behaviour of two egg parasitoids of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *J. Appl. ent.*105, p.p. 393-402.
14. **Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., et Larsson S. 2005** - Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures, *ecological applications*, 15, p.p. 2084-2096.
15. **Battisti A., Stastny M., Buffo E., Larsson S. 2006** - A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global change biology*, 12: 662-671.
16. **Battisti, A., Avci, M., Avtzis, D.N., Jamaa, M.L.B., Berardi, L., Berretima, W., et al. 2015**- Natural history of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.): New insights in relation to climate change *Processionary moths and climate change: An update* (pp. 15-79): Springer.
17. **Becker M., Braker O.U., Kenk G., Schneider O., Schweingruber F.H. 1990** - Aspects des houppiers et croissance des arbres au cours des dernières décennies dans la région frontalière d'Allemagne, de France et de Suisse. *rev.for.fr.* xlii (3), p.p. 284-300.
18. **Bellin S., Schmidt, G.H., Douma-Petridou E. 1990**- Structure, oöparasitoid spectrum and rate of parasitism of egg batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (*Lep., Thaumetopoeidae*) in Greece. *J. Appl. Entomol.* 110: p.p.113-120.
19. **Benhalima S. 2006**- *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)*. Thes. Doct., Université Mohammed V El-Aghdal, Rabat, 107p.
20. **Bentouati A., 2008**-La situation du Cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, t. XXIX, (2), p.p. 203-208.
21. **Bentouati A., Bariteau M. 2006**- Réflexion sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne* t.xxvii, n°4, décembre 2006.
22. **Bertella N. 1987**-*Bio écologie de Thaumetopoea pityocampa Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) dans quelques régions d'Algérie*. Thes. Mag. ENSA., El-Harrach, Alger. 110p.
23. **Biliotti E. 1958**- Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*). *Entomophaga*, 3(1), p.p. 23-34.
24. **Bonnet C. et Martin J.C. 2008**- Processionnaire du pin. *Nature*, p.p. 29-33.
25. **Bonnet C. et Martin J.C. 2009**- La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*. INRA, 4 p.
26. **Boudy P. 1950**- *Economie forestière Nord-Africaine : Monographie et traitements des essences forestières*. Ed. Larose, T 2(II), Paris, 878p.

27. **Boudy P. 1952-** *Guide du forestier en Afrique du Nord*. Ed. La Maison Rustique. 505p.
28. **Bouhot-Delduc L. 2005-** Dynamique des populations de la processionnaire du pin et extension de son aire de colonisation de 1981 à 2004 en France. Bilan de santé des forêts en 2004. *Département de santé des forêts*. Échelon central, Paris. 6p
29. **Buffo E., Battisti A., Stastny M. et Larsson S. 2007-** Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agr. For. Entomol.* 9(1), p.p. 65- 72.
30. **Caspary H. J. 1991 -** Forest decline and soil acidification as biospheric aspects of the hydrological cycle. *IAHS Publ.*, 204, p.p. 485-494.
31. **Carvalho L., Mateus E.P., Farrall M.H. et Paiva M.R. 1999 -**Caracterizaçao do ataque de *Thaumetopoea pityocampa* num povoamento de *Pinus pinaster* por SPME e CG-MS.-In : Actas do 3º encontro Nacional de Ecologia, Faro, Portugal, 3-5 de Dezembro de 1998 R Revista de Biologia (Lisboa), 17, p.p. 283-287.
32. **Chakali G., 2006-** *Biologie et écologie de l'hylésine des pins Tomicus destruens Wollaston, 1865 (Coleoptera : Scolytidae) dans la forêt naturelle de Senalba Chergui (Djelfa-Algérie)*, Thèse. Doct. Institut Nationale Agronomique. El-Harrach, Algerie. 124p.
33. **Cloutier C. et Cloutier C. sd -** Lutte contre les insectes nuisibles. In : Vincent C. et Coderre D., *La lutte biologique*. Ed. Gaëton morin, Québec, p.p. 19-72.
34. **Cloutier C. 1992-** Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures, p.p. 19-88.
35. **Debach P. et Rosen D., 1991-** Biological control by natural enemies. Ed. *Combridge*, 440p.
36. **Démolin G. 1967b -** Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver R activité de tissage. *C. R.Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux*. pp 69-77.
37. **Démolin G., Rive JL. 1968 -** La processionnaire du pin en Tunisie. *Ann.I.N.R.F.Tunis*, Vol. 1, Fasc.1.
38. **Démolin G. 1969 b -** Bioecologica de la processionnaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Incidencia de los factores climaticos. *Bol. Serv. Plagas Forest.* 23 : 9-24.
39. **Démolin G. 1970 -** Programa ecologico internacional sobre la procesionaria del pino. *Bol. Serv. Plagas Forest.* 13 : 111-117.
40. **Démolin G. 1971-** Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*) pendant la

- période des processions de nymphose - Répercussions sur l'efficacité des parasites. *Ann. Zool. – Écol. Anim.* Hors série : 33-56.
41. **Démolin G. 1987-** La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au Mont-Ventoux. *Etude Vaclusiennes*, n°spécial, 3, 157-173.
 42. **Démolin G., Frerot B., Chambon J.P., Martin J. C. 1994-** Réflexion Biosystématique sur toutes les processionnaires du genre *Thaumetopoea* (Lep., *Thaumetopoeidae*), considérées comme ravageurs importants des cèdres *Cedrus libani* Barel et *Cedrus atlantica* Manetti sur le pourtour du bassin méditerranéen. *Annales des Recherches Forestières Maroc*, 2, 577-591.
 43. **Derridj A. 1994-** Exploration de la variabilité intra spécifique de *Cedrus atlantica* Manetti en Algérie par l'étude des cones. *Ann. Rech. For.*, T (27): 435-450
 44. **Devkota B., Schmidt G.H. 1990-** Larval development of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) from Greece as influenced by different host plants under laboratory conditions. *Journal of Applied Entomology*, **109**, p.p. 321-330.
 45. **DGF. 2007-** Direction générale des forêts : Politique forestière nationale et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et Alfatières, p.p. 1-37.
 46. **Dreux P. 1980-** *Précis d'écologie*. Ed. Presses. France, Paris, 213p.
 47. **Du Merle P. 1969 -** Le complexe parasitaire hypogé de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera). *Boletín del Servicio de Plagas Forestales*, 13 : 131-132
 48. **Du merle P. 1988 -** Quelques problèmes de diagnostic posés par les insectes défoliateurs forestiers. *Rev. Forest. Française*, n°spécial, 40, p.p. 118-123.
 49. **Dulaurent A.M. 2010-** Effet de la diversité des essences forestières sur les niveaux de population de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), à différentes échelles spatiales, dans la forêt des Landes de Gascogne, communication orale, INRA Bordeaux, Journée d'Ecologie de Toulouse 15 Novembre 2010.
 50. **Einhorn J., Menassier P., Michelot D., Riom J. 1983-** Piégeage sexuel de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep., *Notodontidae*) par des attractifs de synthèse. Premier essais dans le sud-ouest de la France. *Agronomie*, 3 (6), 499-505.
 51. **El Mokhefi, M.h., Kerdelhué, C., Burban, C., Battisti, A., Chakali, G., & Simonato, M. - 2016.** Genetic differentiation of the pine processionary moth at the southern edge of its range: Contrasting patterns between mitochondrial and nuclear markers. *Ecology and Evolution*, 6(13), 4274–4288. doi: 10.1002/ece3.2194

- 52. El Yousfi M., 1994-** La santé du cèdre de l'atlas au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, T (27), p.p. 603- 624.
- 53. Fabre J.P. 1988-** Possibilités d'infestation par les pucerons : *Cedrobium laportei* Remaudière, *Cinara cedri* Mimeur (Homoptera, Lachnidae), chez le genre *Cedrus*. *Ann. Sci. For.*, 45(2), p.p. 125- 140.
- 54. Fisher R.A. 1930** -The genetical theory of natural selection. Oxford: Oxford University Press.
- 55. Fraval A. 2007-** Les processionnaires 1ères partie- La processionnaire du pin. *Insectes* n°147, p.p. 35-39.
- 56. Freese G. et Zwölfer H. 1996-** The problem of optimal clutch size in a tritrophic system : the oviposition strategy of the thistle gallfly *Urophora cardui* (Diptera, Tephritidae). *Oecologia*, 108, p.p. 393-302
- 57. Führer. Huang P. 1979-** Zur Nahrungsqualität von fichtennadeln für forstliche schadinsekten .12.variabilität der Nadelhautstruktur.*Z. Angew. Entomol.* 88:231-245
- 58. Gachi M., Khemici M., et Zamoum M. 1986** - Sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre *T. bonjeani* Powell (Lepidoptera *Thaumetopoeida*E). *Annales de la recherche forestière, Algérie I* : 53-63
- 59. Geri C. 1983** - Répartition et évolution des populations de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., (*Lep., Thaumetopoeidae*) dans les montagnes corses. *Acta OEcologica – OEcolog. Applic.* 4(3) : 247-268.
- 60. Graf, P., M'zibri, M. 1994** - L'infestation du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) par la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) au Maroc et son impact sur la productivité. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27: 613-624.
- 61. Grison P., Vago C. et Maury R. 1959-** La lutte contre la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff dans le massif du Ventoux. Essai d'utilisation pratique d'un virus spécifique. *Rev. For. Fr.*, 5, p.p. 353-367
- 62. Grison P. 1972-** Observation sur l'impact des insectes défoliateurs sur la productivité primaire, in : Productivité des écosystèmes forestiers. *Actes du colloque de Bruxelles, Collection, Ecologie et conservation*, 4, p.p. 369-375.
- 63. Grojean A.L., Baudouin D.E. et Flamant S. 2006-** Incidences environnementales et sanitaires des chenilles processionnaires et de leurs traitements en France, *Atelier Santé Environnement IGS Promotion : 2005 – 2006*, Eco. Nati. Santé Publique, Renne I, p.p. 3-15
- 64. Halimi A. 1977** - *L'Atlas blidéen -climat et étages végétaux*. Ed. Office des Publications Nationales, Alger, 523p.

65. **Halitim S. 2006** - *Contribution à l'étude de la réserve utile en eau des sols de cédraines dans les Aurès: Influence des facteurs édaphiques*. Mém. Mag., Dép. Agr. Batna, 131p.
66. **Halperin J. 1990** - Life history of *Thaumetopoea* spp. (*Lep., Thaumetopoeidae*) in Israel. *Journal of Applied Entomology*, 110:p.p. 1- 6.
67. **Hezil, S., Chakali, G., & Battisti, A. 2018** - Plant phenotype affects oviposition behaviour of pine processionary moth and egg survival at the southern edge of its range. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 11(5), 572.
68. **Hezil S. 2019**- Les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin, *Thaumetaupoea pityocampa* Schiff et leur importance dans quelques peuplements de pin et de cèdre du Nord de l'Algérie. Thès.Doct. ENSA. El Harrach, Algérie, 175p.
69. **Hoch G., Toffolo E. P., Netherer S., Battisti A. et 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, p.p. 313-320.
70. **Hogervorst PAM., Waïckers FL., Romeis J. 2007** - Effects of honeydew sugar composition on the longevity of *Aphidiuservi*. *Entomol. Exp. Appl.* 122, p.p. 223–232.
71. **Huchon H., et Démolin G. 1970** - La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle – dispersion actuelle. *Revue Forestière Française* (N°spécial “La lutte biologique en forêt”), p.p. 220-234.
72. **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 ?*.Thes. Doct. Université d'Orléans. France, 173p.
73. **Jactel H., Menassieu P., Vétillard F., Barthélémy B., Piou D., Frérot B.,... Battisti A. 2006** - Population monitoring of the pine processionarymoth (*Lepidoptera: Thaumetopoeidae*) with pheromone-baited traps. *Forest Ecology and Management*, 235, p.p. 96–106.
74. **Jonsson M., Wratten S.D., Landis D.A., Gurr G.M. 2008** - Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. *Biol. Control* 45, p.p. 172–175.
75. **Kerdelhué C., Zane L., Simonato M., Salvato P., Rousselet J., Roques A., et al. 2009** - Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evolutionary Biology*, 9, 220p.
76. **Kerdelhué C., Battisti A., Burbán C., Branco M., Cassel- Lundhagen A., Ipekdal K., et al. 2015**- Genetic diversity and structure at different spatial scales in the processionary moths. In: Roques, A., eds. *Processionary Moths and Climate Change*.

- An update. Springer, Dordrecht, Netherlands and Quae, Versailles, France, p.p 163-226.
77. **khanfouci M.S. 2005-** *Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica M.) dans le massif du Belezma*. Thès. Mag. Uni. Batna. 249p.
 78. **Khelfoune M. 2020 -** *Biosystématique des Aphides inféodés aux Fagacées (chênes et châtaigner)*. Mem. Mast. ENSA. El-Harrach, Algérie. 61p.
 79. **Kimoto T., Duthie-Holt M. et Dumouchel L. 2006-** *Guide des insectes forestier exotiques*. Ed. ACIA, Canada, 120p.
 80. **Kitt J., Schmidt G .H. 1993-** Parasitism of egg-batches of the pine processionary moth *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams (Lep., Thaumetopoeidae) in the mountains of Lahav (Israel). *Journal of Applied Entomology*, 115, p.p. 484 – 498.
 81. **Klomp H. et Teerink B.J. 1962-** Host Selection and Number of Eggs per Oviposition in the Egg-Parasite *Trichogramma embryophagum* Htg. *Nature*. 195, p.p. 1020-1021.
 82. **Krouch F. 2010-** *Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du cèdre de l'atlas (Cedrus atlantica Manetti). En peuplement naturel (Tala-guilef, Djurdjura nord- ouest Algerie)*. Thès. Doct: écologie forestière. Univ. Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie. 154p.
 83. **Lavalees R ., Regniere J ., Moristte J . 1988 -** Influence de la température et des précipitations sur le vol des mâles de *Zeiraphera canadiensis* en plantation d'épinette blanches. *Phytoprotection*, 69, p.p. 99-103.
 84. **Leblond A. 2009-** *Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire du pin*. Mém. Master. Univ. Rennes 1, France. p.p. 25- 32.
 85. **M'hirit O. 1982-** Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. *Ann. Rech. Forest*, T (22), 502p.
 86. **M'hirit O. 1994-** Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea "le Cèdre". *Ann. Rech. For. Maroc*. T (27), p.p 3-21.
 87. **M'hirit O. 2006-** *Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps*. Ed. Mardaga. 288 p.
 88. **Maire R. 1952-** Flore de l'Afrique du nord. Encyclopédie biologique. Volume 1. Paul Lechevalier Editeur, Paris. 366 p.
 89. **Marçais B., Bouhot-Delduc L., et Le Tacon F. 1999-** Effets possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts. *Rev. For. Fr. LII*, n° spécial, p.p 99-117.
 90. **Martin J.M. 2005-** *La processionnaire du pin, Thaumetopoea pityocampa. Biologie, complexe parasitaire et protection des forêts*, Ed. INRA. France, p.p 9-31.

91. **Martin J.M., et Bonnet C. 2008** - La chenille processionnaire du pin. 4p.
92. **Martin J. C. 2015** - Development of environmental-friendly strategies in the management of processionary moths. In A. Roques (Ed.), *Processionary moths and climate change: An update*. p.p. 411–427.
93. **Masutti L. 1964-** Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Ann. Centro. Econ. Mont, Venezia*, 4, 205-271.
94. **Mirchev P., Tsankov G. 2005-** Checklist of the parasitoids and predators on *Thaumetopoea* spp. (Lepidopterae : Notodontidae). *Acta Entomol. Bulg*, 11 (1,2), p.p. 82-96.
95. **Mirchev P., Tsankov G., Avci M., Matova M. 2007-** Study of some aspects of ecology of pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) and its egg parasitoids in Turkey. *Silva Balcanica*, 8 (1), p.p. 66-78.
96. **Mirchev P., Georgiev G., Boyadzhiev P., Matova M. 2012-** Impact of entomophages on density of *Thaumetopoea pityocampa* in egg stage near Ivaylovgrad, Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, Supplement, 4, 103-110.
97. **Mirchev P., Dautbašić M., Mujezinović O., Georgiev G., Georgieva M., Boyadzhiev P. 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. *Acta Zoologica Bulgarica*, 67(4), p.p. 579- 586.
98. **Morel E. 2008-** Recherche et Médiation scientifique sous un angle de muséographie : La chenille processionnaire du pin et ses parasites oophages : Vers un moyen de lutte biologique? Rapport de stage, Ecologie et Gestion de la Biodiversité. Université Montpellier.
99. **Mouna M. 1994-** Etat des connaissances sur l'entomofaune du Cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, T(27), p.p. 513-526.
100. **Mouna M., et Fabre J-P. 2005-** Pest insect of cedars: *Cedrus atlantica* Manetti, *C. libani* A. Richard and *C. brevifolia* Henry in the Mediterranean area. In: Lieutier F. et Ghaïoule D. *Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems*. Ed. INRA, France, pp. 89-103.
101. **Özkazans O. 1987-** Investigations on egg laying habits of (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) (Lep.: Thaumetopoeidae). – In Türkiye I. Entomoloji Kongresi Bildirileri, 13-16 Ekim 1987, Ege Üniversitesi, Bornova, Izmir. Bornova/Izmir, Türkiye; Ege Üniversitesi Atatürk Kültür Merkezi 727-735 (In Turkish, English summary).

- 102. Panetsos K.P., Scaltsoyiannes A., et Tsaktsira M. 1994-** Genetic variation in Allozymes of *Cedrus libani* A. Rich. And *Cedrus atlantica* Mannetti. *Ann. Rech. For.*, T (27), p.p. 419-434.
- 103. Parker A., et Begon M. 1986-** Optimal egg size and clutch size : effects of environment and maternal phenotype, *Am. Nat.*, 128, p.p. 573-592.
- 104. Pimentel C., Ferreira C., et Nilsson J.A. 2010-** Latitudinal gradients and the shaping of life-history traits in a gregarious caterpillar. *Biol. J. Linnean Soc*, 100(1), p.p. 224- 236.
- 105. Pintureau B., Bourarach K. et Rohi L. 2003-** Preliminary inventory of Hymenopteran egg parasitoids from Morocco. *Actes Inst. Agron. Vet.*, 23(2-4), p.p.163-183.
- 106. Pintureau B. 2009-** *La lutte biologique et les trichogrammes : préservation ou lâcher de parasitoïdes*. Ed. Le manuscrit, Paris, 218p.
- 107. Pintureau B. 2011-** *Les espèces européennes de Trichogrammes*. Ed. InLibroVeritas, France, 96 p.
- 108. Pujos A. 1966-** Les milieux de la cédraie marocaine. Etude d'une classification des cédraies du Moyen Atlas et du Rif en fonction du sol et du climat de la régénération actuelle dans les peuplements. *Ann. Rech. For.*8, 283p.
- 109. Quezel p., et Medail. 2003-** *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Ed. Larose, Paris, 571p.
- 110. Quezel P. 1980 -** Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. In PESSON : *Actualités d'écologie forestières*. Paris, Bordas, p.p. 205-256
- 111. Rahim N., Chakali G., et Battisti A. 2016 -** Egg mortality in the cedar processionary moth, *Thaumetopoea bonjeani* (Lepidoptera: Notodontidae), in an outbreak area of Algeria. *Biocontrol Science and Technology*, 26 (6), p.p. 849–860.
- 112. Rahmani Y. 2010-** *Contribution à l'étude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l'atlas (cedrus atlantica m.) dans la région de batna : cas de la cedraie de belezma*. Mém. Magis. Unive. el-hadj lakhdar, Batna, 115 p.
- 113. Renwick J.A.A., Chew, FS. 1994-** Oviposition behavior in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, **39**, p.p. 377-400.
- 114. Rio-Nivert P. 2005-** *Les résineux. Ecologie et pathologie*. Ed. Pascal Maurin, Tome II, Paris , 290p.
- 115. Riviere J. 2011 -** *Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale*. Thès. Doct. Médecine de Créteil. École nationale vétérinaire d'Alfort, 167p.

- 116. Robinet C., Baier P., Pennerstorfer J., Schop, A., et Roques A. 2007-** Modelling the effects of climate change on the potential feeding activity of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.)(Lep., Notodontidae) in France. *Global Ecology and Biogeography*, 16(4), p.p. 460-471.
- 117. Rousselet, J., Zhao, R., Argal, D., Simonato, M., Battisti, A., et Roques, A. 2010 -** The role of topography in structuring the demographic history of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae). *Journal of Biogeography*, 37, 1478–1490.
- 118. Sabatier S et Barthelemy D. 1994 -** Premières observations sur l'architecture du Cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* (Endl.) Manettiex Carriere, (Pinaceae). *Ann. Rech. For.*, T (27), p.p.363- 379.
- 119. Sabti S. 2015-** *Recherche écologique et répartition spatio- temporelle de la processionnaire Thaumetopoea pityocampa schiff. Dans la région de l'atlas blidéen.* Thès. Doct. ENSA, El Harrach, Algérie. 108p.
- 120. Salt G. 1936 -**Experimental Studies in insect parasitism.IV. The effect of superparasitism on populations of *Trichogramma evanescens*. *J. Exp. Biol.*, 13, p.p. 363-375.
- 121. Sbabdji M. 1997-** *Contribution à l'étude de perte de croissance de Cedrus atlantica Manetti suite aux attaques de la processionnaire du pin Thaumetopoea pityocampa Schiff.* Thès. Magis. ENSA, El-Harrach, Algérie, p.p. 21, 97.
- 122. Sbabdji M. 2012-** *Etude des infestations de la cédraie de Chréa par la processionnaire du pin, Thaumetopoea pityocampa Schiff: description spatiotemporelle et relations arbre-défoliateur.* Thès. Doct. E.N.S.A, El Harrach, Algérie. 115p.
- 123. Schmidt J.M., et Smith J.J.B. 1985-** Host volume measurement by the parasitoid wasp *Trichogramma minutum* : the roles of curvature and surface area. *Entomol, Exp. Appl.*, 39, p.p. 213-221
- 124. Schmidt J. M., et Smith J.J. B. 1986-** Correlations between body angles and substrate curvature in the parasitoid wasp *Trichogramma minutum* : a possible mechanism of host radius measurement. *J. Exp. Biol.*, 125, p.p. 271-285.
- 125. Siemann E., Tilman D., Haarstad J., et Ritchie M. 1998-** Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *American Naturalist* 152: 738-750.
- 126. Stinner R. E., Ridgway R. L. et Morrison R. K. 1974-** Longevity, fecundity and searching ability of *Trichogramma peretiosum* reared by three methods. *Environ. Entomol.*, 3(3), p.p. 558-560.

- 127. Suty L. 2010-** La lutte biologique vers de nouveaux équilibres écologiques. Ed. Quae, France, 321p.
- 128. Thompson J.N., Pellmyr O. 1991-** Evolution of oviposition behavior and host preference in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, **36**, p.p. 5-89.
- 129. Tiberi R. 1990-** Egg parasitoids of the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) in Italy: distribution and activity in different areas¹. *Journal of applied entomology*, *110* (1-5) , p.p.14-18.
- 130. Tiberi R., Niccoli A., Curini M., Epifano F., Marcotullio M.C., et Rosati O. 1999-** The role of monoterpene composition in *Pinus ssp.* needles, in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica*. *27*(4), p.p. 263-272.
- 131. Tilmin D. 1980-** Resources: A Graphical-Mechanistic Approach to Competition and Predation. *The American Naturalist*, *116* (3), p.p. 362-393.
- 132. Tilmin D. 1982-** *Resource Competition and Community Structure*. Ed. Princeton, New Jersey, 273p.
- 133. Toth P. 1978-** *Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica M.) dans le sud de la France*. Thès. Doc. Fac. Sci. Et Tch. Marseille St Jérôme. 136p.
- 134. Tsankov G., Schmidt G. H., & Mirchev P. 1995-** Impact of parasitoids in egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. And Schiff.) in Algeria. *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura, Ser. II* *27*.p.p. 53-60.
- 135. Vandenbrouck P. 2007-** La chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) sur l'île de Porquerolles état des connaissances et préconisations, Parc National de Port-Cros Porquerolles, p.p. 2-4
- 136. Vega J. M., Moneo I., Ortiz J. C. G., Palla P. S., Sanchis M. E., Vega J., ... et Roques A. 2011-** Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in an adult population. *Contact Dermatitis*, *64*, 220–228
- 137. Vincent C., et Coderre D. 1992-** *La lutte biologique*. Ed. Gaëtan Morin, Québec, 671p.
- 138. Zamoum M. 1998-** *Données sur la bio écologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de Thaumetopoea pityocampa Denis et Schiffermüller. (Lep., Thaumetopoéidés) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie)*.Thèse Doct., Université des Sciences de Rennes I, France, 247p.
- 139. Zamoum M., Martin J. C., et Bensidi A. 2015-** Fecundity of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae) at the southern edge of its distribution range. *Biologia*, *70*, p.p. 386-392.

المخلص. خصائص الأطوار البيئية وأهمية الطفيليات في موكب الصنوبر ، *Thaumetopoea pityocampa* في الحظيرة الوطنية لشريعة. أجريت الدراسة الحالية في غابة الأرز بحظيرة الشريعة الوطنية (البلدية). تم اختيار أربع محطات وفقاً لارتفاعاتها ونباتاتها وظروفها لمراقبة نشاط الجاذوب في أي بيئة. رحلة البالغين بين يونيو وأغسطس. يتميز وضع البيض بمتوسط طول يتراوح من 23 إلى 27 ملم على الاغصان من 3 إلى 5 ملم. أظهر القياس الكمي للبيض اعداد متفاوتة من 174 إلى 210 بيضة لكل قابض. يفقس البيض في صيف نفس العام، بين العقد الأخير من يوليو والأسبوع الأول من سبتمبر. متوسط مدة تطور اليرقات 3 أشهر. تكون مستويات تجمعات اليرقات مرتفعة بشكل ملحوظ خلال فترات الشتاء من 2018 إلى 2019. نمط التقدم الذي يتنبأ بمرحلة من الذروة في السنوات القليلة المقبلة إذا كانت الظروف مواتية لتطوير هذه الحشرة. يتجسد تقدم الموكب على ارتفاع من خلال وفرة وضع البيض وأعشاش الشتاء في بستان الأرز النقي. في المواقع الأربعة التي تم العمل فيها، لوحظ تنوع في ثلاثة طفيليات *Ooencyrtus* و *Baryscapus servadeii* و *Trichogramma embryophagum*. تعمل الطفيليات الثلاثة في أوقات مختلفة وتشارك في البيض بشكل استراتيجي.

Résumé. Caractéristiques des écophases et importance des parasitoïdes de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermuller, 1775) dans le Parc National de Chrea. La présente étude a été conduite dans la cédraie du Parc National de Chréa (Blida) sur la processionnaire d'hiver. Quatre stations ont été choisies selon un gradient altitudinal et la diversité végétale

L'envol des adultes se situe entre les mois de juin et août. Les pontes se caractérisent par une longueur moyenne de 30 mm sur des rameaux supports de 4 mm. La quantification des œufs a mis en évidence des fécondités variables de 174 à 210 œufs par ponte. L'éclosion des œufs s'effectue, entre la dernière décennie de juillet et la première semaine de septembre. La durée moyenne de développement larvaire est de 3 mois et la phase hypogée dure en moyenne 2 mois.

Les niveaux des populations de la processionnaire sont significativement élevés au cours de la période hivernale de l'année 2019. Un schéma de progradation qui prédit une phase de culminations au cours des prochaines années si les conditions seront favorables au développement du défoliateur. La progression altitudinale de la processionnaire est concrétisée par l'abondance des pontes et des nids d'hiver dans la cédraie pure.

Dans les quatre sites prospectés, une diversité de trois parasitoïdes Chalcidoïdes oophages utiles été notée ; *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampa* et *Trichogramma embryophagum*. Les trois ooparasites agissent à différentes périodes et partagent stratégiquement les pontes.

Abstract. Characteristics of ecophases and importance of parasitoids of the Moth processionary, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermuller, 1775) in Chrea National Park. This study was conducted out in the cedar plantation at Chréa on winter Moth processionary National Park (Blida). Four stations were chosen according to an altitudinal elevation and plant composition.

The flight of adults is between June and August. The egg-mass is characterized by an average length of 30 mm on support twigs of 4 mm. The quantification of the eggs revealed variable fertility of 174 to 210 eggs per clutch. The eggs hatch between the last decade of July and the first week of September. The average duration of larval development is 3 months and the aerial phase lasts on average 2 months.

Processionary population levels are significantly elevated during the winter period of 2019. A progradation pattern that predicts a phase of peaks over the next few years if conditions are favorable for the defoliator development. The altitudinal progression of the Moth processionary is materialized by the abundance of egg-laying and winter nests in the pure cedar plantation.

In the four sites surveyed, a diversity of three useful Chalcidoïdes oophagous parasitoids was noted; *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampa* and *Trichogramma embryophagum*. The three ooparasites act at different times and strategically share the eggs.