



RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE BLIDA 1

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DÉPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES



Projet de fin d'étude en vue de l'obtention
du diplôme de Master 2 en Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Phytoprotection durable

Thème

**Phénologie de la processionnaire du pin et lutte microbiologique
contre quelques ravageurs forestiers en pinèdes littorales**

Présenté par : M^{elle} EL-MEDDAH SABRINA

Devant le jury composé de :

M^{me} BERRAF A	M.C.A	Blida 1	Président du jury
M^{me} ALLAL-BENFEKIH L	Professeur	Blida 1	Promotrice
M^r. BOUZAR K	Doctorant	Blida 1	Co-Promoteur
M^{me} AMMAD F	M.C.B	Blida 1	Examinatrice
M^{elle} OUTTAR F	M.C.B	Blida 1	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE 2014/20015

REMERCIEMENTS

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour faire notre travail.

Toute ma gratitude pour ma promotrice Professeur ALLAL-BENFEKIH L. Pour son encadrement ainsi que ses encouragements, sa patience, son aide et ses précieux conseils dont j'ai eu la chance d'en profiter.

Je remercie très sincèrement M^{me} BERRAF A M.C.A. d'avoir accepté de présider ce jury et ainsi que M^{me} AMMAD F M.C.B et M^{elle} OUTTAR F M.C.B de m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail, et pour leurs aide à le terminer et surtout pour leurs disponibilité tout le long du travail jusqu'à l'élaboration de ce document.

Un grand merci à l'égard de Monsieur Aroun M.E.F; pour avoir accepté de m'aider dans l'accomplissement de mon travail.

Ainsi que Monsieur Djazouli Z.E et Monsieur Falag que je remercie du fond du cœur.

Je remercie Monsieur Sbabdji M. pour son aide et sa disponibilité tout le long du travail jusqu'à l'élaboration de ce document.

Mes sincères remerciements à tous mes enseignants et mes professeurs qui ont assuré ma formation sans oublier les personnels du département BIOTECHNOLOGIES de l'université de Blida 1.

Je remercie également tout le personnel du service de protection des forêts de Tipaza Monsieur Malha T, Boumbadji R et Guendouz R et de ainsi que celui de Blida monsieur Boubina A, Boukabous I, et Mme Ksiour N pour leurs disponibilité lors de toutes mes sorties sur le terrain dans le but de l'élaboration de ce document.

Aux personnels de la bibliothèque et du laboratoire de zoologie pour leur disponibilité et leur compréhension en particulier Mme AMINA

Et pour finir, je remercie du fond du cœur toutes personnes qui aurait participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci

DEDICACE

*Je dédie ce travail à mes très chers **parents**, dieu me les garde
grâce à qui j'ai pu arriver là où je suis aujourd'hui.*

*A mon frère et mes sœurs adorés : **Mohamed Amel et Marwa;***

*Ainsi que toute la famille **Meddah***

*Sans oublier mes meilleures amies **Khadidja, Zbida et Nesrine;**
qui m'ont été d'une grande aide pour que ce jour puisse arrivé.*

*A toute mes amies, connaissances et collègues de la promo
" **PHYTOPROTECTION DURABLE** "*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce
mémoire.*

Sabrine

Résumé

Phénologie de la processionnaire du pin et lutte microbiologique contre quelques ravageurs forestiers en pinèdes littorales

Le présent travail est basé sur l'étude de la répartition des nids et l'infestation de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* dans deux stations à pinèdes choisies au niveau du littoral de la région de Tipaza, et l'évaluation de l'efficacité au laboratoire et sur le terrain de traitements microbiens à base de deux bactéries *Bacillus thuringiensis kurstaki* homologué, *Bacillus subtilis* (souche VIII3 et souche 9372), ainsi que le champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* sur deux ravageurs infestant le pin d'Alep (la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* et le puceron du pin *Cinara maghrebica*)

Les infestations de *T. pityocampa* sont nettement plus importantes dans la station exposée au sud. Le nombre moyen de nids par arbre est également plus élevé. La répartition des nids d'hiver des stades L4 semble différente et décalée dans le temps par rapport à la station exposée au nord.

Au laboratoire, les résultats ont montré un taux de mortalité plus élevé obtenu avec le BTK en comparaison avec celui des deux souches de *B. subtilis* chez les larves du dernier stade de la chenille processionnaire et le puceron du pin. Au bout de 7 jours après traitement, les mortalités corrigées ont atteint 78% avec la dose D1 (D1=1, 34 *10⁷ UFC/ml) de BTK, contre des taux de 40% et 36% seulement obtenus à la dose D1 (D1=1,36*10⁷ UFC/ml, et D1=1, 33 *10⁷ UFC/ml) de *B. subtilis* (VIII3) et *B. subtilis* (9372) respectivement sur les chenilles âgées de *T. pityocampa*. Les valeurs des mortalités corrigées obtenues après une période de 4 jours après traitement sur *Cinara maghrebica* ont atteint 64,18% avec la dose D1 du btk, 57,66% à la D1 de *B. subtilis* (VIII3), 50,70% avec la D1 de *B. subtilis* (9372) et enfin 52,83% avec la dose D1 de *M. anisopliae* var *acridum*. Une efficacité plus importante du champignon entomopathogène *M. anisopliae* de 63,47% a été observée après une semaine d'exposition dans les traitements réalisés sur le terrain, comparativement avec celles du BTK (51,51%), et des deux souches ((VIII3 : 47,92%) et (9372 : 44,33%) de *B. subtilis*.

Mots clés : Processionnaire du Pin, puceron du pin, dynamique des infestations, lutte microbiologique, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis*, *Metarhizium anisopliae*.

Summary

Phenology of pine processionary and microbiological control against forest pests in some coastal pinewoods

This work is based on the study of the distribution of nests and the infestation of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in two selected stations in the coastal region of Tipaza, and assessing the effectiveness in the laboratory and in the field of microbial treatments using two bacteria *Bacillus thuringiensis kurstaki* approved, *Bacillus subtilis* (strain VIII3 and strain 9372), and the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* on two pests infesting the Aleppo pine (pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* and *Cinara maghrebica*)

Infestations of *T. pityocampa* are significantly greater in the resort facing south. The average number of nests per tree is also higher. The distribution of winter nests of L4 stages seems different and time-shifted relative to the station facing north.

In the laboratory, the results showed a higher death rate with the BTK compared to that of the two strains of *B. subtilis* in mature larvae of processionary caterpillar and pine aphid. After 7 days of treatment, the corrected mortality reached 78% with D1 dose btk (D1=1, 34 * 10⁷ UFC/ml), against rates of 40% and only 36% achieved at a dose D1 (D1 = 1.36 * 10⁷ CFU / ml, and D1 = 1, 33 * 10⁷ CFU / ml) of *B. subtilis* (VIII3) and *B. subtilis* (9372) respectively on the older caterpillars *T. pityocampa*. Values corrected mortalities obtained after a period of 4 days after treatment on *Cinara maghrebica* reached 64.18% with the dose D1 of BTK, 57,66% with D1 of *B. subtilis* (VIII3), 50,70% with D1 of *B. subtilis* (9372) and finally 52.83% with D1 dose of *M. anisopliae* var *acridum*. Greater efficiency of the entomopathogenic fungus *M. anisopliae* (63.47%) was observed after one week of exposure in treatments made on the ground, compared with those of BTK (51.51%), and two strains ((VIII3: 47.92%) and (9372: 44.33%) of *B. subtilis*.

Key words: pine processionary, pine aphid, dynamic of infestations, microbial control, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis*, *Metarhizium anisopliae*.

المخلص

دراسة حول تعرض الصنوبر للاتلاف و محاربة بكتيرية ضد بعض المتطفلات المتواجدة على الساحل يعتمد هذا العمل أساسا على دراسة حول تواجد أعشاش الدودة الجرارة و اتلافها للصنوبر في محطتين تم اختيارهما على ساحل منطقة تيبازة، كما يقوم كذلك بتقييم مدى فعالية معالجة البكتيريا سواء في المخبر أو في الطبيعة مباشرة من خلال أخذ نوعين من البكتيريا *Bacillus subtilis* (souche VIII3 و *Bacillus thuringiensis kurstaki* (souche 9372) و الى مدى بعيد الفطر ضد الحشرات كذلك *Metarhizium var.acridum anisopliae*) على نوعين من الآفات التي تصيب الصنوبر حلب الدودة الجرارة *Thaumetopoea pityocampa* و *Cinara maghrebica*

تعد الاتلافات عن طريق *Thaumetopoea pityocampa* الأكثر تأثيرا في المحطة المدروسة في الجنوب، بحيث أن معدل عدد الأعشاش المتواجدة في الشجرة الواحدة في ارتفاع متواصل.

لقد تبين بأن تواجد هذا النوع المتلف من الأعشاش في المرحلة الرابعة لليرقة (L4) مختلف في الوقت مقارنة بالمحطة المدروسة في الجنوب و ذلك حسب النتائج التي تم التوصل اليها في المخبر، بحيث أن هناك ارتفاع كبير في معدل الوفيات المتحصل عليها من البكتيريا (BTK) مقارنة مع سلالاتي البكتيريا (*B. subtilis*) عند المراحل الأخيرة ليرقات الدودة الجرارة .

فخلال سبعة أيام من المعالجة، تعدت نسبة الوفيات الى 78 بالمئة بالجرعة ($D1=1, 34 * 10^7$ UFC/ml) بالنسبة للسلالة BTK و بالمقابل النسبتين 40 بالمئة و 36 بالمئة المتحصلة فقط على الجرعة ($D1=1, 33 * 10^7$ UFC/ml) للسلالة *B. subtilis* VIII3 و *B. subtilis* 9372، كما أن القيم المكتسبة من الوفيات بعد فترة مدتها 4 أيام و بعد معالجة *Cinara maghrebica* و صلت الى نسبة 64.18 بالمئة بالجرعة ($D1 Btk$) و 57.66 بالمئة بالجرعة *B. subtilis* (VIII3) و نسبة 50.70 بالمئة بالجرعة (*B. subtilis* (9372) $D1$) و أخيرا بنسبة 52.83 بالمئة بالجرعة (*M. anisopliae var acridum*) ($D1$)

و في الأخير نلاحظ فعالية مهمة جدا للفطر (*M. anisopliae*) بنسبة 63.47 بالمئة و ذلك بعد أسبوع من البحث في نتائج المعالجات الممارسة على الطبيعة مقارنة مع (% 51,51 : BTK) و الصنفين

B. subtilis. ((VIII3 : 47,92%) et (9372 : 44,33%)

الكلمات المفتاح : الدودة الجرارة ، بق الصنوبر، تفشي الاصابة، معالجة ميكروبيولوجية،

Bacillus thuringiensis, *Bacillus subtilis*, *Metarhizium anisopliae*

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LA PROCESSIONNAIRE DU PIN THAUMETOPEA PITYOCAMPA (LEPIDOPTERA, NOTODONTIDAE) ET SUR LE BIOCONTROLE A L'AIDE DES MICROORGANISMES ENTOMOPATHOGENES.	
1.1. La processionnaire du pin <i>Thaumetopea pytiocampa</i> (Lepidoptera, Notodontidae.....	4
1.1.1. Généralités.....	4
1.1.2. Biologie et symptômes.....	4
1.1.3. Dégâts et techniques de lutte	7
1.2. Biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogène.....	10
1.1.4. Les agents de lutte microbiologique.....	10
1.2.1.1. Les bactéries entomopathogènes.....	10
2.1.1.1. <i>Bacillus sphaericus</i>	11
2.1.1.2. <i>Bacillus subtilis</i>	13
2.1.1.3. <i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> (Bt).....	13
1.2.1.2. Les champignons entomopathogènes.....	16
CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES	
2.1 Présentation de la région d'étude : la wilaya de Tipaza.....	21
2.2. Synthèse climatique dans la région de Tipaza	22
2.2.1. La pluviométrie.....	22
2.2.2. Les températures.....	23
2.2.3. Diagramme ombrothermique et climagramme d'Emberger	24
2.3. Présentation des stations d'étude.....	26
2.4. Matériel et méthodologie utilisés.....	28

2.4.1. Matériel et méthodologie utilisés sur le terrain.....	28
2.4.1.1. Dénombrements des nids de la processionnaire de pin	28
2.4.2. Matériel et méthodologie utilisés au laboratoire	29
2.4.2.1. Originale des souches bactériennes.....	29
2.4.2.2. Repiquage des souches bactériennes.....	29
2.4.2.2. Préparations des suspensions bactériennes.....	30
2.4.2.2.1. Dénombrement par étalement en surface du milieu gélosé.....	30
2.4.2.2.2. Détermination du nombre de colonies.....	30
2.4.2.3. Préparations des concentrations du champignon entomopathogène: <i>Metarhizium anisopliae</i> var. <i>acridum</i>	32
2.4.2.4. Méthode d'application de traitement	33
2.4.3. Identification des pucerons et application des traitements microbiens	33
2.5. Analyses des données d'observations.....	35
2.5.1. Evaluation de l'efficacité des agents microbiens testés sur les espèces ciblées sur le terrain et au laboratoire.....	35

CHAPITRE III: RESULTATS

3.1. Etude de la phénologie de la processionnaire de pin dans les pinèdes littorales étudiées.....	37
3.1.1. Etude comparative du nombre moyen de nids	37
3.1.2. Taux d'infestation comparé	38
3.1.3. Répartition comparée des populations larvaires.....	38
3.1.3.1. Selon l'exposition nord.....	39
3.1.3.2. Selon l'exposition sud.....	39
3.1.3.3. Tendence globale de la répartition populationnelle dans les deux sites étudiés.....	40
3.2. Evaluation des effets des agents microbiens testés sur les ravageurs cibles.....	42
3.2.1. Etude des mortalités dues aux souches bactériennes testées sur les	

chenilles de la processionnaire au laboratoire.....	42
3.2.2. Etude comparative des mortalités dues aux souches bactériennes et fongiques testées sur le puceron du pin.....	47
3.2.2.1. Evaluation de l'efficacité au laboratoire	48
3.2.2.2. Evaluation de l'efficacité sur le terrain.....	50

CHAPITRE IV : DISCUSSION

4.1. Répartition des infestations de la processionnaire du pin au niveau des pinèdes à <i>Pinus halepensis</i> durant la période hiverno printanière en 2014- 2015 dans la région de Tipaza.....	53
4.2. Evaluation des effets des traitements microbiologiques réalisés	54

CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	60
--	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	
---	--

Liste des figures

Figure 1.1. Nids d'hiver, adulte femelle de la processionnaire du pin <i>Thaumetopea pytiocampa</i> et manchons de ponte sur <i>Pinus sylvestris</i> . D'après (BATTISTI et al., 2005).....	6
Figure 1.2. : Cycle biologique de la processionnaire du pin (Anonyme, 2013)	7
Figure 1.3. Oiseaux prédateurs de la processionnaire du pin (BARBARO et BATTISTI, 2011).....	9
FIGURE 1.4. Sporangies de <i>Bacillus sphaericus</i> (a) et <i>Bacillus thuringiensis</i> serovar. <i>israelensis</i> (b) avant la fin de la sporulation, (REGIS et al., 2001).	12
Figure 1.5 : Mode d'action du <i>Bacillus thuringiensis</i> chez les Lépidoptères...	15
Figure 1.6. Mode d'action des Cry1A toxines du Bt.	16
Figure 1.7. Blatte tuée par <i>M. anisopliae</i> , Sauterelles tuées par le champignon <i>Beauveria bassiana</i> (Ascomycota, Hypocreales) Puceron vert du pêcher (<i>Myzus persicae</i>) tué par le champignon <i>Pandora neoaphidis</i> (Zygomycota, Entomophthorales).....	17
Figure 1.8. Structures sporales de champignons entomopathogènes.....	18
Figure 1.9. La muscardine verte <i>Metarhizium anisopliae</i> (à gauche) se développant en un feutrage blanc (à droite) durant sa phase mycéliale de développement.....	19
Figure 1.10. Séquence générale de l'infection par un champignon entomopathogène d'après CHARNLEY (1989).....	20
Figure 2.1: Situation géographique de la wilaya de Tipaza sur Google Earth	21
Figure 2.2: Variations des précipitations mensuelles de 2004 à 2013 (à gauche) de 2014/2015 (à droite) dans la région de Tipaza.....	23
Figure 2.3 : Evolution des températures enregistrées durant la période 2004 à 2013 dans la région de Tipaza (données climatiques du Barrage de Boukerdane).....	24
Figure 2.4: Evolution des températures enregistrées de 2014 à 2015 dans la	

région de Tipaza.....	24
Figure 2.5: Diagramme ombrothermiques de la région de Tipaza en (2004/2013) et en 2014/2015.	25
Figure 2.6: Localisation de la région de Tipaza dans le Climagramme d'Emberger pour la période (2004/2013).....	26
Figure 2.7 : Photos satellites des stations forestières étudiées au niveau de la région de Tipaza (Source Google earth. 2015).....	27
Figure 2.8 : Le pin d'Alep des stations étudiées.....	28
Figure 2.9: Boîtes utilisées pour les traitements bactériens des larves L4/ L5 de la processionnaire du pin.....	29
Figure 2.10. Technique et étapes de montage des aphides.....	34
Figure 3.1. Abondance moyenne des nids de <i>T. pytiocampa</i> dans les pinèdes étudiées.....	37
Figure 3.2. Variation des niveaux d'infestation dans les pinèdes étudiées selon l'exposition.....	38
Figure 3.3 a : Répartition des populations larvaires de la processionnaire au niveau de la station exposée au nord.....	39
Figure 3.3 b : Répartition des populations larvaires de la processionnaire au niveau de la station exposée au sud.....	40
Figure 3.4 : Structure de la répartition des abondances populationnelles larvaires de la processionnaire dans les deux pinèdes étudiées. (a) projection des variables sur le plan d'ordination F1xF2 (b) CAH des groupes.....	41
Figure 3.5. Evolution temporelle des mortalités dues au BTK sur les chenilles de la processionnaire du pin.....	42
Figure 3.6. Variation des taux de mortalités corrigées chez les chenilles de <i>T. pytiocampa</i> traitées avec le BTK au laboratoire (D1=1, 34.10 ⁷ UFC/ml, D2=9, 3.106 UFC/ml).....	43
Figure 3.7. Variation des taux de mortalités corrigées chez les chenilles de <i>T. pytiocampa</i> traitées avec les deux souches de <i>B. subtilis</i> au laboratoire <i>B.s</i> ..	44

Figure 3.8. Variation comparée des mortalités temporelles chez les chenilles de <i>T. pytiocampa</i> traitées avec les deux souches de <i>B. subtilis</i> au laboratoire	46
Figure 3.9. Calendrier du puceron des conifères d'après DE ANGELIS, (1994)	47
Figure 3.10a. <i>Cinarasp</i> (Aphididae, Lachninae, Cinarini, Curtis, 1835) et colonies sur <i>Picea abies</i> (<i>Encyclop'Aphid</i>)	47
Figure 3.10b: Adulte ailé (à gauche) et aptère (à droite) du puceron <i>Cinara maghrebica</i>	48
Figure 3.11. Variations temporelles globales des mortalités corrigées observées sur le puceron <i>C. maghribica</i> sous l'effet des souches bactériennes et fongiques testées au laboratoire.	47
Figure 3.12 : Variation journalière des mortalités du puceron du pin sous l'effet des traitements microbiologiques au laboratoire.....	49
Figure 3.13. Variations temporelles globales des mortalités corrigées observées sur le puceron <i>C. maghribica</i> sous l'effet des souches bactériennes et fongiques testées in situ.....	50
Figure 3.14 : Variation journalière des mortalités du puceron du pin sous l'effet des traitements microbiologiques in situ.....	51
Figure 3.15. Variation comparée des mortalités temporelles chez le puceron du pin sous l'effet des 4 traitements microbiens sur le terrain.....	51

Liste Des tableaux

Tableau 1.1. Synthèse des différentes techniques de lutte contre la processionnaire du pin (ANONYME, 2007, Département de la santé des forêts Information technique N° 57, Echelon technique Sud – Est, France).	9
Tableau 2.1. Détermination du nombre de colonies par millilitre de la suspension bactérienne mère.....	31
Tableau 3.1. Comparaison des moyennes et probabilités associées des taux de mortalités des chenilles de <i>T. pytiocampa</i> sous l'effet du BTK au laboratoire.....	43
Tableau 3.2a. Comparaison des moyennes et probabilités associées des taux de mortalités des chenilles de <i>T. pytiocampa</i> sous l'effet de la souche VIII3 du <i>B. subtilis</i> au laboratoire.	45
Tableau 3.2b. : Comparaison des moyennes et probabilités associées des taux de mortalités des chenilles de <i>T. pytiocampa</i> sous l'effet de la souche 9372 du <i>B. subtilis</i> au laboratoire.....	45
Tableau 3.3: Analyse de la variance appliquée aux moyennes des mortalités comparées entre les deux souches bactériennes (VIII3 et 9372) sur les chenilles de <i>T. pytiocampa</i> au laboratoire.....	45
Tableau 3.4. Analyse de la variance appliquée aux moyennes des mortalités comparées entre les 4 traitements sur <i>C. maghribica</i> sur le terrain.....	52

Liste des abréviations

C° : Degré Celsius.

B: Bacillus.

M: Metharizium.

B.S: Bacillus subtilis.

B.t: Bacillus thuringinsis.

L1: Larve de premier stade.

L2: Larve de deuxième stade.

L3 : Larve de troisième stade.

L4 : Larve de quatrième stade.

L5 : Larve de cinquième stade.

ml: Millilitre.

I.N.P.V. : Institut National de la Protection des Végétaux.

V : Volume.

D : Dose.

m : mètre.

ha : Hectare.

L: Litre.

h: Heure.

Kd : Kilo Dalton.

R : Répétition.

M : Moyenne.

Et : Ecart type.

Pr : Probabilité.

MC% : Pourcentage de mortalité corrigée.

j : Jour.

T : *Thaumetopea*

C : *Cinara*

Pv : Pluviométrie

BTK: *Bacillus thuringiensis Kurstaki*

En Algérie, le pin d'Alep constitue l'essence principale des formations forestières, il occupe plus de 35% de la superficie forestière globale du pays. Les forêts de pin d'Alep, connaissent depuis plusieurs années d'importants problèmes phytosanitaires. Le facteur causal serait le manque de sylviculture appropriée et le non respect des méthodes de reboisement. Dans ce type de forêts, les insectes ravageurs constituent les principales sources de perturbation forestière. Les insectes forestiers sont nombreux au sein de l'écosystème forestier et représentés par des ravageurs aux régimes alimentaires variés (défoliateurs, xylophages, séminiphages, etc.), (KHOUS et GACHI, 1996)

Connue déjà depuis la période romaine, la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera ; Notodontidae) (Schvester, 1985) qui en fait partie, est un insecte défoliateur des arbres du genre *Pinus* et *Cedrus* des plus importants dans tout le bassin méditerranéen. Cette espèce a été décrite pour la première fois sous le nom de *Bombyx pityocampa* par Denis et Schiffermüller en 1775, puis classée dans le genre de *Thaumetopoea* en 1819 par Hübner. En Algérie, ce défoliateur est présent dans l'ensemble des forêts résineuses, il se nourrit des aiguilles de pins et de cèdres et de mélèze parfois. Les chenilles en dévorant les aiguilles privent l'arbre de tout ou partie de ses capacités de photosynthèse. Il en résulte une perte de croissance, effectivement importante en cas de défoliations répétées. La température reste le facteur déterminant de sa distribution et de l'état sanitaire des peuplements forestiers. Dajoz (2007) a mis le point sur les exigences thermiques déterminantes la répartition de cet insecte. Parmi les plus importants travaux réalisés sur la processionnaire du pin en Algérie, on peut citer ceux de ZAMOUM et ses collaborateurs (1988, 1998, 2002, 2004, 2006, 2008) ainsi que ceux de différents chercheurs de l'institut National de la recherche forestière et ceux du département de Zoologie agricole et forestière de l'école nationale supérieure des sciences agronomiques d'El Harrach.

Thaumetopoea pityocampa est une espèce monovoltine. Son cycle est annuel, il peut s'étendre sur plusieurs années, selon les conditions climatiques, (HUCHON ET DEMOLIN, 1970 ; DAJOZ, 2007 ; FRAVAL, 2007). Ses pullulations sont temporaires avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements (ZAMOUM, 1998 et 2002). Ces défoliations provoquent des pertes de croissance par diminution du pouvoir

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

Dès l'éclosion, la processionnaire du pin commence à se nourrir des aiguilles de son hôte. Les larves des deux premiers stades dévorent les aiguilles à proximité des zones des pontes et engendrent des dégâts caractéristiques sous forme de bouquets d'aiguilles jaunes puis rousses. Les chenilles du troisième au cinquième stade consomment souvent la totalité des aiguilles.

La destruction des imagos est difficile en raison de leur faible durée de vie. Le piégeage à l'aide de piège lumineux ou de phéromones sexuelles a cependant été tenté. La destruction des œufs est aussi difficile. L'époque la plus favorable pour les interventions se situe entre l'éclosion et la formation des nids d'hiver.

Étant considérés comme des agents de mortalité des insectes naturels et sûrs par rapport à l'environnement, on s'intéresse dans le monde entier à l'utilisation des microorganismes entomopathogènes et leur manipulation pour la lutte biologique contre les insectes et d'autres ravageurs arthropodes. Les formulations de biocides à base de ces agents microbiens deviennent de plus en plus performantes avec des prix compétitifs d'après Ahmed et *al.* (1994) ; Starnes et *al.* 1993). La Bactérie *Bacillus thuringiensis*, retient plus que jamais l'intérêt des grandes firmes phytosanitaires qui estiment qu'elle pourrait à moyen terme couvrir près de 10 % du marché phytosanitaire mondial. En effet, les spectaculaires progrès obtenus dans la connaissance du déterminisme moléculaire de l'action entomopathogène de ses toxines, la transformation génétique des souches ou celle des plantes, semblent offrir des perspectives prometteuses.

Les champignons entomopathogènes, en particulier, les phases asexuées des ascomycocètes tels que *Beauveria* sp., *Lecanicillium* sp., *Metarhizium* sp., et *Paciomyces* sp., sont très étudiés en raison de leurs caractéristiques favorisant leur utilisation comme insecticides biologiques.

Les préparations à base de produits formulés de micro-organismes vont contaminer les ravageurs ciblés soit par ingestion (virus et bactéries), soit par pénétration directe au travers de la cuticule (champignons) et entraîner la mort des ravageurs à plus ou moins brève échéance : de l'ordre de 24 à 48h dans le cas de bactéries ou de 3 à 10j dans le cas des préparations virales ou fongiques. Ces moyens de lutte biologique sont toujours très spécifiques, (SILVY et RIBA, 2002 ; FARGUES et BOURGUET, 2005).

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à étudier les particularités de la répartition des nids de la processionnaire du pin et de ses infestations dans les stations à pinèdes situées au niveau du littoral de la wilaya de Tipaza. Nous nous sommes posé la question de savoir si en comparaison avec l'effet avéré de *Bacillus thuringiensis kurstaki*, les agents microbiologiques *Bacillus subtilis* et *Metarhizium anisopliae* ont une efficacité pouvant être exploitée en tant que potentialité insecticide dans le côté pratique.

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

1.1. La processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae)

1.1.1. Généralités

la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*)(Denis & Schiffermüller, 1775)est un insecte de l'ordre des lépidoptères, de la famille des Notodontidae, et de la sous-famille des Thaumetopoeinae. Les larves sont connues pour leur mode de déplacement en file indienne, se nourrissant des aiguilles de diverses espèces de pins, provoquant un affaiblissement important des arbres (DEMOLIN, 1969, DEMOLIN et *al.*, 1994).

Dans un cadre de programmes de gestion des ravageurs dans la région Méditerranéenne, les populations de *T. pityocampa* ont été surveillées pendant de nombreuses années, au moyen des recensements des nids d'hiver et des pièges à phéromones.

Le ravageur est rencontré chez les *Pinaceae* croissants dans le sud de l'Europe et en Afrique du Nord. Bien qu'il privilégie les forêts éparées et ensoleillées, il est également présent dans les parcs, les jardins privés et sur des sites de haute altitude, (GOUSSART et *al.*, 1999).

1.1.2. Biologie et symptômes

Le cycle biologique est généralement annuel sauf en altitude où il se déroule parfois sur 2 ans, le développement varie fortement en fonction des conditions climatiques de l'année.

Les papillons (figure 1.1), nocturnes, émergent au cours de l'été, de fin juin à mi-septembre selon les secteurs. Ceux-ci arborent des lignes transversales noires sur les ailes antérieures de couleur beige, alors que les ailes postérieures sont blanches. Le stade adulte comporte un fort dimorphisme sexuel. Les femelles d'une envergure de 33 à 42 mm sont plus grandes et plus volumineuses que les mâles (30-35 mm). Les femelles pondent préférentiellement sur les pins noirs, puis le pin maritime, le pin sylvestre (figure

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

1.1), le pin d'Alep et en dernier lieu le cèdre ou d'autres conifères. Le développement larvaire dur de 4 à 8 mois, il s'effectue en 5 stades (figure 1.2). Dès le 3ème stade, les chenilles sont munies d'un système de défense garni de poils urticants, (HERVOUET, 1986).

De fin juillet à fin septembre, les chenilles éclosent et se regroupent en colonies au sein de «pré-nids» temporaires. Elles dévorent partiellement les aiguilles situées à proximité de la ponte : celles-ci forment des petits bouquets de couleur jaune paille puis rousse : dégâts dits «brins de paille. Dès les premiers froids (3ème stade larvaire), elles confectionnent leur nid définitif bien exposé au soleil afin de bénéficier d'un rayonnement maximal. A la fin du 5ème stade, les chenilles quittent les arbres en procession pour s'enfouir dans le sol afin de se nymphoser. La procession a généralement lieu de février à avril, (BONNET et *al.*, 2008).

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.



Figure 1.1.: Nids d'hiver, adulte femelle de la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* et manchons de ponte sur *Pinus sylvestris*. D'après (BATTISTI et *al.*, 2005).

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopaea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.



Figure 1.2. : Cycle biologique de la processionnaire du pin (Anonyme, 2013)

1.1.3. Dégâts et techniques de lutte

Selon l'essence et le type de peuplement, l'intensité des dégâts est très variable. La chenille colonise préférentiellement les lisières ensoleillées des peuplements fermés et les boisements ouverts et clairières. Sur les peuplements adultes, une défoliation même totale ne provoque pas la mortalité des arbres atteints. Si les conditions de croissance sont favorables, les arbres sont parfaitement capables de supporter cette attaque.

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

Dans tous les cas, la lutte n'est ni nécessaire, ni souhaitable. Elle doit être envisagée sur les stades les plus sensibles et de préférence lors de la progradation car il est contre-productif de traiter des populations qui régressent de façon naturelle ce qui aurait un impact négatif sur le cortège parasitaire.

Chaque stade de développement de ce ravageur (œufs, larves, chrysalides, adultes) est la cible d'ennemis naturels, qui participent donc à la régulation des populations de la processionnaire du pin. On trouve notamment :

- des chiroptères et des oiseaux (figure 1.3) (ex : mésanges bleues et charbonnières, huppe fasciée (BARBARO et BATTISTI, 2011).

- un grand nombre d'insectes sont des parasitoïdes des oeufs (ex : *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae*), des larves (ex : *Phryxe caudata*) ou des chrysalides (ex : *Villabrunnea*) de la processionnaire du pin.
- plusieurs insectes tels que *Ephippiger ephippiger* sont prédateurs des œufs
- des bactéries comme *Bacillus thuringiensis*, des virus comme *Smithiavirus pityocampae* et des champignons comme *Beauveria bassiana*.

La lutte comprend différentes techniques (tableau 1.1) mais ne permet pas d'éviter une nouvelle pullulation, elle a pour objectif de protéger les forêts fréquentées par le public et les peuplements les plus sensibles lorsque la survie des arbres est menacée par de fortes défoliations répétées. La décision se justifie différemment car le préjudice principal est l'aspect inesthétique des arbres défeuillés et le désagrément dû aux urtications provoquées par les poils urticants des chenilles.

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

Tableau 1.1. Synthèse des différentes techniques de lutte contre la processionnaire du pin (ANONYME, 2007, Département de la santé des forêts Information technique N° 57, Echelon technique Sud – Est, France).

Prévention et lutttes possibles	Techniques de lutte	Observations
Mesures écologiques	- Améliorer la biodiversité des peuplements (feuillus) afin de freiner la propagation de l'insecte et de favoriser le cortège parasitaire.	- Dans les forêts fréquentées par le public et sous réserve de pouvoir choisir une autre essence, éviter les plantations de pins noirs dans les secteurs favorables à la chenille.
Traitement phytosanitaire aérien ou terrestre	- Appliquer un traitement avec un insecticide biologique à base de <i>Bacillus thuringiensis</i> (<i>BT kurtstaki</i> , sérotype 3a3b), bactérie aux propriétés entomopathogènes.	- Agit par ingestion, spécifique des larves de lépidoptères. Respectueux de l'homme et des animaux, préserve la faune utile. - Traitement à la dose de 40 à 50 milliards UBI/ha en automne (période idéale : stade L1 à L3). - 7 produits commerciaux homologués*.
	- Appliquer un traitement avec un insecticide de la famille des benzoylurées : le diflubenzuron.	- Agit par ingestion, perturbe le processus de mue sans arrêter l'alimentation. - 6 produits commerciaux homologués*.
	- Appliquer un traitement avec un insecticide de la famille des pyréthrénoïdes : la deltaméthrine.	- Agit par contact, non sélectif, à employer en période hivernale (stades L3 et plus). A réserver aux interventions de faible ampleur ou de rattrapage éventuel. - 3 produits commerciaux homologués*.
Lutte mécanique	- Couper et brûler les branches porteuses de pontes, pré-nids et nids.	- En cas d'attaque ponctuelle, sur des arbres facilement accessibles. Se protéger soigneusement contre les risques d'urtication (lunettes, gants) si action après le stade L3.
Lutte par confusion sexuelle	- Utiliser une phéromone de synthèse comme leurre.	- En cours d'expérimentation (INRA).
Lutte biologique	- Favoriser l'implantation des prédateurs et parasites : mésange...	- En cours d'expérimentation (INRA).



Figure 1.3. Oiseaux prédateurs de la processionnaire du pin (BARBARO et BATTISTI, 2011)

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

1.2. Biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes

La lutte biologique, par utilisation de micro-organismes entomopathogènes est une alternative très prometteuse pour assurer une protection phytosanitaire performante de par l'ubiquité naturelle des agents microbiologiques dans les écosystèmes, leur grande variété, leur dissémination facile, leur spécificité d'action et aussi leur persistance dans l'environnement.

Les micro-organismes entomopathogènes sont naturellement présents dans l'environnement (sol, air, eau). Ils infectent généralement leur hôte soit par ingestion, par la cuticule ou par les orifices. Le pathogène se multiplie dans l'hôte en lui causant des dommages par destruction des tissus, par septicémie ou toxémie entraînant sa mort plus ou moins immédiate.

Les micro-organismes possèdent des formes de résistance leur permettant de persister dans l'environnement et de perpétuer leur cycle de vie (JOURDHEUIL et *al.* 1992). Ils ont cependant des spectres d'action assez étroits en raison de certains facteurs abiotiques limitant pour leur développement optimal, comme les UV (GARDNER et *al.*, 1977; FARGUES et *al.*, 1988), les variations sub optimales de température (STATHERS et *al.*, 1993) et de l'humidité (RIBA et MARCANDIER 1984; KHACHATOURIANS, 1987).

1.2.1. Les agents de lutte microbiologique

Les micro-organismes utilisés en lutte microbiologique appartiennent aux virus, aux bactéries, aux micro-champignons, aux nématodes et aux protozoaires (Tableau I en Annexe). Nous présentons dans ce qui suit une synthèse de la littérature sur les bactéries et les champignons entomopathogènes.

1.2.1.1. Les bactéries entomopathogènes:

Les bactéries entomopathogènes appartiennent surtout à trois grandes familles qui sont les Bacillaceae, Enterobacteriaceae et Pseudomonaceae

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

(STARNES et al. 1993, GREATHEAD et al. 1994). *Bacillus thuringiensis* Berliner et *B. sphaericus* sont les espèces les plus utilisées en lutte contre les ravageurs.

Les *Bacillus* forment un genre de bactéries à gram positif, appartenant à la famille des *Bacillaceae*, l'ordre des *Bacillales*, la classe des bacilles (*Bacilli*), le phylum des *Firimicutes*. De forme bacille, ils sont aérobies ou aéro-anaérobies facultatifs, et tirent leur énergie par respiration ou fermentation. Ces bactéries sont capables de produire des endospores leur permettant de résister à des conditions environnementales défavorables. Les *Bacillus* sont hétérotrophes, saprophytes et ubiquitaires. Elles sont fréquemment retrouvées dans le sol ou certaines espèces ont un rôle dans le cycle du carbone et de l'azote.

Les espèces du genre *Bacillus* sont classées selon leurs morphologies et la position de leurs spores. Cette classification divise le genre *Bacillus* en trois groupes :

- Groupe I : Bacilles à spores ne déformant pas le corps microbien.
- Groupe II : Bacilles à spores déformantes, ovales.
- Groupe III : bacilles à spores déformantes, rondes.

A l'intérieur de ces groupes, les espèces et les variétés se distinguent par des caractères morphologiques et physiologiques (TOMA, 1985).

2.1.1.1. *Bacillus sphaericus*

Certaines souches de *B. sphaericus* produisent une toxine protéinacée qui empoisonne les larves de moustiques vecteurs de maladies (MEILLEUR et al., 2010). La mort de l'hôte peut également être causée par les spores seules (AINSWORTH, 1983). La toxine chez *B. sphaericus* est localisée dans la paroi sporale (figure 1.4) et va être libérée par une digestion partielle dans le tube digestif de la larve de l'insecte. La toxine pénètre dans la membrane péritrophique du tube digestif et empoisonne la larve (BURGESS, 1981;

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

SINGER, 1981). Les bactéries se développent dans l'hôte et le quittent quand celui-ci se désintègre.

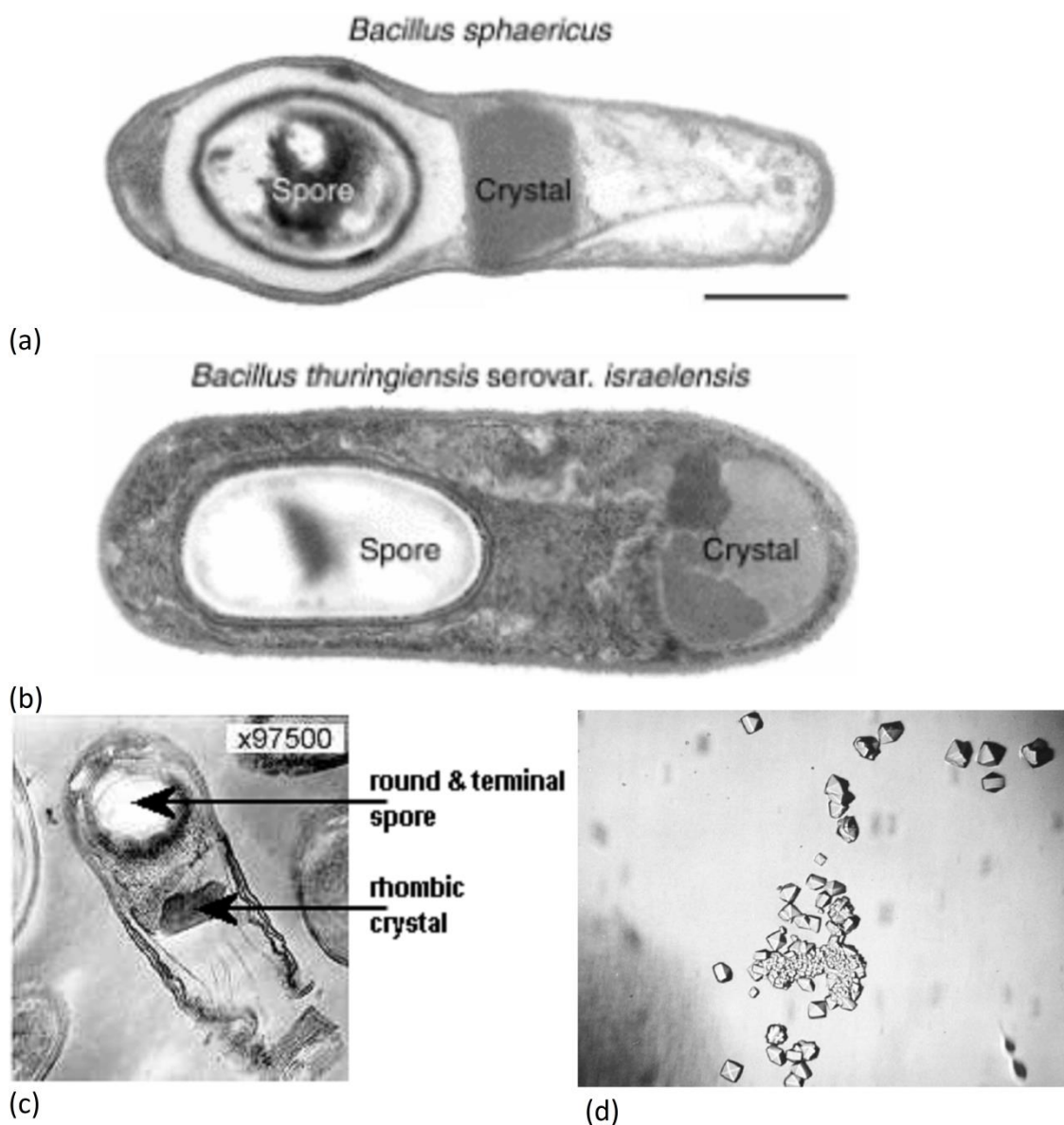


FIGURE 1.4. Sporangies de *Bacillus sphaericus* (a) et *Bacillus thuringiensis* serovar. *israelensis* (b) avant la fin de la sporulation, (REGIS et al., 2001).

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

2.1.1.2. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis fait partie du groupe I de la famille des Bacillaceae, caractérisées par des spores ovales non déformantes, à paroi mince centrale ou terminale formant des colonies de formes irrégulières, de diamètre compris entre 0,2 et 4 mm et de consistance crémeuse. De nombreuses souches de *B. subtilis* sont utilisées dans les industries pour la production d'enzymes (amylases, protéases et cellulases). Par ailleurs, *B. subtilis* est connu pour ses propriétés antifongiques et donc utilisé dans le contrôle biologique d'un grand nombre de maladies de plantes et d'animaux (revue in Chaurasia *et al.*, 2005). Ce bacille peut produire des antibiotiques spécifiques, comme la difficidine et l'oxydifficidine (Zimmerman *et al.*, 1987) mais aussi des antibiotiques plus communs, comme la bacitracine, la bacilline et la bacillomycine B (Parry *et al.*, 1983). Bien qu'aucune toxine n'ait jamais été mise en évidence chez cette bactérie (Edberg, 1991), Klier *et al.* (1983) ont démontré la possibilité de transfert de plasmides incluant des gènes de Cry-toxines de *B.t* dans cette bactérie. *B. subtilis*, comme d'autres espèces voisines du même genre, est capable de produire la lécithinase, une enzyme qui détruit les membranes de cellules de Mammifères.

2.1.1.3. *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Bt) :

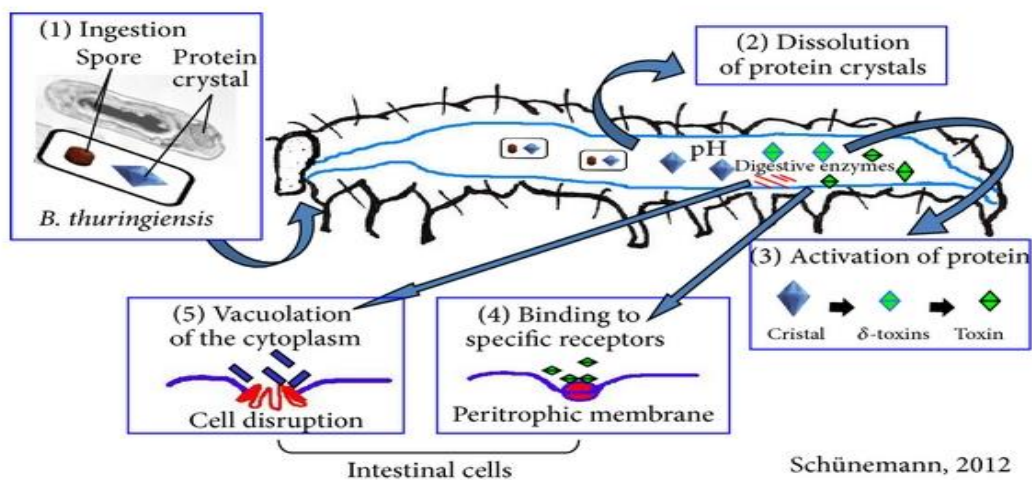
La bactérie entomopathogène *Bacillus thuringiensis* (Bt) a été le premier microorganisme homologué dans le monde comme biopesticide (DESFEMMES, 2012). Les premières homologations datent des années 60 aux Etats-Unis et des années 70 en France. Découvert pour la première fois au Japon en 1902 dans un élevage de vers à soie (*Bombyx mori*), Bt a été à nouveau isolé en 1911 en Thuringe (Allemagne) à partir d'une population de teigne de la farine (*Ephestia kuhniella*) par Berliner qui comprit l'utilisation possible de ce germe pour lutter contre des insectes nuisibles (Chaufaux, 1995).

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

Le BT a la particularité de synthétiser un cristal protéique lors de la sporulation. L'activité entomopathogène de ce germe est liée à la présence de cette inclusion parasporale (cristal), constituée de protoxines, appelées également deltaendotoxines. Les cristaux ont, selon les souches, une activité larvicide sur différentes espèces d'insectes appartenant à trois ordres : Lépidoptères, Coléoptères et Diptères (Meadows, 1993 ; Chauvaux 1995)

Certaines souches de Bt possèdent une spore et une inclusion parasporale composée d'une ou plusieurs toxines protéiques. Quatre types de toxines peuvent être isolées du *B. thuringiensis*, les α -exotoxines, β -exotoxines δ -endotoxines et γ -exotoxines (MONTEIRO et al., 2005).

Dans le mésenteron de l'insecte, en présence d'un pH stomacal basique (8,9), le cristal va se désintégrer pour libérer une endotoxine (figure 1.5), un polypeptide toxique qui va provoquer une rapide baisse de l'ATP au niveau des cellules stomacales, un gonflement de cellules épithéliales, une paralysie du tube digestif et un déséquilibre ionique dans l'hémolymphe. L'insecte meurt par inanition (MILLER et al, 1983 ; CLOUTIER et CLOUTIER, 1992; GREATHEAD et al, 1992;) ou par une septicémie.



CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

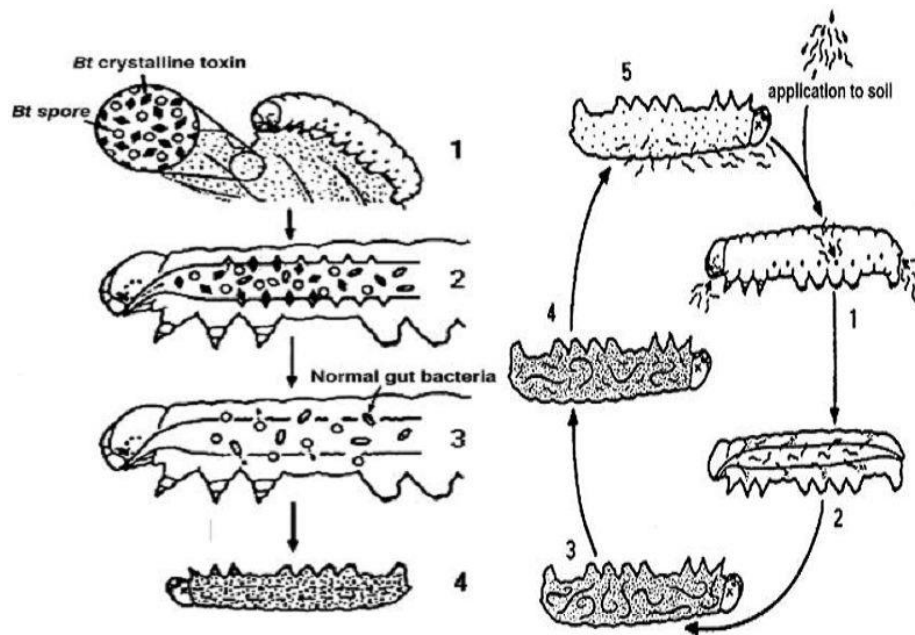


Figure 1.5 : Mode d'action du *Bacillus thuringiensis* chez les Lépidoptères **(1)** l'ingestion de bactéries; **(2)** solubilisation des cristaux; **(3)** protéine d'activation; **(4)** liaison des protéines aux récepteurs; **(5)** membrane et la formation de pores lise de cellule. (WOODRING, 1988, SHUNEMANN, 2012).

Les espèces de *Bacillus*, ont développé de nombreux mécanismes moléculaires pour produire des toxines. La plupart des toxines sont codées par plusieurs gènes cry (figure 1.6). Les différentes souches de *B. thuringiensis* produisent une combinaison différente de protéines, et tuent spécifiquement une ou quelques espèces apparentées de larves d'insectes. Le Bt est également connu pour être en mesure de transférer facilement ses gènes de toxicité à d'autres bactéries, CANAN, 2013).

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

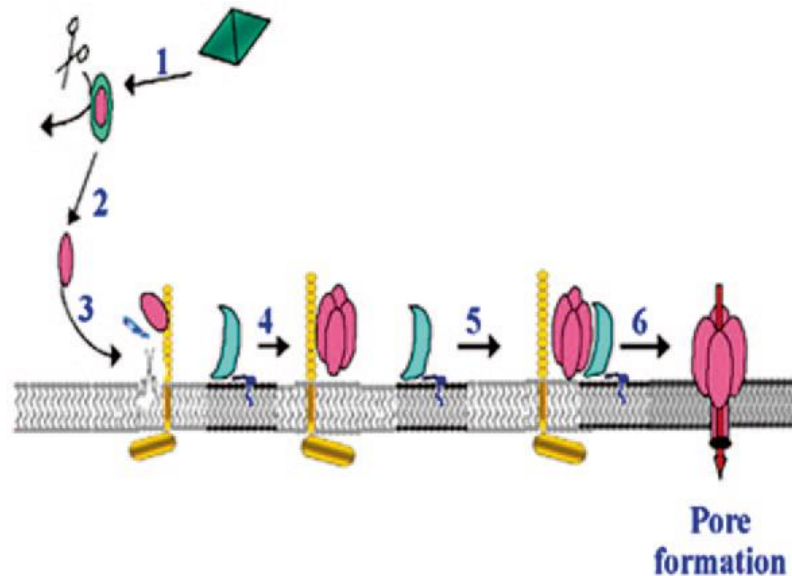


Figure 1.6. Mode d'action des Cry1A toxines du Bt.

1 Solubilisation de la toxine cry, 2 premier clivage par des protéases intestinales, 3 liaison de la toxine aux récepteurs et deuxièmes clivages par les protéases de la membrane, 4 formation d'oligomères d'insertion sur la Membrane, 5 liaison de la toxine à des récepteurs oligomères monomères, 6 formation de pores

1.2.1.2. Les champignons entomopathogènes

Les champignons entomopathogènes jouent un rôle important dans la régulation naturelle des populations d'insectes (WRAIGHT et ROBERTS, 1987; FERRON, 1978, STARNES et *al.* 1993). Le plus grand nombre de pathogènes se trouvent dans la classe des Zygomycètes, mais les plus utilisés en lutte biologique proviennent des Deuteromycètes (Fungiimperfecti). Les espèces des genres *Beauveria*, *Metharizium*, *Verticillium*, *Erynia*, *Hirsutella*, *Entomophthora* et *Entomophaga* sont les plus utilisées en lutte biologique (WRAIGHT et ROBERTS, 1987; GOETTEL, 1992). La pathogénicité de l'inoculum sporal et la spécificité de l'hôte sont deux paramètres importants dans le choix de l'isolat fongique. Les microchampignons entomopathogènes sont des agents de lutte très intéressants du fait de leur aptitude à infecter l'hôte par ingestion ou par simple contact rendant tous les stades, œuf, larve, adulte sensibles ainsi que les suceurs-piqueurs (CARRUTHERS and SOPER, 1987). Les effets de

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

certaines facteurs sur la viabilité des conidies ont été très étudiés comme la température, l'effet du rayonnement solaire sur la rémanence ou l'inactivation de l'inoculum infectieux et l'effet de l'humidité.

Les champignons entomopathogènes sont considérés comme des agents de mortalité des insectes (figure 1.7) naturels et sûrs par rapport à l'environnement. En particulier, les phases asexuées de champignons ascomycètes *Beauveria* sp., *Lecanicillium* sp., *Metarhizium* sp., *Paecilomyces* sp. sont très étudiés en raison de leurs caractéristiques (figure 1.8) favorisant leur utilisation comme insecticides biologiques.

Les ascomycètes anamorphiques tels *Metarhizium*, *Beauveria*, etc. (SUNG et al., 2007 ; REHNER et HUMBER, 2009) sont moins fréquemment responsables d'épizooties dans la nature. Leurs caractéristiques et propriétés, telles que la spécificité (gamme d'hôtes), les conditions de stockage, de formulation et d'application, sont également des aspects importants (AUGUSTYNIUK-KRAM et KRAMK, 2012).

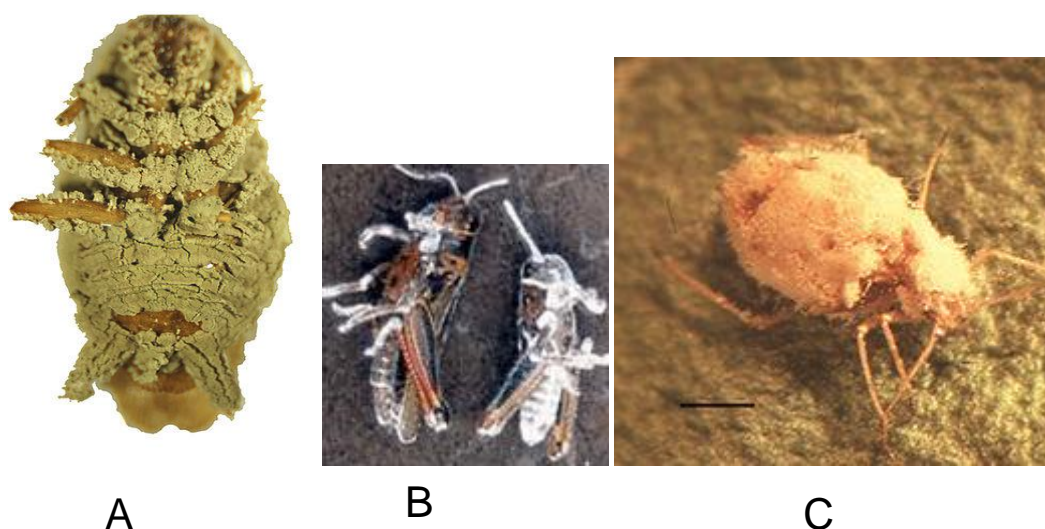


Figure 1.7. Blatte tuée par *M. anisopliae* (A) , Sauterelles tuées par le champignon *Beauveria bassiana*(Ascomycota,Hypocreales) (B) Puceron vert du pêcher (*Myzus persicae*) tué par le champignon *Pandora neoaphidis* (Zygomycota,Entomophthorales) (C) .

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

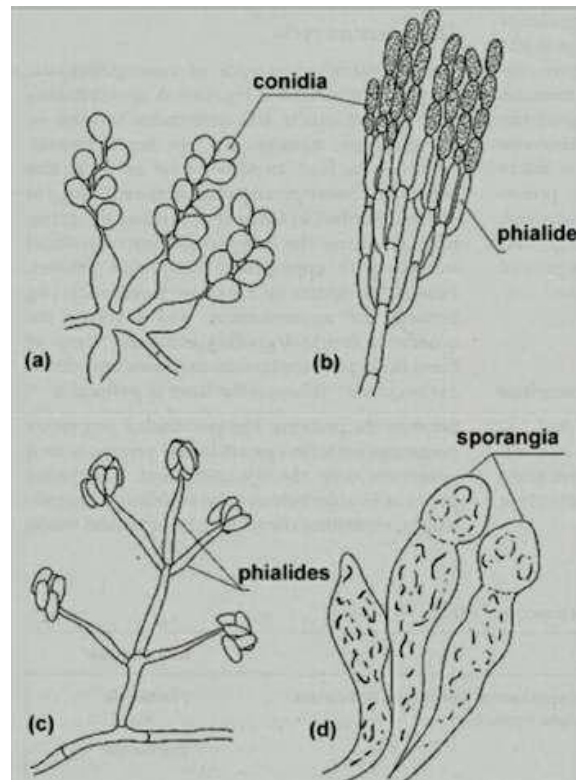


Figure 1.8. Structures sporales de champignons entomopathogènes. (a) *Beauveria bassiana*, (b) *Metarhizium anisopliae*, (c) *Lecanicillium lecanii*, (d) *Entomophthora* spp (Zygomycota).

Metarhizium acridum est le nouveau nom donné à un groupe d'isolats fongiques qui infectent presque uniquement les criquets du sous-ordre Caelifera des Orthoptères (Acrididea). Certaines souches forment des matières actives de biopesticides contre les criquets. Plusieurs groupes de recherche, y inclus le programme international LUBILOSA, ont identifié les défis techniques clés du développement de produits mycoinsecticides, y inclus: la sélection des isolats, la production en masse et les méthodes et techniques d'application (formulation et épandage). Autrement dit, la lutte contre les insectes (mortalité) dépend de facteurs tels que le nombre de spores épandues contre l'insecte hôte, la formulation et les conditions climatiques (THOMAS ET BLANFORD, 2003). Des formulations à base d'huile permettent l'épandage de

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

spores fongiques sous des conditions sèches et sont compatibles avec les techniques d'épandage en UBV (ultra bas volume) en lutte antiacridienne.

Metarhizium anisopliae (Ordre des : Hypocreales, Famille des Clavicipitaceae) a été le premier pathogène utilisé délibérément pour le contrôle d'insecte ravageur par le Russe Eli Metchnikoff (1880) dans les années 1880.

Metarhizium infecte une large gamme d'insectes et provoque la maladie de la "muscardine verte" (figure 1.9). L'espèce la plus souvent mentionnée dans la littérature est *Metarhizium anisopliae*, espèce très virulente pour la plupart des acridiens, y compris le criquet pèlerin et le criquet migrateur. Les spores de *M. anisopliae* sont allongées avec des côtés parallèles. Elles mesurent 6 µm de longueur pour 2 à 3 µm de diamètre (GREATHEAD et al., 1994, in OUTTAR, 2009). Les conidiophores sont relativement courts, irrégulièrement ramifiés ou non et arrangés en groupes compacts formant une masse de spores.



Figure 1.9 La muscardine verte *Metarhizium anisopliae* (à gauche) se développant en un feutrage blanc (à droite) durant sa phase mycéliale de développement.

En règle générale, le développement d'une infection létale peut être séparé en trois étapes. Tout d'abord, les conidies asexuées entrent en contact avec le tégument. Les conidies germent en un tube germinatif, qui se termine finalement dans un appressorium (figure 1.10). La pénétration du champignon

CHAPITRE I : Généralités sur la processionnaire du pin *Thaumetopea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae) et sur le biocontrôle à l'aide des microorganismes entomopathogènes.

est obtenue par la production d'enzymes hydrolytiques incluant des protéases, des lipases et des chitinases, et une pression mécanique. Les blastospores du champignon circulent dans l'hémocèle de l'insecte puis se multiplient.

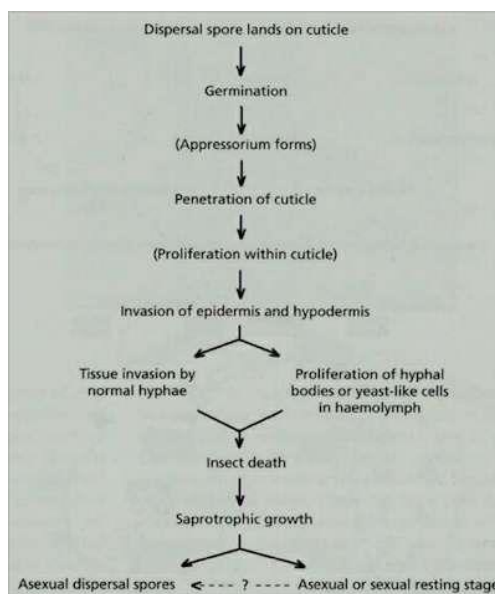


Figure 1.10 Séquence générale de l'infection par un champignon entomopathogène d'après CHARNLEY (1989).

Les objectifs visés dans ce travail consistent premièrement à cerner la dynamique des infestations de la chenille processionnaire du pin dans des pinèdes situées en zone littorale, étant donné que les études sur cet important défoliateur ont porté majoritairement sur des cédraies de l'Atlas blidéen à Chrèa et celle des parcs nationaux du Belezma et de Theniet El Had ou les reboisements de pinèdes dans la région de Djelfa. Si les opérations d'échenillage sont faiblement réalisées, aucune autre forme de lutte n'est envisagée contre la processionnaire pour la protection des forêts. Nous avons investigué deuxièmement à travers des essais en laboratoire et sur le terrain, les effets d'agents microbiologiques à base des bactéries *B. thuringiensis* kurstaki, *B. subtilis* (VIII3) et (9372) et du microchampignon *Metarhizium anisopliae*. À l'égard des chenilles âgées de *T. pityocampa* et du puceron du pin *Cinara maghribica*.

2.1 Présentation de la région d'étude : la wilaya de Tipaza

La wilaya de Tipaza se situe au Nord du tell central et se situe entre les longitudes : X1= 380 (1°42') ; X2=482 (2°48') et les Latitudes : Y1= 4030 (36°25') ; Y2= 4062 (36°40'). Elle est limitée par la Mer Méditerranée au Nord, la Wilaya de Chlef à l'Ouest, la Wilaya de Ain-Defla au Sud-Ouest, la Wilaya de Blida au Sud Est, la Wilaya d'Alger à l'Est. Notre étude a été réalisée dans les communes de Nador et Sidi Rached (figures 2.1).



Figure 2.1: Situation géographique de la wilaya de Tipaza sur Google Earth.

La commune de Sidi Rached est située aux coordonnées de 36° 33' 45" Nord et 2° 32' 00" Est, à environ 15 km au sud-est de Tipaza entre 60m et 280m d'altitude. Le territoire de Sidi Rached est constitué du versant sud du Sahel et ses ravins ainsi qu'une partie de la plaine de la Mitidja où se trouvait le lac Halloula asséché au 19^e siècle.

La commune de Nador (appelé Desaix, pendant la colonisation française) est située aux coordonnées de 36° 34' 11" Nord et 2° 23' 35" Est, au nord de la wilaya de Tipaza, au pied du mont du Djebel Chenoua. Son chef-lieu se trouve à environ 5 km au sud-ouest de Tipaza et à environ 20 km au sud-est de Cherchell.

2.2. Synthèse climatique dans la région de Tipaza

Les changements du climat en général déterminent pour une grande part la répartition, le développement, l'activité et les pullulations des insectes (HMIMINA M., 1986). L'étude des régimes pluviométriques et thermiques est d'une importance capitale pour la caractérisation des différents types de climat dans une région donnée (PEGUY .1970).

2.2.1. La pluviométrie :

Les précipitations mensuelles dans la région de Tipaza ont un régime typiquement méditerranéen avec un maximum en hiver et un minimum en été (ANONYME., 1998). La distribution inégale des précipitations au cours du cycle annuel et l'alternance saison humide et saison sèche joue un rôle régulateur des activités biologiques des ravageurs. Les précipitations moyennes enregistrées par la station du Barrage Boukerdane font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 674, 90 mm durant la période allant de 2004 à 2013 et une pluviométrie moyenne annuelle de 640,4mm durant l'année d'étude 2014/2015 (figure 2.2).

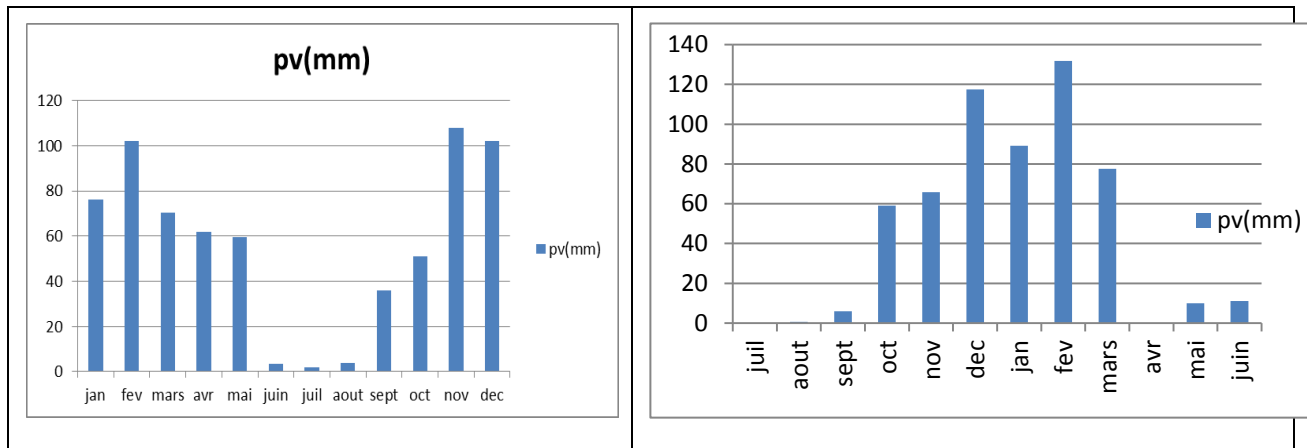


Figure 2.2 : Variations des précipitations mensuelles de 2004 à 2013 (à gauche) de 2014/2015 (à droite) dans la région de Tipaza.

2.2.2. Les températures :

La température représente un facteur limitant, chaque espèce ne peut vivre que dans un certain intervalle de température (DREUX, 1980). Elle exerce une action écologique sur tous les êtres vivants car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère.

Les basses températures sont enregistrées aux mois de janvier, février, mars, novembre et décembre de l'année 2007 et 2008. Les hautes températures sont enregistrées aux mois de juillet, août et septembre de l'année 2005 et 2007. Les moyennes des minimas du mois le plus froid sont enregistrées au mois de Février durant la période 2004/2013 avec une température de 1,26°C, et les moyennes des maximas du mois le plus chaud sont enregistrées au mois d'août avec une température de 38,31 °C, (figure 2.3).

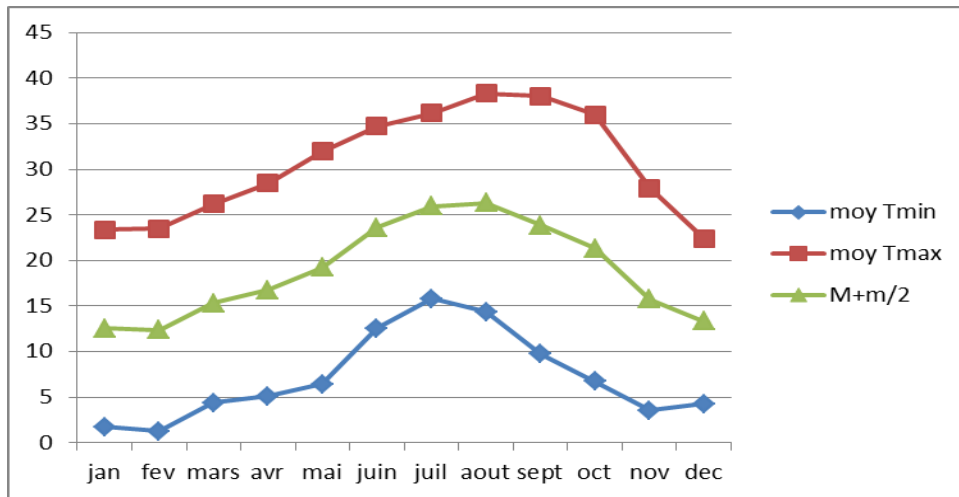


Figure 2.3 : Evolution des températures enregistrées durant la période 2004 à 2013 dans la région de Tipaza (données climatiques du Barrage de Boukerdane).

Concernant l'année d'étude 2014/2015, elles varient entre 3°C pour le mois le plus froid (Février) à 43°C pour le moins chaud de l'été (Juillet) (figure 2.4).

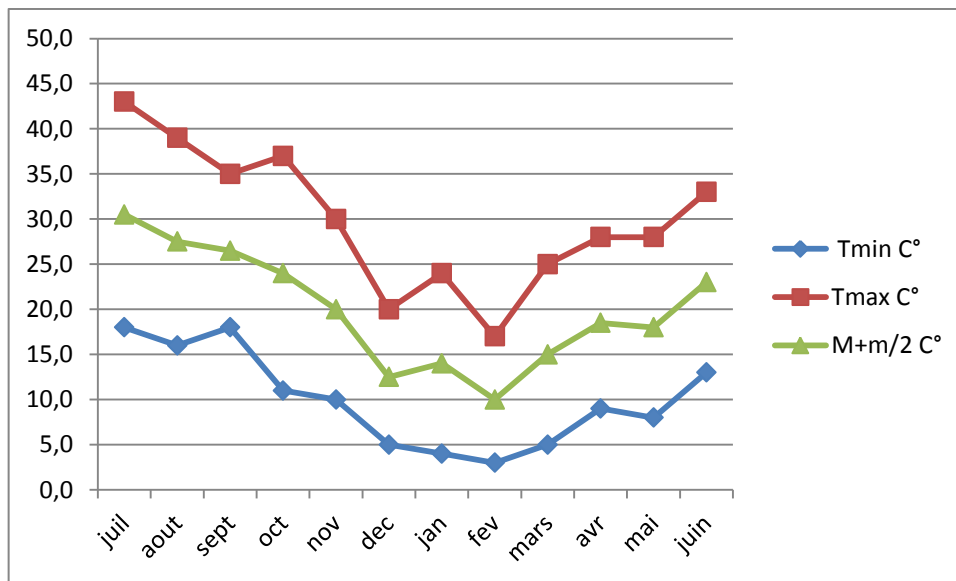


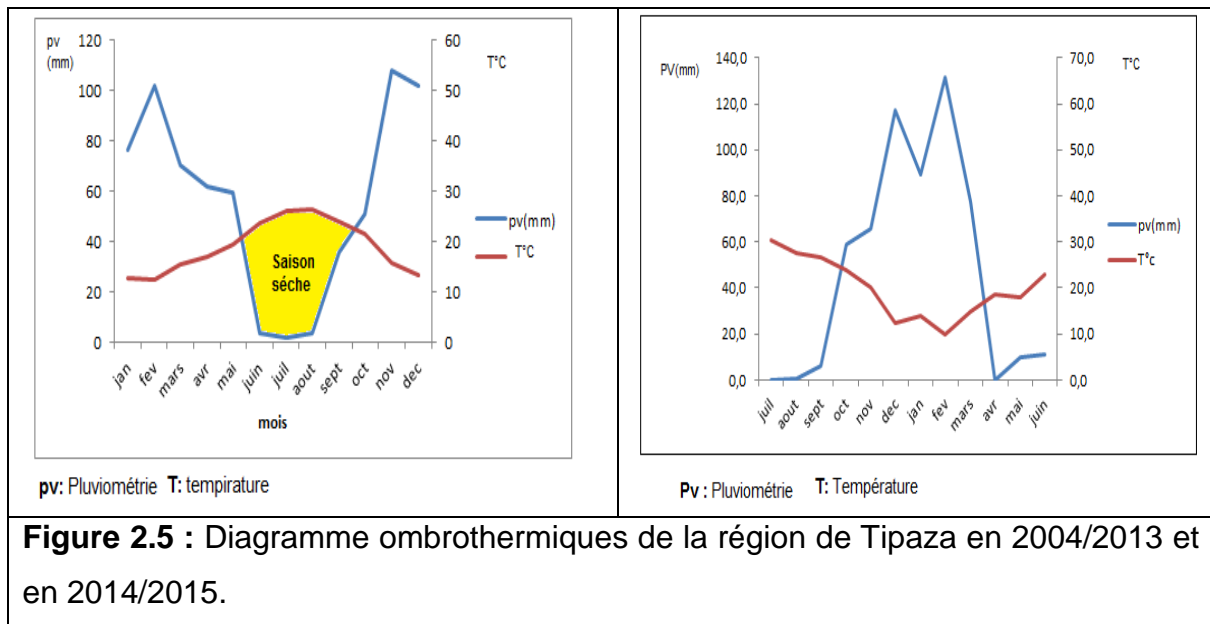
Figure 2.4: Evolution des températures enregistrées de 2014 à 2015 dans la région de Tipaza.

2.2.3. Diagramme ombrothermique et climagramme d'Emberger

Les principaux facteurs climatiques qui caractérisent les milieux continentaux sont la température et les précipitations. La plupart des formules synthétiques proposées par les auteurs combinent ces deux facteurs. Ainsi

l'élaboration de diagramme ombrothermique de Gausсен et le climagramme d'Emberger permet de définir respectivement la période sèche et l'étage bioclimatique d'une région.

Bagnouls et Gausсен considèrent qu'un mois est sec lorsque le total des précipitations exprimé en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius. L'examen de diagramme ombrothermique (BAGNOULS et GAUSSEN, 1953, P =2T) de la station d'étude indique que la région de Tipaza est caractérisée par une période sèche qui dure presque quatre mois et demi, elle débute du mois de mai et se prolonge jusqu'à la mi-septembre. Quant à la période humide, elle s'étale de la deuxième quinzaine du mois de septembre jusqu'à la fin du mois de mai (figure 2.5)



Le quotient pluviothermique établi par Emberger, est une autre façon de mettre en valeur les rapports thermiques et pluviométriques d'une région. Il est présenté par la formule simplifiée de Stewart (STEWART, 1969) :

$$Q = 3.43 \times \frac{P}{M-m}$$

Q : Quotient pluviothermique d'Emberger, **M** : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud, **m** : Moyenne des températures minima du mois le plus froid, **P** : Moyenne des précipitations annuelles en mm.

En reportant la valeur du coefficient pluviométrique Q_2 (62,48) en ordonnée et la température moyenne minimale du mois le plus froid en abscisse (1,26°C), dans le climagramme d'Emberger (Figure 2.7), il ressort que la région de Tipaza se situe dans la limite de l'étage sub humide supérieur à hiver frais.

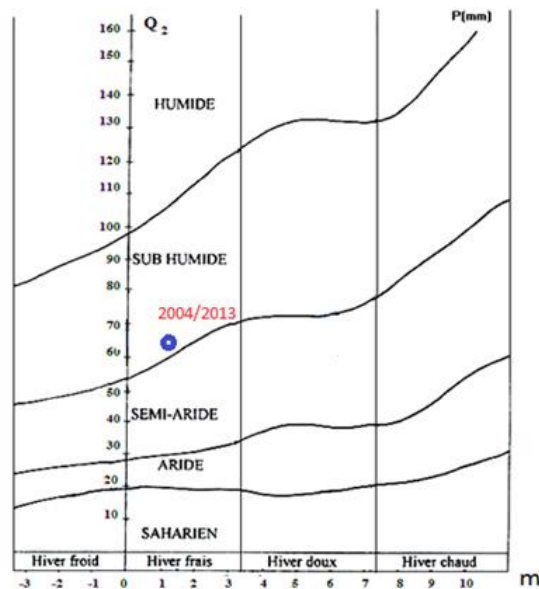


Figure 2.6: Localisation de la région de Tipaza dans le Climagramme d'Emberger pour la période (2004/2013).

2.3. Présentation des stations d'étude:

Notre travail a été réalisé au niveau de pinèdes. Le pin d'Alep *Pinus halepensis* est un conifère de la famille des Pinacées.

C'est le botaniste écossais Philip Miller qui lui donna abusivement ce nom scientifique, en 1768. En effet, c'est le *Pinus brutia* qui pousse principalement dans la région d'Alep en Syrie. Sa répartition géographique est essentiellement autour des côtes méditerranéennes, et plus principalement en Algérie et en Espagne. Les forêts de pin d'Alep sont localisées en Algérie dans les wilayas de Sidi Bel Abbés, Saida, Tiaret, Ghelizane, Chlef, Ain Defla, Tipaza, Blida ; Médéa, Bouira, Bourdj BouArréridj, Djelfa, M'sila, Batna, Khenchla, Tébessa ;

Nous avons choisi trois stations des forêts de pin d'Alep au niveau de la frange littorale de la wilaya de Tipaza. La première station de Sidi Abdelhak (130ha, 65m d'altitude) est une jeune forêt naturelle orientatée vers le nord, la deuxième station de Benhani (Daïra de Ahmer El Ain), (80ha, 250 m d'altitude) est une jeune forêt naturelle orientée vers le sud, la troisième station d'El Assel (Daïra de Sidi Amar) (100ha, 100 m d'altitude) est une jeune forêt naturelle. Les deux premières stations ont servi au suivi de la phénologie de la processionnaire de pin au début de décembre jusqu'à fin d'avril, ainsi que pour les essais de lutte microbiologique sur les populations larvaires de L4, L5 par l'utilisation de *B. thuringiensis kurstaki*, *B. subtilis* (VIII3) et (9372). La troisième station a concerné les traitements microbiologiques sur le puceron du pin (mois de mai), utilisation de *B. thuringiensis kurstaki*, *B. subtilis* (VIII3) et (9372) plus le champignon entomopathogène: *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*. Toutes les stations forestières étudiées (figure 2.8) sont proches de la mer et le paysage environnant est représenté globalement par des forêts de la même espèce de plante hôte à savoir le pin d'Alep *Pinus halepensis*.

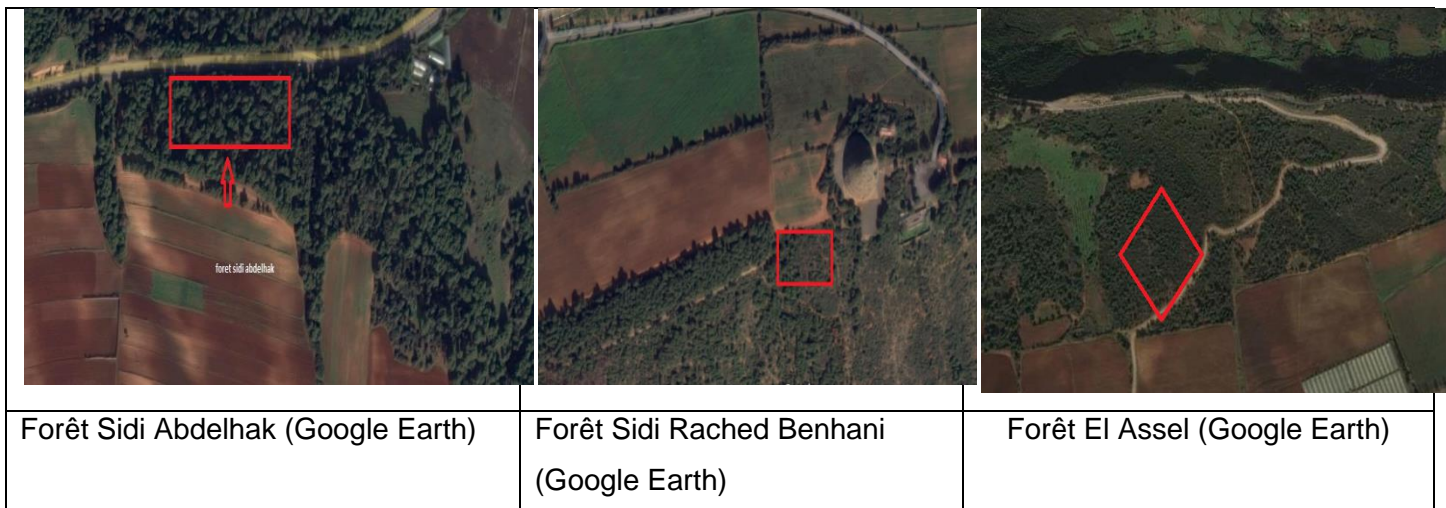


Figure 2.7 : Photos satellites des stations forestières étudiées au niveau de la région de Tipaza (Source Google earth. 2015).



Figure 2.8 : Le pin d'Alep des stations étudiées *Original*

Le choix de ces stations (figures 2.8 et 2.9) a été basé sur l'occurrence de la chenille processionnaire, des dégâts constatés et des descripteurs pris en considération dans notre étude tels que l'essence forestière, la superficie prospectée, l'exposition ainsi que le type d'anthropisation.

2.4. Matériel et méthodologie utilisés

2.4.1. Matériel et méthodologie utilisés sur le terrain

2.4.1.1. Dénombrements des nids de la processionnaire de pin

La période d'échantillonnage dans les différentes stations forestières s'est étalée du début du mois de décembre jusqu'au début du mois d'avril 2015. Nous avons réalisé 2 sorties par mois pour les deux stations de suivi de la chenille processionnaire de pin. Nous avons choisi 10 arbres au hasard à chaque fois pour le comptage de nombre de nid par arbre et estimer les taux d'infestation respectifs dans les deux stations choisies. Nous avons évalué donc le nombre de nids moyen afin d'étudier leur distribution spatiotemporelle en fonction de l'exposition. La reconnaissance des nids en relation avec chaque stade larvaire est conduite sur des critères relatifs à la densité des réseaux de soie élaborés par les larves et le volume du nid. Par exemple, de fins réseaux de soie indiquent la présence des larves L1 alors que les nids des L5 se

caractérisent par un réseau très dense de soie et sont volumineux ; avec la taille de la chenille en longueur, les dimensions de la capsule céphalique et la quantité de poils.

2.4.2. Matériel et méthodologie utilisés au laboratoire

2.4.2.1. Originale des souches bactériennes

Bacillus thuringiensis kurstaki a été acheté de la société Agrichem d'Ain-Benian (Alger), *Bacillus subtilis* (VIII3) a été fournie sous forme de spores lyophilisées de l'Unité de zoologie de la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique), *Bacillus subtilis* Souche (9372) a été obtenu chez SAIDAL Médéa et *Metarhizium anisopliae* variété *acridum* sous forme de poudre de spores a été fourni par l'INPV d'El Harach.



Figure 2.9: Boîtes utilisées pour les traitements bactériens des larves L4/ L5 de la processionnaire du pin, (Original).

2.4.2.2.. Repiquage des souches bactériennes

La pureté des souches bactériennes a été vérifiée sur le milieu Gélose nutritif (GN) pour les *Bacillus subtilis* et *Bacillus thuringiensis*, en réalisant plusieurs repiquages. L'ensemencement a été réalisé selon la technique de suspension dilution. Après incubation à 37°C pendant 24h, les cultures sont repiquées plusieurs fois jusqu'à l'obtention des aspects cultureux purs et spécifiques aux *Bacillus subtilis* et *Bacillus thuringiensis*.

2.4.2.2. Préparations des suspensions bactériennes

2.4.2.2.1. Dénombrement par étalement en surface du milieu gélosé

Nous avons procédé aux étapes suivantes pour chaque souche bactérienne.

1- nous avons d'abord préparé une suspension mère à partir d'une colonie ou d'une culture jeune de 24h.

2-nous préparons ensuite plusieurs dilutions au 1/10, on transvase pour cela 1ml de la suspension mère dans 9ml d'un liquide physiologique stérile en tube à essai pour préparer la dilution 10^{-1} et continuer ainsi pour les autres dilutions. On agite les suspensions avant de prélever les 1mL, et on utilise une pipette graduée stérile de 1mL pour la préparation de chaque dilution.

3-on dépose 0,1 ml de la suspension mère sur la surface d'une gélose nutritive stérile et sèche.

4-on utilise une pipette pasteur stérile pour étaler la suspension sur toute la surface de la gélose.

Toutes les boites sont incubées 24h à 37°C.

2.4.2.2.2. Détermination du nombre de colonies

Le nombre de colonies bactériennes par millilitre de la suspension mère a été calculé par le rapport du nombre de colonies comptées sur la boîte retenue/ Volume total de la dilution* Taux de dilution.

Tableau 2.1. Détermination du nombre de colonies par millilitre de la suspension bactérienne mère.

Paramètres	Suspension mère	Dilution 10 ⁻¹	Dilution 10 ⁻²
Volume ensemencé en ml	0,1	0,1	0,1
Nombre de colonie par surface ensemencée et par dilution	Supérieure à 300 colonies : impossible de compter	Supérieure à 300 colonies : difficile de compter car risque de compter une colonie deux fois ou plus	Entre 30 et 300 colonies soit : 25 colonies
Nombre de colonie par dilution	Boite éliminée	Boite éliminée	colonies /0,1 = 250
Nombre de colonie par millilitre de la suspension mère	Boite éliminée	Boite éliminée	250/10 ⁻² =25000

Nous avons obtenu les dilutions suivantes pour les traitements microbiens contre les chenilles de la processionnaire.

Bacillus thuringiensis kurstaki: (D1=1, 34.10⁷ UFC/ml, D2=9, 3.106 UFC/ml).

Bacillus subtilis (Souche VIII3) : (D1=1,36.10⁷ UFC/ml, D2=9,2.10⁶UFC/ml).

Bacillus subtilis (Souche 9372) (D1=1, 33 .10⁷ UFC/ml, D2=9,5.10⁶ UFC/ml).

Les doses respectives pour les traitements au laboratoire et sur le terrain sur le puceron *Cinara maghrebica* Mimeur sont les suivantes.

B. thuringiensis kurstaki (D1= 3,5*10⁶ UFC/ml, D2=2,5*10⁵ UFC/ml).

B. subtilis (Souche VIII3) (D1= 3,7*10⁶ UFC/ml, D2=2,6*10⁵ UFC/ml).

B. subtilis (Souche 9372) (D1= 3,3*10⁶ UFC/ml, D2=2,4*10⁵ UFC/ml).

2.4.2.3. Préparations des concentrations du champignon entomopathogène: *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*

La souche de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Isolat IMI : 330189) a été gracieusement fournie par le département de lutte antiacridienne de l'Institut National de la Protection des Végétaux (INPV) d'El Harrach, sous forme d'un biopesticide dénomé « Green Muscle » formulé en concentration huileuse de spores (ZAKARIA et SAGNIA, 2003).

A partir de la poudre sèche de spores du champignon «Green Muscle», nous avons préparé les dilutions partir de 1g de spores mis dans 1050 ml d'eau distillée. Le comptage des spores est réalisé à l'aide d'une cellule de Malassez sous un microscope optique après avoir déposé une goutte de la solution entomopathogène au centre de cette cellule. On dépose ensuite la lamelle sans faire de bulles d'air. Le principe de la Cellule de Malassez consiste à compter le nombre des spores existant dans les 5 carrés groupés marqués "E" puis on détermine la concentration de la solution mère à partir de la relation suivante :

$$\text{Spores par } \mu\text{l volume} = \frac{\text{Spores dénombrées}}{\text{Surface dénombrée (mm}^2\text{)} \cdot \text{prof. de champ (mm)} \cdot \text{dilution}}$$

Surface dénombrée : $1/400\text{mm}^2$ Profondeur de champ 0,2 mm' Dilution : puisque on ne peut pas compter le nombre des spores de la solution mère qui est trop dense, on fait appel à plusieurs dilutions de la suspension qui possède une concentration plus élevée. Après les calculs on obtient la concentration de la solution mère : Spores par μl volume = $1,16 \cdot 10^7$ spores / μl .

A partir de cette concentration, on déduit les autres concentrations qu'on veut obtenir à l'aide de la loi d'équilibre : $C_1V_1 = C_2V_2$ (C_1 : Concentration de la solution mère, V_1 : Volume de la solution mère, C_2 : Concentration choisie, V_2 : Volume d'eau distillée pour obtenir C_2). Après les calculs, les doses suivantes ont été obtenues : $D_1 = 1,16 \cdot 10^7$ spores/ μl et $D_2 = 1,16 \cdot 10^6$ spores/ μl .

2.4.2.4. Méthode d'application de traitement

L'efficacité des différents traitements a été réalisée testés sur la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) à l'aide de solutions préparées à base de *B. thuringiensis kurstaki*, *B. subtilis* (VIII3) et (9372).

Le traitement des larves de L4, L5 de la chenille processionnaire du pin par les différentes bactéries est réalisé dans des boîtes rectangulaires en carton (Figure 2.10), dans lesquelles on dispose 10 larves de même âge avec des petits rameaux feuillus de pin, à raison de 40 larves au total (4 répétitions, 30 traités et 10 témoins sans traitement). À l'aide d'un pulvérisateur manuel, on pulvérise les solutions de traitement sur les aiguilles de pin d'Alep. Les observations des mortalités post traitements sont effectuées chaque jour sur une période d'une semaine, sur la base d'une seule application des agents microbiens.

Les traitements microbiens sur le puceron du pin ont été réalisés dans des boîtes en plastique fermés par une mousseline en mailles fines. On dispose des tiges infestées contenant un nombre fixe de pucerons (30 individus par boîte à raison de 4 répétitions dont un servant de témoin). Une seule application de chaque bactérie et du champignon *M. anisopliae* a été réalisé, les observations de l'effet des traitements ont été effectuées sur une période de 4 jours.







2.4.3. Identification des pucerons et application des traitements microbiens

Le montage des aphides (figure 2.11) pour la reconnaissance de l'espèce inféodée à la plante hôte sur le terrain, et leur préparation à des observations microscopiques a nécessité la procédure suivante. Un milieu de montage est préalablement préparé (Gomme arabique 40g, phénol 40g, hydrate de chloral 40g, glucose 5% (5g de glucose), acide acétique, Hydrate de chloral + phénol d'hydrate de chloral 40g, phénol 40g, potasse 10%(10g) +100 ml d'eau distillée).

Etape1 : les pucerons sont d'abord piqués à l'aide d'une épingle entomologique sur la face abdominale entre le 4^{ème} et 6^{ème} sternite abdominal puis ils sont plongés dans une solution de potasse à 10% à chaud pendant 3 à 4 minutes

Etape 2 : Nettoyage et dégraissage des pucerons : De nouveau les pucerons sont mis dans une solution de Chloral phénol à chaud pendant 3 à 4 minutes selon l'espèce.

Etape 3 : Montage sous loupe binoculaire : les pucerons sont montés sur une lame contenant le milieu de montage et étalés sur la face ventrale.

<p>Pucerons plongés dans la potasse (10%)</p> 	<p>Chauffer le contenu pendant 3 à 4 minutes</p> 
 <p>Nettoyage et dégraissage par le Chloral Phénol</p>	 <p>Chauffer le contenu pendant 3 à 4 minutes</p>
 <p>les pucerons sont montés sur une lame contenant le milieu de montage</p>	 <p>Observation sous loupe binoculaire des pucerons montés et étalés sur la face ventrale.</p>
<p>Figure 2.10. Technique et étapes de montage des aphides.</p>	

L'espèce de puceron rencontrée au niveau de la station à pinède d'El Assel a été identifiée par Mr Aroun MEF du laboratoire de zoologie au département des biotechnologies de la faculté SNV de l'Université de Blida, sur la base de la clé d'identification des aphides de BLACKMAN et EASTOP, (2006).

Les traitements réalisés sur terrain ont concerné les deux doses préalablement préparées, respectivement des solutions bactériennes et des solutions du champignon *M. anisopliae* var *acidum*. Nous avons considéré trois répétitions par traitement à raison de deux arbres traités par répétition. Deux autres arbres ont servi de témoin pulvérisé avec l'eau courante.

Les traitements ont été appliqués une seule fois sur les aiguilles du pin d'Alep à l'aide d'un pulvérisateur manuel. Les observations ont été effectuées sur des rameaux prélevés au hasard de chaque répétition pendant une durée de 4 jours.

2.5. Analyses des données d'observations

2.5.1. Evaluation de l'efficacité des agents microbiens testés sur les espèces ciblées sur le terrain et au laboratoire:

Sur le terrain, les abondances populationnelles des pucerons cibles ont été dénombrées avant les applications des différents traitements et quotidiennement durant une période d'exposition au produit microbiologique testé à savoir: 24h, 48h, 72h puis après 7 jours. Au laboratoire, la période de suivi des mortalités a été de 7 jours pour les chenilles et 4 jours (24h, 48h, 72h et 96h) seulement pour le puceron *C. maghrebica*.

L'efficacité d'un produit est évalué par la mortalité de l'organisme cible. Cependant, le nombre d'individus morts dénombrés dans une population traitée par un toxique n'est pas le nombre réel d'individus tués par ce toxique. Il existe en effet dans toute population traitée une mortalité naturelle qui vient s'ajouter à la mortalité provoquée par le toxique. Pour cela, les pourcentages de mortalité ont été corrigés par la formule d'Abbott (ABBOTT WS., 1925) où MC (%) est le pourcentage de mortalité corrigée. M le pourcentage des morts dans la population traitée et Mt le pourcentage des morts dans la population témoin.

$$\% \text{ de mortalité corrigée (MC)} = \frac{\% \text{ des morts dans la population traitée (M)} - \% \text{ du témoin (Mt)}}{100 - \% \text{ du témoin (Mt)}} \times 100$$

Les données brutes dans les répétitions ont été rapportées à des moyennes pour l'analyse des variations que ce soit pour les observations des infestations ou les mortalités. La répartition des nids dans les deux stations a été mise en évidence par une analyse factorielle des correspondances suivie par une classification ascendante hiérarchique des groupes (Past, version 9.1, HAMMER et *al.*, 1997). La comparaison des moyennes des mortalités respectives a été analysée par le modèle GLM (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009). En effet, dans les conditions paramétriques si la distribution de la variable quantitative est normale, lorsque le problème est de savoir si la moyenne de cette variable varie significativement selon les conditions (période, agent microbiologique, dose), nous avons eu recours à une analyse de variance (ANOVA pour *ANalysis Of VAriance*) sans tenir compte des interactions entre les facteurs étudiés pour vérifier la significativité de la variable d'intérêt (mortalité) entre toutes les combinaisons des modalités.

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus sur les deux volets cernés à savoir l'étude de la répartition des nids et l'infestation de la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampadans* les deux stations à pinèdes littorales choisies, et l'étude de l'évaluation de l'efficacité de traitements microbiens sur deux ravageurs infestant le pin d'Alep. Les tests microbiologiques ont été réalisés sur les chenilles âgées de la processionnaire au laboratoire seulement et ont concerné trois produits *Bacillusthuringiensis kurstaki*,et *Bacillus subtilis* de la souche (VIII3) et de la souche (9372). Les tests microbiologiques sur le puceron *Cinara maghribica*, ont été réalisés au laboratoire et sur le terrain à l'aide de quatre agents microbiens *B. thuringiensis kurstaki*,en plus des deux souches bactériennes de *B. subtilis* et le champignon entomopathogène *M.anisopliae*.

3.1. Etude de la phénologie de la processionnaire de pin dans les pinèdes littorales étudiées

3.1.1. Etude comparative du nombre moyen de nids

De manière générale, on peut constater que le nombre moyen de nids par arbre est bien plus élevé au niveau de la station exposée au sud par rapport à la station exposée au nord. Il augmente à partir de mi-janvier jusqu'au début de mars. Dans la première station à pinède, l'abondance moyenne des nids a atteint près de 5.5 nids par arbre notamment vers la fin de février contre un maximum de 1.5 nid seulement dans la seconde pinède étudiée (figure 3.1).

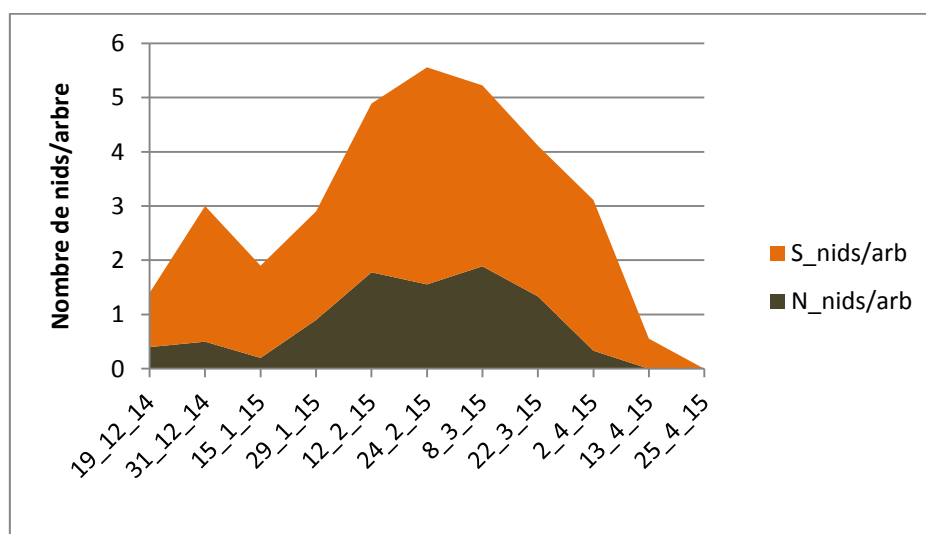


Figure 3.1. Abondance moyenne des nids de *T. pytiocampa* dans les pinèdes étudiées.

3.1.2. Taux d'infestation comparé

Le taux d'infestation dans chaque pinède a été évalué en prenant en considération le nombre d'arbres infestés par rapport au nombre total de pins échantillonnés. L'évolution des infestations de la processionnaire (figure 3.2) montre trois périodes nettement séparées : une phase de maintien de stabilité des infestations entre le 19 décembre et le 15 janvier 2015 puis une phase d'apogée entre février et mars et enfin une phase de déclin de la fin mars jusqu'à la fin d'avril. Par ailleurs, on constate une augmentation des infestations de 20% jusqu'à 80% dans les pinèdes exposées au nord comparativement aux pinèdes exposées au sud où les taux d'infestation se sont maintenus entre 80% et 100% durant la période hivernoprintanière du suivi.

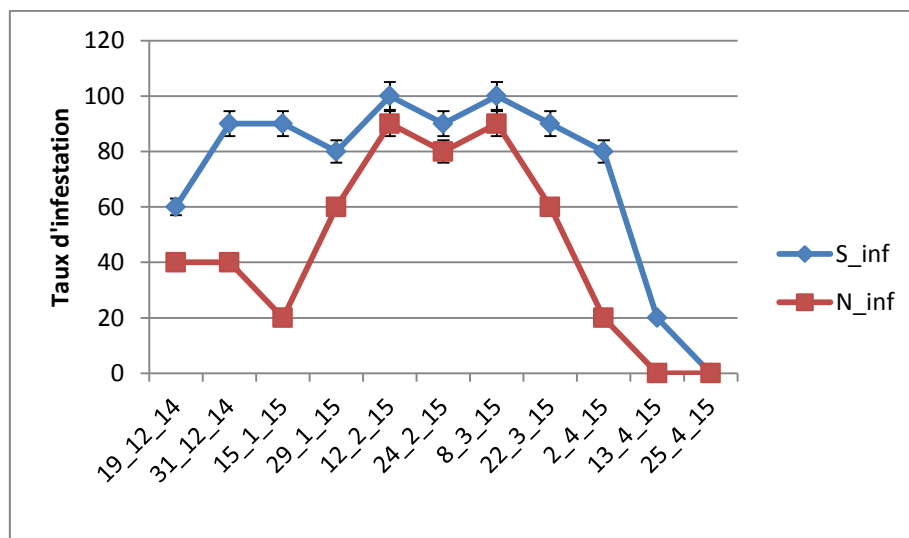


Figure 3.2. Variation des niveaux d'infestation dans les pinèdes étudiées selon l'exposition.

3.1.3. Répartition comparée des populations larvaires

L'observation de l'aspect et de la densité des nids sur les pins infestés nous a permis de différencier les populations larvaires de la processionnaire. En considérant tous les stades, on remarque une absence des jeunes larves (L1 et L2) dès le début de nos échantillonnages au 19 décembre 2015 (figure 3.3a et 3.3b).

3.1.3.1. Selon l'exposition nord

Au niveau de la pinède exposée au nord, la période d'occurrence des chenilles de stade 3 s'étale du mi-décembre au mi-février. La période de présence des prés nids d'hiver caractérisant le stade 4, est courte, de 10 jours approximativement selon nos observations. L'apparition des nids d'hiver (stade L5) commence à la fin février pour s'achever vers le début d'avril (figure 3.3a). Néanmoins, les abondances populationnelles larvaires restent faibles dans cette station, durant toute la période de suivi.

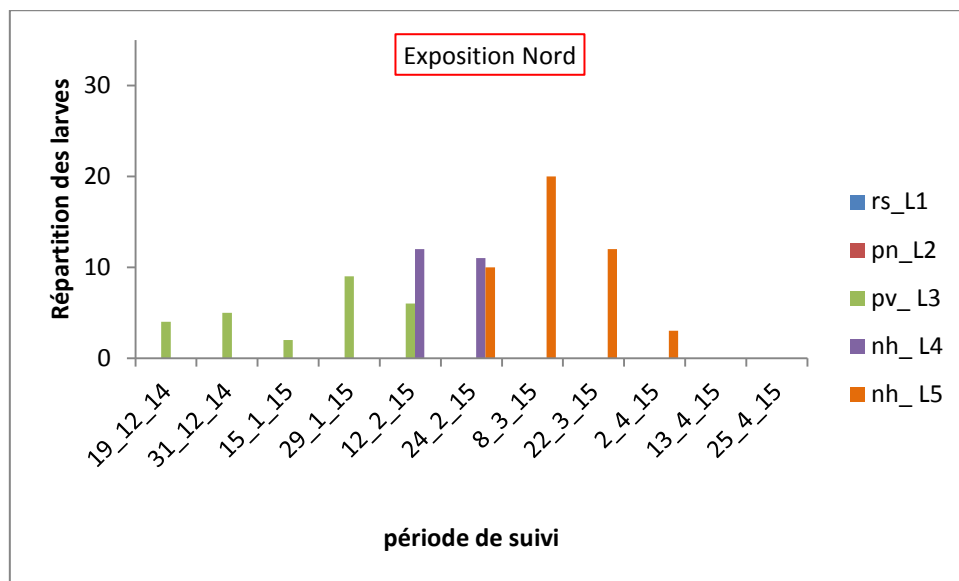


Figure 3.3 a : Répartition des populations larvaires de la processionnaire au niveau de la station exposée au nord.

3.1.3.2. Selon l'exposition sud

La répartition des nids des différents stades larvaires (L3 à L5) de la processionnaire paraît plus importante dans la station à pinède exposée au sud. En effet, pour chaque stade considéré, l'abondance totale des nids varie de 20 à 30 nids durant la période d'échantillonnage. Les périodes larvaires des stades L3, L4 et L4 sont distinctes avec des pics d'abondance observés à la fin décembre, la mi février et la fin mars respectivement (figure 3.3b).

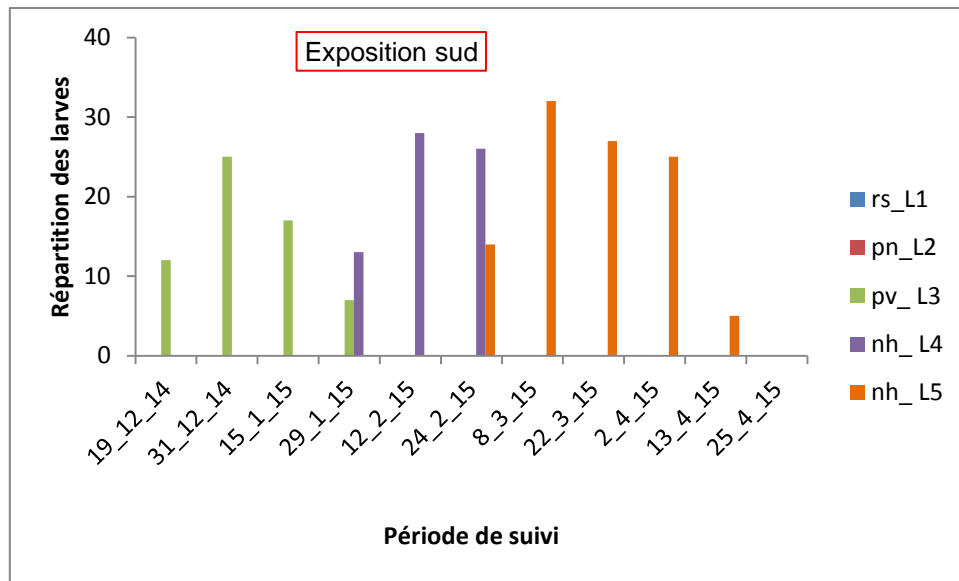


Figure 3.3 b : Répartition des populations larvaires de la processionnaire au niveau de la station exposée au sud.

3.1.3.3. Tendence globale de la répartition populationnelle dans les deux sites étudiés

Pour entrevoir comment se structurent les répartitions des populations larvaires de la processionnaire dans les deux pinèdes, nous avons réalisé une analyse multi variée sur la base d'une matrice de données d'abondances temporelles des différents nids dans les deux stations en même temps.

Les variables étudiées, projetées sur le plan factoriel F1xF2 de l'AFC donnent une contribution totale à l'inertie de 53.23% sur l'axe 1 et 38.13% sur l'axe 2. L'analyse est satisfaisante dans la mesure où les contributions aux informations dépassent 70% (figure 3.4a). Pour structurer les abondances populationnelles larvaires, nous avons eu recours à une classification ascendante hiérarchique pour la représentation des groupes ayant les mêmes mesures de similarité. Ici, nous avons considéré la distance euclidienne entre les coordonnées x et y de mêmes variables (figure 3.4b).

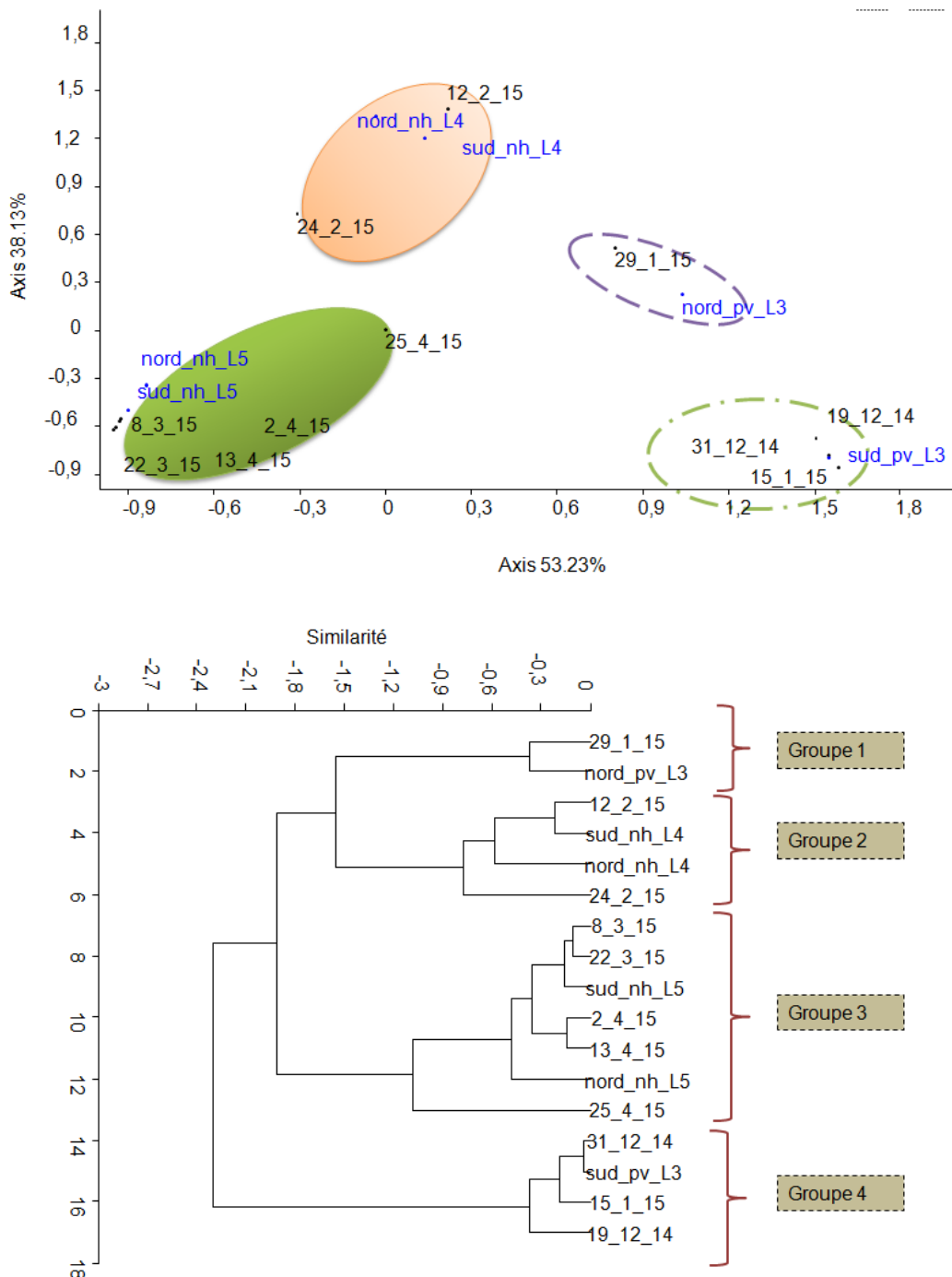


Figure 3.4 : Structure de la répartition des abondances populationnelles larvaires de la processionnaire dans les deux pinèdes étudiées. (a) projection des variables sur le plan d'ordination F1x2 (b) CAH des groupes.

L'AFC et la CAH ont fait ressortir 4 groupes distincts. Les groupes 1 et 4 montrent une répartition spécifique des populations larvaires de 3eme stade à la fin janvier dans la pinède exposée au nord du 19 décembre au 15 janvier dans la pinède exposée au sud (figure 4.3 a et b). Les autres groupes 2 et 3 reflètent une répartition

similaire des abondances larvaires des stades L4 et L5 de la processionnaire aussi bien dans la station nord que dans la station sud (figure 4.3 a et b).

3.2. Evaluation des effets des agents microbiens testés sur les ravageurs cibles

Les efficacités des traitements microbiens ont été interprétées sur la base des mortalités corrigées obtenues et analysées par le modèle linéaire global de l'ANOVA (systat, vers. 12.0) en étudiant la significativité des effets des facteurs doses et temps séparément et avec les interactions.

3.2.1. Etude des mortalités dues aux souches bactériennes testées sur les chenilles de la processionnaire au laboratoire

Mortalités dues à l'effet du BTK

Les mortalités enregistrées augmentent graduellement dans le temps du 1^{er} au 5^{eme} jour après l'application des solutions à base du btk puis tendent à se stabiliser entre le 5^{eme} et le 7^{eme} jour. Les valeurs des mortalités corrigées n'ont pas dépassé 50% avec la dose d2 contrairement avec la d1 où elles ont atteint 80% à la fin de la période de suivi (figure 3.5).

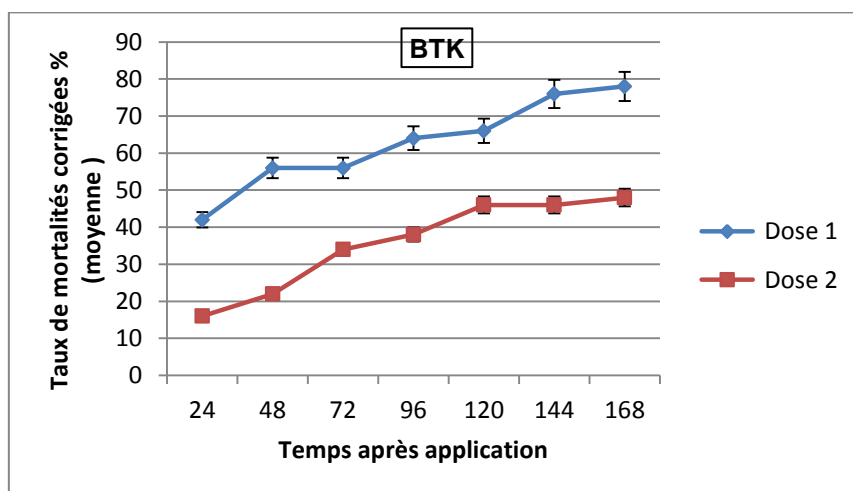


Figure 3.5. Evolution temporelle des mortalités moyenne dues au BTK sur les chenilles de la processionnaire du pin.

Globalement, les mortalités des chenilles âgées de la processionnaire augmentent jusqu'au 7^{eme} jour après application des solutions de traitement avec une efficacité beaucoup plus élevée de la dose 1. L'analyse séparée des effets des facteurs dose et temps (GLM, systat vers.12) indique une différence hautement significative entre les deux doses et entre les temps d'exposition à l'effet du btk (tableau 3.1 et figure 3.6)

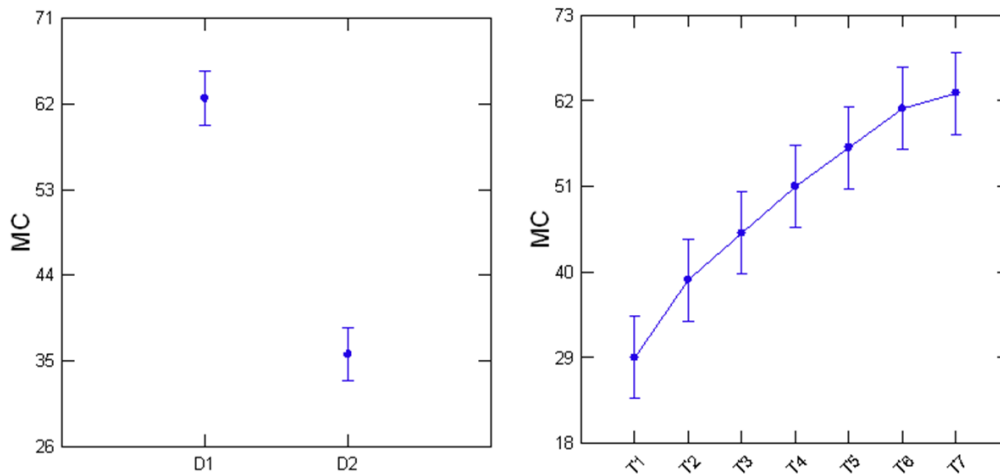


Figure 3.6. Variation des taux de mortalités corrigées chez les chenilles de *T. pytiocampa* traitées avec le BTK au laboratoire (D1=1, 34.10⁷ UFC/ml, D2=9, 3.106 UFC/ml).

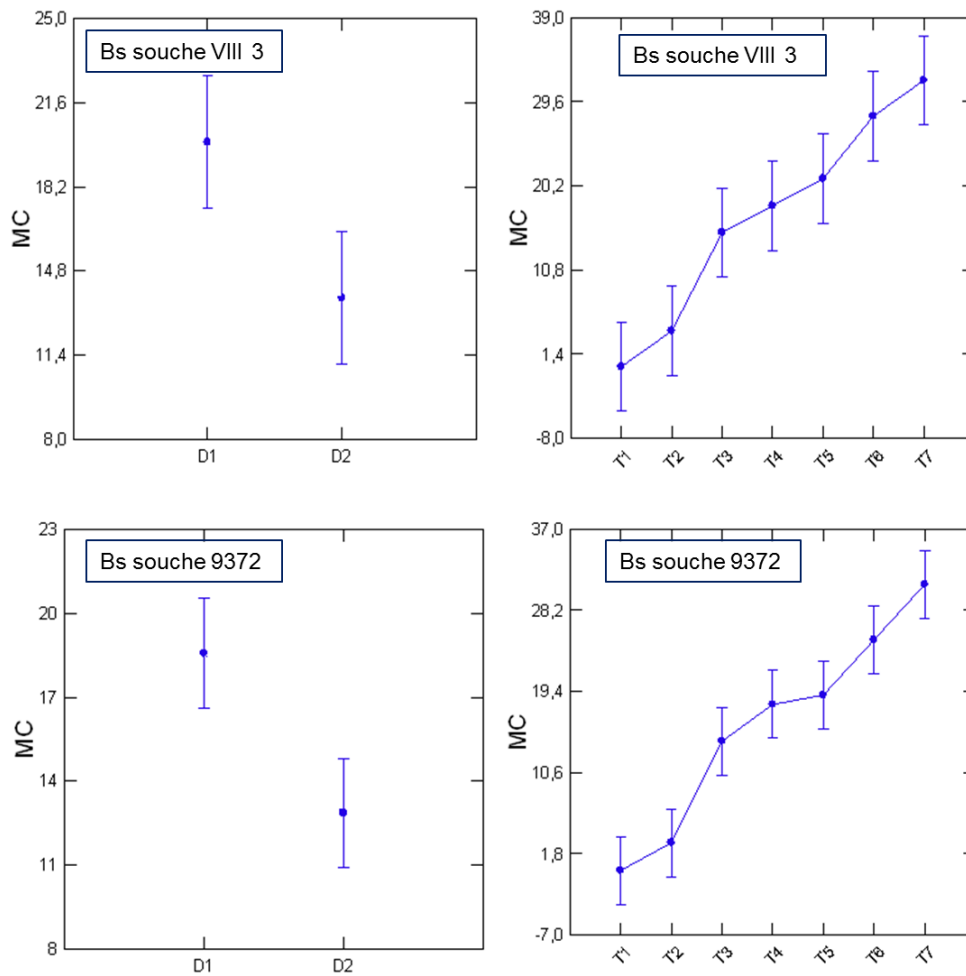
Tableau 3.1. Comparaison des moyennes et probabilités associées des taux de mortalités des chenilles de *T. pytiocampa* sous l'effet du BTK au laboratoire. (*: p <0,05; **: p < 0,01 ; ***: p <0,001)

Source	somme des carrés	df	moyenne des carrés	F-ratio	p
Doses	12 622,857	1	12 622,857	182,186	0,000***
Temps	9 088,571	6	1 514,762	21,863	0,000***
Doses*Temps	357,143	6	59,524	0,859	0,531 ^{NS}

Mortalités dues à l'effet des deux souches de B. subtilis

Les mortalités observées sur les chenilles traitées avec les deux souches bactériennes de *Bacillus subtilis* ont révélé des valeurs plus faibles ne dépassant pas les 30% (figure 3.7). Comme pour l'effet du btk, on note une réaction de dose

dépendante notamment avec la dose 1 par rapport à la dose 2 pour les souches VIII3 et 9372 respectivement. L'efficacité des deux souches est d'autant plus élevée avec le temps après application. La comparaison des moyennes de mortalités corrigées observées chez les larves traitées avec chacune des deux souches, indique une différence d'efficacité hautement significative entre les doses et les jours après traitement (tableau 3.2a et b, figure 3.7).



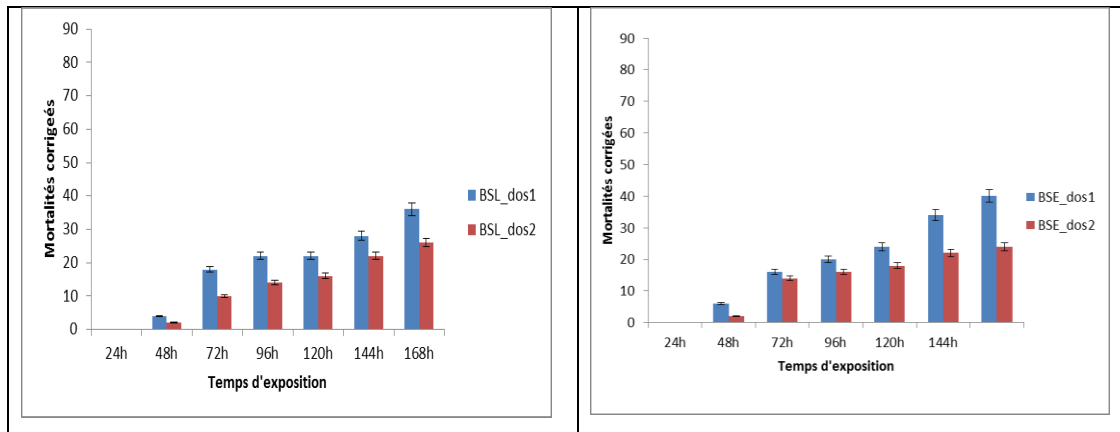


Figure 3.7. Variation des taux de mortalités corrigées chez les chenilles de *T. pytiocampa* traitées avec les deux souches de *B. subtilis* au laboratoire *B.s* (Souche VIII3) (D1=1,36.10⁷ UFC/ml, D2=9,2.10⁶UFC/ml). *B.s* (Souche 9372) (D1=1, 33 .10⁷ UFC/ml, D2=9,5.10⁶ UFC/ml).

Tableau 3.2a. Comparaison des moyennes et probabilités associées des taux de mortalités des chenilles de *T. pytiocampa* sous l'effet de la souche VIII3 du *B. subtilis* au laboratoire.

Source	somme des carrés	df	moyenne des carrés	F-ratio	p
DOSES	691,429	1	691,429	11,126	0,002**
TEMPS	8 248,571	6	1 374,762	22,123	0,000***
DOSES*TEMPS	488,571	6	81,429	1,31	0,268 ^{NS}

Tableau 3.2b. : Comparaison des moyennes et probabilités associées des taux de mortalités des chenilles de *T. pytiocampa* sous l'effet de la souche 9372 du *B. subtilis* au laboratoire.

Source	somme des carrés	df	moyenne des carrés	F-ratio	p
Doses	571,429	1	571,429	17,021	0,000***
Temps	7 474,286	6	1 245,714	37,106	0,000***
Doses*Temps	188,571	6	31,429	0,936	0,477 ^{NS}

Mortalités dues aux effets comparés des deux souches bactériennes

L'analyse comparée de l'efficacité des deux souches bactériennes à travers les mortalités corrigées des chenilles à montrer une différence hautement significative entre les deux doses testées et entre les jours après traitement. En revanche, il n'y a pas de différence d'efficacité entre la souche VIII3 et 9372 de *B. subtilis*, (figure 3.8 et tableau 3.3)

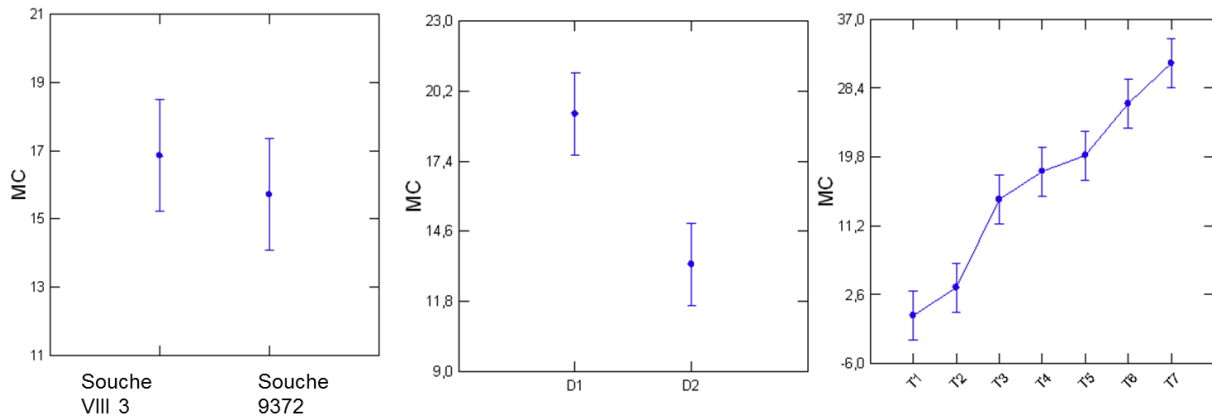


Figure 3.8. Variation comparée des mortalités temporelles chez les chenilles de *T. pytiocampa* traitées avec les deux souches de *B. subtilis* au laboratoire (D1=1,36.10⁷ UFC/ml, D2=9,2.10⁶UFC/ml). *B.s* (Souche 9372) (D1=1, 33 .10⁷ UFC/ml, D2=9,5.10⁶ UFC/ml).

Tableau 3.3: Analyse de la variance appliquée aux moyennes des mortalités comparées entre les deux souches bactériennes (VIII3 et 9372) sur les chenilles de *T. pytiocampa* au laboratoire.

Source	somme des carrés	df	moyenne des carrés	F-ratio	p
Souche bactérienne	45,714	1	45,714	0,955	0,330 ^{NS}
Doses	1 260,000	1	1 260,000	26,328	0,000 ^{***}
Temps	15 688,571	6	2 614,762	54,637	0,000 ^{***}
Bact*Doses	2,857	1	2,857	0,06	0,807 ^{NS}
Bact*Temps	34,286	6	5,714	0,119	0,994 ^{NS}
Doses*Temps	520	6	86,667	1,811	0,103 ^{NS}
Bact*Doses*Temps	157,143	6	26,19	0,547	0,771 ^{NS}

3.2.2. Etude comparative des mortalités dues aux souches bactériennes et fongiques testées sur le puceron du pin (adulte aptère)

Les individus du puceron des conifères *C. maghrebica* (figure 3.9 et 3.10) ont été repérés dans la pinède d'El Assel vers la mi-mai, période de l'activité aphidienne indiquée par DE ANGELIS (1994). Les symptômes d'infestation peuvent s'étaler jusqu'au mois de novembre, alors que le contrôle des populations est préconisé entre mai et août selon le même auteur.

Conifer Aphid

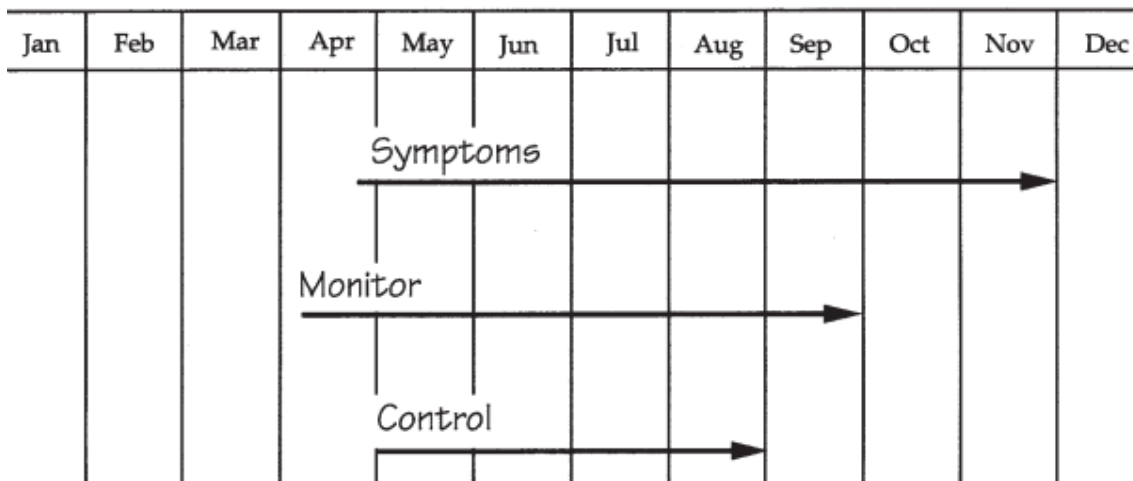
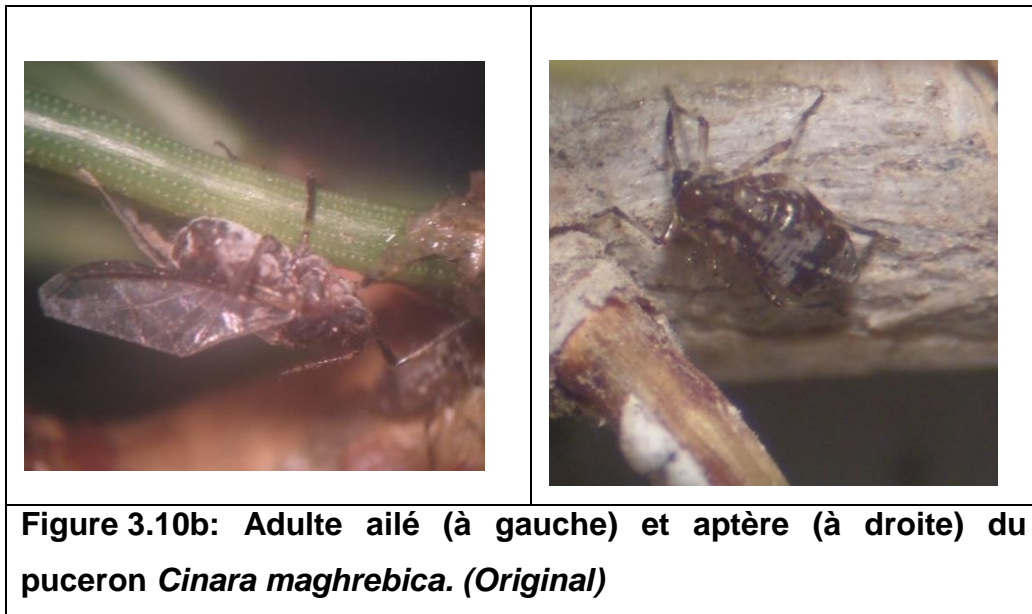


Figure 3.9. Calendrier du puceron des conifères d'après DE ANGELIS, (1994)



Figure 3.10a. *Cinarasp* (Aphididae, Lachninae, Cinarini, Curtis, 1835) et colonies sur *Picea abies* (*Encyclop'Aphid*)



3.2.2.1. Evaluation de l'efficacité au laboratoire

Les individus du puceron *C. maghrebica* traités par les solutions des différents traitements microbiens, ont manifesté des mortalités variables en relation avec les souches et les doses testées (figure 3.11). Sur une période de 4 jours, les mortalités les plus élevées ont été enregistrées au bout de 72h et 96h pour toutes les souches utilisées, à des taux compris entre 20% à 40% pour la dose 2 et 50% à 70% pour la dose 1 d'après nos observations.

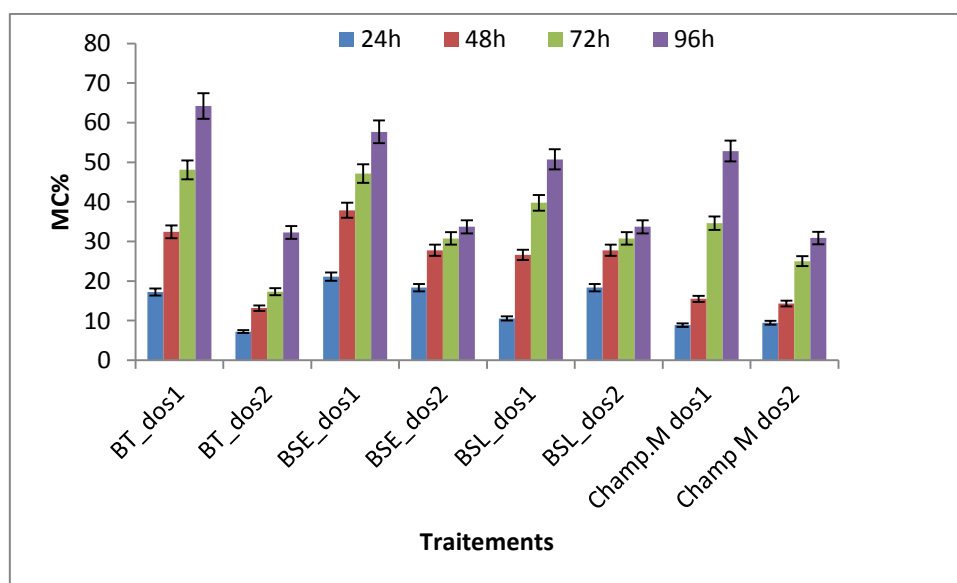


Figure 3.11. Variations temporelles globales des mortalités corrigées observées sur le puceron *C. maghribica* sous l'effet des souches bactériennes et fongiques testées au laboratoire.

Nous avons représenté les évolutions journalières des mortalités à compter du jour de l'application des traitements microbiens afin de refléter l'effet spécifique à chaque souche (figure 3.12). Il en ressort les constatations suivantes :

- L'effet du btk augmente avec un taux de mortalités de 25% à près de 100% en particulier avec la dose1, entre 24h et 96h
- L'effet du Bs de la souche VIII3 vient en seconde position et augmente avec un taux de mortalités de 25% à 40% enregistrés entre 24h et 48h. Au-delà, l'effet se stabilise à 40%.

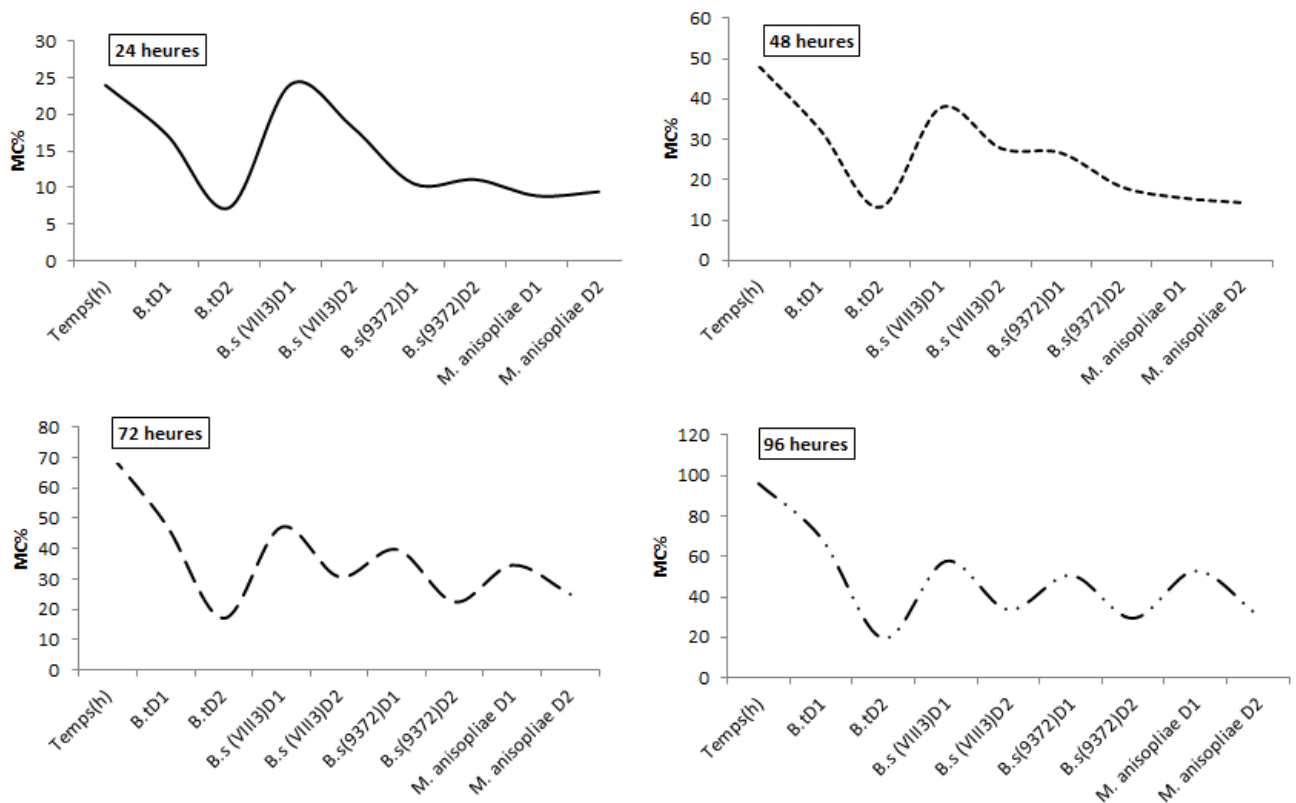


Figure 3.12 : Variation journalière des mortalités du puceron du pin sous l'effet des traitements microbiologiques au laboratoire.

- Concernant la souche 9372 du Bs et la souche de *M. anisopliae* var *acidum* homologuée, on constate des mortalités à croissance faible de l'ordre de 10% à 30% entre 24h et 48h respectivement puis les taux se stabilisent par la suite à une valeur de 40% pour les deux agents microbiens.

3.2.2.2. Evaluation de l'efficacité sur le terrain

Les potentialités insecticides du btk sur le puceron des conifères *C. maghrebica* se sont avérées faibles en comparaison avec celles des autres souches testées sur le terrain, surtout avec la souche VIII3 de Bs et notamment entre 24h et 72h, (figure 3.13). Néanmoins, il est remarqué une efficacité temporelle de toutes les souches à 96h en particulier avec *M. anisopliae* testé à la d1 puis le btk et ensuite le bs VIII3 utilisés à la d1 également (figure 3.13).

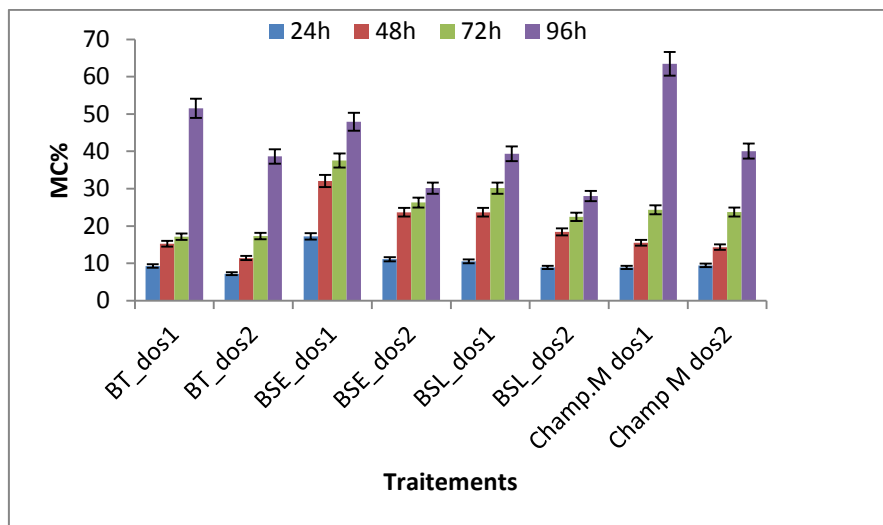


Figure 3.13. Variations temporelles globales des mortalités corrigées observées sur le puceron *C. maghribica* sous l'effet des souches bactériennes et fongiques testées in situ.

Les mortalités journalières ont révélé des résultats intéressants concernant la souche VIII3 administré à la d1 et qui s'est traduit par une augmentation de l'effet insecticide entre 24h et 72h. La souche de *M. anisopliae* var *acridum* a en revanche engendré un taux de mortalité de plus de 60% au bout d'une semaine après application des traitements (figure 3.14).

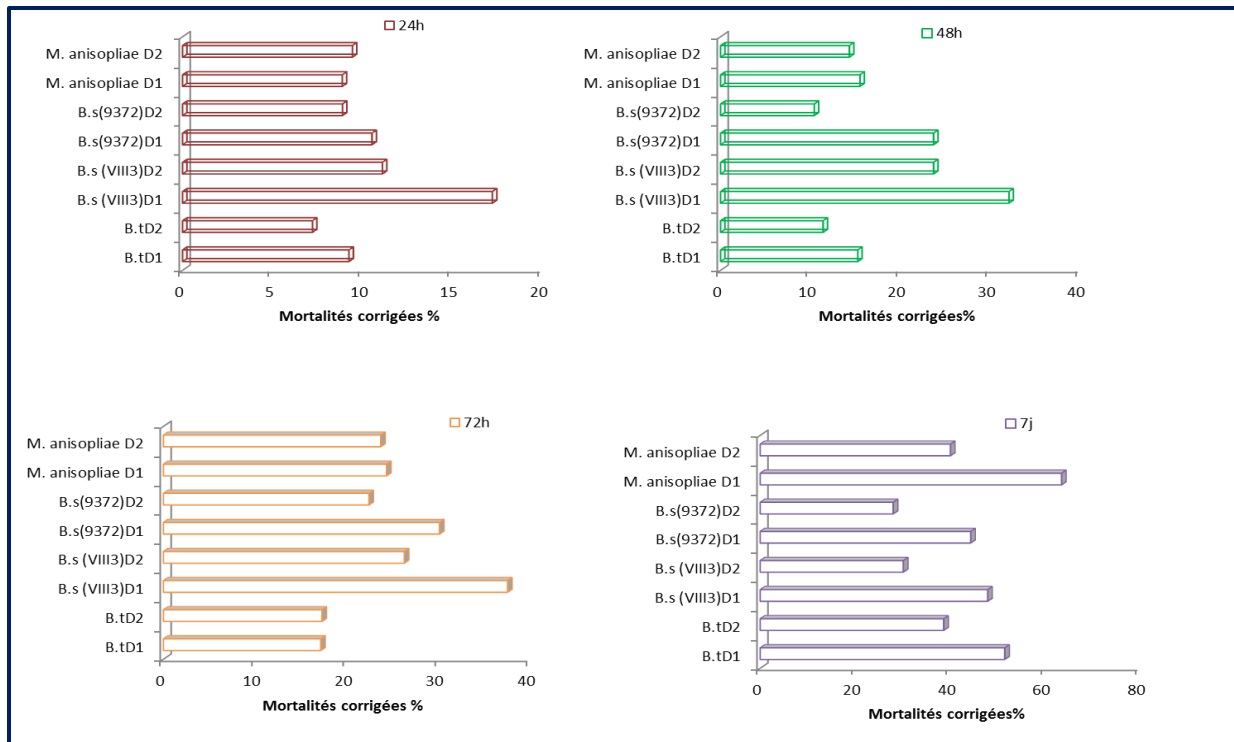


Figure 3.14 : Variation journalière des mortalités du puceron du pin sous l'effet des traitements microbiologiques in situ

Ces résultats ont été confirmés par l'analyse des effets comparés entre les 4 traitements testés in situ avec des différences hautement significatives entre les traitements, les doses et les temps d'exposition ainsi qu'avec les interactions temp/doses et traitements/temps (figure 3.15 et tableau 3.4).

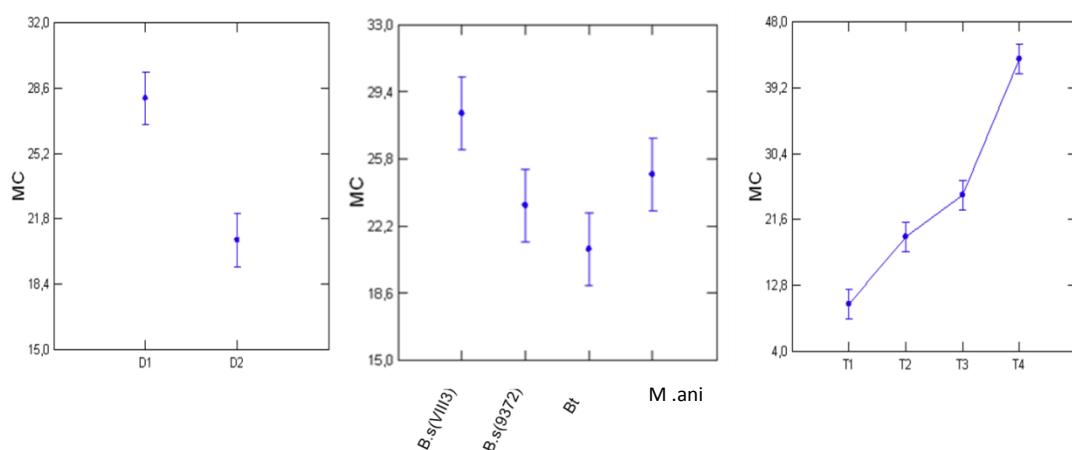


Figure 3.15. Variation comparée des mortalités temporelles chez le puceron du pin sous l'effet des 4 traitements microbiens sur le terrain.

Tableau 3.4. Analyse de la variance appliquée aux moyennes des mortalités comparées entre les 4 traitements sur *C. maghribica* sur le terrain.

Source	somme descarrés	df	moyenne des carrés	F-ratio	p
TRAITEMENT	2 882,992	3	960,997	16,27	0***
DOSES	10 480,363	1	10 480,363	177,436	0***
TEMPS	23 059,440	3	7 686,480	130,135	0***
TRAITEMENT*DOSES	2 255,155	3	751,718	12,727	0***
TRAITEMENT*TEMPS	637,061	9	70,785	1,198	0,299 ^{NS}
DOSES*TEMPS	4 258,882	3	1 419,627	24,035	0***
TRAITEMENT*DOSES*TEMPS	303,2	9	33,689	0,57	0,82 ^{NS}
Erreur	9 450,479	160	59,065		

4.1. Répartition des infestations de la processionnaire du pin au niveau des pinèdes à *Pinus halepensis* durant la période hiverno printanière en 2014-2015 dans la région de Tipaza.

Les résultats obtenus dans ce travail confirment ceux déjà démontrés par de nombreux auteurs algériens qui ont surtout réalisé des investigations quantitatives dans la cédraie de Chréa.

SBABDJI (1997) SBABDJI et *al.* (2009) ont montré que l'infestation au niveau de la Cédraie de Chréa, variait fortement selon la station. Les infestations se concentrent en haute altitude, au niveau des clairières, en exposition sud ainsi que l'ont montré nos résultats.

Après avoir atteint le niveau maximal d'abondance au niveau des sites les plus attaqués, la population de la chenille subit une rétrogradation totale et générale et ce durant la deuxième année qui suit le pic d'infestation selon ces auteurs.

En 2002 et 2003, SBABDJI et KADIK , ont étudié la taille des aiguilles de bois de cèdre de l'Atlas qui avaient été défoliés ou non durant une campagne précédente, et comparé la préférence de ponte et la performance larvaire de la processionnaire du pin dans les peuplements de cèdre à Chrea. La longueur de l'aiguille et leur nombre par rosette était deux fois plus élevée sur les arbres non défoliés que sur les arbres défoliés. Il y avait para ailleurs environ dix fois moins d'œufs sur les arbres défoliés que sur les arbres sains.

Selon SEBTI, (2011), SEBTI et CHAKALI, (2014), l'émergence des adultes se situe entre la fin juin le début du mois de septembre. La distribution des papillons présente des variations significatives selon un gradient altitudinal. Les pontes sont rares dans les peuplements mixtes, mais sont plus abondantes dans la cédraie pure en haute altitude. En altitude, les infestations sont graves avec une moyenne de 8 nids par arbre. Le dénombrement des nids effectué en fonction de la hauteur totale des arbres, de l'altitude et de l'exposition des nids d'hiver a permis de noter que les expositions Sud et Est restent les sites de prédilection à la construction des nids. Les parties Sud et Est du houppier sont des sites privilégiés pour l'emplacement des nids d'hiver.

CHENCHOUNI et *al.*, (2010) ont réalisé des suivis de l'émergence des adultes à l'aide de pièges à phéromones afin d'évaluer la densité de la population locale de la processionnaire du pin au niveau des forêts de la région de Batna. L'altitude n'a pas été paramètre important.

KARA (2005) a mis en évidence que la maturité des chenilles en 2004 /2005 dans la cédraie de chréa, a eu lieu avec un retard de presque 30 jours par rapport aux autres années. Par ailleurs, il a été observé que la survie des chenilles a été plus élevée dans les sites à l'ombre (53 ,9%), que dans les sites éclairés (33%).

La sensibilité des espèces est variable, en partie à cause de facteurs physiques tels que la morphologie et la dimension des aiguilles dont la ponte dépend (DÉMOLIN, 1969, MARTIN, 2005). C'est la femelle, lors de la ponte, qui réalise cette distinction entre les diverses espèces d'arbres. Le diamètre des aiguilles est le critère principal. Selon DEMOLIN (1969) 1,5 à 2 mm est la dimension la plus préférée.

La plante-hôte influence aussi le développement larvaire. La survie des larves est supérieure sur *P. sylvestris* et *P. nigra* var. *Austriaca* que sur *P. pinaster* et *P. halepensis* (MONTROYA, 1984). La présence et l'intensité des dégâts sont étroitement dépendants des caractéristiques climatiques locales (température et ensoleillement).

4.2. Evaluation des effets des traitements microbiologiques réalisés

Les essais de traitements chimique et microbiologique sur la chenille processionnaire du Pin ont été réalisés par ZAMOUM et ses collaborateurs (1987, 1992, 2005), notamment dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa.

Un essai de traitement aérien contre la processionnaire du pin a été effectué dans un reboisement de *Pinus halepensis* situé en zone subsaharienne. Le traitement a ciblé les chenilles de stades avancés (L3 et L4) à l'aide d'un insecticide à base de *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* (BtK).

La mortalité immédiate a été contrôlée par des prélèvements d'échantillons de colonies de chenilles à 7 et 14 jours après la date de traitement et, la mortalité différée à 80 et 100 jours. Il a été constaté une augmentation des taux de mortalité des chenilles du premier au quatrième prélèvement des chenilles ; le taux d'efficacité global obtenu pour toute la surface traitée étant de 93 %. Ensuite, l'étude comparée

du devenir des chenilles survivantes au traitement et celles non traitées a montré que dans les lots provenant des chenilles traitées l'incidence de la mycose à *Beauveria bassiana* dépasse 20 %.

Effet *Bacillus*

Différents auteurs ont mis en évidence des variations des potentialités insecticides des *Bacillus*.

BOUZAR-ESSAIDI (2013) a montré que le traitement contre la processionnaire du pin par le *Bacillus thuringiensis kurstaki* est plus efficace et atteint 64% de mortalité par rapport à l'extrait aqueux par agitation qui atteint les 58 %, alors que le traitement par le mélange entre le microorganisme *Bacillus thuringiensis* et l'extrait aqueux *Lantana camara* est moins important par rapport aux traitements précédent et ne dépasse pas les 32 %.

DERBAL (2014), a trouvé un effet biocide similaire et croissant dans le temps des traitements biologiques à base des deux souches de *Bacillus subtilis* (la II4, la VIII3) sur les différents stades larvaires de *Phthorimaea operculele*. L'abondance des populations résiduelles est de 90% après 24 heures et plus de 44% après 72 heures avec une tendance vers la toxicité.

OULEBSIR-MOHANDKACI (2012) a étudié les effets de différents traitements à base de souches bactériennes sur les L5 de *Locusta migratoria* par *Bacillus sp.* (souche HE799656) (aux doses de 1,60mg/ml, 0,59mg/ml et 0,33mg/ml), *Bacillus sp.* (souche HE805963) (aux doses de 1,67mg/ml, 0,62mg/ml et 0,35mg/ml), *Bacillus shaericus* (aux doses de 1,72mg/ml, 0,75mg/ml et 0,28mg/ml) et *Pseudomonas fluorescens souche bvIII* (aux doses de 1,7mg/ml, 0,65mg/ml et 0,31mg/ml). Les larves traitées par *Bacillus sp.* (HE799656) ont manifesté une mortalité de 100% au bout de 12 jours après traitement à la dose de 1,67mg/ml, suivi par *Pseudomonas fluorescens* et une mortalité de 100% également atteinte le 18^{ème} jour après traitement avec la même concentration. Chez les individus traités par *Bacillus shaericus*, des mortalités de 76,67% sont obtenues pour la concentration de 1,72mg/ml au 22^{ème} jour. Avec *B. subtilis*, ce même auteur a obtenu en 1998 une mortalité totale pour les larves L5 de *S. gregaria* au bout de 21^{ème} jour à la concentration de $7,3 \cdot 10^8$ spores/ml.

D'autres auteurs ont rapporté les effets insecticides différés de *B. subtilis* et *B.*

thuringiensis, de *Bacillus larvae* et *pseudomonas aeruginosa* sur les larves de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*, (Brahmi, 1998 ; RAHMANI et KAIS,2005 ; BERRADJ et KHOUDI, 2005). A de faibles doses des deux bactéries Btk et *B. subtilis* VIII3, LAMRI (2015) a démontré l'efficacité du *B. subtilis* sur l'évolution pondérale, le gain du poids et la durée du passage au stade adulte des larves L5 de *Locusta migratoria*, alors que le taux de mortalité des larves paraît plus affecté par le *B.t.*

ALLAL-BENFEKIH, (2006), après avoir comparé l'efficacité des trois souches (*B*₁₂₃, VIII₃, II₄) administrées aux larves L5 de *Locusta migratoria* par différents modes, a démontré que le mode d'administration le plus efficace pour tuer les larves consiste en l'injection des spores (souches VIII₃ et surtout II₄). Elle a enregistré la TL50 la plus faible chez les larves traitées avec la souche II₄.

WEST *et al.*, (1997), a enregistré 76 à 93% de mortalité au bout de 10 jours chez l'arpenreuse de la pruche traité par le *B.t.*

MOHAND-KACI (2012), après avoir comparé les effets différents agents biologiques, a conclu que les bactéries agissent plus lentement que les autres agents de lutte biologique. Elle explique que la majorité des bactéries du genre *Bacillus* agissent par la libération des toxines qui demande des conditions particulières du milieu intestinal chez les criquets qui ne conviennent pas parfaitement à leur multiplication ce qui demande un temps plus long (GREATHEAD *et al.*,1994 ;KEITH et KEVAN , 1992 ; Lacy *et al.*, 2001 in MOHANED-KACI , 2012 DOUMANDJI- MITICHE et DOUMANDJI, 2013).

B. subtilis, peut également infecter et causer la mortalité de larves du 2ème stade du Moustique *Anopheles culicifacies*, vecteur de la malaria en Inde centrale (GUPTA et VYAS, 1989). D'après MOYA et AKINYOSOYE (2011), *Bacillus subtilis*, peut être un agent potentiel de lutte biologique contre l'anophèle (*Anopheles arabiensis*), le principal vecteur du paludisme.

Effet *Metarhizium*

Les potentialités insecticides de *M. anisopliae* ont été surtout étudiées sur les acridiens et rapportés par plusieurs chercheurs.

Selon ZIMMERMANN *et al.* (1994) ; LOMER (1997), l'expérimentation sur les champignons pathogènes a d'abord consisté à isoler vingt souches de *Metarhizium*

spp. Provenant du sol et de criquets atteints et à sélectionner par essais les souches virulentes. En laboratoire, les meilleures souches provoquaient chez *Locusta migratoria* (L₃) un taux de mortalité atteignant 100 % en 8 à 10 jours.

HADDADJ et al. (1998) ont obtenu une mortalité totale chez *Schistocerca gregaria* après traitement au *Metarhizium anisopliae* dans un délai allant de 4 à 9 jours. A son tour, OUTTAR (2009), a enregistré des taux de mortalité très élevés suite à l'application du *M. anisopliae* sur les larves L5 de *Locusta migratoria* où elle note une mortalité de 96,67% après 21 jours du traitement par ingestion.

HALOUANE (1997) in, OUTTAR(2009) , signale que le traitement par contact ou par ingestion par *M. anisopliae* est extrêmement virulent vis-à-vis de *Schistocerca gregaria*, avec une sensibilité accentuée chez les larves de 5^{ème} stade, soit montre que ce champignon

Dans le sud du Bénin, les comptages de larves du 5^{ème} stade et de jeunes adultes de *Zonocerus variegatus* ont montré une diminution de 90% de la population dix jours après le traitement avec *Metarhizium flavoviride*. Des résultats similaires ont été obtenus contre *Oedaleus senegalensis* et *Kraussella amabile*.

Kane et al., (2007) in, OUTTAR(2009), ont comparé à Akjoujt, centre ouest de la Mauritanie, la virulence de deux souches de *M. anisopliae* var *acridum* IMI 330189 et celle de l'institut de lutte biologique de Darmstadt (Allemagne) sur des larves et imagos du criquet pèlerin. Pour les bio-essais et le test sur l'effet des températures ambiantes (variant entre 22 et 26,5°C) sur la virulence du mycopesticide, deux doses ont été utilisées: $1,1 \times 10^3$ et 5×10^4 spores / insecte. Les souches IMI 330189 et celles de l'Allemagne ont causé la mortalité de 85 et 95% des larves du 4^{ème} stade (L₄) traitées, respectivement. Chez les imagos, la mortalité enregistrée est de 55% pour toutes les doses excepté la forte dose de la souche IMI 330189 où elle s'élève à 95%. Par contre, sur les L₄ exposées aux températures ambiantes qui variaient entre 11 et 31,5 °C, la mortalité était inférieure à 25% exceptée pour la forte dose d'IMI 330189 qui a tué 73,33% des larves testées. L'exposition des larves traitées avec la forte dose d'IMI 330189 à des températures comprises entre 32 et 46,5 °C pendant huit heures par jour, a fortement inhibé la virulence du biopesticide avec une mortalité de 7%. Pour le test en conditions semi-naturelles, seule la souche IMI 330189 a été utilisée à la dose 5×10^{12} conidies / ha. Pour ce test, il y avait deux traitements: larves et végétation traitées et larves non traitées placées dans la

végétation traitée pour évaluer l'effet du prélèvement secondaire. Dans le premier cas, une mortalité de 66% a été observée contre 41,25% pour le second cas.

VAN DER VALK (2007) in, OUTTAR(2009), annonce que la plupart des traitements effectués avec une dose de 5×10^{12} conidies/ha de *Metarhizium anisopliae* var. *Acridum* ont entraîné une réduction de la population acridienne de plus de 90% (aussi bien lors d'évaluations de terrain qu'en cages) dans un délai de 6 à 14 jours; avec des doses d'application moindres, le contrôle était moins tangible.

Des essais ont été effectués par ENTZ et al., (2008) in, OUTTAR(2009), afin de tester deux variétés de *Metarhizium* : *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* et *M. anisopliae* var. *acridum* sur quatre espèces de locustes : *Melanoplus sanguinipes*, élevé au laboratoire et *M. sanguinipes*, *M. bivittatus* et *M. packardii*, récolté du terrain. Ils ont trouvé avec les acridiens tirés du laboratoire traités au *M. anisopliae* var. *acridum* un taux de mortalité de 99% après 12 jours.

Selon OUEDRAOGO (2001) in, OUTTAR(2009), le criquet migrateur, développe une fièvre comportementale quand il est infecté par le champignon entomopathogène, *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*. L'influence du comportement thermorégulateur sur la mortalité et la défense immunitaire de l'insecte ont été étudiés. En absence de thermorégulation, l'injection d'une dose de 2×10^3 blastospores/adulte tue tous les insectes au bout de 6 jours. Par contre, chez les insectes admis à thermoréguler pendant 4 h/ jour, le taux de mortalité était seulement de $17,3 \pm 3,3$ % après 3 semaine. CHAOUCH (2007), a testé le *M. anisopliae* var. *acridum* sur les L4 et sur les ailés de *Dociostaurus maroccanus*, où il a enregistré le taux de mortalité de 100 % au 6^{ème} jour pour la 1^{ère} dose, et au 5^{ème} jour pour la 2^{ème} dose, tandis que les ailés, enregistrent 100 % de mortalité au 4^{ème} jour après traitement soit par D1 ou D2.

HORNBOSTEL et al., (2005) in, OUTTAR(2009), ont effectué des tests de *Metarhizium anisopliae* sur les larves d'un acarien *Ixodes scapularis* au laboratoire et sur le terrain. Ils ont trouvé que ce pathogène induit un taux de mortalité de 70% à une dose de 10^9 spores/ml, avec un DL50 = 10^7 spores/ml au laboratoire et un taux de mortalité inférieure à 50% sur le terrain.

Enfin, d'autres essais au laboratoire ont mis en exergue l'efficacité biocide des souches (Ma3, Ma5 et Ma sauvage) de *M. anisopliae* sur les adultes de *Ceratitis capitata* (TOLEDO et *al.*, 2006)

Dans les pinèdes littorales étudiées de la région de Tipaza, il nous a été permis de relever certains paramètres intéressants pour une gestion différenciée des populations de la processionnaire qui est un important défoliateur de nos forêts.

- le nombre moyen de nids par arbre est bien plus élevé au niveau de la station exposée au sud par rapport à la station exposée au nord
- Les infestations augmentent de 20% jusqu'à 80% dans les pinèdes exposées au nord comparativement aux pinèdes exposées au sud où les taux se sont maintenus entre 80% et 100% durant la période hivernoprintanière du suivi
- La répartition des populations larvaires de 3eme stade est spécifique à la fin janvier dans la pinède exposée au nord et à la période du 19 décembre au 15 janvier dans la pinède exposée au sud. En revanche, la répartition des abondances larvaires des stades L4 et L5 de la processionnaire semble similaire aussi bien dans la station nord que dans la station sud.
- L'analyse comparée de l'efficacité des deux souches bactériennes à travers les mortalités corrigées des chenilles a montré une différence hautement significative entre les deux doses testées et entre les jours après traitement.
- Sur une période de 4 jours au laboratoire, les mortalités les plus élevées du puceron des conifères ont été enregistrées au bout de 72h et 96h pour toutes les souches utilisées, à des taux compris entre 50% et 70%. Il est remarqué par ailleurs une efficacité temporelle de toutes les souches à 96h en particulier avec *M. anisopliae* testé à la d1 : $1,16 \cdot 10^7$ spores/ μ l puis le btk et ensuite le bs VIII3 utilisés.

Dans toute recherche investigatrice d'agents biologiques de lutte performants, le principal challenge est de transformer un phénomène naturel en un moyen de lutte efficace. En raisonnant avec la prise en considération d'une stratégie d'optimisation, il serait pertinent de tester les combinaisons de plusieurs souches d'une espèce de microorganisme antagoniste ou plusieurs espèces de microorganismes antagonistes ayant des modes d'action différents et tester les compatibilités entre espèces. Les essais étudiés dans notre travail devraient être approfondis par la recherche de doses optimales également

ABBOTT WS., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol*; 18: 265-266.

AHMED, S. I. ET S. R. LEATHER. 1994. Suitability and potential of entomopathogenic microorganisms for forest pest management - some points for consideration. *Intern. J. Pest Management* 40: 287-292. Afrikjan, E. G., V. A. Tchilingirln et L. A. Tchil-Akopln. 1969. Bakterialnii incekticidnii preparat BIP-805. *Biol. j. Armenii*, t. 22, 3-7.

AINSWORTH, 1983. Les pathogène d'insectes. *Bulletin technique, International Mycological Institute*, 17p.

ALLAL- BENFKIR L., 2006. *Recherches quantitatives sur le criquet migrateur Locusta migratoria (Orth, Oedipodinae) dans le Sahara algérien, Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides.* Thèse de Doctorat : Université de Limoge, Laboratoire UMR INRA 1061, Inst. Nat.Agro., El Harrach, Alger.

ANONYME, 2013. Bulletin de santé du végétal, zones non agricoles n°3, mai 2013, Ecophyto, Midi Pyrennées, France.

ANONYME., 1998 - Changement climatique et ressources en eau dans les pays du Maghreb, Algérie, Maroc, Tunisie, en jeux et perspective. Dept. Env. Rabat, Maroc, 55p.

ARATA, T. A., ROBERTS, D. W., SHADDUCK, J. A., ET SHOPE, R. E., 1978. Public health considerations for the use of viruses to control vectors of human diseases, in *Viruses and Environment*, Kurstak, E. and Maramorosch , K., Eds., Academic Press, New York, 593.

AUGUSTYNIUK-KRAM A., ET KRAMK.J. 2012- Entomopathogenic Fungi as an Important Natural Regulator of Insect Outbreaks in Forests . *Forest Ecosystem*, 2012

BARBARO L. BATTISTI A. 2011- Birds as predators of the pine processionary moth (Lepidoptera: Notodontidae). *Biological Control*, Volume 56, Issue 2, Pages 107–114

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(6), pp. 2084–2096.

BERRADJ F. ET KHOUDI S., 2005. *Etude de la toxicité de deux bactériennes vis-à-vis des larves de S. gregaria (Orthoptera, Acrididae)*. Mém. DES. UMBB, Boumerdes, 112p.

Bibliographie à compléter dans la liste des références

BLACKMAN, R.L. & V.F. EASTOP. 2006. Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs. Volume 1: host lists and keys. Volume 2: the aphids. Wiley. 1439 p

BONNET C., MARTIN J.C. et MAZET R., La processionnaire du pin, Stantari, août 2008, 22-33.

BRAHIMI K. ; 1998 ; Etude préliminaire de l'activité biologique d'une Actinomycetale *Bacillaceae, Bacillus subtilis* sur *Locusta migratoria* (Orthoptera , oedopdinae) au laboratoire. Mém. Ing, I.N.E.S, Blida, 60p.

BURGERJON, A., 1965. Le titrage biologique des cristaux de *Bacillus thuringiensis* Berliner par réduction de consommation au Laboratoire de La Minière, *Entomophaga*, 10, 21.

BURGESS, H. D. 1981. *Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980*. Academic Press, London.

CANAN U., 2013- Agricultural and Biological Sciences » in *Microorganisms in Biological Pest Control- A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors)* "Current Progress in Biological Research", book edited by Marina Silva-Opps, ISBN 978-953-51-1097-2.

CARRUTHERS, R. I. ET SOPER, R. S. 1987. Fungal diseases. In: Fuxa, J. R. and Tanada, Y. (eds), *Epizootiology of Insect Diseases*. Wiley-Interscience, New York, pp. 357-416. chez *Helicouerpa armigera* HB (*Lep., Noctuidae*): essai de modélisation

CHENCHOUNI H., ZANATI K., REZOUGUI A., BRIKI A. AND ARAR A.(2010). *Population Monitoring of Pine Processionary Moth (Thaumetopoea pityocampa) by Pheromone Trapping at the Southern Limit of Distribution of Pinus halepensis in Eastern Algeria. Forest Science and Technology . Vol. 6, No. 2, pp. 67~79*

CLOUTIER, C., ET CLOUTIER, C. 1992. Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. In La lutte biologique, sous la direction de C. Vincent et D.Coderre, p.19-88. Chicoutimi, Québec, Canada: Gaétan Morin éditeur Ltée.

Conservation des forêts de la wilaya de Tipaza. 2011. Statistique du patrimoine forestier de la wilaya de Tipaza, (Algérie).2011.

DAJOZ R., 2007- Les insectes et la forêt- Rôle et diversité des insectes dans un milieu forestier. Ed. Lavoisier, Paris, pp : 24, 271 -279.

DE ANGELIS JD. 1994 - Aphid and adelgid pests in Oregon.. Ec 1444, 8p.

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

DEMOLIN, G. 1969. Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.: dispersion spatiale, importance écologique. *Annales des Sciences Forestières* 26:81–102. Demolin G., Frerot B., Chambon J.P. et Martin J.C., 1994. Réflexions biosystématiques sur toutes les processionnaires du genre *Thaumetopoea* (Lepidoptera, Thaumetopoeidae), considérées comme ravageurs importants des cèdres *Cedrus libani* Barel et *Cedrus atlantica* Manetti sur le pourtour du bassin méditerranéen. » *Ann. Rech. For. Maroc*, **27** (1) : 578-591.

DENT. D. R. 1991. Insect pest management, ed. CAB International, UK.v Debach, P. et B. Barlett 1951. Effects of insecticides on biological control of insect pest of citrus. *J. Econ. Entomol.* 44: 372-383.

DOBERSKI, J. W. 1981. Comparative laboratory studies on three fungal pathogens of the elm bark beetle *Scolytus scolytus*: Effect of temperature and humidity on

Références bibliographiques

infection by *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces farinosus*. *J. Invertebr. Pathol.* 37: 195-200.

DOUMANDJI-MITICHE B. ET DOUMANDJI S., 2013. Quelques agents biologiques susceptibles d'être utilisés en lutte antiacridiennes. *Rev. Institutionnelle du groupe d'entreprises de production biopharmaceutiques (LABIOFAM)* : 41-45

DREUX P., 1980 - " Précis d'écologie ., Ed. Presses universitaires de France., Paris., 231p.

Effet sur la respiration et le rythme cardiaque de cet acridien. 2^{ème} journée d'entomologie, 18mars 1998, Inst. Nat.Agro. El Harach, Algie.

FARGUES J., BOURGUET D. La lutte microbiologique contre les insectes ravageurs des cultures : contraintes, bilan et perspectives. Dans Regnault-Roger C. (2005). Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement, Editions Tec & Doc-Lavoisier : 549-570.

FARGUES, J. 1972. Étude des conditions d'infection des larves de doryphore *Leptinotarsa decemlineata* Say par *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Fungi imperfecti). *Entomophaga* 17: 319- 337.

FAST, P. G. 1981. The crystal toxin of *Bacillus thuringiensis*. In: Burgess, H. D. (ed.), *Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980*. Academic Press, London, pp. 223-48.

FAULKNER, P. ET BOUCIAS, D. G. 1985. Genetic improvement of insect pathogens: emphasis on the use of baculoviruses. In: Hoy, M. A. and Herzog, D. C. (eds), *Biological Control in Agricultural.*

FERRON, P. 1978. Biological control of insects pests by entomogenous fungi. *Ann. Rev. Entomol.* 23: 409-442.

FRAVAL A., 2007- Les processionnaires 1^{er} partie La processionnaire du pin. *Insectes* n°147, pp : 35-39.

GARDNER, W. A., M. R. SUTTON ET R. NOBLET. 1977. Persistence of *Beauveria bassiana*, *Nomuraea necatrix* on soybean foliage. *Environ. Entomol.* 6: 616-618.

GHAZI A ; 2009. Rapport national de reflexion sur le secteur des forets

GOETTEL, M.S. 1992. Des champignons comme agents de lutte biologique. In *La lutte biologique contre les acridiens*, sous la direction de C.J. Lomer et C. Prior p.122-131. Ibadan, Nigeria: CAB International/IITA.

GOUSSARD F., SAINTONGE F.X., GERI C., AUGER-ROZENBERG M A., PASQUIER B.F. ET ROUSSELET J., 1998 - Increasing risk of damage by the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. in the Central Region following climatic change. *Actes de la IV Conference Internationale Francophone d'Entomologie, Saint Malo, France, 5-9 juillet 1998*, 35, 341-343.

GOUSSARD, F., F. X. SAINTONGE, C. GERI, G. AUGER-ROZENBERG, F. PASQUIER-BARRE, AND J. ROUSSELET. 1999. Accroissement des risques de dégâts de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae).en région Centre, dû au réchauffement climatique *Annales de la Société Entomologique de France* 35: 341–343.

GOUSSARD, F., F. X. SAINTONGE, C. GERI, G. AUGER-ROZENBERG, F. PASQUIER-BARRE, AND J. ROUSSELET. 1999. Accroissement des risques de dégâts de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae).en région Centre, dû au réchauffement climatique *Annales de la Société Entomologique de France* 35:341–343.

GREATHEAD D.J., KOOYMAN C., LAUNOIS-LUONG M.H. ET POPOV G.B., 1994. *Les ennemis naturels des criquets du Sahel*. Ed. Cirad / Prifas, 'Collection Acridologie Opérationnelle n°8', Montpellier, 147 p.

GREATHEAD, D. J. 1992b. La lutte biologique, arme prometteuse pour les acridiens. In *la lutte biologique contre les acridiens*, sous la direction de C. J. Lomer et C. Prior. p. 4-7. Ibadan, Nigeria : CAB International/IITA.

Références bibliographiques

GREATHEAD, D. J., KOOYMAN, C., LAUNOIS-LUONG, M. H., ET POPOV, G. B. 1994. Les ennemis naturels des 8^ecriquets du Sahel. Collection acridologie opérationnelle N CILSS/DFPV, Niamey, Bp 12625. Niger.

GREATHEAD, D. J., KOOYMAN, C., LAUNOIS-LUONG, M. H., ET POPOV, G. B. 1994. Les ennemis naturels des 8^ecriquets du Sahel. Collection acridologie opérationnelle N CILSS/DFPV, Niamey, Bp 12625. Niger.

HADDADJ S., DOUMANDJI-MITICHE B., HALOUANE F. ET DOUMANDJI S., 1998.Efficacité de *Métarhizium anizopliae* sur les œufs, les larves et les imagos de *S. grégaria*.

HALL, R. A. ET PAPIEROK, B. 1982. Fungi as biological control agents of arthropods of agricultural and medical importance. Parasitology 84, 205-40.

HEIMPEL, A. M. ET ANGUS, T. A., 1963. Diseases caused by certain spore forming bacteria, in Insect Pathology: An Advanced Treatise. Vol. 2, Steinhaus, E. A ., Ed., Academic Press, New York, 21.

HEIMPEL, A. M., 1955. Investigations of the mode of action of strains of *Bacillus cereus* Frankland and Frankland pathogenic for the larch sawfly, *Pristiphora erichsonii* (Htg.), Can. J. Zool., 33, 311.

HEIMPEL, A. M., 1967. A critical review of *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* Berliner and other crystalliferous bacteria. Ann. Rev. Entomol., 12, 287.

HERVOUET L., N. 1986. Measurement of radial growth losses in some *Pinus* species caused by two forest defoliators. Part 1: The pine processionary caterpillar in the Mediterranean region. Annales des Sciences Forestières **43**: 239–262.

HMIMINA M., 1986 .Stratégies d'occupation des cultures et d'hivernation chez *Helicouerpa armigera* HB (*Lep., Noctuidae*): essai de modélisation prévisionnelle. *Thèse de Doctorat ès Sciences*. Université de Marseille (St Jérôme), 184p.

Références bibliographiques

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

IGNOFFO, C. M. 1970. Proceedings of the Tall Timbers Conference on Ecology of Animal Contributions by Habitat Management, Tallahassee, Florida. Tall Timbers Research Station: 47-57.

IGNOFFO, C. M. 1973. Effects of Entomopathogens on Vertebrates. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 217: 141-165.

IGNOFFO, C.M. AND D. L. HOSTETTER. 1977. Environmental stability of microbial insecticides. *Misc. Publ. Entomol. Soc. Am.* 10: 1-80.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE FORESTIERE.(2004). La biologie, l'avertissement et la lutte contre la chenille processionnaire du pin

JOURDHEUIL, P., P. GRISON ET A. FRAVAL. 1992. La lutte biologique: un aperçu historique. *La lutte biologique. Dossier de la Cellule environnement de l'INRA* 5,11-35.

KADIK B., 1987- Contribution à l'étude du pin d'Alep en Algérie. *Ecologie, dendrométrie et morphologie.* Ed. OPU. Alger, 508p.

KHACHATOURIANS, G.K. 1986. Production and use of biological pest control agents. *Trends Bio. Tech.* 4: 120 - 124.

KHOUS M. &GACHI M., 1996.-Les problèmes entomologiques de nos forêts. *Revue d'information « la forêt algérienne »*, vol. 01 :11-13.

KUSHNER, D. J. ET HEIMPEL, A. M., 1957. Lecithinase production by strains of *Bacillus cereus* Fr. and Fr. pathogenic for the larch sawfly *Pristiphora erichsonii* (Htg.). *Can. J. Microbiol.* 3. 547.

LAMRI H., (2015). Efficacité entomopathogène du *Bacillus subtilis* et du *Bacillus thuringiensis* sur quelques paramètres de croissance et fécondité du criquet

migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1758) (Oedipodinae), Thèse, Magister ;Uni.De, Biskra.

LOMER C. J., PRIOR C. et KOOYMAN C., 1997- Development of *Metarhizium* spp. for the control of grasshoppers and locusts », *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, vol. 171, , p. 265-286.

MARTIN J.C. 2005. La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. INRA Avignon.61p.

MEADOWS, M.P. (1993). *Bacillus thuringiensis* in the environment - ecology and risk assessment. In: Entwistle, P.F.; Cory, J.S.; Bailey, M.J. and Higgs, S. eds. *Bacillus thuringiensis: an environmental biopesticide; theory and practice*. Chichester, John Wiley, USA. pp.193-220.

MEILLEUR L., LACOURSIERE J.,BOISVERT J., 2010. Les *Bacillus sphaericus*, utilisation pour le contrôle des moustiques. Ministère du développement durable, de L'environnement et des parcs, Québec.

MERCIER A., 1999 - L'importance du fonctionnement morphodynamiques du cours d'eau sur les habitats des éphémères l'exemple d'une rivière de montagne : l'Ariège (Pyrénées centrale françaises) », *Ephemera*, vol. 1 (2) : 111-117.

MEYNADIER, G., MARGIER, A. A., GIRARDIE, J. ET VAGO, C. 1992. Une entomopoxvirose chez l'orthoptère *Anacridium aegyptium*. *Entomophag.* 37: 453-464.

MOHAND- KHACI .,2012 ; Evaluation de l'impact biologique de quelques souches locales de *Bacillus sp.* Et *pseudomonas spp.* *Fluorescensts* vis-à-vis du criquet migrateur *Locusta migratoria cinerascens* (Oedopodinaen : Acrididae). Thèse de Doctorat, Ecole. Nat. Agro. EL Harrach, Alger, 172p.

MONTEIRO, S., CLEMENTE, HENRIQUES J., GOMES A.O., CARRONDO R., CUNHA M., 2005- A procedure for high-yield spore production by *Bacillus subtilis*. *Biotechnology Progress* Vol. 21, No. pp. 1026-1031.

MOYA F.O. ET AKINYOSOYE F.A., 2011. Evaluation of larvicidal potency of some entomophatogenic bacteria isolated from insect cadavers on *Anopheles arabiensis*

Références bibliographiques

larvae in Nigeria. *International journal of Pharmaceutical and Biomedical Research* 2011, 2(3), pp 145-148.

NAHAL I., 1962. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Ann. Ecole eaux et forêts. Sta.Rech.Exp.19(4). 208p.

OULEBSIR - MOHAD KACI H, (2012) .Evaluation de l'impact biologique de quelque souche locale de *Bacillus* sp. Et *Pseudomonas* spp. Fluorescents vis-à-vis du criquet migrateur *Locusta migratoria cinerascens* (Orthoptera : Acrididae), Thèse Doctorat ; Ecole. Nat. Agro. EL Harrach, Alger.

OUTTAR F .; 2009. *L'utilisation de quelques biopesticides sur le criquet migrateur Locusta migratoria (Linné., 1758) (Oerthoptera, Crytacanthacridinae)*, Thèse. Magister ; Ecole. Nat. Agro. EL.Harrach, Alger.

PAYNE, C. C. 1982. Insect viruses as control agents. *Parasitology* 84, 35-77.

PEGUY C.1970, Précis de climatologie ed. Masson, Paris, 468p

PURRINI, K., KOHRING, G. W., ET SEGUINI, Z. 1988. Studies on a new disease in a natural population of Migratory Locust, *Locusta migratoria* sp. Caused by an entomopox virus. *J. Invert. Pathol.* 51: 281-283.

QUEZEL P. 1980. Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranée. Dans : *Actualités d'Ecologie Forestière* (Ed. : Pesson), Ed. Gauthier Villars, Paris, pp. 205-256.

RAHMANI N. ET KAIS S., 2005. *Evaluation de l'impact biologique de Bacillus subtilis et Bacillus thuringiensis vis-à-vis des larves de S. grégaria (Orthoptera, Acrididae)*. Mém. DES. UMBB, Boumerdes.

RAMOSKA, W. A. 1984. The influence of relative humidity on *Beauveria bassiana* infectivity and replication in the ching bug, *Blissus leucopterus*. *J. Invertebr. Pathol.* 43: 389-394.

REGIS L, OLIVEIRA CMF, SILVA-FILHA MH, SILVA SB, MACIEL A. et FURTADO AF 2001. Bacteriological larvicides of diptera disease vectors. Trends Parasitol 17: 377-380

REGIS L, OLIVEIRA CMF, SILVA-FILHA MH, SILVA SB, MACIEL A. et FURTADO AF 2001. Bacteriological larvicides of diptera disease vectors. Trends Parasitol 17: 377-380

REHNER J.F., HUMBER R.A., 2009- A multilocus phylogeny of the *Metarhizium anisopliae* lineage », *Mycologia*, vol. 101, ,p. 512-530.

RIBA, G. AND S. MARCANDIER. 1984. Influence de l'humidité relative sur l'agressivité et la variabilité des souches de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin et de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin, Hyphomycètes pathogènes de la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis* Hübn. *Agronomie* 4:189-194.

ROBERTS ET CAMPBELL, 1977; DOBERSKI, 1981; STATHERS ET al., 1993 (Ignoffo et Hostetter, 1977; Burges, 1981; Roberts et Campbell, 1977; Gardner et al., 1977), (Fargues, 1972; Hall et Papierok, 1982; Ramoska, 1984; Riba et Marcandier 1984; Khachatourians, 1987).

ROBERTS, D. W. ET A. S. CAMPBELL. 1977. Stability of entomopathogenic fungi. *Misc Publ. Entomol Soc. Am.* 10: 19-76.

SAFIA S. AND GAHDAB C. (2014) .distribution and importance of the pine processionary moth winter nests *thaumetopoea pityocampa* (denis & schiffermüller) (lepidoptera: notodontidae) in the forests cedar of the nationalpark of chréa (algeria). *science and research (ijasr)*, vol. 4, 77-84

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. Thèse Magister, Inst. Nati. Agro., El-Harrach, pp: 21, 97.

SBABDJIL M. OLDACHE E.H. HADDAD A. KADIK B. AND LAMBS L. (2009). Cedar tree growth (*Cedrus atlantica* Manetti) in Chréa National Park, Algeria, and the influence of defoliation by the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.).*Rev. Écol. Terre Vie* , vol.,64

Références bibliographiques

SEBTI S. 2011 - Caractéristiques biologiques et écologiques de le processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera : Thaumetopoeidae) sur le cèdre de l'atlas *Cedrus atlantica* Manetti dans le parc national de Chréa. Thèse magister, université Saad Dahleb Blida (Algerie), 128 p.

SILVY C., RIBA G. BIOPESTICIDES CONTRE MALADIES, INSECTES, MAUVAISES HERBES. DANS ACTA (2002). Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement : 347-405.

SINGER, S. 1981. Potential of *Bacillus Sphaericus* and related spore-forming bacteria for pest control. In: Burgess, H. D. (ed.) *Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980*. Academic Press, New York, pp. 283-98.

STARNES, R. L., C. L. LIU ET P. G. MARONE. 1993. History, use and future of microbial insecticides. *Amer. Entomol.* 39: 83-91.

STARNES, R. L., C. L. LIU ET P. G. MARONE. 1993. History, use and future of microbial insecticides. *Amer. Entomol.* 39:83-91.

STATHERS. ET LEGER R. 1993. Biology and mechanisms of insect-cuticle invasion by Deuteromycete fungal pathogens. In: *Parasites and Pathogens of Insects. Vol. 2, Pathogens.* N. E. Beckage and B. Federici (eds.). Academic Press, New York, pp. 211-230.

STEWART P., 1969 - Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère. *Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.* Du Nord ; Alger.

STREET, D.A., et MCGUIRE, M.R., 1990. Pathogenic disease of grasshoppers. In *Biology of grasshopper*, sous la direction de Chapman, R. F. et Joern, p.484-516. A. New York: John Wiley & son.

SUNG, G.-H., HYWEL-JONES, N.L., SUNG, J.-M., LUANGSA-ARD, SHRESTHA J.J., et SPATAFORA, J.W., 2007- « Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi », *Studies in Mycology*, vol. 57, , p. 5-59.

THOMAS, M.H. et BLANFORD, S., 2003- Thermal biology in insect-parasite interactions , *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 18, , p. 344-350.

TOLEDO J., LIEDO P., FLORES S., CAMPOS S E., VILLASEÑOR A. et MONTOYA P., 2006- Use of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for fruit fly control: a novel approach. *Fruit Flies of Economic Importance: From Basic to Applied Knowledge Proceedings of the 7th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance 10-15 September 2006, Salvador, Brazil* pp. 127-132.

TOMA B., 1985. « *Bacillus* », in *Bactériologie médicale*. Ed. Le Minor L. et Veron M., Flammarion Medecines Sciences, pp.558-578.

WEST R. J., THOMPSON D., SUNDARAM K.M., SUNDARAM A., RETNAKARAN A., et MICHLE R., 1997- Efficacity of aerial applications of *Bacillus Thuringiensis* Berliner and tubufenzide against the eastern hemlock looper (*Lepidoptera: Geometridae*). *Rev. Canad. Entomo, Canada*, 129: 613-626.

WRAIGHT, R. J. ET D. W. ROBERTS 1987. Insect control effort with fungi. *Devel. Industr. Microbiol.* 28: 77-87.

ZAMOUM M 2006 :, DEMOLIN G., SAI K., Données sur les vols d'adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schifferrmüller (*Lepidoptera, Thaumetopoeidae*) dans les pineraies semi arides.

ZAMOUM M 2008 :, La chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schifferrmüller. *Guide santé des forets : insectes ravageurs et champignons pathogènes*.

ZAMOUM M . 2002 :, Quelques éléments pour la préservation de la santé des forêts en Algérie.

ZAMOUM M . 1998 ; Données sur la bioécologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schifferrmüller. (*Lep., Thaumetopoeidae*) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie).

ZAMOUM M., 1998 – Données sur la bioécologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schifferrmüller. (*Lep., Thaumetopoeidae*) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie). Thèse de Doctorat, Université des Sciences de Rennes I, France, 247 p.

Références bibliographiques

ZAMOUM M., 2002 – Quelques éléments pour la préservation de la santé des forêts en Algérie. Revue de la forêt algérienne, n° 4, juil. 2002, 4-7.

ZAMOUM M., 2008- La chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller. Guide santé des forêts : insectes ravageurs et champignons pathogènes. Ed INRF 2008, pp 7-18.

ZAMOUM M.1988 :, KHEMICI M., DEMOLING. Ecologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) en Algérie. Incidence du climat sur le comportement de l'insecte;

ZAMOUM, M. 2004 :DEMOLIN. G. Mécanisme de régulations des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiff (Lep., Thaumetopoeidae) en zone semi-aride (Algérie)