

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences Agro-vétérinaire et biologie

Département d'agronomie

MEMOIRE DE MAGISTER

En Sciences Agronomiques

Option : Biopesticides et gestion phytosanitaire

MODULATION DE LA FITNESS DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN
(INSECTE : LEPIDOPTERES) ET EFFETS DE L'ANTHROPISATION
SUR DES STATIONS A PINEDES LITTORALES. APPROCHE D'UNE
METHODE DE LUTTE ALTERNATIVE CONTRE CE RAVAGEUR.

Par

Khaled BOUZAR – ESSAIDI

Devant le jury composé de :

S.A. SNOUSSI	Professeur, U.S.D.Blida	Président
L. ALLAL-BENFEKIH	Professeur, U.S.D.Blida	Promotrice
Z.E. DJAZOULI	M.C.A, U.S.D.Blida	Co-Promoteur
A. GUENDOZ-BENRIMA	Professeur, U.S.D.Blida	Examinatrice
F. BOUNACEUR	M.C.A, U.I.K. Tiaret	Examineur

Blida, Juin 2013

RESUME

La présente étude cherche à apprécier le taux d'infestation et l'ampleur des dégâts occasionnés par l'insecte ravageur chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* qui contribue à la dégradation de la forêt. Elle a pour but également d'examiner l'impact de l'occupation de cet insecte dans la forêt des pinèdes littorale sur six (6) stations d'étude de la frange littoral de la wilaya de Tipaza et à partir de dénombrement des nids effectué en fonction de l'exposition nord et sud et sur les trois différentes espèces du pin. Cette étude a permis de noter que l'expositions Sud reste les sites les plus favori à la construction des nids, qui constituent une menace directe après la consommation des aiguilles qui induit à une diminution de la croissance de l'arbre, qui peut le rendre sensible aux attaques d'autres ravageurs. Le cycle biologique de cet insecte ravageur se présente de la manière suivante: L'émergence des adultes se situe entre le mois d'aout et le début du mois de septembre et les chenilles issus des pontes se développent durant la période allant du début de mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, selon cinq stades larvaires. Le cycle larvaire se termine par les processions de nymphose et la transformation des chenilles en chrysalide sous terre.

Cette étude a aussi pour objectif d'évaluer l'activité insecticide de l'extrait aqueux avec agitation de feuilles de *Lantana camara* L. en laboratoire et sur le terrain en forêt d'Attatba sur des larves en stade L4 et L5. Les résultats ont été comparés avec celle de produit microorganisme Bactéries *Bacillus thuringiensis Kurstaki* homologués. Les résultats obtenus en laboratoire après 72h, il se produit une nette augmentation de la mortalité des chenilles avec le *Bacillus thuriengiensis* alors qu'elle reste sensiblement inférieure avec les deux traitements l'extrait aqueux et le mélange entre les deux produits (Bt+Lc). Par contre sous l'effet des principes actifs de l'extrait aqueux de *L. camara*, Le traitement à base des anthocyanes ont une abondance presque similaire à celle des témoins qui manifestent un effet non toxique ce qui indique que les chenilles n'ont pas été probablement infectées par ce principe actif. On constate que les c-glycosyls flavones ont un effet très toxique par rapport aux flavonoïdes qui présentent une toxicité moyenne. Nous avons une variabilité avec une différence significative ($p=0.01$) de la dose par rapport à la demi dose. Sur terrain les résultats après 7

jours ont montré que le traitement contre la processionnaire du pin par le *Bacillus thuringiensis* est plus efficace qui atteint les 64% du taux 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 %.

Enfin, l'étude des réserves énergétiques, d'après nos constatations, nous pouvons dire que les produits biologiques utilisés seuls ou combinés ont provoqué une nette diminution de la production en réserves glucidiques ; et une augmentation des réserves en lipides à des quantités comparables chez les L5 et les L4 exposées pendant 24h au Bt et Lc .Les aiguilles de pin, en tant que substrat alimentaire des chenilles, ont été analysés pour quantifier leurs teneurs en proline et en sucres totaux. Nous avons constaté que les quantités en sucres totaux restent inchangées avant et après effet stress. En revanche, les teneurs en proline ont beaucoup augmenté concernant le traitement avec le produit synergique, suivi de celui avec le Bt et enfin celui avec le traitement à base de la solution aqueuse de *L. camara*.

Mots clés: forêt ; Processionnaire ; Pin ; littorale ; traitement ; *Lantana camara* ; *Bacillus thuringiensis*, c-glycosyls flavones, réserves énergétiques.

ABSTRACT

MODULATION OF FITNESS FOR THE PINE PROCESSIONARY MOTH, (INSECT: LEPIDOPTERA) AND EFFECTS OF ANTHROPISATION ON PINEDES ACOASTAL STATIONS. APPROACH CONTROL METHODS OF ALTERNATIVE THIS RAVAGEUR.

This study seeks to assess the infestation rate and extent of damage caused by the insect pest pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* contributing to forest degradation. It also aims to examine the impact of the occupation of this insect in the forest of coastal pine forests on six (6) study sites and the coastal fringe of wilaya Tipaza, from nest counts made on the basis of the exposure north and south and on the three different species of pine. This study noted that the South still exhibits the most favorite sites to build nests, which are a direct threat after consumption of needles, which leads to a decrease in tree growth, which may make it susceptible to attack by other pests. The life cycle of this insect pest is present as follows: Adult emergence is between the months of August and early September and larvae from spawning develop during the period from the beginning of month from October through April, according to five instars. The larval cycle ends with processions of pupation and transformation of caterpillars into pupae underground.

This study also aims to evaluate the insecticidal activity of the aqueous extract with shaking leaves of *Lantana camara* L. Laboratory and field in the forest of Attatba on larval stage L4 and L5. The results were compared with that produced microorganism *Bacillus thuringiensis* kurstaki Bacteria approved. The results obtained in the laboratory after 72h, there is a marked increase in mortality of caterpillars with *Bacillus thuringiensis* while it remains significantly lower with both treatments the aqueous extract and the mixture between the two products (Bt+Lc). By cons as a result of the active ingredients of the aqueous extract of *L. camara*, Treatment with an abundance of anthocyanins were almost similar to that of witnesses who exhibit non-toxic effect indicating that the caterpillars were not likely to be infected by this principle actif. On finds that c-glycosyls flavones have a very

toxic effect compared to the flavonoids that have moderate toxicity. We have a variability with a significant difference ($p = 0.01$) of the dose versus half dose. Results on the field after seven days showed that the treatment against pine processionary by *Bacillus thuringiensis* is more effective that reaches 64% mortality rate compared with the aqueous extract by shaking that reaches 58%, while treatment with the mixture between the microorganism *Bacillus thuringiensis* and the aqueous extract *Lantana camara* is less important compared to previous treatments and does not exceed 32%.

Finally, the study of energy reserves based on our findings, we can say that organic products used alone or in combination caused a significant decrease in production in carbohydrate reserves, and an increase in lipid reserves in comparable amounts in L5 and L4 exposed for 24 Bt and Lc. pine needles as food substrate caterpillars, were analyzed for their content of proline and total sugars. We found that the amount of total sugars remain unchanged before and after stress effect. However, proline content increased significantly on treatment with the synergist, followed by the Bt and finally that the treatment with the aqueous solution of L. camara.

Key words: forest; Processionary; Pine; coastal; treatment; *Lantana camara*, *Bacillus thuringiensis*, c-glycosyls flavones, energy reserves.

ملخص

تحويل لياقة دودة الجرارة الصنوبر (الحشرة: قشرييات الجناح)، وتأثيرات التوابث على الصنوبر في المحطات الساحلية. طرق مجال البديل مكافحة هذه الآفة.

تسعى هذه الدراسة لتقييم معدل الإصابة ومدى الضرر الذي سببته الآفات الحشرية دودة الجرارة الصنوبر *Thaumetopoea pityocampa* المساهمة في تدهور الغابات. كما يهدف إلى دراسة تأثير الاحتلال من هذه الحشرة في الغابة من غابات الصنوبر الساحلي على ستة (6) موقع الدراسة في ولاية تيبازة، وهذا من خلال عد الأعشاش المتواجدة في أشجار الصنوبر يتم على أساس متعرض الشمال والجنوب وبين الأنواع المختلفة من الصنوبر في المنطقة الساحلية للولاية. ومن خلال هذه الدراسة تبين أن الجنوب لا يزال يسلك أكثر المواقع المفضلة لبناء الأعشاش، والتي تشكل تهديدا مباشرا بعد استهلاك من الإبر الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض في نمو الأشجار، والتي قد تجعله عرضة للهجوم من قبل غيرها من الآفات. دورة حياة هذه الحشرة من الآفات موجودة على النحو التالي: ظهور الكبار هو بين شهري أغسطس وسبتمبر في وقت مبكر من وضع البيض و تطوير اليرقات خلال الفترة من بداية الشهر أكتوبر إلى غاية شهر ابريل، وفقا لخمسة مراحل، دورة اليرقات تنتهي بمواكب وتحول من اليرقات إلى الشرائق تحت الارض.

تهدف هذه الدراسة أيضا لتقييم نشاط مبيد الحشرات من المستخلص المائي مهتز من أوراق لانتانا كامارا *Lantana camara*. وهذا في المخبر و في الميدان غابة حطاطبة في مرحلة اليرقات L4 وL5. وتمت مقارنة النتائج مع تلك الكائنات الحية الدقيقة المنتجة العصوية باسيلوس البكتيريا *Bacillus thuringiensis kurstaki* المعتمدة. النتائج التي تم الحصول عليها في المخبر بعد 72 ساعة، هناك زيادة ملحوظة في معدل الوفيات من اليرقات مع باسيلوس العصوية Bt في حين أنها لا تزال أقل بكثير مع كل من العلاجات المستخلص المائي LC وخليط من بين اثنين من المنتجات من سلبيات نتيجة من المكونات النشطة من المستخلص المائي لانتانا كامارا المعاملة مع وفرة من الانثوسيانين مشابهة تقريبا لتلك التي تشير إلى أن الضوابط لم تكن مصابة على الأرجح مع العنصر النشط. تبين أن *c-glycosyls flavones* لها سامة جدا بالمقارنة مع مركبات الفلافونويد *flavonoïdes* التي لها سمية معتدلة. اما الانثوسيانين *anthocyanes* يظهر تأثير غير سامة. لدينا قلب مع وجود فرق معنوي (P = 0.01). (للجرعة ونصف جرعة وأظهرت النتائج على ميدان غابة حطاطبة بعد سبعة أيام أن العلاج ضد دودة الجرارة الصنوبر بواسطة باسيلوس *Bacillus thuringiensis* أكثر فعالية تصل إلى أكثر من 64 % مقارنة مع معدل وفيات المستخلص المائي عن طريق هز *Lantana camara* التي تصل إلى 58%، في حين المعاملة مع خليط بين الكائنات الحية الدقيقة باسيلوس العصوية و استخراج مائي انتانا كامارا (Bt+Lc) أقل أهمية بالمقارنة مع العلاجات السابقة، ولا يتجاوز 32%.

وأخيرا، ودراسة الطاقة والاحتياجات بناء على النتائج التي توصلنا إليها، يمكننا القول أن المنتجات العضوية تستخدم وحدها أو في تركيبة تسبب في انخفاض كبير في الإنتاج في احتياطات من الكربوهيدرات، وزيادة في احتياطي الدهون بكميات مماثلة في وقد تم تحليل في مرحلة اليرقات L4 وL5 ويتعرض لمدة 24 ساعة Bt et Lc. إير الصنوبر الركيزة المواد الغذائية، عن محتواها من السكريات البرولين. لقد وجدنا أن كمية السكريات الكلية لم تتغير

قبل وبعد تأثير الإجهاد. ومع ذلك، وزيادة محتوى البرولين بشكل كبير على العلاج مع مؤازر، تليها Bt وأخيرا أن العلاج مع محلول مائي من انتانا كامارا.

الكلمات الرئيسية : الغابات؛ دودة الجرارة الصنوبر؛ الصنوبر ؛ الساحلية؛ المعالجة؛ انتانا كامارا *Lantana camara*، باسيلوس عصية *Bacillus thuringiensis* ، c-glycosyls flavones احتياطيات الطاقة.

REMERCIEMENTS

* Au terme de ce travail, je remercie avant tout « **ALLAH** » le tout puissant qui a éclairé mon chemin tout au long de mes études.

* je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes plus vifs remerciements respectueux à ma promotrice M^{me} **ALLAL-BENFEKIH**, Professeur à l'université Saad Dahleb de BLIDA, Qui par ses nombreuses qualités m'a formé à la recherche, encadré dans la bonne humeur et soutenu tout au long de ce travail, ainsi que pour ses conseils, son encouragement, sa gentillesse et sa modestie.

Mes remerciements vont également à :

* Mon Co-promoteur Mr. **DJAZOULI Z-E**, Docteur maitre conférences à l'université Saad Dahleb de BLIDA, de m'avoir dirigé et aidé par ses conseils, ses qualités humaines et sa modestie.

* Mr **SNOUSSI S.A**, Professeur à l'Université Saad Dahlab de Blida, pour m'avoir fait honneur de présider mon jury.

* J'adresse mes plus sincères remerciements à M^{me} **GUENDOZ-BENRIMA**, Professeur à l'Université Saad Dahlab et Mr **BOUNACEUR**, Maitre de conférences à l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret, qui ont bien voulu faire partie de mon jury de thèse. Et pour m'avoir fait bénéficier de leurs conseils.

* Mr. **MATTAILLE**, Enseignant au département de pharmacie Faculté des sciences médicales à l'U.S.D.Blida, pour m'avoir aidé à déterminer une partie de mes plantes prélevées.

* Mr. **GACHI**, chef département de Zoologie forestière à l'I.N.R.F.de Bainem, Alger, pour sa serviabilité, sa gentillesse et sa modestie.

* Mr **.BOUZOUANE**, directeur de la société Agrichem de Ain-Beniane. Alger, pour sa serviabilité.

* Mes plus vifs remerciements et un grand respect à M^{lle} **DJEMAI Amina** et **FADIL Djamila**, pour leurs disponibilités, ainsi que tout le personnel du laboratoire de zoophytatrie à l'U.S.D. Blida, avec tous ces chercheurs y compris les étudiants. Qu'ALLAH le tout Puissant bénisse et récompense toutes ces personnes. AMEN.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A La mémoire de mon père qui n'a pas eu le temps d'apprécier ce travail ;
que dieu lui soit clément et miséricordieux ;

A ma mère à laquelle je témoigne toute ma reconnaissance pour son
sacrifice et son encouragement durant mes études ;

A ma femme pour son soutien morale tout au long de la préparation de cet
mémoire, que dieu la protège et la garde à ses enfants et à la famille ;

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

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

KHALED BOUZAR

TABLES DES MATIERES

RESUMÉ

ABSTRACT

ملخص

REMERCIEMENTS

DEDICACES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE.....	20
CHAPITRE I: CONSIDERATIONS GENERALES.....	25
1.1 Données bibliographiques sur la forêt et les pinèdes algériennes.....	25
1.1.1 Généralités et contraintes.....	25
1.1.2 Principales essences et repartition.....	27
1.1.3 Les pinèdes littorales et formations associées.....	29
1.1.4 Généralités sur les pins	30
1.1.4.1 Pin d'Alep	30
1.1.4.1.1 Systématique, écologie et aire de repartition... ..	31
1.1.4.1.2. Problèmes phytosanitaires	31
1.1.4.2 Pin maritime	32
1.1.4.2.1. Systématique, écologie et aire de repartition.....	33
1.1.4.2.2 Problèmes phytosanitaires	33
1.1.4.3 Pin pignon.....	34
1.1.4.3.1. Systématique, écologie et aire de répartition	35
1.1.4.3.2. Problèmes phytosanitaires.....	35
1.2. Synthèse bibliographique sur la plante <i>Lantana camara</i> Linné	36
1.2.1 Généralités et systématique.....	36
1.2.2. Ecologie et aire de répartition de l'espèce.....	37
1.2.3. Caractéristiques botaniques.....	38
1.3. Synthèse bibliographique sur le microorganisme <i>Bacillus thuringiensis</i>	39
1.3.1 Introduction	39
1.3.2. Cycle biologique du <i>Bacillus thuringiensis</i>	40

1.3.3. Les δ -endotoxines de <i>Bacillus thuringiensis</i>	41
1.3.4. Classification des gènes des protéines Cry.....	42
1.3.5 Utilisation commerciale des produits à base de Bt.....	42

**CHAPITRE II: LA PROCESSIONNAIRE DU PIN: PRINCIPAL RAVAGEUR
DEFOLIATEUR DES PINS.....**

2.1. Considérations bibliographiques.....	45
2.1.1 Eléments de taxonomie.....	45
2.1.2 Plantes hôtes.....	46
2.1.3 Morphologie	47
2.1.3.1 Œufs et larves	47
2.1.3.2 Nymphe et adulte.....	48
2.1.4 Cycle biologique	50
2.1.4.1 Accouplement et ponte.....	51
2.1.4.2 Développement larvaire.....	52
2.1.4.3 Processions et nymphose.....	54
2.1.5 Aire de répartition.....	55
2.1.6 Dégâts et Dommages causés par la processionnaire de pin	56
2.1.6.1 Les defoliations.....	56
2.1.6.2 Risques pour l’homme et les animaux	58
2.1.7 Moyens de lutte contre la chenille processionnaire du pin.....	59
2.1.7.1 La lutte chimique	59
2.1.7.2 La lutte mécanique.....	59
2.1.7.3. La lutte sylvicole	60
2.1.7.4. Lutte microbiologique	60
2.1.7.5 Lutte par l’utilisation des phéromones sexuelles	61
2.1.8 Rôle des ennemis naturels	61

**CHAPITRE III : LUTTE MICROBIOLOGIQUE, INSECTICIDES BOTANIQUES,
BIOMARQUEURS.....**

3.1 Introduction	65
3.2. Les agents de lutte microbiologiques.....	66
3.2.1 Les bactéries.....	66
3.2.1.1 <i>Bacillus thuringiensis</i>	67

3.2.1.1.1 Généralités.....	67
3.2.1.1.2 Historique	67
3.2.1.1.3 Applications, toxicité et effet sur l'environnement.....	68
3.2.2. Virus	71
3.2.3. <u>Microchampignons</u>	71
3.3. Les biopesticides botaniques.....	73
3.3.1 Définitions	73
3.3.2. Les principaux biopesticides botaniques	73
3.3.2.1. Les biocides inertes.....	73
3.3.2.2. Les extraits aqueux.....	74
3.3.2.3. Les huiles essentielles.....	74
3.3.3. Les pesticides d'origine végétale utilisés actuellement	75
3.4. Les Biomarqueurs	76
3.4.1. Introduction	76
3.4.2. L'utilisation des bioindicateurs en tant que biomarqueurs	78
CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES	82
4-1 Présentation de la région d'étude de la wilaya de Tipaza.....	82
4.1.1- Situation administrative et géographique.....	82
4.1.2. Reliefs et hydrographie.....	83
4.1.3 Principales vocations de la Wilaya	83
4.1.3.1 Agriculture	83
4.1.3.2. Forêts	84
4.1.4 Climatologie de la région	85
4.1.4.1La pluviométrie	85
4.1.4.2 Les températures	86
4.1.4.3 Les Vents	87
4.1.4.4 Insolation	88
4.1.4.5 Synthèse climatique	88
4.1.4.5.1 Diagramme Ombrothermique BAGNOULS et GAUSSEN...	88
4.1.4.5.2 Climagramme d'Emberger	88
4.2 Caractéristiques stationnelles.....	90
4.3. Methodologies d'étude de l'activité de la processionnaire du pin dans les stations choisies	92

4.3.1 Etude de la végétation associée aux pinèdes étudiées.....	92
4.3.2 Dénombrements des pontes et des nids	93
4.4 Méthodologies d'étude de l'effet des produits naturels choisis sur les populations larvaires.....	93
4.4.1. Traitements réalisés in situ	93
4.4.1.1. Préparation des solutions et des doses de traitements biologiques.....	93
4.4.1.2. Utilisation des traitements au niveau de la station forestière d'Attatba.....	95
4.4.2. Traitements réalisés au laboratoire.....	96
4.4.2.1. Extraction des principes actifs des feuilles de <i>L. camara</i>	96
4.4.2.2. Application des traitements biologiques sur les larves âgées.....	96
4.4.3. Evaluation des effets biocides sur les chenilles.....	97
4.5. Etude des réserves énergétiques chez les larves en relation avec les principes actifs des aiguilles et la proline (Annexe.).....	98
4.5.1 Mode d'extraction et de dosage des reserves énergétiques des larves âgées.....	98
4.5.2 Mode d'extraction et de dosage des principes actifs végétaux	98
4.5.2.1. Extraction et dosage des sucres totaux	98
4.5.2.2. Extraction et quantification de la proline.....	99
4.6. Analyses.....	99
4.6.1. Analyses de variance.....	99
4.6.2. Analyses multivariées.....	99
4.6.3. Classification hiérarchique des variables	99
4.6.4. Richesse et diversité.....	100
CHAPITRE V: RESULTATS.....	101
5.1. Analyses qualitative et quantitative de la végétation des stations forestières étudiées	101
5.1.1. Composition et recouvrement en vegetation.....	101
5.1.2. Analyse globale de la structure de la vegetation.....	104
5.2. Activité de la processionnaire du pin au niveau de la frange littorale à Tipaza..	106
5.2.1. Distribution des nids dans les pineraies étudiées.....	06
5.2.2. Evolution des taux d'infestation.....	108
5.2.3. Evolution des éclosions.....	111

5.2.4. Cycle larvaire de la processionnaire du pin dans les pineraies étudiées.	112
5.3. Evaluation des effets biocides des produits biologiques contre les chenilles de la processionnaire du pin	118
5.3.1. Observations des effets biocides sur terrain dans la pineraie d'Attatba....	118
5.3.1.1. Mortalités et symptômes	118
5.3.1.2. Analyse comparée des effets biocides des produits biologiques sur les chenilles âgées in situ.....	121
5.3.1.3. Temps léthal 50 (TL50) des traitements insecticides étudiés	122
5.3.2. Analyse globale de l'efficacité des traitements biologiques sur les chenilles de <i>T. pytiocampa</i> au laboratoire.....	124
5.3.3. Evolution des populations résiduelles des chenilles de <i>T. pytiocampa</i> sous l'effet des principes actifs de l'extrait aqueux de <i>L. camara</i>	128
5.4. Modulation de la fitness des larves exposées aux traitements biologiques...	133
5.4.1. Variation quantitative des réserves énergétiques et des principes actifs..	133
5.4.2. Analyse globale des effets des traitements biologiques sur les réserves énergétiques et les principes actifs.....	136
CHAPITRE VI : DISCUSSIONS	138
6-1- Caractérisation des habitats de la processionnaire du pin dans la frange littorale de la région de Tipaza	138
6-2- Cycle biologique de <i>T. pytiocampa</i> dans la frange littorale à Tipaza	139
6.3. Evaluation des effets biocides des produits naturels étudiés	142
6.4. Effet des traitements sur l'allocation des réserves énergétiques chez les chenilles de la processionnaire du pin.....	149
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	155
ANNEXE	160
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	178

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Carte de répartition des principales essences forestières en Algérie.....	28
Figure 1.2	Forêt de pin d'Alep à ATTATBA et Régénération de pin d'Alep à Ain-Tagourait après incendie(Originale).....	32
Figure 1.3	Forêt de pin Maritime (reboisement) à Cherchell (Si imekraz) (Originale).....	34
Figure 1.4	Forêt de pin pignon (reboisement) à Cherchell (Si benkheira) (Original).....	36
Figure 1.5	Arbuste de <i>Lantana camara</i> région Koléa (Originale).....	37
Figure 1.6	Feuilles, fleurs et fruits de <i>L. camara</i> (Originale).....	38
Figure 1.7	Caractéristiques botaniques de <i>Lantana camara</i> L.....	39
Figure 1.8	Cycle biologique du <i>Bacillus thuringiensis</i>	40
Figure 1.9	A (Photo de bactérie) : Dimensions approximatives d'une Bactérie B : <i>Bacillus thuringiensis</i> en microscopie en contraste de phase ; C : Cristaux de Bt observés en microscopie électronique à transmission.....	41
Figure 2.1	Manchon de ponte de chenilles processionnaires du pin en forêt de Pin d'Alep à ATTATBA. (Originale.).....	47
Figure 2.2	Les différents stades larvaires de la processionnaire du pin et nids d'hiver dans une forêt de Pin d'Alep à Attatba (Originale).....	49
Figure 2.3	Nymphes de la processionnaire (à gauche) et nymphose se déroulant dans une boîte en plastique au laboratoire (à droite) (Original), 2011. Papillon femelle (1) et mâle (2), Demolin G., INRA).....	50
Figure 2.4	Cycle de la processionnaire du pin.....	51
Figure 2.5	Accouplement des papillons de processionnaires du pin et femelle déposant ses œufs à la base des aiguilles	52
Figure 2.6	Début d'éclosion.....	53
Figure 2.7	Processions des chenilles cherchant à s'enfouir.....	54
Figure 2.8	Aire de répartition de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> en relation avec leurs plantes hôtes sur l'ensemble des pays du pourtour méditerranéen.....	56

Figure 2.9	Défoliation totale d'un arbre de pin d'Alep par la chenille processionnaire à Attatba. (Originale ,2011).....	57
Figure 2.10	Ennemis naturels de la processionnaire du pin.....	64
Figure 3.1	Mécanisme d'action des protéines insecticides (Cry toxines).....	69
Figure 3.2	Représentation d'une protéine insecticide Cry avec la mise en évidence des 3 domaines structuraux de la toxine (domaines I, II et III). La région transmembranaire apparaît en noir [201].....	70
Figure 3.3	Mécanisme d'action des toxines de Bt.....	70
Figure 3.4	Mode d'infection illustrant les composantes majeures des interactions entre les insectes et les pathogènes durant la pénétration à travers la cuticule.....	72
Figure 3.5a	Représentation des différents facteurs des stress pouvant être subis par les organismes vivants.....	77
Figure 3.5b	Enchaînement des effets toxiques sur les différents niveaux d'organisation biologique.....	77
Figure 3.6	Représentation schématique de l'évolution du rôle des biomarqueurs en fonction de la concentration en toxique ou de la durée d'exposition....	78
Figure 3.7	Flux énergétiques au sein d'un organisme pluricellulaire.....	80
Figure 3.8	Allocation des ressources en fonction du stade de développement chez les moustiques du genre <i>Anopheles (Diptera)</i> Les points d'interrogations correspondent à des flux non quantifiés.....	81
Figure 4.1a	Situation géographique de la wilaya de Tipaza sur Google Earth.....	82
Figure 4.1b	Découpage administratif de la wilaya de Tipaza.....	82
Figure 4.2a	Variations des précipitations annuelles de 1990 à 2011 dans la région de Tipaza.....	86
Figure 4.2b	Variations des précipitations mensuelles de 1990 à 2011 dans la région de Tipaza.....	86
Figure 4.3	Variations mensuelles des températures moyennes de 1990 à 2011 dans la région de Tipaza.....	87
Figure 4.4	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson relatif à la région de Tipaza (à gauche période 1990/2009), (à droite durant 2010/2011).....	89
Figure 4.5	Localisation de la région de Tipaza dans le Climagramme d'Emberger	

	(période 1990-2009).....	89
Figure 4.6	Photos satellites des stations forestières étudiées (Source Google earth. 2011).....	91
Figure 4.7	Etapes de la préparation des extraits aqueux de <i>Lantana camara</i> au laboratoire.....	94
Figure 4.8	Utilisation de pulvérisateurs manuels pour les traitements biologiques contre les chenilles dans la forêt d'Attaba.(Originale).....	95
Figure 5.1	Analyse totale des relevés en fonction des espèces par AFC dans les différentes stations étudiées.....	105
Figure 5.2	Distribution globale des nids dans les pineraies étudiées	107
Figure 5.3	Variabilité du taux d'infestation dans les différentes stations forestières étudiées.....	107
Figure 5.4	Distribution spatiotemporelle des nids.....	108
Figure 5.5	Influence des facteurs abiotiques sur la distribution des nids.....	109
Figure 5.6	Variabilité temporelle du Taux d'infestation des chenilles de <i>T. pityocampa</i> à travers les stations d'étude et en fonction du temps.....	110
Figure 5.7	Analyse en Composantes Principales (ACP) et classification hiérarchique ascendante du taux d'infestation en fonction de l'exposition des stations d'études et l'espèce de plante hôte.....	110
Figure 5.8	Taux de pontes et d'éclosions de la chenille processionnaire du pin dans les stations étudiées.....	112
Figure 5.9	Phénologie de la processionnaire du pin dans les pineraies sud.....	113
Figure 5.10	Phénologie de la processionnaire du pin dans les pineraies nord.....	114
Figure 5.11	Variabilité comparée des périodes larvaires de <i>T. pityocampa</i> dans les pineraies étudiées en relation avec leur exposition.....	116
Figure 5.12	Cycle interprétatif moyen de <i>T. pityocampa</i> dans les pinèdes en rapport avec les variations pluviométriques dans la frange littorale de la wilaya de Tipaza durant la période annuelle 2010/2011.....	118
Figure 5.13	Comportement des chenilles de <i>T. pityocampa</i> vis-à-vis des traitements biologiques utilisés.....	119
Figure 5.14	Mortalité des chenilles sous l'effet des différents traitements administrés sur le terrain.....	120
Figure 5.15	Analyse en Composantes Principales et classification hiérarchique ascendante de l'effet comparé des différents traitements en fonction	

	du temps.....	121
Figure 5.16	Mortalité comparée entre les traitements dans le temps.....	123
Figure 5.17	TL50 des traitements insecticides utilisés.....	124
Figure 5.18	Variation temporelle des mortalités des chenilles de <i>T. pityocampa</i> sous l'effet des traitements biologiques au laboratoire.....	125
Figure 5.19	Variabilité temporelle des mortalités des chenilles de <i>T. pytiocampa</i> exposées aux trois types de traitements biologiques.....	126
Figure 5.20	Projection des variables temporelles et des traitements sur les axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances et dendrogramme obtenu à travers la classification ascendante hiérarchique sur la base de la mesure de similitude de la distance euclidienne entre les variables temporelles et les variables de traitements.....	127
Figure 5.21	Evolution des populations résiduelles dans le temps après application de la dose de la solution brute des principes actifs issus de l'extrait foliaire de <i>L. camara</i>	128
Figure 5.22	Evolution des populations résiduelles dans le temps après application de la demi-dose de la solution brute des principes actifs issus de l'extrait foliaire de <i>L. camara</i>	129
Figure 5.23	Projection des variables temporelles et des doses des différents traitements à base des principes actifs de l'extrait foliaire de <i>Lantana</i> sur le plan d'ordination de l'analyse en composantes principales et groupes issus de la classification hiérarchique obtenue sur la base des distances euclidiennes entre les variables traitements et temps.....	130
Figure 5.24	Variabilité de la toxicité des principes actifs issus de l'extrait foliaire de <i>Lantana camara</i> sur les populations résiduelles de <i>T. pytiocampa</i> en fonction du temps et de la dose.....	131
Figure 5.25	Analyse de la variabilité de la toxicité des flavonoïdes bruts, des C-glycosyls flavones et des anthocyanes des feuilles de <i>Lantana camara</i> sur les chenilles âgées de <i>T. pityocampa</i>	132
Figure 5.26	Variabilité des teneurs en réserves énergétiques des chenilles âgées de <i>T. pityocampa</i> (a et b) et teneurs en sucres totaux et proline (c) dans les aiguilles de pin avant et après application des produits biologiques testés.....	135
Figure 5.27	Corrélations de Pearson (F1) et projection des variables teneurs en	

	lipides-glucides des chenilles et des variables teneurs en sucres totaux-proline du pin sur le plan d'ordination F1-F2 de l'ACP.....	136
Tableau 1.1	Bilan des incendies de forêts en Algérie (1996-2005).....	26
Tableau 1.2	Principales essences des forêts algériennes	28
Tableau 2.1	Durée moyenne des différents stades larvaires	48
Tableau 2.2	Les ennemis naturels de la processionnaire du pin.....	63
Tableau 3.1	Classification (incomplète) des δ -endotoxines de <i>B. thuringiensis</i>	69
Tableau 4.1	Répartition générale des terres	84
Tableau 4.2	Répartition des superficies forestières par essence	85
Tableau 4.3	Limites cardinales des stations d'étude et distances au barrage de Boukerdane (station météo) et à la mer.....	91
Tableau 4.4	Caractéristiques des stations d'étude	92
Tableau 5.1	Composition et recouvrements floristiques des stations forestières étudiées.....	102
Tableau 5.2	Comparaison des richesses et des diversités floristiques stationnelles...	104
Tableau 5.3	Résultats de l'analyse de la variance sur la répartition des nids dans les stations et dans le temps Modèle ANOVA.....	109
Tableau 5.4a	Intervalles des périodes larvaires de la processionnaire dans les stations forestières étudiées.....	115
Tableau 5.4b	Durées respectives (en jours) des périodes larvaires de la processionnaire dans les stations forestières étudiées.....	115
Tableau 5.5	Modèle ANOVA appliqué à l'effet insecticide des différents traitements utilisés (N=360).....	122
Tableau 5.6	Résultats de l'analyse de la variance sur la comparaison des moyennes des mortalités corrigées temporelles sous l'effet des traitements biologiques utilisées.....	126
Tableau 5.7	Résultats de l'analyse de la variance sur la comparaison des moyennes des abondances des populations résiduelles de <i>T. pytiocampa</i> sous l'effet des différentes applications des principes actifs.....	131
Tableau 5.8	Comparaison des moyennes des teneurs en réserves glucido- lipidiques chez les chenilles âgées 24h après traitement (Test one way Anova, post).....	135
Tableau 5.9	Comparaison des moyennes des quantités en sucres totaux et en proline dans les aiguilles de pin (Test de Kruskal Wallis,	

Past).....	135
Tableau 5.10 Corrélations de Pearson entre les teneurs en lipides/glucides des chenilles âgées de la processionnaire du pin, les supports alimentaires du pin et la proline.....	137

INTRODUCTION GENERALE

La forêt revêt une propriété particulièrement considérable car elle forme un élément essentiel de l'équilibre écologique, physique, climatique et socio-économique des régions rurales en particulier et du pays en général. La forêt algérienne a été profondément marquée par les défrichements, les incendies et le surpâturage. Notre patrimoine forestier est constitué, dans le meilleur des cas, de 65% de massifs dégradés [1]. Des massifs de thuya, de chênes verts, de genévriers ont ainsi disparu ou tendent à l'être. De vastes étendues de maquis à base de lentisques, de filaires, de chênes kermès, d'arbousiers s'éclaircissent et jouent de moins en moins leur rôle de protection des sols et de régulation du régime hydrique. Les incendies et surtout le pacage incontrôlé qui tasse le sol, asphyxie les racines et annihile toute régénération réduisent jour après jour leurs chances de maintien. En effet, depuis l'indépendance, d'énormes efforts financiers ont été consentis en direction du secteur. Plus d'un million deux cent mille hectares ont été reboisés, entre autres. Pourtant, le recul et la dépréciation de la couverture forestière continuent inexorablement [1]. La persistance des facteurs destructifs d'origine anthropique et climatique tels que les incendies, le surpâturage, les défrichements les attaques parasitaires, et la sécheresse prolongée ne fait qu'accentuer le processus de dégradation du système forestier en place. Sur le plan écologique et phytoécologique, de nombreux travaux ont été consacrés aux pineraies algériennes [245 ; 246 ; 247 ; 248]. La protection des forêts contre les parasites, demeure l'une des missions prioritaires de l'administration des forêts. En effet, les attaques parasitaires, bien que cycliques, ont de tout le temps constitué une menace sérieuse pour les peuplements forestiers, causant parfois des dégâts importants en l'absence de traitement approprié. Parmi les parasites menaçant les forêts Algériennes, la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera; Thaumetopoeidae), demeure le parasite le plus dévastateur touchant les peuplements résineux du genre *Pinus* et *Cedrus* dans tout le bassin méditerranéen. Ses pullulations sont temporaires avec des défoliations non négligeables dans les forêts naturelles, mais les plus sévères sont observées dans les reboisements [3, 4 ; 5 ; 115]. Ni l'OEPP, ni aucune autre organisation

régionale pour la protection des végétaux ne considère *T. pityocampa* comme un organisme de quarantaine. Cet insecte peut attaquer fortement les forêts de pins et cèdres de la zone méditerranéenne. Aujourd'hui, très peu de zones sont encore indemnes, [249]. La biologie et les moyens de lutte de la chenille processionnaire du Pin ont été étudiés par divers auteurs KADIK et HAMOUDI (1976) [17] ; ZAMOUM (1998) [4] ; GUENDOZ H (2000) [330] ; ZAMOUM et DEMOLIN (2004) [328] ; ZAMOUM et al. (2005) [102], ainsi que la lutte biologique contre *T. pityocampa* par ZAMOUM. ; BAHAKEMI et SAADI (1987) [331], FEKROUN et CHABIRA (2003) [329], ARIBI (1981, 1988) [250 ; 251]. Les larves se nourrissent des aiguilles de plusieurs espèces de pins et de cèdres et provoquent ainsi un ralentissement de la croissance et un affaiblissement des arbres ce qui les rend plus vulnérables aux maladies et aux autres ravageurs forestiers notamment xylophages [6]. En général, en fonction d'un biotope donné, le cycle biologique de cet insecte ravageur se présente de la manière suivante : les papillons émergent durant l'été et les chenilles issus des pontes se développent durant la période allant du début de l'automne jusqu'au début du printemps, selon cinq stades larvaires. Le cycle larvaire se termine par les processions de nymphose et la transformation des chenilles en chrysalide sous terre. Les chrysalides dans le sol sont en mesure de rester en diapause une ou plusieurs années [8; 9 ; 10].

La qualité de la structure des nids d'hiver représente un des facteurs essentiels de survie pour les colonies de chenilles car elle permet, en plus de l'effet de masse, une compensation thermique au cours de la saison hivernale [11]. Les nids d'hiver et les rythmes de maturation des chenilles et des émergences des adultes ont des effets directs sur l'incidence spatio-temporelle des ennemis naturels notamment celle des parasitoïdes et des micro-organismes pathogènes.

Le cycle de développement d'une génération se ferme en un an ' cycle annuel' une période de deux ans 'cycle biennal' est alors le plus fréquent. Parfois il peut s'étendre sur plusieurs années ' cycles pluriannuelles'. Des études sur l'écologie et les étapes de développement de ce ravageur ont été réalisées par KHEMICI et al. (1988) [252] ; KERRIS et al. (1987) [253].

En Algérie, depuis l'indépendance, l'accroissement des reboisements en pin d'Alep, *Pinus halepensis* L, a entraîné une prolifération de la processionnaire du pin, mettant en danger les jeunes reboisements. L'aire de répartition s'est

largement étendue sur des jeunes plantations dans tout le territoire national. Un examen critique des résultats des enquêtes de 1977-1983 a montré, clairement que l'ampleur de l'infestation par *Thaumetopoea pityocampa* a dépassé nettement le seuil tolérable. Chaque année (période de 1980 à 1984) plus de 200.000 hectares ont été infestés [106]. L'aire de répartition de cet insecte s'étend sur une grande partie du territoire de l'Algérie, et atteint actuellement sa limite Nord du pays ainsi qu'au barrage vert au sud [116]. Cette limite est en expansion aussi bien en latitude qu'en altitude du fait du réchauffement climatique observé depuis le début des années 70 en Europe du Nord qui, en augmentant les températures hivernales, permet un meilleur taux de survie des chenilles DEMOLIN *et al.* [7].

La lutte contre la processionnaire du pin n'est ni nécessaire, ni souhaitable dans tous les cas. Pour protéger la forêt contre cette chenille défoliatrice, il est important de veiller à conserver la biodiversité : les auxiliaires insectes, champignons, virus, bactéries, oiseaux, chauvesouris... sont des organismes indispensables à l'équilibre écologique des populations de chenilles processionnaires du pin. Ils agissent à tous les stades : œufs, chenilles, chrysalides et adultes, régulant ainsi les colonies. L'utilisation de traitements chimiques va détruire ce cortège de parasites, auxiliaires contre la processionnaire. Afin de prendre en compte la dynamique naturelle des populations de l'insecte, il convient d'intervenir de préférence lors de la progradation sur les stades les plus sensibles, car il est inutile, de traiter des populations qui sont en train de régresser de façon naturelle, ce qui aurait pour conséquence un impact négatif sur le cortège parasitaire [6].

La lutte microbiologique contre cet insecte ravageur, consiste en l'utilisation directe sur les larves d'une bactérie aérobie présente naturellement dans la nature, qui produit certaines protéines sous formes de cristaux, présentant des propriétés insecticides et agissant par réaction enzymatique intestinale, après ingestion.

Au cours de la seconde moitié du vingtième siècle, il a été constaté que l'usage massif et sans discernement des pesticides chimiques, a provoqué des déséquilibres au sein des écosystèmes résultant des effets de rémanence, de résurgence, de résistance et de rupture des chaînes trophiques, appelés encore

effets 4R. Cette constatation a conduit à rechercher des méthodes alternatives plus respectueuses de l'équilibre environnemental et susceptibles de contrôler les bio-agresseurs. Le recours au monde végétal et aux molécules des produits naturels permettant aux plantes de se protéger contre les ennemis naturels est devenu très convoité dans le cadre du maintien d'une agriculture durable. À côté de molécules susceptibles d'avoir des actions insecticides, fongicides ou herbicides, les recherches récentes ont souligné les activités des composés végétaux dans les mécanismes de défense des plantes, en matière de stimulation de leurs défenses ou en tant que leur valorisation par les bioindustries. De nombreuses espèces végétales ont été répertoriées comme présentant une activité biopesticide sur une large gamme d'insectes phytophages, de bactéries, de champignons et de nématodes phytoparasites [12]. La flore Algérienne très riche et diversifiée est tout à fait originale de par le nombre d'espèces inventoriées représentée par 4125 plantes réparties en 123 familles botaniques [15], d'où son intérêt fondamental dans le domaine de la valorisation des substances naturelles. Parmi les grands processus biologiques assurant le cycle de vie des organismes, il a été établi que la croissance, le développement, la reproduction et la maintenance nécessitent d'importants besoins en termes d'allocation énergétique. [254]. Dans un biotope donné, il est nécessaire de surveiller la qualité de l'environnement dont la fonctionnalité a un impact favorable ou défavorable sur les organismes et les populations. Aussi, des changements physiologiques, biochimiques, moléculaires ou comportementaux peuvent-ils apparaître après une exposition à des contaminants à caractère polluant par exemple. L'action des produits phytosanitaires sur les déprédateurs peut avoir comme conséquence divers changements internes. Une fois dans l'organisme, les produits chimiques peuvent altérer directement le système endocrinien et indirectement l'allocation d'énergie. En conséquence, ce qui affecte la capacité reproductrice de l'individu [255]. Les réserves énergétiques lipidiques et glucidiques ainsi que les protéines peuvent être utilisés comme source d'énergie, notamment lorsqu'un organisme subit un stress environnemental au cours duquel ses besoins en énergie augmentent et sont considérés de ce fait comme biomarqueurs d'effet [255].

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à étudier les particularités du cycle de développement de la processionnaire du pin dans des stations à pinèdes

situées sur la frange littorale de la wilaya de Tipaza, et composées de différentes pinèdes à Pin d'alep, Pin maritime et à Pin pignon exposées à exposition sud et nord. Cette approche étant à notre sens originale, nous nous sommes posé les questions de savoir d'une part si les pinèdes en elles mêmes, leur exposition et les températures caractérisant la frange littorale influent sur la durée du cycle de ce ravageur. D'autre part, nous avons cherché à savoir s'il y avait un décalage temporel entre les différents cycles au niveau des six stations étudiées.

Nous nous sommes intéressés également à l'étude de l'activité insecticide des feuilles d'un arbuste ornementale *Lantana camara* Linn. (Verbenaceae) par application de solutions brutes aqueuses sur les chenilles âgées sur terrain et par application des principes actifs de la plante au laboratoire.

Enfin, nous avons abordé l'impact de conditions environnementales non optimales sur la performance métabolique des chenilles après les traitements botaniques sur terrain en tenant compte des variations des biomarqueurs d'effet : les réserves énergétiques glucidiques et lipidiques.

CHAPITRE 1

CONSIDERATIONS GENERALES

1.1 . Données bibliographiques sur la forêt et les pinèdes algériennes :

1.1.1 Généralités et contraintes:

La forêt méditerranéenne couvre environ 65 millions d'hectares dont 45 millions de forêts proprement dites et 19 millions d'hectares de formations forestières [18]. La forêt algérienne appartient à cet ensemble, elle présente un élément essentiel de l'équilibre écologique, climatique et socio-économique de différentes régions du pays [19]. Sa situation actuelle se présente comme l'une des plus critiques dans la région méditerranéenne [20].

L'Algérie couvre une superficie de 2,382 millions de km² ce qui en fait, en étendue, représente le premier pays africain. Les régions du nord de l'Algérie ou les conditions de climat et de milieu permettent le développement des formations forestières occupent 250 000 km² soit un peu plus de 10% de la superficie totale. Les forêts et maquis couvrent 4,1 millions d'hectares soit un taux de boisement de 16,4% pour le nord de l'Algérie et de 1,7 % seulement si les régions sahariennes arides sont également prises en considération. Dans les deux cas, cette couverture forestière est nettement insuffisante en comparaison au taux de 25%, mondialement admis. La superficie estimée à 1.3 millions d'hectares de vraies forêts naturelles connaît une régression quasi exponentielle, et se trouve aujourd'hui dans un état atterrant. Ces taux de boisement sont évidemment très insuffisants pour assurer l'équilibre physique et biologique. L'essence prédominante est le pin d'Alep qui occupe 881 000 ha et se rencontre principalement dans les zones semi arides [21]. En 1830 la superficie était de 5 000 000 d'hectares. Elle est actuellement environ de 1 500 000 d'ha y compris les repeuplements mais non inclus 1 876 000 ha de maquis et les reboisements réalisés depuis 1962 qui sont de 727 940 ha. Nous constatons la réduction de plus de la moitié du patrimoine forestier existant durant cette période. Le taux de boisement actuel reste très insuffisant pour assurer d'une part l'équilibre physique

et biologique et d'autre part il ne permet pas de couvrir les besoins en matière de produits forestiers et d'assurer des recettes économiques pour le pays [20].

Les massifs littoraux du nord-est, les plus humides, sont aussi les régions les plus forestières.

Les grands traits de la forêt algérienne peuvent se résumer comme suit :

- Forêt essentiellement de lumière, irrégulière avec des peuplements feuillus ou résineux le plus souvent ;
- Forêt souvent ouverte formée d'arbres de toutes tailles et de tous âges en mélange
- Forêt avec présence d'un épais sous-bois composé d'un grand nombre d'espèces secondaires limitant l'accessibilité et favorisant la propagation des feux ;
- Productivité moyenne annuelle très faible ;
- Utilisation de toutes les formations forestières comme terrains de parcours avec toutes les conséquences [23].

Le feu est la principale menace naturelle qui pèse sur les forêts et les zones boisées du bassin méditerranéen. Les incendies sont surtout favorisés par le climat de la saison sèche estivale. En Algérie, la destruction progressive du couvert forestier est liée à des facteurs anthropiques, quelques fois naturels [24].

Tableau 1.1 : Bilan des incendies de forêts en Algérie (1996-2005) :

Année	Nbr de forêts	Forêts (ha)	Broussailles	Alfa (ha)	Autres (ha)	Total
1996	737	4430.34	1632.33	855.58	-	7301.75
1997	1809	13066.35	2940.93	1802.43	-	17.830.75
1998	1826	15593.11	8883.00	4092.47	-	28.629.68
1999	2018	23254.26	6128.98	8019.76	1023.44	38.462.12
2000	1910	5617.52	12742.011	5799.10	1603.46	55.781.60
2001	1327	9066.40		1064.37	44.31	14.377.69
2002	1008	959.95	3.596.63	1424.01	142.38	12.217.47
2003	1233	5448.79	3.753.73	2505.26	275.19	11.997.97
2004	463	7010.58	17172.19	6588.72	1080.15	31.998.89
2005	2013	14283.03	8.543.16	4426.37	790.50	28.380.06
Totaux	15344	134730.33	69560.35	36578.07	4969.43	246977.94

[22].

Dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord, le surpâturage est généralement considéré comme une cause essentielle de la dégradation des écosystèmes naturels [25]. En Algérie, les éleveurs préconisent le pâturage libre du bétail, sans limitation de la densité de charge et sans clôtures [26]. En effet, et comme le signale BENABDELI [27], nos forêts sont souvent sollicitées par les pasteurs comme source d'appoint pour l'alimentation du bétail. Nous assistons à une dégradation des structures forestières, et le rythme actuel de 2 à 4% de disparition par an des surfaces forestières selon les pays devrait se poursuivre. C'est-à-dire que d'ici 50 ans, sans changement total des politiques socioéconomiques et forestières, il ne devrait théoriquement subsister que moins de la moitié des superficies actuelles couvertes par les forêts [28]. D'une manière générale, on peut dire que la culture irrationnelle, le défrichement, la collecte excessive du bois de feu, le surpâturage et les incendies sont responsables de plus de 80% des dégâts [29].

1.1.2. Principales essences et répartition

Les superficies des principales essences forestières sont récapitulées dans le tableau n°1.2: La stabilité et la progression des surfaces de pin d'Alep imputable pour partie à l'importance des plantations auxquelles il a donné lieu sur des centaines de milliers d'hectares au cours de ces dernières décennies. Par contre, les superficies des formations de chêne liège, de chêne vert, de chêne zeen et afarès ont considérablement diminué. Les eucalyptus introduits dans le Nord et surtout à l'Est du pays constituent le premier groupe de forêts dites économiques totalisant une superficie de 43 000 ha à travers toute l'Algérie [21]. Les formations de maquis et de broussailles résultants de la dégradation des forêts ont pris de l'extension, ils occupent une superficie de 1 902 000 ha. S'ajoutent à ces superficies forestières les nappes d'alfa qui totalisent 2,7 millions d'hectares [21]. La structure et la distribution spatiale de la végétation obéissent généralement à l'influence du climat, du parcours et de l'incendie. La position géographique de l'Algérie et la diversité des sols et des climats ont permis d'enrichir et de varier la flore forestière algérienne [23]. Diverses études phytosociologiques entreprises par MAIRE [358] ; MEDDOUR [359] ; KHELIFI & al. [360] ; DAHMANI [361] ; ZERAÏA [362] etc.ont permis la description et la classification de quelques

formations forestières et subforestières en Algérie. Il est à noter que les inventaires phytosociologiques s'étendent systématiquement aux groupements arbustifs et herbacés qui sont souvent des stades de dégradation des séries de végétations initiales. Seules quelques associations végétales typiques du paysage forestier ou pré forestier des massifs montagneux algérien en précisant leur appartenance aux unités phytosociologiques supérieures seront abordées [23].

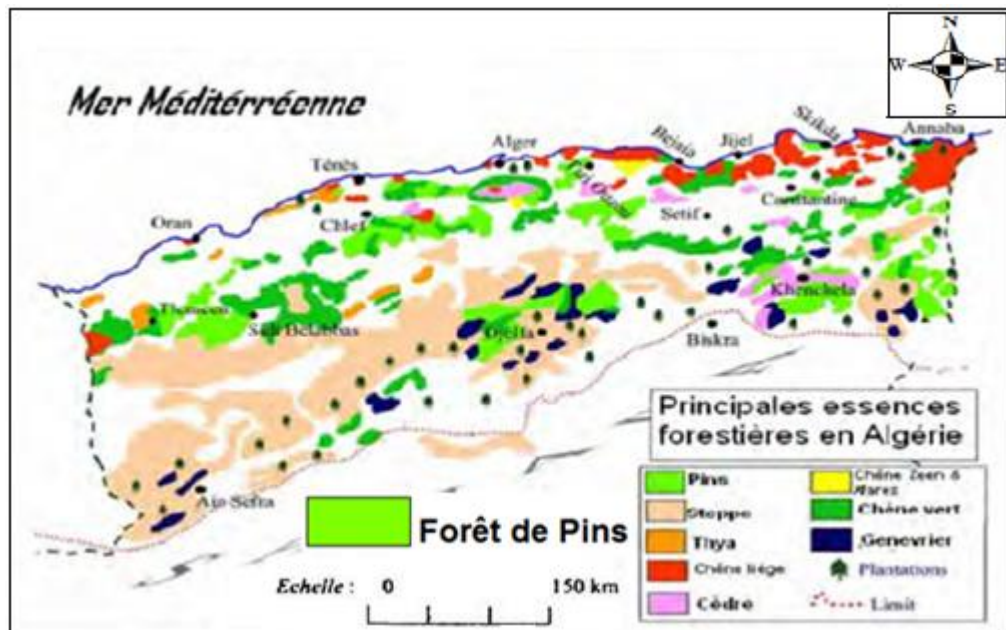


Figure 1.1 : Carte de répartition des principales essences forestières en Algérie (INRF) [119].

Tableau 1.2 : Principales essences des forêts algériennes [22].

Essences	Superficie (ha)	Taux %
Pin d'Alep	881 000	21,5
Chêne liège	230 000	5,6
Chêne vert	108 000	2,6
Chêne Zeen et Chêne Afares	48 000	1,2
Eucalyptus	43 000	1
Pin maritime	31 000	0,8
Cèdre de l'Atlas	16 000	0,4
Autres (Thuya + Genévrier + Frêne)	124 000	3
Reboisement et protection	717 000	17,5
Maquis et broussailles + vides	1 902 000	46,4
Total	4 100 000	100

1.1.3. Les pinèdes littorales et formations associées:

Les forêts qui surplombent la mer abritent une remarquable association à pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et thyua de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) [30]. Le cortège floristique, riche et diversifié se constitue d'arbustes typiquement méditerranéens tels les *Quercus coccifera*, *Rhamnus alaternus*, *Viburnus tinus*, *Pistacia lentiscus*, *Calycotome spinosa*, *Myrtus communis*, *Phillyrea angustifolia* ou *Chamaerops humilis*. De nombreuses lianes augmentent la valeur esthétique de cet habitat forestier bien conservé, et sont composées de *Lonicera implexa*, *Smilax aspera*, *Clematis cirrhosa*, *Rubia peregrina*, *Tamus communis*, *Aristolochia lingua* et *Prasium majus*. La strate herbacée est dominée par *Ruscus hypophyllum*, *Ampelodesma mauritanica* et *Melica minuta*. La végétation naturelle environnant le site de la Corne d'Or (Tipaza) présente une haute valeur patrimoniale, paysagère, écologique et esthétique. Elle se compose d'espèces endémiques telles que *Limonium gougetianum* et *Arenaria cerastioides* ou à aire de répartition restreinte dont *Tetraclinis articulata* d'origine phytogéographique ibéro-maurétanienne [30].

La pinède à *Pinus halepensis* et *Tetraclinis articulata* qui offre des capacités éco-touristiques non négligeables devrait être nettoyée et débarrassée des débris de toute sorte qui polluent le sous-bois [30].

Les pinèdes rencontrées sur le littoral et sublittoral se localisent sur des sols peu évolués, les sols fersiallitiques, les sols bruns calcaires et les sols isohumiques. Le pin d'Alep dans ces régions fait preuve d'un dynamisme favorable bien marqué, se traduisant [31]. Le pin mésogéen (*Pinus pinaster* ssp *renoui*) constitue des formations sylvatiques appréciables installées sur grès ou sur des sols hydromorphes à pseudogley et ont un pouvoir de propagation remarquable [32].

Bien que présent dans la zone littorale en climat sub-humide avec *Quercus ilex* mais aussi avec *Quercus suber*, le Pin d'Alep est surtout en Afrique du Nord, l'arbre des formations sylvatiques et présylvatiques continentales liées au bioclimat semi-aride notamment les hauts plateaux Algériens. Il s'agit de paysages dégradés où dominent les matorrals à romarin et à calycotome et les steppes. Il y constitue dans ces régions le dernier élément arborescent résistant à la pression anthropique majeure. Sa disparition progressive laisse place à de grandes étendues caillouteuses, steppes à *Stipa tenacissima* (l'Alfa), steppes à

Artemisia herba alba sur sol plus argileux ou à *Lygeum spartum* sur sol plus sablonneux [33].

1.1.4. Généralités sur les pins :

Le pin est la désignation générique des arbres appartenant au genre *Pinus*, de la famille des Pinacées, dont au moins 111 espèces ont été décrites. Ce sont des résineux à feuilles en aiguilles groupées en faisceaux par 2, 3 ou 5 à l'extrémité de rameaux courts et dont les fructifications sont des cônes qui apparaissent à l'automne sur les arbres adultes constitués d'écailles à l'aisselle desquelles on trouve les graines. Les écailles s'écartent à maturité, libérant les graines. Celles-ci sont munies d'une aile plus ou moins allongée [34]. Plusieurs espèces, introduites hors de leur habitat naturel en Algérie sont localement adaptées. Les pins sont des essences sociales de pleine lumière, qui supportent bien la sécheresse, et les sols pauvres. Ils peuvent former des peuplements importants, mais craignent la concurrence des autres essences quand ils sont plantés hors de leur optimum. Quant à la pinède, elle représente comme les autres habitats un refuge de choix pour les mammifères, les insectes, etc. C'est un site de nidification pour les passereaux et les rapaces. Le Pin d'Alep est considéré comme une majeure espèce protectrice par excellence contre l'érosion [2]. Le bois est recherché tant pour les usages industriels (pâte à papier) que comme bois d'œuvre, pour l'ameublement, bois de mine et poteaux télégraphiques, meubles etc...La gemme (résine) de certaines espèces est exploitée pour la production d'essence térébenthine et de colophane. Les bourgeons de pin, très résineux, ont aussi une utilisation médicinale, comme balsamiques et diurétiques transformés notamment en sirop et pastilles. C'est une essence de reboisement, utilisée aussi pour l'ornement [34].

1.1.4.1 Pin d'Alep :

Le pin d'Alep manifeste un grand pouvoir d'expansion. Admirablement adapté aux conditions écologiques moyennes de l'Afrique du Nord, c'est son essence colonisatrice par excellence. Au point de vue de l'altitude, on le trouve depuis le littoral méditerranéen jusqu'à 2200 mètre (Atlas Saharien). C'est une espèce largement répandue dans le bassin méditerranéen et actuellement en pleine

expansion en France. Cette essence résiste bien à la sécheresse et aux perturbations tout en étant d'une plasticité écologique remarquable [16]. La grande majorité des pineraies s'y trouve entre 800 mètre et 1200 mètre [35]. Le pin d'Alep affectionne sur toute l'étendue de son aire de répartition les substrats marneux, calcaires et calcaro-marneux. Aussi, cette essence apparaît également sur les schistes et les micaschistes comme c'est le cas du littoral algérois [36]. La longévité du Pin d'Alep est estimée à 150ans en moyenne. L'essence dépasse généralement 20m et peut atteindre les 25 m dans les conditions écologiques les plus favorables .En station moyenne, elle atteint 15 à 18m c'est une essence de deuxième grandeur [39]. Les feuilles sont des aiguilles par deux, fines, aiguës souples, de 6 à 10 cm, vert grisâtre, groupées en pinceaux à l'extrémité des rameaux, persistant 2 à 3 ans. Les graines s'échappent des cônes au cours du mois de juillet-août, de la 3^{ème} année d'apparition du cône. Le Pin d'Alep fructifie dès l'âge de 8 à 12 ans.

1.1.4.1.1. Systématique, écologie et aire de répartition :

Le genre *Pinus* appartient à la famille des Pinacées, le pin d'Alep se classe dans L'Embranchement : Gymnospermes, L'Ordre des Coniférales, Le Sous ordre des Abietales, La Famille des Pinaceae, Le Genre *Pinus* et l'Espèce *Pinus halepensis* Miller (1768). Le Pin d'Alep présente dans son aire d'origine une grande amplitude, plus répandu sur le pourtour méditerranéen surtout occidental, [37, 38 et 39] essentiellement autour des côtes, plus particulièrement en Afrique du Nord (Algérie) et en Espagne. Dans la région de Tipaza, il occupe une superficie de 22 452 ha, environ 55.69% [40].

1.1.4.1.2. Problèmes phytosanitaires :

De nombreux insectes xylophages s'attaquent au bois de pin d'Alep, sans être propre à cette espèce ; il en est ainsi des scolytes, des hylobes, des bostryches et des pissodes [41]. Enfin la chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa* schiff) est un lépidoptère connu depuis fort longtemps dans le bassin méditerranéen comme un défoliateur permanent des forêts naturelles de pin et de cèdre.



Figure 1.2: Forêt de pin d'Alep à Attatba et régénération de pin d'Alep à Ain-Tagourait après incendie (Originale)

1.1.4.2 Pin maritime :

Le pin maritime est un arbre de première grandeur ; toute fois en Algérie – Tunisie, sur le littorale, il ne dépasse pas 15 mètre et un tronc souvent tortueux ; le pin maritime de montagne est un bel arbre, au fut rectiligne [35]. C'est un arbre qui peut atteindre 30 m de haut (en général de 20 à 30 m), sa longévité est à peu près celle du Pin d'Alep et ne dépasse guère 150ans. Cette espèce est monoïque ; les organes reproducteurs sont des cônes soit mâles, soit femelles, mais présents tous les deux sur le même individu. Il fructifie abondamment ; ces cônes sont

mures à la fin de la 2eme année et, à l'inverse du Pin d'Alep, laissant échapper de suite leurs graines .il fructifie dès l'âge de 12 ans, mais les graines sont vaines jusqu'à 16 ou 18 ans [35]. Les aiguilles, épaisses et rigides, sont groupées par deux (gémées). Leur section transversale a une forme semi-circulaire. Elles mesurent de 10 à 20 cm de long, sont plus large que le pin d'Alep, sont persistantes, de couleur vert foncé et luisantes. La base des deux aiguilles jumelles est entourée par une gaine. Elles deviennent fauves en mourant, puis tombent. Elles se décomposent très lentement et forment une épaisse litière au pied de l'arbre.

1.1.4.2.1. Systématique, écologie et aire de répartition :

Le pin Maritime se classe dans L'Embranchement : Gymnospermes, L'Ordre des Coniférales, Le Sous ordre des Abietales, La Famille des Pinaceae, Le Genre Pinus et l'Espèce *Pinus pinaster* Aiton (1789).Synonymes : *Pinus maritima* et *Pinus mesogeensis*. C'est un arbre du bassin méditerranéen occidental. Le pin maritime est plus exigeant que le pin d'Alep il lui faut une tranche pluviométrique d'au moins 800 à 900 mm Sur le littoral, il reçoit de 1000 à 1200 mm et en montagne 800 à 1000 mm. Le pin maritime est naturel dans le nord-est du pays et couvre 32 000 ha [21]. Dans la wilaya de Tipaza, il occupe une superficie de 186 ha, environ 0.46% [40].

1.1.4.2.2 Problèmes phytosanitaires :

Le polypore de pin (*Hetero basidionannosum*) est un champignon racinaire qui provoque la mortalité du pin maritime à tous les âges. Les sténographes, pucerons et les tordeuses de tiges sont aussi des ravageurs du Pin maritime. Cette espèce est aussi la cible de la chenille processionnaire de pin.



Figure1.3: Foret de pin Maritime (reboisement) à Cherchell (Si imekraz)
(Originale).

1.1.4.3 Pin pignon :

Le pin pignon est cultivé dans tout le bassin méditerranéen. C'est un arbre poussant abondamment sur le pourtour méditerranéen, dans les bois ou les maquis, où il est souvent associé au chêne vert et au Pin d'Alep. Il préfère les terrains secs, mais s'accommode très bien de sols profonds et frais. On l'utilise parfois pour assainir les zones marécageuses ou fixer les dunes. Le pin pignon, essence forestière présente en Algérie sous forme de reboisement, pour son intérêt économique de par sa production de pignes et de son bois, malgré qu'il soit beaucoup plus nouveau que le pin d'Alep ou le pin maritime. C'est une essence qui est parfois considérée comme arbre fruitier pour la rentabilité de ses fruits. Il joue un rôle extrêmement important dans la lutte contre l'érosion dans les régions montagneuses et dans la fixation des dunes littorales grâce à son système racinaire généralement très bien développé [45]. Le Pin Pignon pousse en s'adaptant au terrain et en recherchant le soleil, ce qui donne fréquemment des troncs assez peu verticaux. Il dépasse rarement 30 mètres. Quand il est jeune, son port est sphérique, puis sa cime s'étale en parasol quand il prend de l'âge, d'où son nom de pin parasol. Les feuilles sont des aiguilles persistantes, assez

peu piquantes, réunies par lots de deux (elles sont dites "gémées") avec leurs bases enserrées dans une même gaine se renouvelle tous les 3 ou 4 ans vert franc, glauque, longues et épaisses aiguilles (10 à 18 cm). C'est un arbre monoïque (cônes mâles et femelles différents et séparés, mais poussant sur la même plante) [44]. Les pignons de pin sont comestibles. Ils sont utilisés en pâtisserie et confiseries.

1.1.4.3.1. Systématique, écologie et aire de répartition :

Le genre *Pinus* appartient à la famille des Pinacées, le pin pignon se classe dans L'Embranchement : Gymnospermes, L'Ordre des Coniférales, Le Sous ordre des Abietales, La Famille des Pinaceae, Le Genre *Pinus* et l'Espèce *Pinus pinea* Linné (1753). On le trouve principalement dans les plaines littorales et les collines méditerranéennes. En Algérie, il pousse bien sur les dunes littorales de Mostaganem à Bourahma, Bouachira, Khadra, il constitue une magnifique pineraie à Ouled Baroudi [43]. On le trouve aussi à Relizane, La Mactaa (Oran), ElKala, Djebel Ouache, Draa Nagah (Constantine), Bainem, Mezloug (Setif) Berrahal et à Zeralda [44]. Le pin pignon est une essence héliophile et thermophile. Il se situe dans l'étage bioclimatique méditerranéen, variantes humide à semi-aride. Il est sensible aux basses températures et ce d'autant plus que l'atmosphère est humide [45]. Il demande un ensoleillement pour assurer une bonne fructification [9]. Dans la wilaya de Tipaza le Pin Pignon occupe une superficie 85 ha environ 0.21% [40].

1.1.4.3.2. Problèmes phytosanitaires :

Cette espèce est aussi la cible de la chenille processionnaire de pin.



Figure.1.4 : Forêt de pin pignon (reboisement) à Cherchell (Si benkheira) (originale).

1.2. Synthèse bibliographique sur la plante *Lantana camara* Linné 1753 :

1.2.1 Généralités et systématique

Le lantana est un petit arbuste envahissant, persistant ou semi-persistant, cultivé pour sa floraison vivement colorée, dégageant une odeur épicée et s'échelonnant du printemps jusqu'aux premières gelées. L'arbuste présente des feuilles simples, ovales, dentées et légèrement rugueuses au toucher qui mesurent environ 7,5cm sur 5cm et avec des tiges quadrangulaires et épineuses. Cette plante est souvent considérée comme une plante annuelle alors qu'elle peut vivre très longtemps si elle est hivernée dans de bonnes conditions, les jeunes sujets fleurissent plus abondamment que les sujets âgés [46]. Lantana de la famille des Verbénaceae est le genre d'environ 150 espèces qui sont très connues comme plantes d'ornement dans les jardins [47,48]. Cette espèce fait partie de la Classe des Magnoliales, de l'Ordre des Lamiales et au genre *Lantana*.



Figure 1.5: Arbuste de *Lantana camara* région Koléa (Originale)

1.2.2. Ecologie et aire de répartition de l'espèce :

Lantana camara Linn., commun en Amérique et en Afrique, est un arbuste cultivé dans le monde comme une plante ornementale, mais maintenant, *L. camara* est considérée comme agressive et comme l'un des 10 adventices les plus nuisibles dans le monde parce qu'elle infeste 14 cultures dans de nombreux pays tropicaux et subtropicaux [49 ; 50]. D'après GANJEWALA *et al.* [51], on peut trouver quatre variétés de *Lantana camara* Linn. Qui se distinguent entre elles par la couleur de leurs fleurs jaunes, bleu lavandes, rouges ou blanches. Cette espèce pousse sur tous les types de sols bien drainés dans les régions qui reçoivent environ 250 mm à 2900 mm de précipitations [52] et se trouve jusqu'à 2000 m d'altitude dans les régions tropicales, subtropicales et tempérée du monde [53 ; 54]. Dans les serres, *Lantana camara* est notoire pour attirer les mouches blanches. En Inde, elle porte ses fruits toute l'année et cela semble avoir un impact sur les communautés d'oiseaux. La zone d'origine de *Lantana camara* comprend le Mexique, l'Amérique centrale, les Grandes Antilles, les Bahamas, la Colombie et le Venezuela. Elle a couvert de vastes régions de l'Inde, L'Australie et une grande partie de l'Afrique [55]. En Algérie, elle s'est bien acclimatée et se répartit sur tout le territoire national comme espèce ornementale dans les espaces verts et les jardins. Elle se multiplie par bouture des rameaux semi-ligneux en automne.

1.2.3. Caractéristiques botaniques (Figures 1.6 et 1.7) :

La plante possède des poils épidermiques sécréteurs. L'inflorescence axillaire est en capitule hémisphérique constituée de 30 à 50 petites fleurs jaune orangé, tournant au rose en vieillissant [56]. La floraison du lantana s'étend de la fin du printemps au mi-automne. Des capitules arrondis de 5 cm de diamètre, portés sur des pédoncules de même longueur, naissent à l'aisselle des feuilles. Ces capitules réunissent en grappes très serrées des petites fleurs tubuleuses et parfumées qui s'ouvrent les unes après les autres, en commençant par les rangées externes. Quel que soit leur coloris, il change et s'assombrit lorsque la plante prend de l'âge (les couleurs changent avec l'âge de la fleur). Chaque inflorescence peut donc porter plusieurs teintes apparentées, par exemple jaune, orange et rouge. Certaines variétés portent des fleurs blanches, jaunes, orangées ou rouges. Les fruits sont des petites baies vertes, devenant noires à maturité, ces baies sont toxiques. Les plantes de Lantana ont été utilisées dans de nombreuses régions du monde pour traiter une grande variété de troubles comme stimulant antirhumatismaux, sudoripares, pour soigner la bronchite et l'asthme et dans les contrôles biologiques. Les feuilles de *L. camara* ont été utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter la fièvre, la grippe, l'asthme et beaucoup d'autres maladies [48].



Figure 1.6 : Feuilles, fleurs et fruits de *L. camara* (Originale)

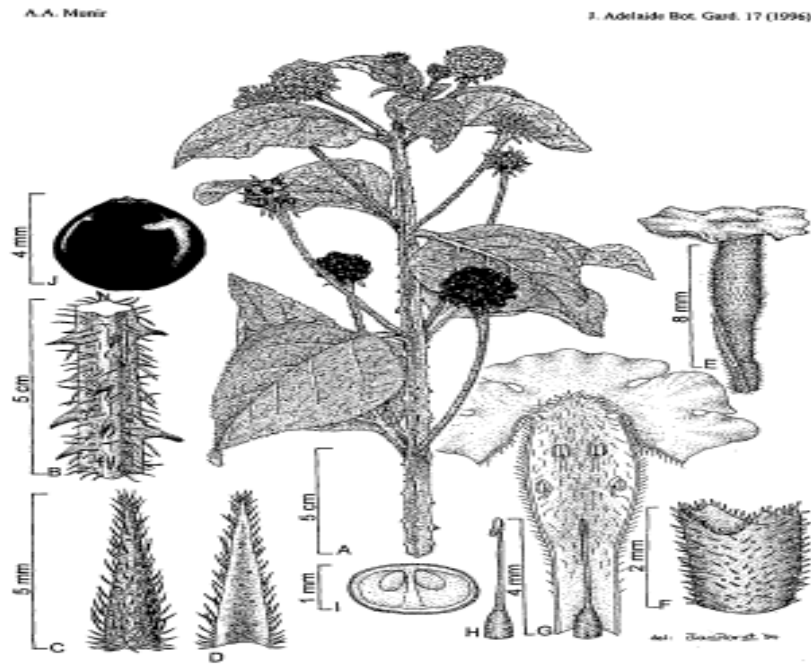


Figure 1.7 : Caractéristiques botaniques de *Lantana camara* L [80].

A, Une branche ; B, partie de tige montrant épines et les poils; C, vue de la bractée; D, coupe transversale de la bractée; E, fleur avec bractée; F, calice montrant deux lobes peu profonds; G, coupé longitudinalement ouvert la corolle montrant androcée et du gynécée; H, montrant la stigmatisation gynécée.

1.3. Synthèse bibliographique sur le microorganisme *Bacillus thuringiensis*

1.3.1 Introduction :

Le Bt a été isolé pour la première fois en 1901 par le bactériologiste japonais S. Ishiwata à partir de vers à soie (*Bombyx mori*) infectés. En 1911, en Allemagne, un biologiste allemand, E. Berliner a rédigé la première description scientifique de la bactérie de façon plus précise, cette bactérie qu'il nomma *Bacillus thuringiensis* (Bt) en référence à la région d'Allemagne en Thuringe. En 1916, Aoki et Chigasaki ont montré que l'activité du Bt était due à une toxine présente dans les cultures sporulées, mais absente dans les jeunes cultures de cellules végétatives [61].

Le Bt est un bacille à Gram positif, aérobic et sporulé qui est étroitement apparenté à la bactérie *Bacillus cereus*; il est présent dans pratiquement tous les sols. Les cellules végétatives mesurent 5 μm de longueur sur 1 μm de largeur et sont pourvues de courts flagelles ciliés. Le Btk est une bactérie ubiquiste qui se

rencontre dans le sol, l'eau, l'air et sur le feuillage. Il se distingue du *B. cereus* par sa capacité de produire une protéine cristallisée durant la sporulation [66 ; 67].

Le Bt appartient au Règne des Bacteria, à l'Embranchement des Firmicutes, à la Classe des Bacilli, à l'Ordre des Bacillales, à la Famille des Bacillaceae, au Genre Bacillus, à la Sous-espèce *B.thuringiensis kurstaki*.

1.3.2. Cycle biologique du *Bacillus thuringiensis* :

La phase végétative voit la croissance du nombre d'individus se faire de manière exponentielle par scissiparité (fragmentation). La phase stationnaire passe par une différenciation cellulaire (la sporulation) et à la création de spores (figure 1.8). Ces spores sont une forme résistante qui assure la conservation et la dispersion de Bt pendant les saisons difficiles, et germent ensuite pour donner naissance à une nouvelle phase végétative [79].

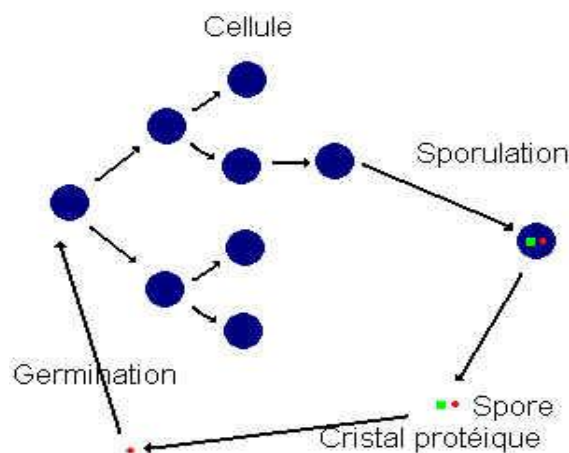


Figure 1.8 : Cycle biologique du *Bacillus thuringiensis* [79]

À l'état végétatif, *Bacillus thuringiensis kurstaki* a la forme d'un bâtonnet de 5 μm de long sur 1 μm de large, et est pourvu de flagelles (Figure 1.9). Elle se distingue des autres bacilles du groupe par sa capacité à synthétiser des cristaux protéiques (Figure 1.8 et 1.9). Ces cristaux ne sont pas minéraux, mais formés de l'association de plusieurs protéines.

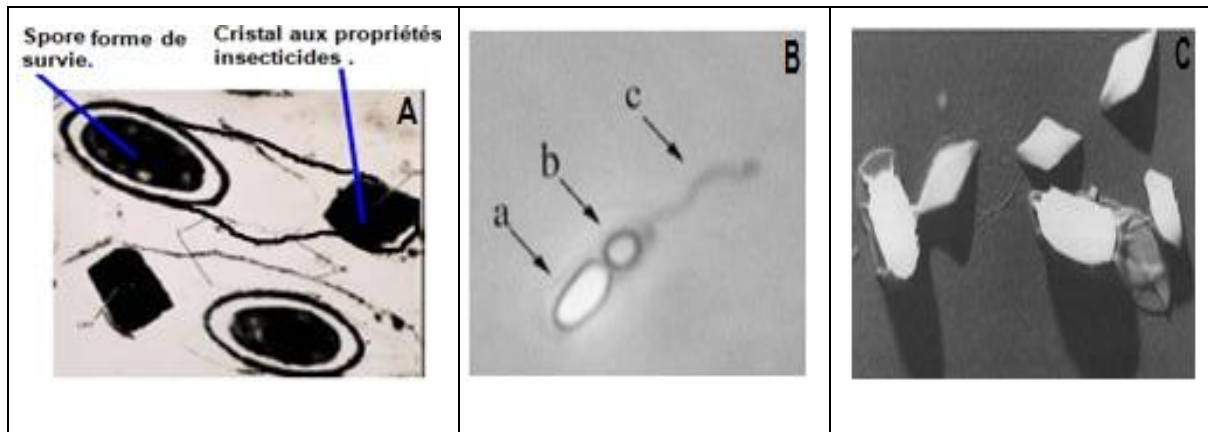


Figure 1.9: **A** (Photo de bactérie) : Dimensions approximatives d'une Bactérie : 5 μ m de longueur sur 1 μ m de largeur. **B** : *Bacillus thuringiensis* en microscopie en contraste de phase ; a : spore; b : inclusion parasporale contenant les cristaux de protéines ; c:filament [68]. **C** : Cristaux de Bt observés en microscopie électronique à transmission [69].

1.3.3. Les δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis kurstaki* :

La bactérie se compose d'une spore et d'un cristal composé d'une ou plusieurs protéines cristales (Cry) et cytotolytiques (Cyt) ayant des propriétés insecticides contre les Lépidoptères, Diptères et Coléoptères. Contrairement aux pesticides chimiques. Ces cristaux aussi appelés δ -endotoxines sont très spécifiques de l'insecte cible, et peuvent représenter 20 à 30 % du poids sec des cellules sporulées [71,74]. Les δ -endotoxines reconnue insecticide est la protéine de l'inclusion cristalline qui se forme dans chaque bactérie sporulée de *B.thuringiensis* c'est, jusqu'à présent, la plus étudiée et la plus importante sur le plan pratique de la lutte contre les insectes nuisibles [60 ; 62]. D'après Barjac et al [63], l'aptitude à produire cette toxine est le propre d'un certain nombre de variétés bien déterminées de *B.thuringiensis* appartenant aux sérotypes I, IV, VIII et IX. Les protéines Cry sont synthétisées sous forme de protoxines d'environ 70 kDa ou 130 kDa dont la forme toxique est de 66-67 kDa (moitié N-terminale du précurseur). Elles appartiennent à la classe des PFT (Pore-Forming Toxin) dans la catégorie des toxines en hélices- α , pour lesquelles les hélices forment un pore transmembranaire [75]. Lorsqu'il est ingéré par l'insecte, le cristal protéique est digéré à pH alcalin par les protéases du tube digestif et transformé en toxines polypeptidiques actives [64]. Ces toxines sont excrétées par la bactérie productrice, activées par les protéases de l'hôte puis se lient aux récepteurs membranaires de la cellule cible par la formation d'une oligomère capable de

s'insérer dans la membrane cellulaire intestinale, induisant une paralysie intestinale puis la mort de l'insecte [71]. D'après Schnepf et al. [76], plus de 150 protéines Cry ont été découvertes chez *B. thuringiensis* et *cereus* ciblant des insectes différents non seulement les Lépidoptères, les Diptères, les Coléoptères mais aussi les Hyménoptères, les Homoptères, les Orthoptères, les Mallophages, les nématodes, les mites et les protozoaires [61; 77]. La variabilité du Bt est très grande mais chaque souche est spécifique et active sur un nombre limité d'espèces. Par ailleurs, les gènes codant pour les endo-toxines se situent sur les grands plasmides des bactéries et peuvent se transmettre par conjugaison [79].

1.3.4. Classification des gènes des protéines Cry

La classification proposée par Höfte et Whiteley [66] est basée sur la structure primaire des protéines et leur spectre d'hôtes. Plus de 14 gènes distincts de protéines cristales (*cry*) ont été décrits permettant une répartition en quatre classes majeures : *cry* I dirigé contre les Lépidoptères, *cry* II contre les Lépidoptères et les Diptères, *cry* III contre les Coléoptères et *cry* IV contre les Diptères. Une classe supplémentaire a été ajoutée ultérieurement, *cry* V, dirigé contre les Lépidoptères et les Coléoptères [66]. Par ailleurs, ce spectre d'hôtes évolue constamment puisque de nouvelles souches sont produites régulièrement en laboratoire. Le plus souvent, elles produisent plus d'un groupe de protéines comme par exemple la souche HD-1 de *Bt kurstaki* qui produit les toxines CryIAa, CryIAb et CryIAc. Cette coexpression de plusieurs toxines permet d'élargir le spectre d'hôtes d'une souche donnée [78].

1.3.5 Utilisation commerciale des produits à base de Bt :

Les propriétés entomotoxiques de *Bacillus thuringiensis kurstaki* en font tout l'intérêt commercial. Les premiers essais de lutte biologique avec Bt ont été réalisés en Hongrie dans les années 1920 et en Yougoslavie dans les années 1930 pour contrôler principalement les Lépidoptères [61]. Les résultats prometteurs de ces essais ont conduit à la production du premier produit commercial en France en 1938 par les laboratoires Libec, la Sporéine [70]. Bien que le Bt soit disponible sur le marché depuis 1938, c'est la mise au point de la méthode de fermentation liquide aérobie en cuve profonde qui, en permettant la production de préparations de spores et de cristaux, a rendu possible sa

commercialisation à grande échelle au cours des années 1950. Le Bt a été utilisé massivement en Amérique du Nord contre plus de 40 ravageurs dans des champs, des forêts, des vergers, des vignobles, des parcs et des jardins [72]. Le *Bacillus .thuringiensis* a fait l'objet d'une préparation commercialisée sous le nom de bactospéine répond aux principaux critères de la lutte biologique, innocuité pour les autres formes de vie, prix de revient compétitif et stabilité, ceci explique son succès.

Les premières formulations commerciales de Bt ont été mises à l'essai au champ aux États-Unis en 1958 [73]. En 1961, la sous-espèce *kurstaki* (Btk) a été utilisée comme biopesticide contre des Lépidoptères nuisibles sensibles. La plupart des insecticides à base de Bt renferment des cristaux de δ -endotoxines et des spores qui amplifient par synergie la toxicité des cristaux. Chez les lépidoptères, Bt est utilisé, par exemple, contre la processionnaire du pin également contre les larves du doryphore (coléoptère). Elle représente 90 % du marché mondial des biopesticides. En outre, cette bactérie n'a pas jusqu'ici donné lieu à des phénomènes de résistance de la part des insectes.

Cette lutte s'est développée en France avec des formulations poudre mouillable, puis depuis 1985 avec des préparations concentrées liquides utilisables en pulvérisation ultra- bas- volume (0,5 à 1 kg/ha). Le produit est une préparation biologique basée sur l'utilisation de la bactérie *Bacillus thuringiensis kurstaki*. Le mode d'action se fait par ingestion lorsque la chenille du papillon dévore les parties de la plante traitée. La bactérie paralyse les mâchoires de la chenille, par conséquent, après l'absorption du produit, la chenille cesse de s'alimenter. Environ 1 à 3 jours après l'ingestion les chenilles meurent. De même, il ne laisse aucun résidu dans le sol, ni sur la plante traitée.

En Algérie, le produit est une préparation biologique basée sur l'utilisation de la bactérie *Bacillus thuringiensis kurstaki* montre et confirme que la bactérie Bt possède des propriétés insecticide très appréciable et il ne laisse aucun résidu dans l'environnement.

Du fait de sa biodégradabilité, *B. thuringiensis* ne laisse pas de résidus dangereux sur les cultures traitées ni dans le sol. Sa persistance est de l'ordre de quelques jours jusqu'à plus d'un mois, selon les conditions climatiques et le

développement de la végétation. Une température élevée, le plein soleil et la pluie diminuent sa persistance. Un stockage du produit pendant quelques années est possible, à condition qu'il soit conservé dans un local frais, sec, aéré et protégé des températures élevées.

CHAPITRE 2

LA PROCESSIONNAIRE DU PIN: PRINCIPAL RAVAGEUR DEFOLIATEUR DES PINS

2.1. Considérations bibliographiques:

2.1.1 Eléments de taxonomie:

La processionnaire du pin à développement larvaire hivernal, *Thaumetopoea pityocampa*, a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1776 dans le genre *Bombyx*. En 1822, HUBNER créa le genre *Thaumetopoea* pour toutes les espèces incluses aujourd'hui dans la famille des *Thaumetopoeidae*. Stephens, fit passer en 1928 toutes les espèces du genre *Thaumetopoea* dans le genre *Cnethocampa*, qu'il a placé dans la famille des *Notodontidae* [81]. Neuf espèces de processionnaires vivent dans la région méditerranéenne : *T. pityocampa* (Schiff), *T. bonjeani* (Powell), *T. solitaria* (Freyer), *T. pinivora* (Treitschke), *T. herculeana* (Rambur), *T. jordana* (Staudinger), *T. wilkinsoni* (Tams), *T. cheela* (Moore), et *T. processionea* (Linneo), qui est décrite en Inde [82]. Toutefois, il existe certaines différences morphologiques (telles que l'intensité de la couleur des ailes) et biologiques (notamment en ce qui concerne les plantes hôtes et la date d'éclosion, qui peut avoir lieu au printemps pour *Thaumetopoea bonjeani*, *Thaumetopoea pinivora*, *Thaumetopoea processionea*, ou en fin d'été pour *Thaumetopoea pityocampa*, *Thaumetopoea wilkinsoni*) [83].

La processionnaire du pin ou Pine processionary fait partie selon Denis ; Schiffermüller et Stephens de la classe des Insectes, de l'ordre des Lépidoptères, de la famille des Notodontidae, de la Sous-famille des Thaumetopoeidae, elle appartient au genre *Thaumetopoea* et à l'espèce : *T. pityocampa*. Schiff. En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (*campa* = chenille, *pityo*= pin) et *thaumetopoea* signifie « qui vénère la verdure » (*thaumeto*= vénérer, *poea* = herbe) [89].

2.1.2. Plantes hôtes:

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* est un insecte phytophage, elle se nourrit des aiguilles de pins et de cèdres. Ses plantes hôtes préférées sont le pin noir (*Pinus nigra*) le pin Laricio de Corse, le pin maritime (*Pinus pinaste*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), le cèdre du Liban (*Cedrus libani*), le douglas (*Pseudotsuga menziesii*) et le sapin (*Abies concolor*) [92].

C'est la femelle, lors de la ponte, qui réalise cette distinction entre les diverses espèces d'arbres. Le diamètre est le critère principal : le diamètre idéal est de 1,5 à 2 mm DEMOLIN [84], note que cet ordre s'explique par le fait que le premier critère de ponte de la femelle est le diamètre des aiguilles.

La plante-hôte 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* [93]. Dans des essais de plein champ dans le nord de la Grèce, les larves se sont développées plus rapidement sur *P. radiata* que sur *P. pinea* [85]. Cependant, *P. pinaster* n'est pas très attaqué en Corse (France), dans le sud de la France ou en Espagne mais est attaqué de façon significative dans les Landes (France). *Cedrus* n'est pas attaqué dans la région du Mont Ventoux (France), mais porte de grosses colonies en Afrique du Nord [86]. Toutes les espèces de *Pinus* et *Cedrus* et parfois le mélèze *Larix decidua* sont attaqués. 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 [87]. L'étude de la bioécologie des chenilles processionnaires du pin permet de considérer les zones et les périodes à risque pour la faune et la flore, éléments indispensables pour le choix d'un plan de lutte efficace [89]. On désigne sous le nom de processionnaire, des chenilles grégaires qui construisent des nids de soie leur servant de refuge collectif, et qui se déplacent à la queue lors en procession de nymphose. Les chenilles processionnaires se reconnaissent à leurs huit paires de pattes (dont deux paires sont de fausses pattes abdominales). La conséquence du grégarisme est l'apparition d'un effet de groupe caractérisé par la coordination des activités individuelles en une activité collective qui se manifeste par la construction du nid [90].

2.1.3. Morphologie :

2.1.3.1. Œufs et larves :

Les masses d'œufs, typiquement cylindriques, ont une longueur de 4 à 5cm (figure 2.1). Elles sont couvertes par des écailles provenant du bourrelet anal femelle, qui mimétisent des pousses de pin [88].



Figure 2.1: Manchon de ponte de chenilles processionnaire du pin en forêt de Pin d'Alep à Attatba. (Originale 2010).

Le développement larvaire comporte cinq stades, entre lesquels les chenilles muent et construisent des « pré-nids » composés d'un léger réseau de soie. Trois critères permettent de déterminer à quel stade appartient une chenille : la quantité et la longueur des soies, la taille de la chenille, sa couleur et le volume de sa capsule céphalique (figure 2.2) [89].

Au stade L1, les chenilles mesurent deux à trois millimètres et sont de couleur jaune verdâtre. Leurs soies ornementales dorsales sont noires, tandis que leurs soies latérales sont blanches et plus longues. Leur capsule céphalique, noire, est déjà volumineuse et leur permet dès ce stade de s'attaquer à une nourriture solide et résistante [94]. Les chenilles deviennent rousses au deuxième stade larvaire (stade L2). Le nombre de soies latérales augmente significativement. Ce phénomène s'amplifie encore au troisième stade larvaire (L3) et s'accompagne de l'apparition de poils urticants, localisés à la face dorsale de certains segments abdominaux. L'appareil urticant continue à se développer au cours des deux stades suivants. Au dernier stade (cinquième) L5, les chenilles processionnaires du pin ont des longueurs variant entre 4,4 et 4,9 mm [90].

Les différents stades larvaires ont des durées variables, qui dépendent principalement de la température et de l'ensoleillement (tableau 2.1).

Tableau 2.1: Durée moyenne des différents stades larvaires [92] :

Mouvements des colonies	Stades larvaires	Durée des stades (en jours)		
Pré-nids	L1	12		
Déplacement régulier des colonies	L2	14		
	L3	30		
Nid d'hiver, emplacement définitive.	L4	Hiver doux	Tempéré	Froid
		30	60	90
	L5	30	60	90

L'évolution larvaire peut se diviser en deux périodes principales : la période ambulatoire, allant de l'éclosion aux premiers froids ; et la période du nid d'hiver, allant de la construction du nid à la procession de nymphose. Les chenilles, quels que soient leurs stades, sont grégaires et vivent en colonie. Cette particularité physiologique disparaît au stade adulte [89].

Pour faire face aux températures hivernales, les chenilles, généralement au stade L4, construisent un « nid d'hiver » à l'extrémité des branches les plus hautes et les plus ensoleillées (figure 2.2). Ce nid est constitué de deux enveloppes de soies superposées (une interne de forte épaisseur et une externe constituée d'un tissage très lâche). Il est constitué de petites loges et ne comporte pas d'orifice de sortie, les chenilles pouvant passer à travers les mailles [89,91].

2.1.3.2. Nympe et adulte

La nymphose se déroule dans le sol dans un cocon soyeux, blanc-ocre, et ovale. Les nymphes, de type objecté (dont l'épiderme dessine toutes les parties de l'insecte), sont d'environ 20 mm de longueur, ovales, et de couleur jaune brunâtre pâle qui deviendra marron rougeâtre [88]. L'envergure alaire des femelles est de 36-49 mm, celles des mâles de 31-39mm. Les antennes sont filiformes chez la femelle et pectinées chez les mâles. Les deux ont un thorax poilu. L'abdomen est vigoureux et ses derniers segments sont couverts d'un bourrelet de grandes écailles;(l'abdomen des mâles est velu et pointu), Les

ailes antérieures sont gris cendré terne; les nervures, bordures et trois bandes transversales sont plus sombres. Les ailes postérieures sont blanches, à franges grises, avec une tache noire caractéristique au niveau de la région anale [88].

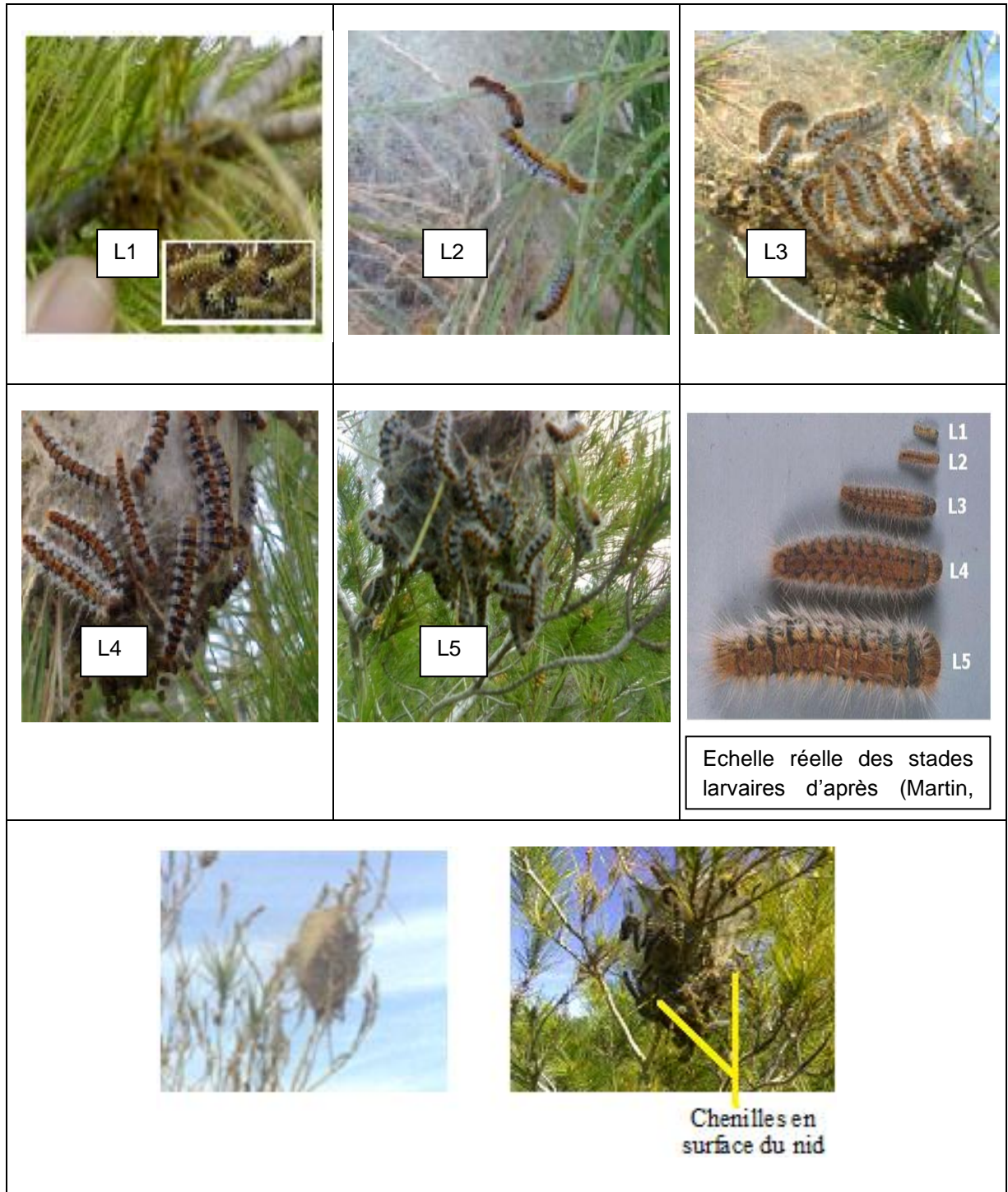


Figure 2.2. Les différents stades larvaires de la processionnaire de pin et nids d'hiver dans une forêt de Pin d'Alep à Attatba (Originale).



Figure 2.3 : Nymphes de la processionnaire (à gauche) et nymphose se déroulant dans une boîte en plastique au laboratoire (à droite) (Original), 2011. Papillon femelle (1) et mâle (2), (Demolin G., INRA).

2.1.4 Cycle biologique :

Le cycle de développement de *Thaumetopoea pityocampa* se divise en deux principales étapes: L'une aérienne sur l'arbre (évolution larvaire), l'autre souterraine (pré-nymphose et nymphose) [97]. Ce cycle est habituellement annuel, mais il peut se prolonger jusqu'à cinq ans selon les conditions environnementales : la température et l'ensoleillement, donc l'altitude et la latitude, peuvent en effet fortement influencer le déclenchement des différents stades [89].

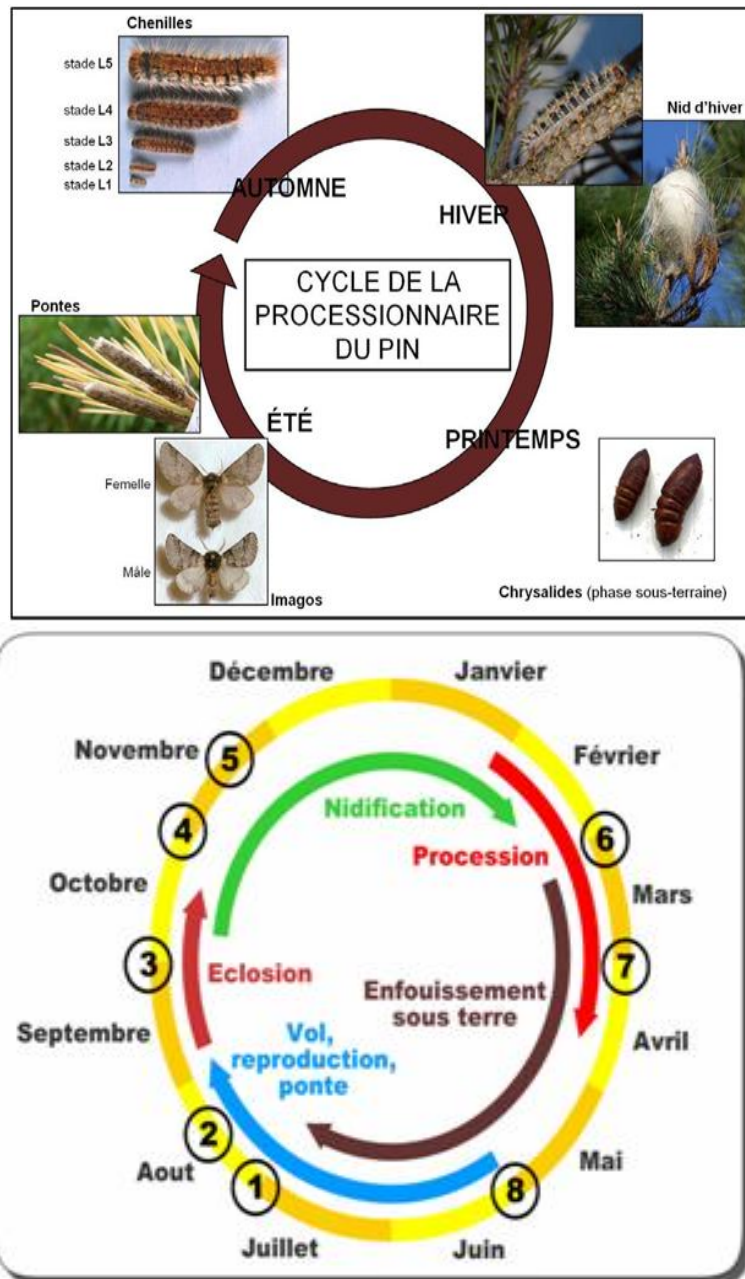


Figure 2.4 : Cycle de la processionnaire du pin [103, 104].

2.1.4.1 Accouplement et ponte :

Les observations faites par Demolin [94], rendent bien compte de la phase adulte du cycle de vie de l'espèce. L'émergence des adultes a lieu au cours des mois de juillet et août, au coucher du soleil. L'heure exacte varie en fonction de la pression atmosphérique journalière. Les mâles émergent environ une demi-heure avant les femelles. La sortie du cocon se fait grâce à la présence de crêtes sclérifiées (canthus) situées sur la tête du papillon, qui " découpent " l'enveloppe. Le ratio mâle/femelle est généralement proche de 1. Les imagos mâles sont plus

petits que les femelles. Immédiatement après sa sortie de terre, le papillon va gagner un emplacement surélevé proche (tige, caillou, branche...), sur lequel va avoir lieu le déploiement des ailes, ce qui prend quelques minutes. A la tombée de la nuit, les mâles s'envolent, alors que les femelles cherchent un endroit de repos [95].

Au bout de quelques heures, les femelles émettent une phéromone sexuelle appelée " pityolure " pour orienter le vol des mâles. Le mâle arrive rapidement, et l'accouplement peut avoir lieu. Il dure une heure environ, durée au bout de laquelle les deux papillons prennent leur envol. Le mâle meurt un à deux jours plus tard [95].



Figure 2. 5: Accouplement des papillons de processionnaires du pin et femelle déposant ses œufs à la base des aiguilles [92]

Après l'accouplement, la femelle se pose sur un pin. Elle pond autour de deux aiguilles, pendant environ trois ou quatre heures. En l'absence de site favorable, elle pourra parcourir plusieurs kilomètres en effectuant un vol à une vitesse de l'ordre de 10 à 15 Km/h pour conquérir d'autres territoires [96]. Ceci facilite l'extension rapide du foyer d'infestation. La ponte a une forme de manchon et mesure près de cinq centimètres de long. Elle contient environ 200 œufs. Ceux-ci sont recouverts d'écailles provenant de l'extrémité de l'abdomen de la femelle, qui va rapidement s'envoler puis mourir quelques heures après [95]. Les pontes comptent en fonction du stade de gradation de la population de 70 à 300 œufs [96].

2.1.4.2 Développement larvaire :

Après l'éclosion des œufs (figure 2.6), 30 à 45 jours après émergence, l'évolution larvaire s'effectue sur le végétal hôte en cinq stades (L_1 à L_5), au cours desquels

les chenilles d'une même ponte resteront groupées. Du fait d'un développement hivernal, ce grégarisme est essentiel à leur survie [104]. La chenille du premier stade est de couleur vert pomme terne, longue de 3mm. Après la deuxième mue les chenilles prennent un aspect définitif. Elles atteignent au dernier stade près de 5cm de longueur et acquièrent une couleur brun roux avec des soies latérales blanches [94]. Les chenilles des trois premiers stades édifient des pré-nids en soie sur les aiguilles et se déplacent de branche en branche en étant reliées entre elles par des fils de soie [100].



Figure 2.6. : Début d'éclosion [92]

Les jeunes chenilles (L_1 à L_2) attaquent les aiguilles de pin aux alentours immédiats de la ponte. La colonie change de place au fur et à mesure des besoins et la population se regroupe à la base des rameaux particulièrement pour muer [94]. Elles laissent alors à chaque emplacement un réseau de soie très léger (appelé pré-nid) dans lesquels on retrouve, après 12 jours, les exuvies des L_1 puis, 20 jours plus tard, celle des L_2 [96]. L'arbre attaqué présente vite des extrémités de branches roussâtre et jaune clair qui identifient les stations successives des colonies. Peu de temps avant l'hiver (mi-novembre), les chenilles tissent sur un emplacement le plus ensoleillé du pin un habitat collectif définitif, véritable radiateur solaire appelé nid d'hiver (bourse de soie volumineuse atteignant jusqu'à 20 cm où les chenilles passent l'hiver) [98 ; 96]. La qualité de la structure des nids d'hiver représente un des facteurs essentiels de survie pour les colonies de chenilles car elle permet, en plus de l'effet de masse, une compensation thermique au cours de la saison hivernale [99]. De plus, le nid est en mesure de jouer un rôle d'abri et de protection pour les chenilles contre l'action des différents ennemis naturels dont les parasitoïdes et autres. Au troisième stade larvaire (L_3), les chenilles deviennent urticantes. Les miroirs qui renferment les

poils vésicants vont devenir de plus en plus importants jusqu'à la fin du cinquième stade (L_5). A chaque stade larvaire, les chenilles entrent dans une période de mue où elles cessent de s'alimenter.

2.1.4.3 Processions et nymphose :

Les processions de nymphose (figure 2.7) sont la manifestation la plus spectaculaire du caractère social des chenilles. Elles ont lieu à la fin du cinquième stade larvaire (L_5), le plus souvent dès la mi-février jusqu'au mois d'avril, suivant la rigueur de l'hiver et de l'étage bioclimatique [98]. Les processions n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10° et $+ 22^\circ$ C; aux températures inférieures les chenilles restent groupées à la surface du sol et aux températures supérieures elles s'enterrent si la nature du sol le permet. Par conséquent si le sol est froid les enfouissements auront lieu surtout au milieu des clairières; mais s'il fait chaud ils pourront se faire en sous-bois et même au pied des arbres [96]. La procession (figure 2.7) est guidée par une chenille qui est le plus souvent une femelle, et se dirige vers la zone la plus éclairée et la plus chaude [94].



Figure 2.7: Processions des chenilles cherchant à s'enfouir [114].

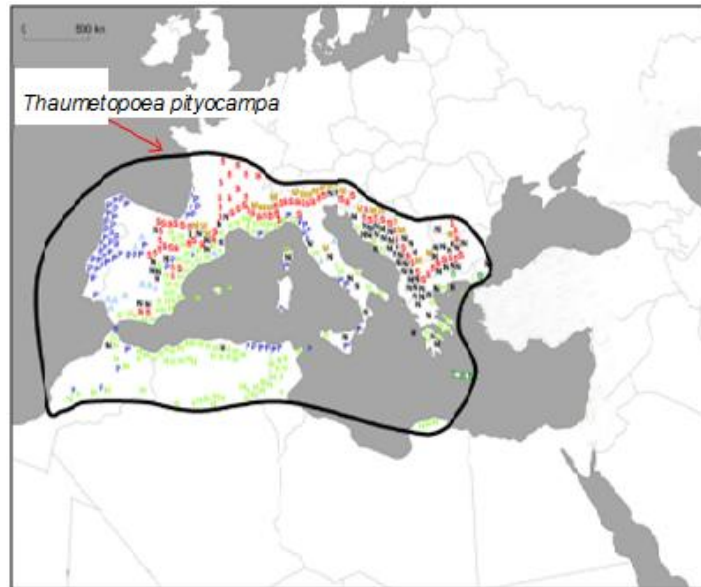
Après l'enfouissement de la colonie à quelques centimètres (de 5 à 20 cm) sous terre, les chenilles tissent autour d'elles un cocon de nymphose et se transforment en chrysalides. On assiste alors à un arrêt complet du

développement, c'est la nymphose : la chrysalide complètement formée, entre en diapause obligatoire qui est plus au moins longue suivant les conditions climatiques. La phase souterraine est d'une durée très variable. Certaines nymphes et parfois même la totalité des nymphes peuvent ne pas se transformer en adultes l'année de la nymphose, la nymphose s'étendant alors jusqu'à l'année suivante et parfois au de-là [101]. Deux semaines plus tard, dans le sol, les processionnaires tissent des cocons individuels et se transforment en chrysalides. Elles restent dans cet état pendant plusieurs mois ou parfois plusieurs années selon les régions [102]. Au bout de quelques mois, chaque chrysalide se métamorphose en papillon. En été, les papillons sortent de la terre et marquent le début d'un autre cycle.

2.1.5 Aire de répartition:

La processionnaire du pin fait partie d'un complexe d'espèces réparti sur l'ensemble du bassin méditerranéen jusqu'en façade atlantique. Depuis quelques années, cette espèce fait l'objet de plusieurs recherches fondamentales en écologie, et en génétique des populations [90].

La répartition géographique de la chenille processionnaire du pin (figure 2.8) dépend de plusieurs facteurs écologiques, comme l'ensoleillement, la photopériode, la température, l'altitude et la latitude. C'est pourquoi certaines zones géographiques sont plus favorables que d'autres au développement des chenilles processionnaires du pin. Les facteurs climatiques (gel, chaleur...), la présence de prédateurs et parasites, ainsi que la quantité et la qualité des ressources alimentaires (qui conditionnent notamment la fécondité des femelles) participent ainsi aux importantes variations de niveaux de populations appelées « gradations » [89]. L'évolution réelle de l'aire de répartition entre 1969 et 1996 a été étudiée par DEMOLIN *et al.* [7], qui montrent une progression de l'insecte vers le Nord de la France. Cette progression est due au réchauffement climatique global observé depuis le début des années 70 en Europe du Nord. Cette hypothèse est confirmée par GOUSSARD *et al.*, [107], et HODAR *et al.* [108], qui constatent une progression en altitude de l'espèce.



A: *Pinus pinea* , P : *Pinus pinaster* , H : *Pinus halepensis* , N : *Pinus nigra* ,
S: *Pinus sylvestris*, M : *Pinus mugo* , B : *Pinus brutia*

Figure 2.8 : Aire de répartition de *Thaumetopoea pityocampa* en relation avec leurs plantes hôtes sur l'ensemble des pays du pourtour méditerranéen. [105]

2.1.6 Dégâts et Dommages causés par la processionnaire de pin :

2.1.6.1 Les défoliations

La chenille processionnaire du pin est un des ravageurs des forêts les plus importants de la région méditerranéenne qui s'observe fréquemment dans les forêts de pins ainsi que dans les forêts de cèdres en Afrique du Nord [109]. Dès l'éclosion, à l'automne, les chenilles commencent à se nourrir des aiguilles de l'arbre hôte, puis les défoliations s'intensifient au cours de l'hiver [110] (figure 2.9). Les défoliations apparaissent en fin d'automne et surtout au début du printemps et peuvent être très sévères dans des zones nouvellement plantées et elles peuvent entraîner la mort des arbres si les populations sont importantes, directement ou comme conséquence de l'attaque par des scolytes ou autres insectes qui creusent dans le bois [87].



Figure 2.9 : Défoliation totale d'un arbre de pin d'Alep par la chenille processionnaire à Attatba. (Originale ,2011)

DEMOLIN et RIVE [111] montrent que les pins d'Alep régulièrement défeuillés subissent une perte de croissance en hauteur pouvant atteindre 30 à 40 % sur des arbres de 5 ans. Une population de chenilles de la processionnaire du pin équivalente à 3 bourses provoque une défeuillaison totale sur des pins d'Alep de 10 à 15 ans (environ 2,4 m de haut). La réduction de croissance mesurée pendant la première année qui suit l'année de défeuillaison, est de l'ordre de 35 %, tant en circonférence qu'en hauteur [112]. En calculant les variations d'accroissement des cernes annuels entre les années de fortes et de faibles infestations; les pertes de production en volume atteignent 47% dans la zone des dégâts de défeuillaison importante et 44% dans celle des dégâts de défeuillaison moins importance [113]. LEMOINE [117] a identifié une réduction de la croissance de la circonférence de 30% après une attaque sur *Pinus pinaster*. Chez les *Pinus nigra*, suite à la défoliation provoquée par *Thaumetopoea pityocampa*, l'anneau de croissance correspondant à l'année suivant une attaque sévère n'apparaît pas, ce qui provoque, une réduction de 35% de la croissance radiale [118]. Par ailleurs, les arbres subissant des défoliations successives deviennent attractifs pour les insectes xylophages comme les scolytes. Dans les jeunes reboisements situés en zone semi-aride comme en Algérie, on observe une mortalité sur pied des jeunes arbres soumis à des défoliations répétées. 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. Une colonie utilise 1,5 à 2 Kg (en poids sec) d'aiguilles et il suffit de 4 ou 5 colonies pour mettre entièrement à nu un arbre de pin de 20 ans [114].

2.1.6.2 Risques pour l'homme et les animaux :

Les chenilles processionnaires sont recouvertes de poils urticants qui, dispersés par le vent ou par nous-mêmes peuvent provoquer une irritation chez les personnes et les animaux. En effet, elles disposent de poils urticants pouvant provoquer des lésions non seulement par contact direct, mais aussi indirectement, par dissémination aérienne [89]. L'appareil urticant de la chenille processionnaire se met en place au cours du développement larvaire. A partir du troisième stade larvaire (L3), des poils microscopiques urticants apparaissent progressivement sur la partie dorsale des segments abdominaux. Au dernier stade larvaire, ces plages, dites « miroirs », sont entièrement garnies de poils urticants. Les poils des chenilles, en particuliers à partir de mi-automne (3ème stade larvaire), sont très urticants. Ils provoquent de fortes irritations de la peau et parfois des réactions allergiques chez les mammifères et l'homme [89]. Des études au microscope électronique à balayage menées par Bergaud et al, en 1979 [245] ont dévoilé la structure particulière des poils urticants, qui intervient notamment dans le rôle pathogène de la chenille [89 ; 120].

Ces poils, très légers et fragiles, se détachent très facilement dès que la chenille est inquiétée ou excitée et peuvent être emportés par le vent. Lorsque le poil se brise, dès le premier contact, la substance urticante et allergisante qu'il contient, la « thaumétopoéïne », se libère provoquant des démangeaisons très vives. De plus, les chenilles portent des poils urticants à partir du 3ème stade [57], qui peuvent provoquer des allergies menant à des conjonctivites, des congestions respiratoires et de l'asthme [59]. Ces irritations se caractérisent par des érythèmes ou des éruptions prurigineuses accompagnées parfois d'atteintes oculaires ou pulmonaires. Des urtications (démangeaisons, gonflement des paupières) sont provoquées par les poils des derniers stades d'évolution larvaire, Les poils sont très présents dans les nids définitifs puisque deux mues y sont effectuées et

peuvent rester urticants pendant plusieurs années s'ils sont préservés de l'humidité.

2.1.7 Moyens de lutte contre la chenille processionnaire du pin :

La lutte contre la Chenille processionnaire du pin consiste à protéger les jeunes peuplements, et à limiter les populations de ravageurs à un taux acceptable avec la présence anthropique. Les moyens de lutte contre ce ravageur à grande échelle sont assez limités, quatre aspects principales de lutte: chimique, mécanique, sylvicole et biologique en fonction des surfaces infestées. D'autres méthodes ont été considérées, comme l'utilisation de la phéromone sexuelle à des fins de piégeage de masse ou de lutte par confusion et la lutte naturelle par les prédateurs.

2.1.7.1 La lutte chimique :

La lutte chimique, utilisée jusqu'au début des années 90, était principalement basée sur l'utilisation d'un insecticide à base de Diflubenzuron, qui s'avérait très efficace [122]. Cet insecticide utilisé est généralement régulateur de croissance qui perturbe le processus de mue larvaire [92]. Cependant, cette méthode est aujourd'hui entrée en fort recul du fait du fort impact écologique du diflubenzuron qui est un insecticide à large spectre.

2.1.7.2 La lutte mécanique

Elle consiste à détruire manuellement les pontes et les nids d'hiver par échenillage. La récolte des pontes se réalise en été avant l'éclosion des œufs. L'opération consiste à couper les rameaux infectés et les brûler. Dès l'apparition des pré-nids et du début de construction des nids d'hiver, il est possible d'appliquer le même procédé : couper les rameaux infectés avec un sécateur et les brûler. Cette méthode est très efficace, elle permet la destruction des nids, le port de gant-lunettes-masque est indispensable. Prélèvement à l'aide d'un sécateur ou échenilloir des pré-nids et nids d'hiver. Incinérer dans un container les nids, afin d'éviter la dispersion de poils urticants lors de la combustion.

2.1.7.3. La lutte sylvicole :

La lutte sylvicole consiste à planter des essences d'arbres qui ne sont pas sensibles à l'insecte considéré. La diversité des essences forestières réduit généralement la colonisation par la processionnaire du pin et favorise le cortège parasitaire (ennemis naturels) en leur apportant un abri. Les peuplements forestiers mélangés subissent en général moins de dégâts d'herbivores que les peuplements purs [92].

2.1.7.4. Lutte microbiologique :

La lutte microbiologique à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk) est actuellement la plus utilisée contre la processionnaire [123]. A l'échelle mondiale, elle représente 90 % du marché mondial des biopesticides. Après ingestion des toxines présentes à la surface du feuillage (les aiguilles) conduit à la mort des chenilles par perforation de la paroi membranaire des cellules de son intestin. La bactérie *Bacillus thuringiensis kurstaki*, plus communément appelé Bt, est utilisée depuis plus de 50 ans de façon relativement sécuritaire pour contrôler les populations d'insectes ravageurs des cultures et des forêts et les vecteurs de maladies humaines. L'application du produit se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires. Il semble que le *Bacillus thuringiensis kurstaki* est aussi efficace contre les chenilles du quatrième et le début du cinquième stade [124]. Elle doit être effectuée avant les processions. Ce traitement est respectueux de l'environnement. Autre lutte microbiologique virale ; à la suite de l'isolement d'un virus responsable de la mortalité de chenilles processionnaires du pin, des études ont été conduites dans les années 1950 afin d'évaluer l'utilisation potentielle de ce virus cytoplasmique, le *Smithiavirus pityocampa*, comme moyen de lutte contre *T. pityocampa* Grison *et al*, [120]. Il induit l'hypertrophie des cellules de l'épithélium de l'intestin moyen et leur destruction, ce qui conduit à la mort de la chenille infestée, généralement au cours d'une mue. Certains ont alors observé les chenilles mourantes accrochées par leurs « fausses-pattes » à l'extérieur du nid.

Toutefois, la production du virus en masse nécessitant une multiplication sur des organismes vivants et impliquant un élevage important de chenilles processionnaires, cette méthode n'a pas été retenue comme moyen de lutte à long terme [121 ; 126].

2.1.7.5 Lutte par l'utilisation des phéromones sexuelles :

La ptyolure, phéromone sexuelle émise par la femelle, peut être recrée artificiellement. Cette phéromone de synthèse est utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges pour un piégeage massif des mâles ou un suivi de population, « le monitoring » [125]. Le piégeage de masse consiste à quadriller régulièrement une surface sensible avec des pièges à phéromone dans le but de capturer un maximum d'adultes mâles et ainsi d'éviter la rencontre avec les femelles. Le nombre de pièges à disposer à l'hectare est de 6 à 9 pièges. Quelque soit la taille du dispositif (forêt ou jardin), le nombre est le même. Elle peut aussi être employée, sans piège, pour engendrer une confusion sexuelle afin de réduire les chances de reconnaissance de la femelle par le mâle. La diminution des femelles fécondées va induire une réduction de la descendance [124].

2.1.8 Rôle des ennemis naturels (tableau 2.2 et figure 2.10):

Les prédateurs de la chenille processionnaire du pin sont nombreux et se différencient par leurs cibles : certains s'attaquent aux œufs, d'autres aux larves, aux chrysalides ou aux adultes. Le principal prédateur des chenilles est le grand calosome, un Coléoptère vivant ordinairement sur le sol. C'est la larve de calosome, qui en fait la plus grosse consommation. Elle monte parfois aux arbres pour chasser ses proies (figure 2.10). La Mésange bleue, (*Parus caeruleus*), est considérée aussi comme grande consommatrice de chenilles [90]. L'hypothèse du rôle des ennemis naturels, proposée par Root [127] et revue par Russel [128], suggère que la diversité des essences végétales peut favoriser les ennemis naturels en leur apportant un abri, des sites d'oviposition ou d'hibernation, des hôtes ou proies alternatifs, ou encore une alimentation complémentaire pouvant améliorer leur fitness. Les études effectuées sur les taux de parasitisme ou de prédation dans toute l'aire de répartition de la processionnaire du pin présentent que dans certaines régions particulièrement en France, le taux de pontes attaquées peut atteindre 100 %, alors que celui d'œufs détruits atteint 28 % [130]. SCHMIDT *et al.* [131] ont constaté sur la péninsule ibérique un taux de parasitisme des pontes variant de 11,3 à 31,7 %, alors que WAY *et al.*, [132] ont observé dans le même temps une régulation naturelle des populations de

processionnaires du pin par une fourmi *Linepithema humile*. Une liste des ennemis naturels de la processionnaire à tous les stades de son cycle est présentée dans la bibliographie (tableau 2.2) [133].

Les principales espèces prédatrices sont les oiseaux : Les chenilles de processionnaire peuvent être prédatées à n'importe quel stade dans leur nid d'hiver par plusieurs espèces d'oiseaux, notamment les mésanges [134]. Les chrysalides peuvent être prédatées par un oiseau, la huppe fasciée *Upupa epops*, dont le long bec est adapté à la recherche de nymphes enfouies dans le sol [135]. Les espèces plus spécialistes des chenilles processionnaires sont le coucou-geai et le coucou commun, la huppe, et l'engoulevent), tandis que les mésanges sont plus généralistes. Des études ont notamment mis en évidence que la densité des nids de chenilles processionnaires était moins élevée à proximité de nichoirs.

Les œufs peuvent être prédatés par plusieurs espèces d'Orthoptères, notamment l'éphippigère *Ephippiger ephippiger* [152]. Le calosome sycophante (*Calosoma sycophanta*) un carabe, insecte coléoptère vivant sur le sol, monte parfois aux arbres pour attraper ses proies, dont l'adulte et sa larve sont des prédateurs très efficaces des chenilles.

Deux espèces principales de parasitoïdes attaquent les œufs de processionnaires. Leur biologie a été largement étudiée et décrite par Masutti [136] :

* *Baryscapus servadei* (Domenichini) (Hymenoptera, Eulophidae) est une espèce spécialiste dont les dates d'émergence correspondent avec la période de présence des œufs de processionnaire. Les individus émergés en premier sont capables de parasiter à nouveau les pontes de processionnaire immédiatement après leur émergence, leur permettant de réaliser deux générations par an.

* *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) (Hymenoptera, Encyrtidae) est une espèce généraliste qui a déjà été élevée sur des hôtes variés défoliateurs de résineux et de feuillus [137]. Les individus de cette espèce émergent deux mois avant la période de présence des œufs de processionnaires et sont également capables d'accomplir deux générations par an.

Phryxe caudata (Rondani) (Diptera, Tachinidae) est le principal parasitoïde spécialiste des chenilles. Deux générations de cette espèce peuvent se

développer sur une même génération de l'hôte. Les œufs de la première génération sont pondus sur les jeunes chenilles de processionnaire à partir du stade L2. Les adultes émergent avant la mue L4/L5 et pondent directement sur les chenilles du stade L5. Les jeunes larves de la seconde génération quittent la chrysalide de l'hôte pour former leur pupes au moment des émergences des papillons [138].

Enfin, durant sa phase sous-terrainne, la processionnaire est essentiellement parasitée par un Diptère, *Villa brunnea* (Becker) (Diptera, Bombyliidae), dont les adultes volent de juillet à septembre. Les femelles déposent leurs œufs durant les heures les plus chaudes de la journée, après les avoir enrobés de terre, en les projetant au sol à l'abri du soleil. Après éclosion, les jeunes larves s'enfoncent dans le sol à la recherche d'un cocon. Elles pénètrent à l'intérieur des chrysalides de processionnaire pour y finir leur développement [139 ; 140]. Des bactéries notamment *Bacillus thuringiensis kurstaki* des virus comme *Smithiavirus pityocampae* peuvent également infecter la processionnaire au stade larvaire.

Tableau 2.2: Les ennemis naturels de la processionnaire du pin [133]:

stades	Parasites	Prédateurs	Bactéries	Virus-champignons
Œuf	<i>Tetrastichus servadeii</i> (Hymenoptera : Eulophidae) <i>Oencyrtus pityocampae</i> (Hym.: Encyrtidae) <i>Trichogramma sp</i> (Hymenoptera:Trichogrammidae) <i>Anastatus bifasciatus</i> (Hymenoptera : Eupelmidae)	<i>Ephippiger ephippiger</i> (Orthoptera : Tettigoniidae)		
Chenille	<i>Phryxe caudata</i> (Diptera : Larvaevridae) <i>Compsilura concinnata</i> (Diptera : Tachinidae) <i>Ctenophora pavidata</i> (Diptera : Tachinidae) <i>Erigorgus femorator</i> (Hym.: Ichneumonidae) <i>Meteorus versicolor</i> (Hymenoptera : Braconidae) <i>Xantandrus comtus</i> (Diptera : Syrphidae)	<i>Calosoma sycophanta</i> (Coleoptera : Carabidae) (<i>Parus caeruleus</i>) mésange	<i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> <i>Borrelina sp</i> <i>Clostridium sp</i>	<i>Smithiavirus pityocampae</i> <i>Beauveria bassiana</i> <i>Aspergillus flavus</i> <i>Scopulariopsis</i>

				sp
Chrysalide	<p><i>Villa brunnea</i> (Diptera : Bombyliidae)</p> <p><i>Inchneumon rudis</i> (Hymenoptera : Ichneumonidae)</p> <p><i>Conomorium eremita</i> (Hym. : Pteromolidae)</p> <p><i>Villa quinquefasciata</i> (Diptera : Bombyliidae)</p> <p><i>Calosoma sycophanta</i>, (Coleoptera : Carabidae)</p>	<p><i>Calosoma sycophanta</i>, (Coleoptera : Carabidae)</p> <p>(<i>Upupa epops</i>) huppe</p>		

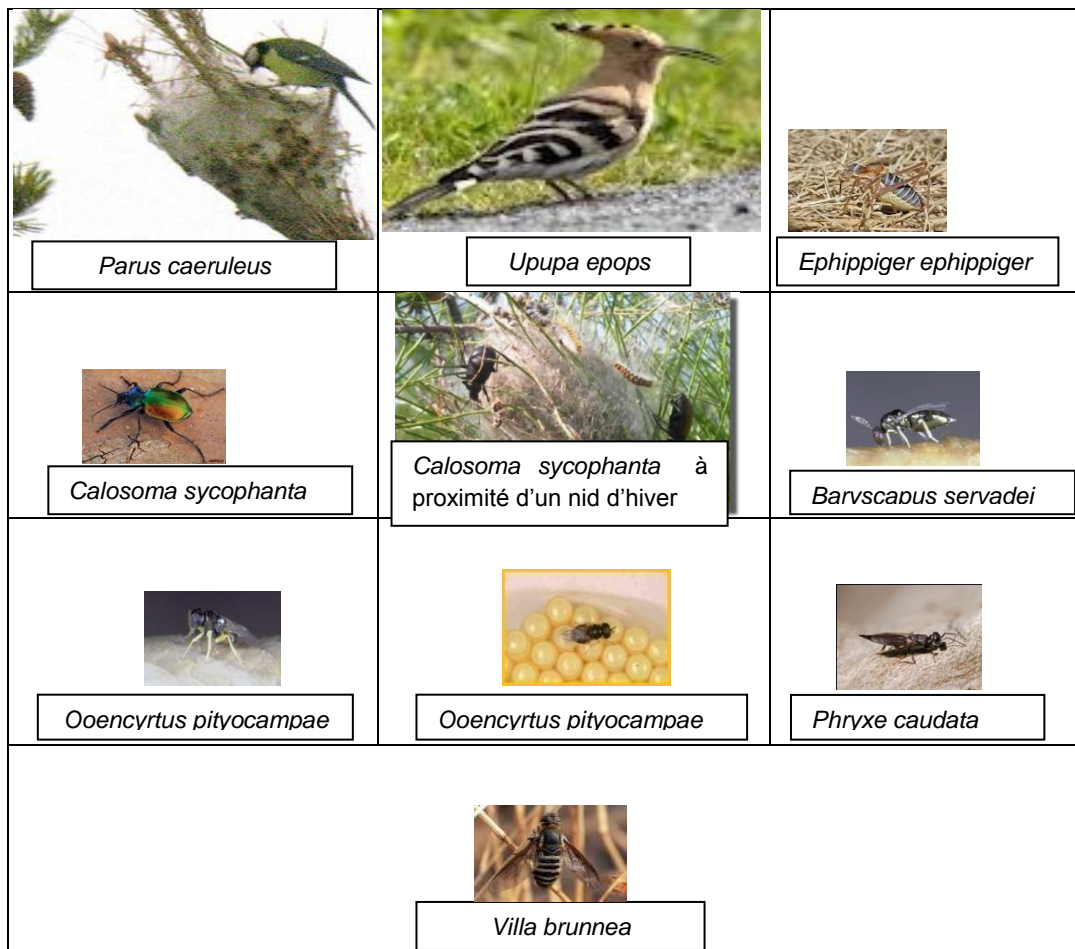


Figure 2.10 : Ennemis naturels de la processionnaire du pin [133]

CHAPITRE 3

LUTTE MICROBIOLOGIQUE, INSECTICIDES BOTANIQUES, BIOMARQUEURS

3.1 Introduction :

C'est dans les années 40 que les premiers pesticides de synthèse sont apparus sur le marché, avec des résultats très positifs quant à l'augmentation des rendements agricoles. Vingt ans plus tard, les premières accusations d'atteinte à la santé des gens et à l'environnement se firent entendre [182]. On estime que 2,5 millions de tonnes de pesticides sont appliqués chaque année sur les cultures de la planète. La part qui entre en contact avec les organismes indésirables cibles - ou qu'ils ingèrent - est minime. La plupart des chercheurs l'évaluent à moins de 0,3%, ce qui veut dire que 99,7% des substances déversées s'en vont « ailleurs » [183]. Comme la lutte chimique expose inévitablement aux traitements des organismes non-cibles - dont l'homme - des effets secondaires indésirables peuvent se manifester sur des espèces, des communautés ou des écosystèmes entiers.

Les biopesticides d'origine végétale peuvent constituer une solution alternative, leurs propriétés pesticides et leur relative innocuité environnementale en font des composés très intéressants pour les traitements phytosanitaires à venir [184,185]. L'antinomie des termes « pesticides » « bios » souligne que les biopesticides s'inscrivent dans la lutte contre les organismes fléaux et sont basés sur l'utilisation d'agents ou facteurs liés à la vie. Longtemps, on a débattu pour savoir s'il fallait prendre en considération comme biopesticides les seuls organismes vivants antagonistes aux fléaux ou si des molécules biosynthétisées et des composés extraits d'un organisme vivant pouvait être considérés comme biopesticide.

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.

3.2 Les agents de lutte microbiologique

Les micro-organismes utilisés en lutte microbiologique appartiennent à plusieurs taxons à savoir les virus, les bactéries, les micro-champignons. Les formulations de biocides à base de micro-organismes deviennent de plus en plus performantes avec des prix compétitifs [256 ; 257]. Ces micro-organismes possèdent des formes de résistance leur permettant de persister dans l'environnement et de perpétuer leur cycle de vie [258]. Cependant, ils ont des spectres d'action assez étroits en raison de facteurs abiotiques limitants pour leur développement optimal tels que les UV [259 ; 260]. Les variations suboptimales de température [261 ; 262] et de l'humidité [263 ; 264].

3.2.1. Les bactéries

Plus d'une centaine de bactéries ont été identifiées comme ayant un potentiel entomopathogène et utilisées en lutte biologique [257] et appartenant surtout aux Bacillaceae, Enterobacteriaceae et Pseudomonaceae [265]. *Bacillus thuringiensis* et *Bacillus sphaericus* sont les espèces les plus utilisées en lutte contre les ravageurs. Pour *B. sphaericus*, la toxine est localisée dans la paroi sporale et va être libérée par une digestion partielle de la bactérie dans le tube digestif de la larve de l'insecte. La toxine pénètre dans la membrane péritrophique du tube digestif et empoisonne la larve [285]. Quatre (04) types de toxine peuvent être isolées du *B. thuringiensis*, les α -exotoxines; β -exotoxines; δ -endotoxines et γ -exotoxines. Dans le mésenteron de l'insecte, en présence d'un pH stomacal basique (8,9), le cristal va se désintégrer pour libérer une endotoxine, 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 ou par une septicémie provoquée par la multiplication de la bactérie dans l'hémolymphe et les tissus [266 ; 265].

3.2.1.1. *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk) :

3.2.1.1.1 Généralités

Bacillus thuringiensis kurstaki est une bactérie naturellement présente dans le sol. Elle est anaérobie facultative, en forme de bâtonnet, Gram-positive, flagellée et caractérisée par la production d'un cristal protéique durant la sporulation constitué de protéines présentant une activité insecticide spécifique [288]. On retrouve, plus de 40 sous-espèces connues et classifiées d'après l'antigène H flagellaire, la forme du cristal protéique, la grosseur et la présence d'antigènes. Certains chercheurs ont procédé à la classification selon les gènes codés pour la formation des cristaux, différenciant ainsi entre des sous-espèces [66]. *Bacillus thuringiensis kurstakie* est chimiohétérotrophe c'est-à-dire qu'elle utilise des produits organiques comme sources métaboliques d'énergie, d'hydrogène, d'électrons et de carbone [286]. De façon générale, son métabolisme repose sur la glycolyse (ou voie D'embden-Meyerhof, qui permet la dégradation du glucose en présence d'oxygène), du cycle des acidestricarboxyliques (TCA) (production l'énergie ; d'ATP) [286] et du cycle glyoxylique.

3.2.1.1.2 Historique :

Bacillus thuringiensis kurstaki, mieux connu de par ses initiales (Btk), est une bactérie omniprésente sur la planète et découverte au Japon au début du siècle (appelée à l'époque *Bacillus sotto*) [208]. En 1911, le biologiste allemand Berliner identifiait sur des chrysalides infectées de la teigne de la farine, un *Bacillus*, qui a été baptisé du nom de la province de Thuringe, d'où il avait été isolé [287]. Les premières formulations commerciales ont été fabriquées en France, en 1938 et servaient d'insecticide agricole (le Sporeine) [290]. Cependant le produit n'étant pas au point, il était très peu utilisé. Dans les années 50, il a été prouvé que *Bacillus thuringiensis kurstaki* tuait les larves de lépidoptères grâce à une inclusion protéique aux propriétés insecticides appelée cristal. Néanmoins, il a fallu attendre le début des années 70, afin que des recherches améliorent la formulation du produit existant et mènent à la découverte de nouvelles souches;le Bt est alors devenu beaucoup plus populaire [291]. Aujourd'hui, environ 50 000 souches de Bt ont été isolées de par le monde. On retrouve entre autres *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* de sérotype HD-1 (toxique pour de nombreux insectes ravageurs agricoles), qui a été découverte dans les années 60 [292].

Dans les années 70, c'est au tour de *Bacillus thuringiensis var. israelensis* d'être isolée et utilisée pour ces effets toxiques contre les moustiques et les mouches noires. Finalement, au milieu des années 1980, il y a eu la découverte de *Bacillus thuringiensis var. tenebrionis*, active contre plusieurs Coléoptères [293]. Il est à noter que toutes ces souches de bactéries sont spécifiques aux insectes cibles et présentent une innocuité totale à l'égard de la faune non ciblée, la flore et les humains.

3.2.1.1.3 Applications, toxicité et effet sur l'environnement

Les premières applications de Bt dans l'environnement ont eu lieu en 1933. Bien que le Bt soit disponible sur le marché depuis 1938, c'est la mise au point de la méthode de fermentation liquide aérobie en cuve profonde qui, en permettant la production de préparations de spores et de cristaux, a rendu possible sa commercialisation à grande échelle au cours des années 1950. Le Bt a été utilisé massivement en Amérique du Nord contre plus de 40 ravageurs dans des champs, des forêts, des vergers, des vignobles, des parcs et des jardins [294]. Les premières formulations commerciales de Bt ont été mises à l'essai au champ aux États-Unis en 1958 [268]. En 1961, la sous-espèce *kurstaki* (Btk) a été utilisée comme biopesticide contre des Lépidoptères nuisibles sensibles. La plupart des insecticides à base de Bt renferment des cristaux de δ -endotoxines et des spores qui amplifient par synergie la toxicité des cristaux. Même si l'efficacité de ces premiers insecticides à base de Bt était souvent imprévisible, les travaux de recherche et de développement visant à améliorer les formulations et les modes de distribution et d'application et à trouver de nouvelles souches plus actives ont progressé lentement. Le marché était dominé par des produits renfermant l'isolat HD-1 de la sous-espèce *kurstaki* utilisés contre diverses espèces de Lépidoptères s'attaquant aux arbres forestiers et aux grandes cultures. Les Lépidoptères sont demeurés à toutes fins utiles les seules cibles du Bt jusqu'au milieu des années 1970.

Le Bt est le biopesticide le plus utilisé dans le monde. Le premier produit commercial contenant du Bt a été lancé en France dès 1938 [167]. En 1972, homologation en forêt d'une préparation commerciale, les premiers traitements microbiologiques à base de BtK contre les chenilles défoliatrices des forêts ont

commencé. L'insecticide utilisé, I.A.B-BT de la société *agrichem de Ain-Benian - Alger* est un produit de type biologique à base de bacille de Thuringe (*Bacillus thuringiensis kurstaki*), respectant l'environnement et homologué par l'autorité phytosanitaire Algérienne.

Tableau 3.1 : Classification (incomplète) des δ -endotoxines de *B. thuringiensis*

δ -endotoxines (Cry)			Insectes sensibles	Souches de <i>B. thuringiensis</i> (exemples)	Structure des cristaux
Classes	Taille (kDa)				
I	A B C D E F	130 - 140	Lépidoptères	kurstaki berliner entomocidus aizawai kenyae	Bipyramidale
II	A	71	Diptères et Lépidoptères	<i>kurstaki</i>	Cubique
	B	71	Lépidoptères	<i>kurstaki</i>	
III	A B	68 - 73	Coléoptères	<i>tenebrionis</i>	Rhomboédrique
IV	A B	125 - 145	Diptères	<i>israelensis</i>	Sphérique

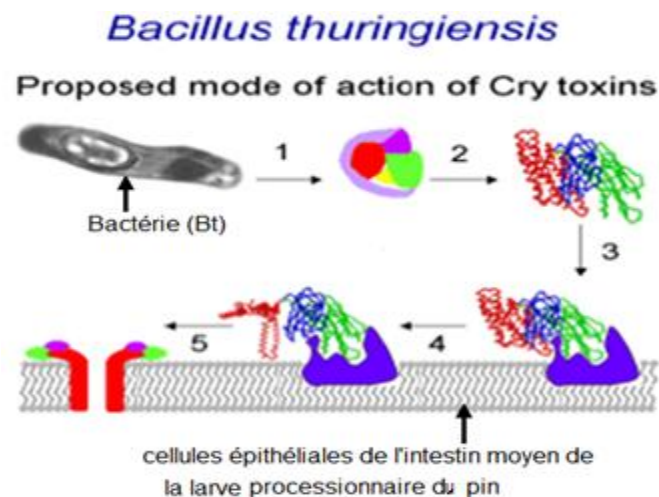


Figure 3.1 : Mécanisme d'action des protéines insecticides (Cry toxines) [199]. (1. Ingestion des cristaux par la larve et solubilisation de protoxine. 2. activation protéolytique par les enzymes intestinales de l'insecte. 3. Interaction avec un récepteur membranaire après polymérisation et insertion dans la membrane [surface cellulaire en

liaison avec la protéine (des toxines activées)]. 4. Changement de conformation en épingle à cheveux 4-5 hélicoïdale. 5. Oligomérisation et l'insertion dans la membrane pour former des pores, induisant une lyse osmotique et la mort de l'insecte.)

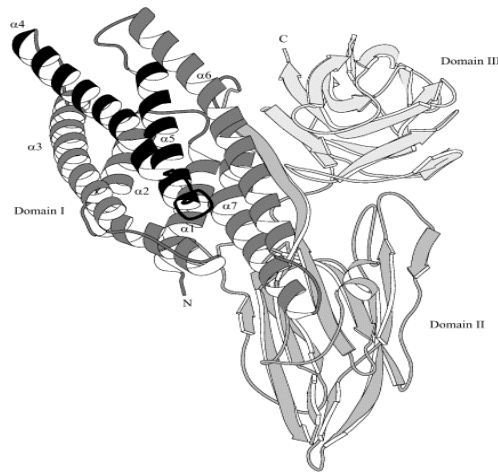


Figure 3.2 : Représentation d'une protéine insecticide Cry avec la mise en évidence des 3 domaines structuraux de la toxine (domaines I, II et III). La région transmembranaire apparaît en noir [201].

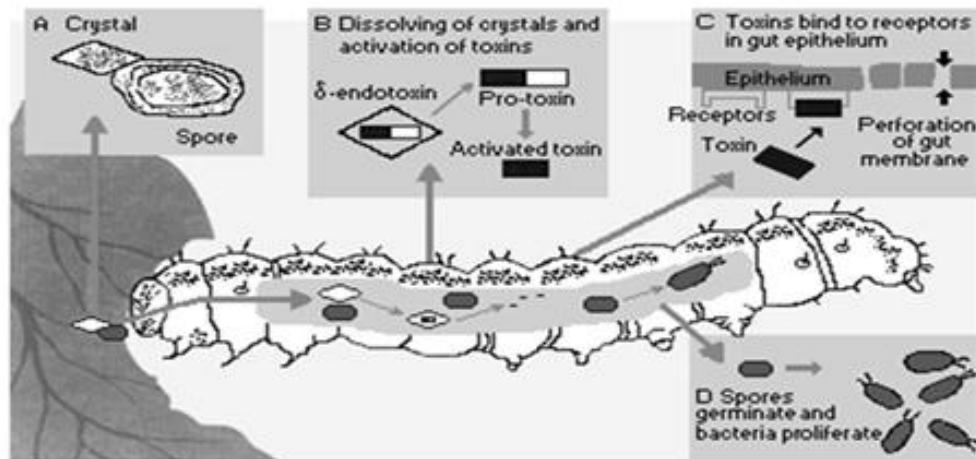


Figure 3.3 : Mécanisme d'action des toxines de Bt [201].

En respectant la dose recommandée, *B. thuringiensis kurstaki* n'a aucune toxicité sur les êtres vivants, à part sur les larves des Lépidoptères. Vu sa spécificité, il est sans effet sur les autres insectes, tels que les abeilles, les prédateurs ou les parasites, ainsi que vis-à-vis des Hommes et des mammifères en général (gibier, bétail), des oiseaux et des mollusques [206] ; [207].

3.2.2. Virus

Les virus entomopathogènes se divisent généralement en deux grands groupes distincts, d'une part, ceux possédant des corps d'inclusion paracristallin et ceux sans corps d'inclusion. On les regroupe en sept familles. Ce sont, les Baculoviridae, Reoviridae, Poxviridae (à corps d'inclusion); les Iridoviridae, Parvoviridae, Picornoviridae et les Rhabdoviridae (sans corps d'inclusion) [269 ; 270]. Ces familles renferment la plupart des 650 espèces de virus entomopathogènes connues [264]. Ce sont les Baculoviridae, les Reoviridae [271] et les virus entomopox (poxviridae), parasites des acridiens qui sont les plus utilisés en lutte biologique, car ils sont bénins pour les vertébrés, les corps d'inclusion ne pouvant se développer que chez les insectes [272]. Les baculovirus ont depuis longtemps présenté un intérêt principalement pour leur spécificité. Ils n'ont en effet été observés que chez les invertébrés et en particulier chez les insectes [273].

Au cours du processus d'infection dans le noyau des cellules, ces virus forment des corps d'inclusion appelés polyèdres qui sont constitués de nombreuses particules virales dans une matrice protéinique composée principalement d'un simple polypeptide, la polyédrine. Les polyèdres ingérés vont être dégradés par les protéases du tube digestif de l'insecte et les virions libérés traversent les cellules intestinales pour se multiplier dans les hémocytes et dans les tissus adipeux.

Les caractéristiques principales des bioinsecticides viraux sont la spécificité, la haute virulence, la rapidité d'action et le niveau raisonnable de persistance dans l'environnement [274]. La rémanence des virus est cependant affectée par les radiations UV [275].

3.2.3. Microchampignons

Plus de 700 espèces de microchampignons sont entomopathogènes [257] et jouent un rôle important dans la régulation naturelle des populations d'insectes [276 ; 277] (fig. 3.4). Ils appartiennent au sous-taxon des Mastigiomycotina, Zygomycotina, Ascomycotina et Deuteuromycotina. Le plus grand nombre de pathogènes se trouvent dans la classe des Zygomycètes, mais les plus utilisées en lutte biologique proviennent des Deuteromycètes (*Fungi imperfecti*). Les

espèces des genres *Beauveria*, *Metharizium*, *Verticillium*, *Erynia*, *Hirsutella*, *Entomophthora* et *Entomophaga* sont les plus utilisées en lutte biologique [276 ; 278]. Ils ont un intérêt agronomique considérable dans la lutte biologique contre les ravageurs de cultures et sont donc l'objet d'études de plus en plus poussées. La pathogénécité 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 [279]. Les principaux facteurs limitant l'utilisation en champ des microchampignons sont abiotiques et vont entraîner la perte d'efficacité de l'inoculum fongique sur le couvert végétal. Les effets de certains facteurs sur la viabilité des conidies ont été très étudiés comme la température [261 ; 262], l'effet du rayonnement solaire sur la rémanence ou l'inactivation de l'inoculum infectieux [259 ; 280] l'effet de l'humidité [281 ; 282 ; 263 ; 264].

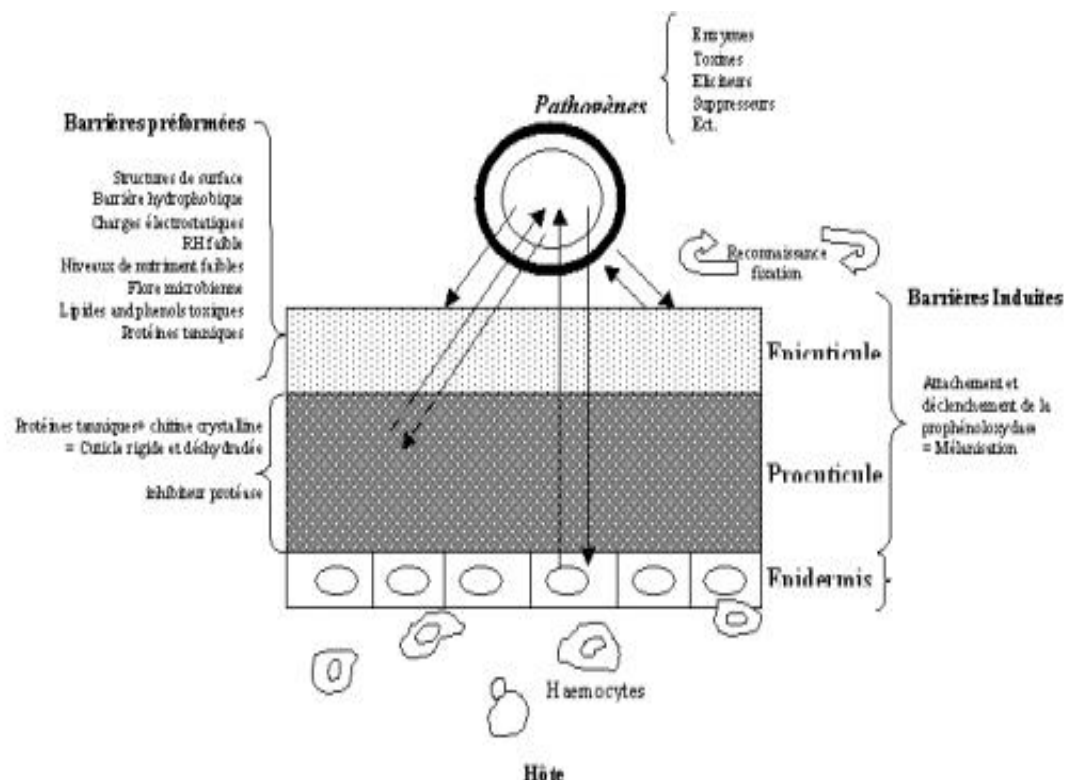


Figure 3.4 : Mode d'infection illustrant les composantes majeures des interactions entre les insectes et les pathogènes durant la pénétration à travers la cuticule.

[285].

3.3. Les biopesticides botaniques :

3.3.1. Définitions :

Les biopesticides botanique sont composés d'extraits botaniques [277 ; 283]. Quelques composés d'origine végétale étaient identifiés et abondamment utilisés comme répulsifs ou produits toxiques parmi les quels il y avait la nicotine (alcaloïde) et ses dérivés, la roténone, les pyrèthres et les huiles végétales [284]. Plus de 2000 espèces végétales dotées de propriétés insecticides ont été répertoriées d'après REGNAULT-ROGER C et al [295].

3.3.2. Les principaux biopesticides botaniques

Des travaux de recherches scientifiques attestent par leurs résultats que les extraits de plantes ont des propriétés intéressantes contre les microorganismes. Actuellement, on rapporte que 2121 espèces de plantes possèdent des propriétés de lutte antiparasitaire ; un total de 1005 espèces identifiées, présentent des propriétés insecticides, 384 avec des propriétés antiappétissantes, 297 possédant des propriétés répulsives, 27 avec des propriétés attractives et 31 avec des propriétés de stimulateurs de croissance [168].

3.3.2.1. Les biocides inertes

Dès l'Antiquité, les Chinois, les Grecs et les Romains utilisaient des plantes ou extraits de plantes avec du soufre et de l'arsenic [296]. Il a été rapporté que les Romains utilisaient des poudres préparées à partir de *Veratrum* sp. Comme insecticides et rodenticides tandis que des extraits d'ifs (*Taxus baccata*) ont été utilisés par certains peuples de l'hémisphère nord [267]. Sous les tropiques, l'utilisation du neem (*Azadirachta indica* Juss. Meliaceae) est répertoriée depuis au moins 4 000 ans [299].

Au XIXe siècle, seuls quelques composés d'origine végétale étaient identifiés et abondamment utilisés comme répulsifs ou produits toxiques parmi lesquels il y avait la nicotine (alcaloïde) et ses dérivés qui servaient à lutter contre les insectes piqueurs suceurs des plantes vivrières. La roténone s'est révélé un composé phytosanitaire du plus haut intérêt. Après une période d'accalmie autour de 1940, elle est redevenue populaire pour les adeptes de l'agriculture biologique. Elle est utilisée pour lutter contre le doryphore de la pomme de [298] ; Les pyrèthres

servaient pour se débarrasser des poux lors des guerres napoléoniennes [297]. Ces produits pouvaient provoquer de nombreux effets sur les mammifères mais vu leur instabilité à la lumière, à l'air et à l'humidité, ces risques étaient considérablement amenuisés. À cause de ces aspects, les pyréthrinoïdes de synthèse ont fait leur apparition [298].

3.3.2.2. Les extraits aqueux

Les extraits des plantes naturels sont utilisés dans nombreux pays pour lutter contre les insectes ravageurs des cultures. [300] ont montré que l'extrait des feuilles vertes de neem réduit l'infection due à *Puccinia arachidis* Speg.

Les extraits de *Melia azadirach* et d'*Azadirachta indica* ont affecté la fécondité et la mortalité de *Bemisia tabaci* [301 ; 302; 303]. La poudre et les extraits de *Capsicum frutescens* (Solanaceae) ont montré un pouvoir répulsif contre *Callosobruchus maculatus* [304;305 ; 306], *Rhyzopertha dominica* [307], *Sitophilus zeamais* Motsch et *Tribolium castaneum* [308 ; 309]. La toxicité des extraits des fruits du piment fort a aussi été notée chez *Rhyzopertha dominica*, *S. oryzae* (L.) et *T. confusum* J. du Val [310 ; 311].

Les extraits d'algues confèrent également une protection des plantes contre les attaques des insectes [153 ; 154 ; 155]. La fécondité de certains insectes serait réduite suite à leur application [154 ; 155], ainsi que l'infestation des racines par les nématodes et même leur fécondité [312 ; 313 ; 314 ; 315]. Ainsi l'expression de nombreux gènes de défense est induite suite à la pulvérisation de l'extrait d'algue verte (*Ulva spp*). En accord avec ces effets sur l'expression des gènes de défense, cet extrait engendre une protection accrue des plantes contre les attaques pathogènes [316 ; 317].

3.3.2.3. Les huiles essentielles

Selon AMIRAT et *al.* (2011) l'importance des plantes médicinales et aromatiques, y compris les espèces qui accumulent des produits volatiles, est évoluée de façon continue. L'utilisation des produits naturels renfermant les huiles essentielles pour la protection des cultures a été employée régulièrement comme bio-pesticide en phyto-protection. Actuellement, les insecticides à base d'huiles essentielles font l'objet d'études pour prendre la place des insecticides chimiques

dans le domaine de la phytoprotection. Les huiles essentielles constituent donc une source intéressante de nouveaux composés dans la recherche de molécules bioactives [327].

3.3.3. Les pesticides d'origine végétale utilisés actuellement :

Actuellement, on rapporte que 2121 espèces de plantes possèdent des propriétés antiparasitaire ; un total de 1005 espèces identifiées, présentent des propriétés insecticides, 384 avec des propriétés anti-appétissantes, 297 possédant des propriétés répulsives, 27 avec des propriétés attractives et 31 avec des propriétés de stimulateurs de croissance [168].

Les extraits végétaux ont longtemps été utilisés de manière empirique contre les bio-agresseurs. La meilleure connaissance des mécanismes d'action en oeuvre offre des perspectives nouvelles pour la protection des cultures, en raison de nombreux avantages écologiques. Deux approches existent : l'usage de formulations phytosanitaires spécifiques (biopesticides d'origine végétale) ou mixtes (association avec des pesticides organiques de synthèse), et la stimulation des réactions de défense des plantes. Ces deux démarches ouvrent des possibilités de développement commercial des substances naturelles d'origine végétale.

L'utilisation des plantes contre les bioagresseurs se fait généralement par le biais des extraits de un ou plusieurs de leurs compartiments, et leur efficacité dépend étroitement de leurs compositions en métabolites secondaires qui sont souvent considérés comme étant un moyen de défense de la plante productrice contre divers organismes comme les pathogènes et les ravageurs [169]. Selon BENAYAD [170], ces molécules appartiennent à des familles chimiques très diverses telles que les alcaloïdes, les phénols, les flavonoïdes, les terpénoïdes et les stéroïdes. Les extraits végétaux font l'objet d'études pour leur éventuelle utilisation comme alternative pour les traitements insecticides, bactéricides, nématocides et fongicides [157].

L'utilisation de poudres de certaines plantes comme le Basilic et Gardénia a prouvé aussi son activité insecticide contre plusieurs espèces de Bruches des denrées stockées [13].

Une étude réalisée par Erler et ses collaborateurs [198], signale que l'huile essentielle extraite à partir du feuillage frais de *Laurus nobilis* a une activité répulsive contre les femelles adultes du moustique (*Culex pipiens*), et un degré de répulsion intéressant contre les vecteurs de plusieurs maladies comme la malaria, fièvre jaune, dengue, encéphalite...etc.

L'activité insecticide et nématocide des extraits de *Lantana camara* Linn. constitue une étude préliminaire sur la recherche de nouvelles molécules bioactives à intérêt pesticide [12]. L'utilisation de poudres de certaines plantes comme le Basilic et Gardénia a prouvé aussi son activité insecticide contre plusieurs espèces de Bruches des denrées stockées [13]. Les travaux de Sashikala Devi *et al.* [14], ont montré que le fruit de *Luffa cylindrica* (Linn) présente une activité biologique non négligeable contre plusieurs souches de bactéries et champignons.

3.4. Les Biomarqueurs :

3.4.1. Introduction

Le biomarqueur est un outil de gestion environnemental qui complète les méthodes d'analyses traditionnelles étant plus sophistiquées et plus onéreuses. Il permet le suivi de la qualité des milieux et l'état de santé des individus dans le temps et dans l'espace en évaluant les polluants biodisponibles et leurs effets. Ainsi, le biomarqueur est un outil qui peut distinguer un état biologique normal d'un état anormal. Le biomarqueur est un outil qui permet de détecter et d'estimer rapidement la distribution de substances potentiellement toxiques dans le milieu. Il a été défini par LAGADIC *et al.* [334] comme étant "un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant.

Les difficultés résident plutôt au niveau des populations, des communautés et des écosystèmes naturels où l'évaluation des effets et des risques, est difficile vu la complexité du milieu. Les effets combinés de synergie et/ou d'antagonisme, à savoir entre les substances toxiques elles-mêmes et avec les substances naturelles du milieu, ainsi que les mécanismes d'adaptation et de compensation. Cependant un plan d'échantillonnage qui prend en compte le choix des espèces utilisées (ubiquité, sédentarité, adaptation...) et les caractéristiques biologiques des individus échantillonnés (sexe, âge, taille, état physiologique...), peut

contribuer à aplanir certaines difficultés. Dans le cadre du développement durable, les recherches se sont dirigées ces dernières années vers le suivi des effets des contaminants environnementaux en tant que xénobiotiques sur les paramètres biologiques plutôt que le suivi chimique des contaminants eux-mêmes [320]. En effet, les analyses biologiques permettent de fournir un diagnostic plus réaliste de l'impact des xénobiotiques (Fig. 3.5a et fig. 3.5b) [322].

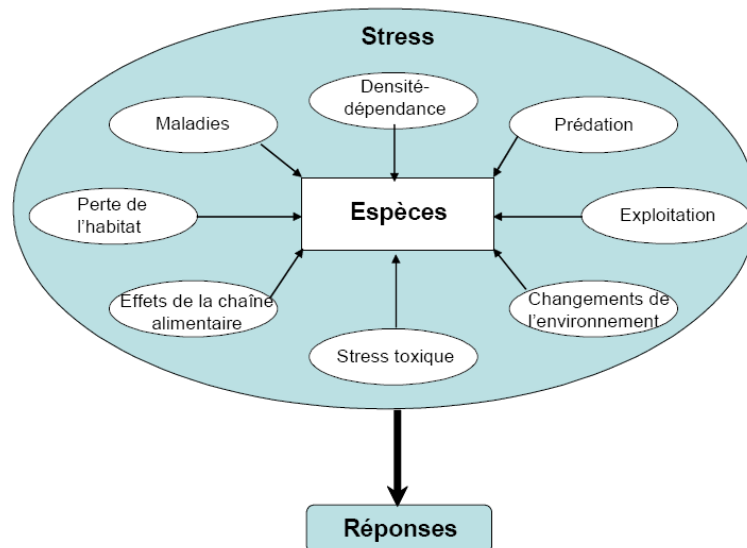


Figure 3.5_a : Représentation des différents facteurs des stress pouvant être subis par les organismes vivants (modifié d'après van der Oost et al. 2003 [323].)

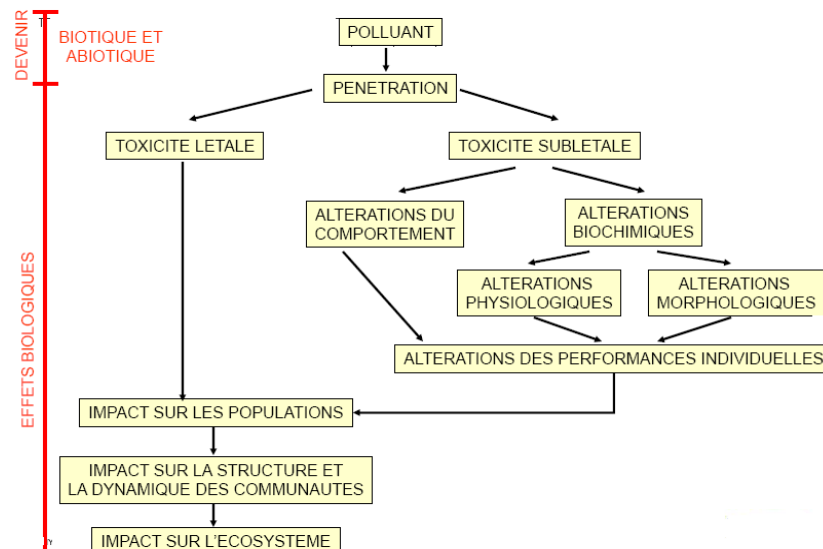


Figure 3.5_b : Enchaînement des effets toxiques sur les différents niveaux d'organisation biologique. (d'après Lagadic et al., 1997 [334] modifié).

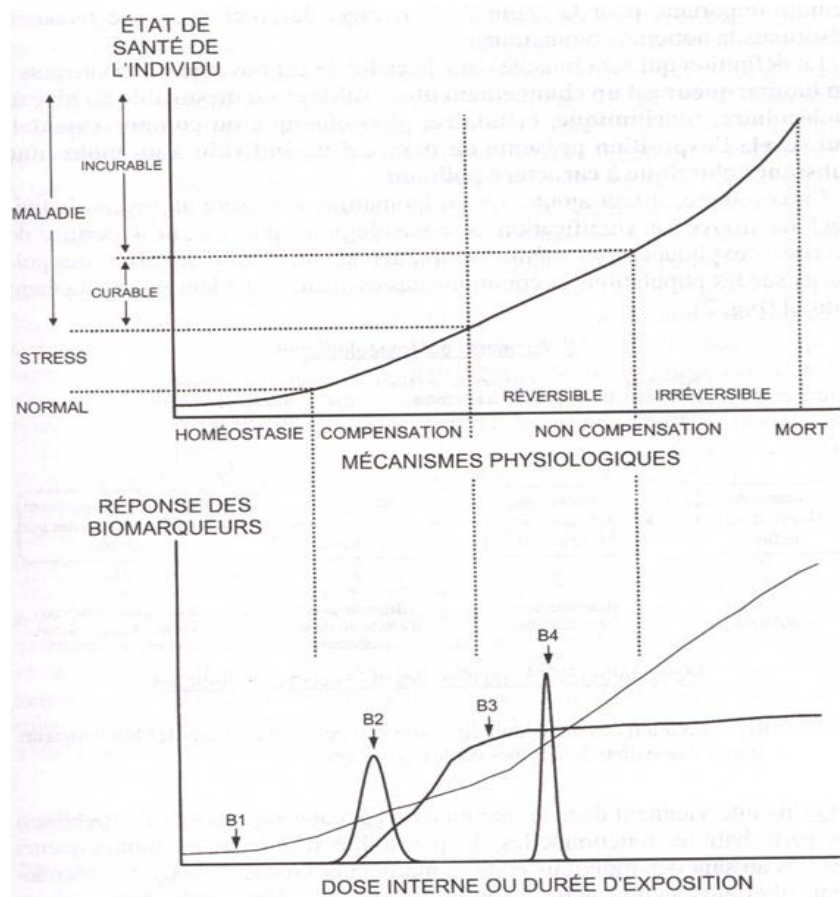


Figure 3.6 : Représentation schématique de l'évolution du rôle des biomarqueurs en fonction de la concentration en toxique ou de la durée d'exposition [321].

3.4.2. L'utilisation des bioindicateurs en tant que biomarqueurs :

Les biomarqueurs sont des bioindicateurs utilisés de façon complémentaire dans les mesures physico-chimiques pour indiquer la présence de xénobiotiques et/ou en mesurer leurs effets sur les organismes vivants [316 ; 317].

A travers le recours aux biomarqueurs, les mécanismes d'action des polluants (xénobiotiques) par exposition et / ou par leur l'impact sur les organismes seront évaluer et permettant de rendre compte des effets potentiels sur les individus [317 ; 318] En conséquence des relations doivent être établies entre les niveaux externes d'exposition, les niveaux internes de contamination des tissus et les effets défavorables précoces [323].

Les biomarqueurs ont été classifiés en trois catégories: les biomarqueurs d'exposition, d'effet et de susceptibilité [324], certains biomarqueurs peuvent être à la fois des biomarqueurs d'exposition et d'effet, voire de susceptibilité.

- Les biomarqueurs d'exposition sont en général impliqués dans les métabolismes de (dé) toxication des xénobiotiques (ex.: cytochromes P450) ou dans les mécanismes de défense cellulaire (ex.: enzymes antioxydantes).

- Les biomarqueurs d'effet correspondent à des cibles moléculaires qui, lorsqu'elles sont atteintes, signifient que les mécanismes de défense ou de détoxification de l'organisme n'ont pas été suffisamment efficaces pour contrer l'action néfaste d'un xénobiotiques (ex.: indicateurs de stress oxydatif, adduits à l'ADN). Les conséquences peuvent être parfois irréversibles, entraînant à terme la mort de l'animal ou bien une incapacité à se reproduire. De tels effets peuvent par la suite altérer la structure même des populations et donc des écosystèmes.

- Les biomarqueurs de susceptibilité peuvent correspondre à des protéines qui, lorsqu'elles sont surexprimées ou sous exprimées, augmentent la sensibilité d'un organisme à un contaminant.

Travis.CC(1993)[325], estime que les mesures utilisées dans chacune des catégories de biomarqueurs se basent sur les niveaux d'effets observés en présence d'un stresser à savoir : des effets primaires (Réponses biochimiques: hormonales, et dysfonctionnements métaboliques), des effets secondaires (Réponses physiologiques en termes de variation des teneurs en réserves énergétiques (figure 3.5), réponses du système circulatoire, immunosuppression) et des effets tertiaires (Paramètres populationnels comme la croissance, la reproduction, la survie, et le comportement).

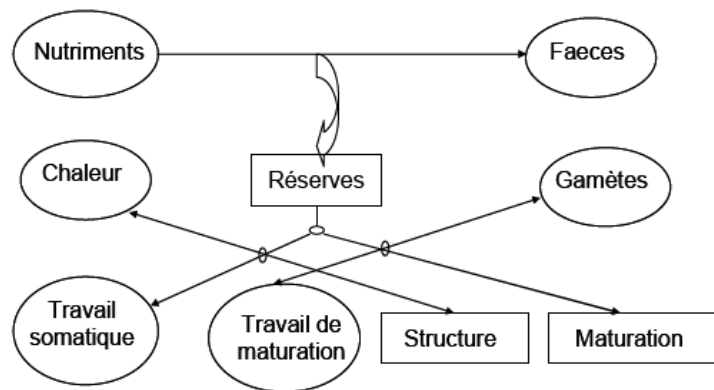
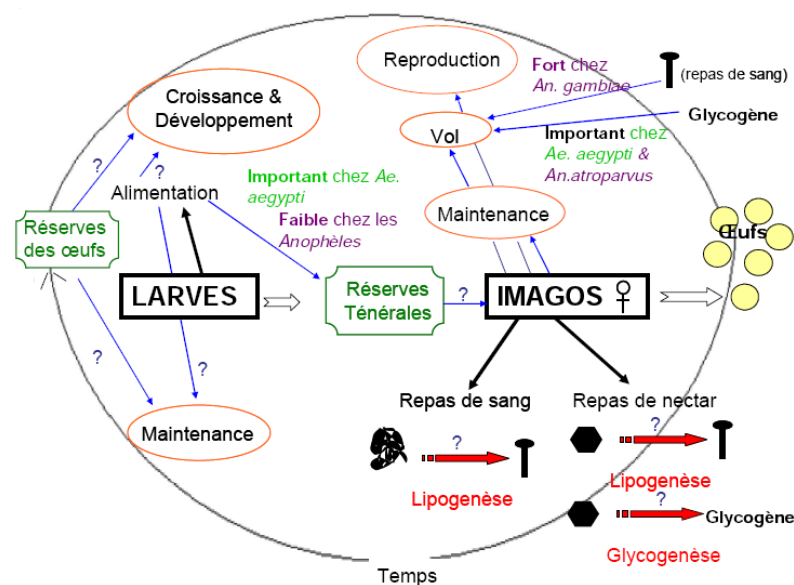


Figure 3.7: Flux énergétiques au sein d'un organisme pluricellulaire.

Les boîtes rondes représentent les sources énergétiques alors que les boîtes carrées représentent les puits énergétiques [254]. Les flèches représentent des flux d'énergie.

Dans le cas d'un insecte holométabole le moustique, les individus peuvent investir l'énergie de façon maximale dans tous les traits lorsque les conditions sont favorables [326]. Chez les larves, il y a allocation énergétique vers la croissance et le développement. Les réserves ténérales sont représentées sous la forme d'un stockage de lipides, de protéines et de sucres. Chez les imagos, l'allocation énergétique sert principalement à la production d'oeufs. (Figure 3.8).



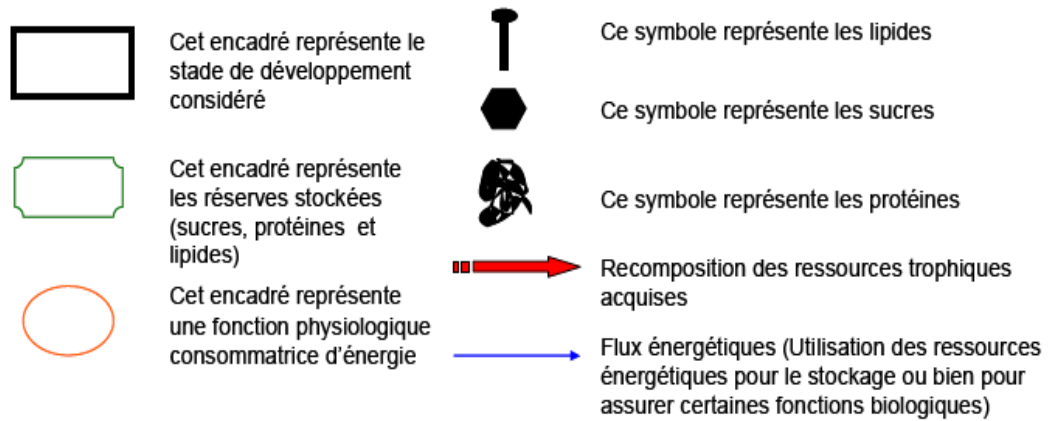


Figure 3.8 : Allocation des ressources en fonction du stade de développement chez les moustiques du genre *Anopheles* (*Diptera*) Les points d'interrogations correspondent à des flux non quantifiés.

CHAPITRE 4

MATERIELS ET METHODES

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

4.1.1- Situation administrative et géographique:

La wilaya de Tipaza se situe au Nord du tell central, elle est limitée géographiquement par la Mer Méditerranée au Nord, la Wilaya de Chleff 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 (figure 4.1 a et b).



Figure 4.1.a: Situation géographique de la wilaya de Tipaza sur Google Earth.

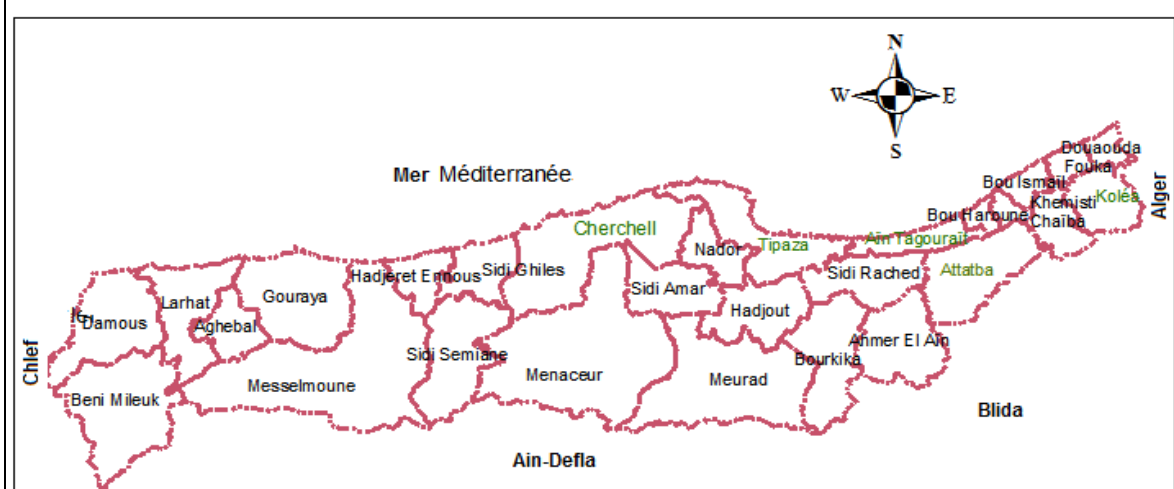


Figure 4.1.b: Découpage administratif de la wilaya de Tipaza. Echelle: 1/400000.

Le territoire de la Wilaya de Tipaza couvre une superficie de 1707 Km² qui se répartit en 366 Km² de montagnes (19.6%), 577 Km² de collines et piémonts (33.8%), 611 Km² de plaines (35.7%), 183 Km² Autres (10.8%). La wilaya de Tipaza se situe entre les longitudes : X1= 380 (1°42`); X2=482 (2°48`) et les Latitudes : Y1= 4030 (36°25`); Y2= 4062 (36°40`).

4.1.2. Reliefs et hydrographie:

Au Nord-Ouest de la Wilaya, la chaîne de montagnes comprenant l'Atlas Blidéen laisse la place à deux importants ensembles les Monts de Dahra et du Zaccar et le Mont du Chenoua. Au Nord Est, la Mitidja s'étendant essentiellement sur La Wilaya de Blida se trouve limitée au niveau de la Wilaya de Tipaza par le bourrelet constitué par le Sahel (Altitude Moyenne 230 m) [141]. Au Nord du Sahel, un cordon littoral présente un rétrécissement et une élévation graduelle d'Est en Ouest. Dans la Daïra de Cherrhell, Sidi-Amar, Gouraya et Damous le relief est très accidenté. Autour du Mont du Chenoua se trouvent des escarpements importants en bordure de la Mer [141].

Tipaza dispose d'un réseau hydraulique relativement important [141]. D'Est en Ouest, nous rencontrons Oued Mazafran, Oued El-Hachem, Oued Djer, Oued Damous, le barrage de Boukerdane le seul qui existe dans la wilaya. Créé en 1992 (sur l'Oued El Hachem), il se situe à environ 13 Km au Sud de Sidi Amar, et à 8 Km à l'Ouest de Hadjout. La retenue a une hauteur de 71,1 m, elle dispose d'une capacité de 97 Hm³ dont 49 Hm³ seulement sont régularisés. Ce barrage est destiné à l'AEP mais dessert une partie de la Mitidja Ouest tranche II. (Station météorologique). Un autre barrage est en cours de réalisation situé à l'extrême ouest du territoire de la wilaya de Tipaza dans la commune de Damous appelé Kef Eddir, démarré le 1er janvier 2006, a une capacité totale de 125 millions de m³.

4.1.3. Principales vocations de la Wilaya :

4.1.3.1. Agriculture :

La Wilaya de Tipaza se distingue par la richesse de ses terres agricoles et sa position côtière qui font de l'agriculture et de la pêche et le tourisme ses principales vocations. Les superficies relatives des plaines (35.8%) des collines et des piémonts (33.8%) donnent au secteur agricole une place particulièrement importante dans la vie économique de la Wilaya [141].

La répartition générale des terres durant la Campagne agricole 2008/2009 est mentionnée dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Répartition générale des terres [141].

Spéculation		Superficie (ha)	Taux %
Terres Labourables	Cultures Herbacées	37381	58.1
	Jachère	9625.5	15
Cultures Permanentes	Vignobles	3718.5	5.8
	Plantation d'Arbre Fruitier	13586	21.1
Total Surface Agricole Utile (SAU)		64311	100 %
Dont Irriguée		14820	/
Pacages et Parcours		8157	/
Terres improductives des exploitations		32	/
Total des Terres Utilisée par l'Agriculture (Superficie Agricole Totale SAT)		72500	/
Superficie Forestière		40315	/

4.1.3.2. Forêts :

Avec une superficie de 40315 ha, les forêts et maquis occupent 24 % du territoire de la Wilaya de Tipaza (170 700 ha). Les forêts sont réparties inégalement dont 68% sont concentrées dans la région ouest (Cherchell, Sidi-Amar, Gouraya, Damous.). Quant à l'exploitation forestière, elle ne présente pas un caractère permanent et se limite aux interventions suivantes : Couronnement des arbres d'alignement et des brises vents, exploitation de forêts privées, assainissement des forêts incendiées ou à des coupes exceptionnelles. Parmi les grands Axes de développement du secteur des forêts, on peut distinguer la reconstitution du patrimoine forestier, la protection des périmètres des bassins versants (barrage de Boukerdane, Messelmoune), et la lutte contre l'envasement, la restauration des terrains de montagnes, développement rural et création des périmètres arboricoles [40]. L'occupation du sol par essence forestière indique que le Pin d'Alep est le plus répandu avec 55.69%. Quant au chêne liège dont l'aire se situe beaucoup plus côté Ouest de la Wilaya, il occupe 6.98% de la superficie

forestière de la Wilaya. Les 17.01% de l'espace forestier sont occupés par les maquis, ce qui donne une évolution régressive au sens phytosociologique.

Tableau 4.2. Répartition des superficies forestières par essence [40] :

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

4.1.4. Climatologie de la région :

Le climat joue un rôle important dans la dynamique des populations des insectes. Il est nécessaire de donner un aperçu sur les variations climatiques, à savoir les précipitations et les températures. Les changements du climat en général déterminent pour une grande part la répartition, le développement, l'activité et les pullulations des insectes [142]. L'étude des régimes pluviométriques et thermiques est d'une importance capitale pour la caractérisation des différents types de climat dans une région donnée [143].

4.1.4.1. 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 [144]. 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.

Durant la période 1990/2009, les précipitations moyennes enregistrées par la station du Barrage Boukerdane font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 552.5 mm. Pour l'année d'étude 2010 / 2011 ; les précipitations moyennes font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 738.94 mm (Annexe et figure.

4.2a). Les quantités de pluies mensuelles moyennes sont bien réparties durant la période annuelle 1990-2011 (figure. 2.4b).

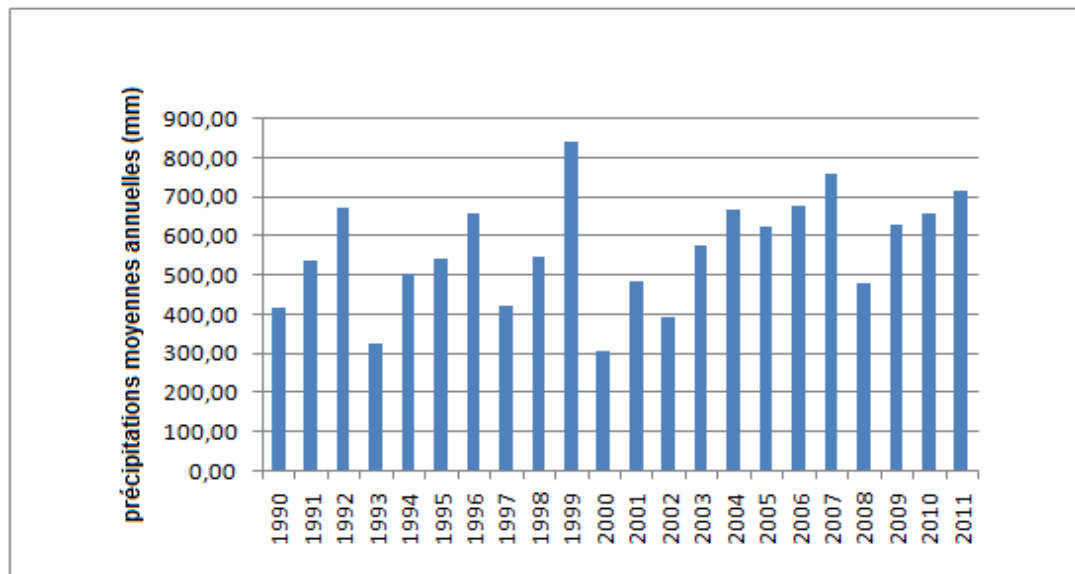


Figure 4.2a : Variations des précipitations annuelles de 1990 à 2011 dans la région de Tipaza.

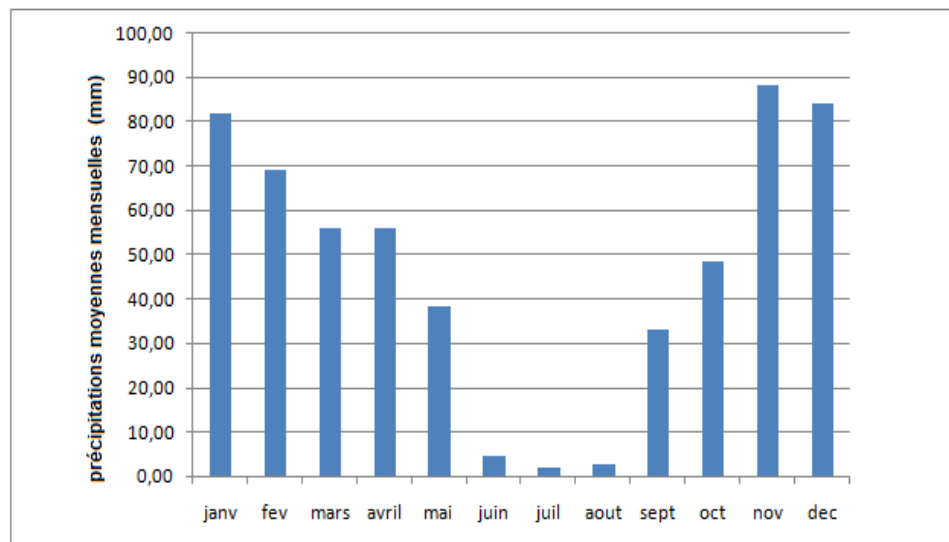


Figure 4.2 b : Variations des précipitations mensuelles de 1990 à 2011 dans la région de Tipaza.

4.1.4.2 Les températures :

La température représente un facteur limitant de toutes premières importances, 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 [145]. Bale *et al* [146] observent qu'une hausse

des températures dans les limites vitales des espèces, implique une accélération de leur développement. CHARARAS [147] précise que la température exerce son influence de façon constante sur tous les stades d'évolution de l'insecte.

L'analyse des températures (Annexe et figure. 4.3), fait ressortir que 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 janvier durant la période 1990/2009 avec une température de 5.8°C, et les moyennes des maximas du mois le plus chaud sont enregistrées au mois d'août avec une température 32.4 °C. Concernant l'année d'étude 2010 / 2011, elles varient entre 0°C pour le mois le plus froid (janvier) à 39°C pour le mois chaud de l'été (Juillet).

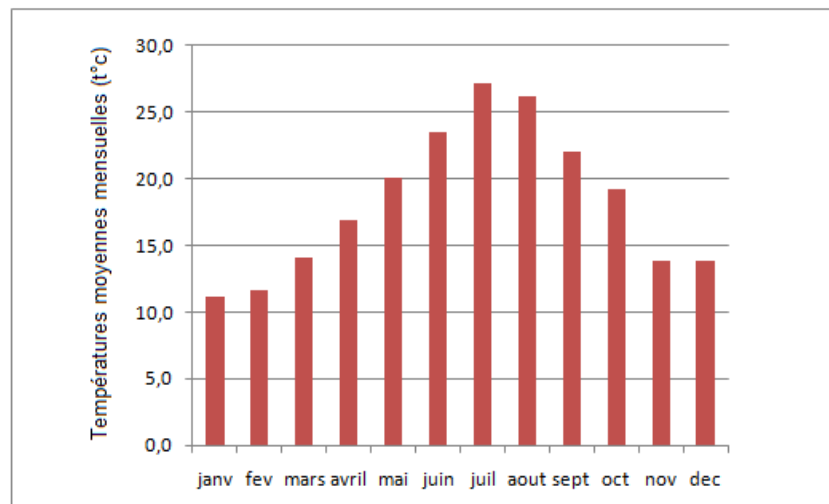


Figure 4.3 : Variations mensuelles des températures moyennes de 1990 à 2011 dans la région de Tipaza.

4.1.4.3. Les Vents :

Les vents ont des fréquences différentes durant l'année, les plus dominants sont de direction Sud et Ouest, soufflent du Nord Est et d'Ouest ; la vitesse moyenne est de l'ordre de 2,5 à 3 m/s. Les vents du Nord sont généralement froids se produisent durant la quasi-totalité de l'année (le max en hiver). Quant au Sirocco, il est rarement enregistré au cours de l'hiver, souvent chaud et sec il souffle en moyenne 13 jours par an (juillet, août), SELTZER.P [148]. La zone littorale est exposée aux vents marins salés.

4.1.4.4. Insolation :

L'Algérie de par sa situation géographique (située entre le 19ème et le 38ème parallèle nord), constitue sur le globe terrestre une zone particulièrement bien ensoleillée. Aussi les moyennes annuelles d'ensoleillement varient entre 2600 h/an dans le Nord à 3500 h/an dans le Sud [247].

L'insolation est liée à une trop forte exposition au soleil. La durée d'insolation sur la quasi totalité de la région de Tipaza dépasse les 3500 heures moyennes annuellement et peut atteindre les 4000 heures. La région de Tipaza est caractérisée par une fraction d'insolation forte dont la répartition est légèrement différente durant l'année entre les mois d'hiver et les mois d'été. Les mois d'été sont beaucoup plus ensoleillés que les mois d'hiver.

4.1.4.5. Synthèse climatique :

4.1.4.5.1 Diagramme Ombrothermique:

BAGNOULS et GAUSSEN [149] considèrent qu'un mois sec est défini lorsque la somme des précipitations moyennes exprimées en (mm), est inférieure au double de la température de ce mois ($P < 2T$). Le diagramme ombrothermique révèle la présence de deux saisons contrastées. Une saison froide correspond à la saison pluvieuse et une saison sèche correspond à la saison chaude. Pour la période 1990/2009 la saison froide assez longue, commence au début d'octobre et se prolonge jusqu'au mois de mai, alors que la saison chaude s'étale du début du mois de mai jusqu'à la fin septembre (figure 4.4). Durant l'année d'étude, 2010/2011 la saison froide est plus longue, elle commence à la fin du mois de septembre et se prolonge jusqu'au début du mois de juin, alors que la saison chaude s'étale entre le mois de juin et la fin du mois septembre (figure 4.4).

4.1.4.5.2. Climagramme d'Emberger

L'indice d'Emberger permet la caractérisation des climats et leurs classifications dans l'étage bioclimatique. Pour déterminer le climat de la région de Tipaza, nous avons fait appel au quotient pluviométrique d'Emberger qui se base sur le régime des précipitations et des températures.

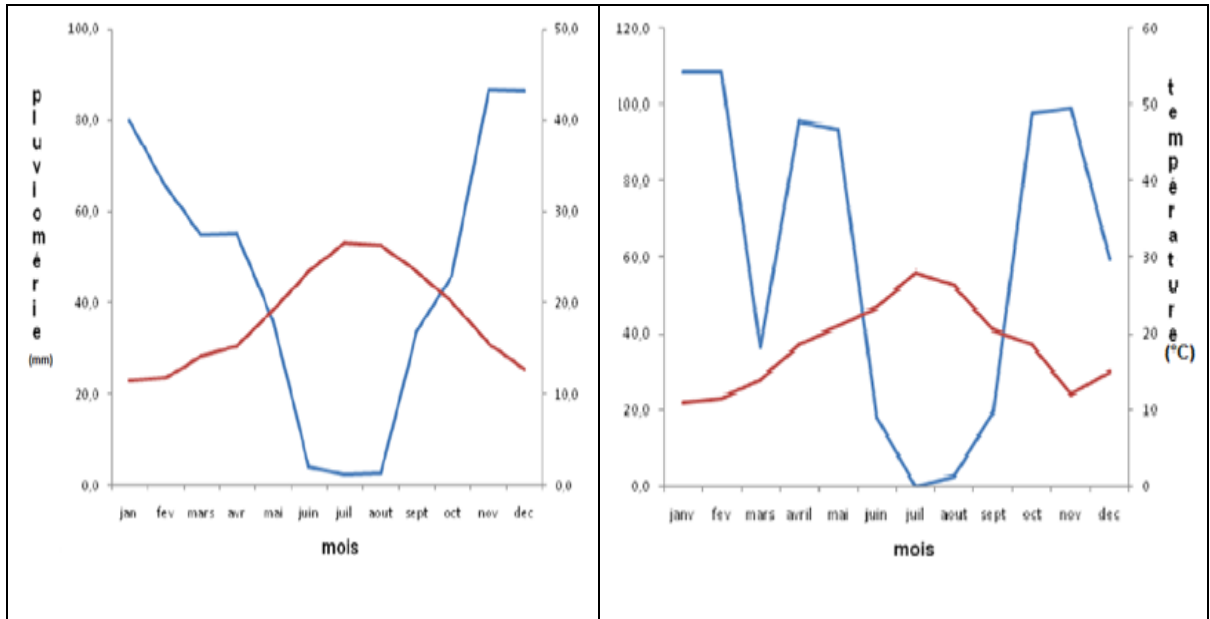


Figure 4.4.Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausse relatif à la région de Tipaza (à gauche période 1990/2009), (à droite durant 2010/2011).

Le coefficient pluviométrique d’Emberger modifiée par STEWART [150], $Q_2 = 3,43 \cdot P / (M - m)$ a été calculé pour une période de 20 ans (1990 à 2009). En reportant la valeur du coefficient pluviométrique Q_2 (71.24) en ordonnée et la température moyenne minimale du mois le plus froid en abscisse (5.8°C), dans le climagramme d’Emberger (Figure 4.5), il ressort que la région de Tipaza se situe dans la limite de l’étage semi-aride supérieur à hiver doux.

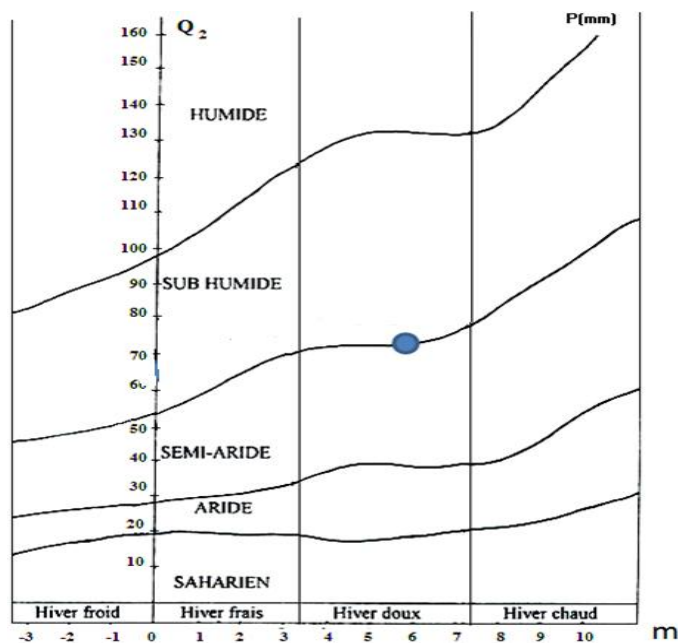


Figure 4.5: Localisation de la région de Tipaza dans le Climagramme d’Emberger (période 1990-2009).

4.2. Caractéristiques stationnelles :

Les stations prospectées pour le suivi de la phénologie de la processionnaire du pin, ses infestations ainsi que pour les évaluations des traitements réalisés sur les populations larvaires, ont été choisies au niveau de la frange littorale de la wilaya de Tipaza. Le choix de ces stations tient du fait de la présence de cet insecte défoliateur, 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. Les stations étudiées sont localisées chacune au niveau de 6 régions différentes d'est en ouest (figure 4.1b) : Koléa, Attatba, Aïn Tagouraït, Tipaza, Cherchell Si Imekrez et Cherchell Si Belkheira. Ces stations forestières sont dominées pour la plupart par le pin d'Alep dont trois milieux (Koléa, Aïn Tagouraït et Attatba) caractérisés par la régénération de l'espèce après une incendie datant de 1994 et la station de Tipaza est une forêt naturelle, enfin les stations sises à Cherchell correspondent à des reboisements de pin maritime et de pin pignon respectivement à Si Imekrez et Si Belkheira, (figure 4.6).

Les caractéristiques descriptives ainsi que les limites cardinales de chaque station respective ont été prises en considération (tab. 4.5 et 4.6). Ainsi, toutes les stations forestières étudiées sont proches de la mer et le paysage environnant est représenté globalement par des forêts de la même espèce de plante hôte. Les quantités de pluie et les températures enregistrées par la station météorologique située près du barrage de Boukerdane (commune de Sidi Amar) ont été retenues pour caractériser le climat étant donné que les distances des stations d'étude au barrage sont très proches (tab. 4.6). Le barrage Boukerdane est situé dans une zone semi-aride où les hautes barrières montagneuses qui limitent le domaine oriental vers l'Ouest privent la région des apports de pluies venant de l'Atlantique et réduisent la pluviométrie de cette région à 190 mm/an en moyenne. Il est implanté sur l'oued El Hachem dans la wilaya de Tipaza, à 1km au sud de l'agglomération de Sidi Amar.

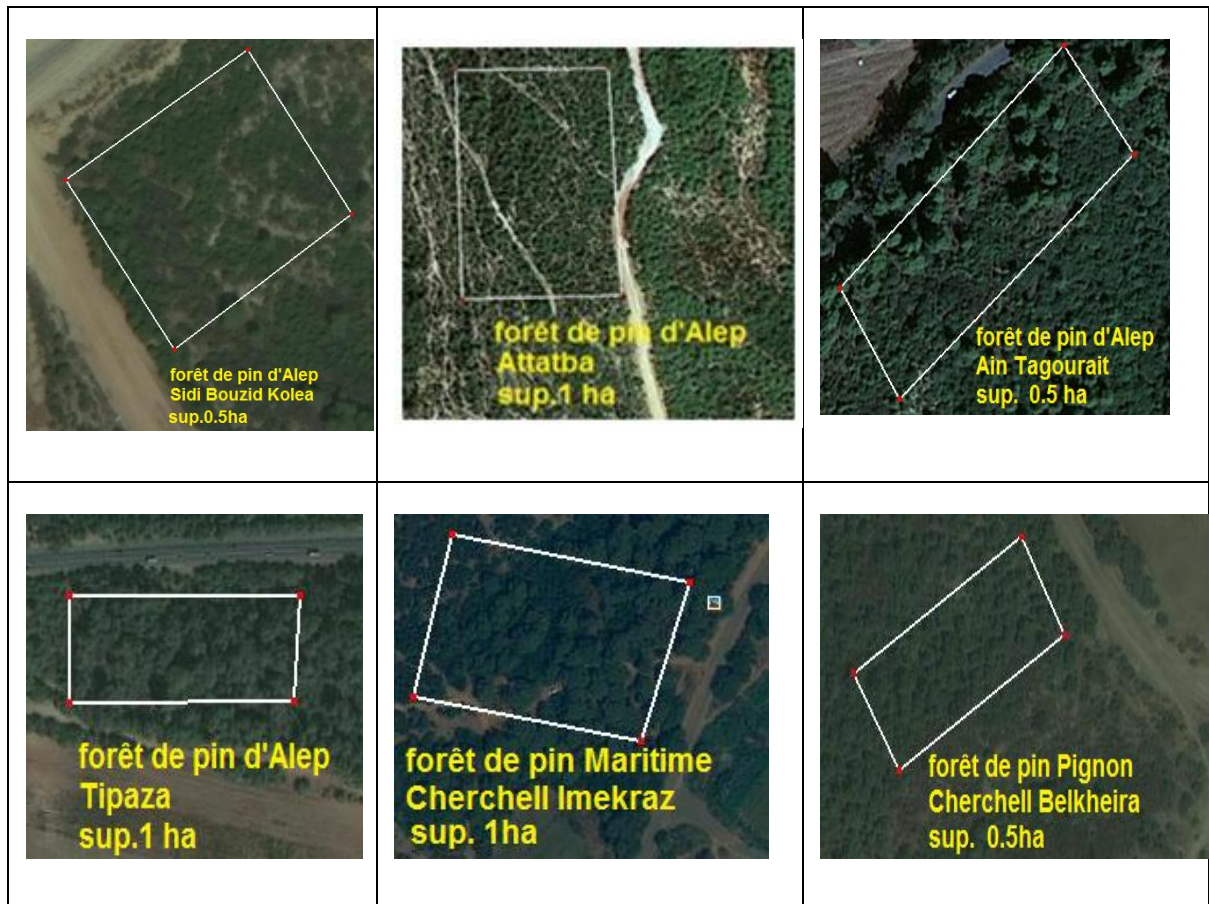


Figure 4.6. Photos satellites des stations forestières étudiées (Source Google earth. 2011).

Tableau 4.3. Limites cardinales des stations d'étude et distances au barrage de Boukerdane (station météo) et à la mer.

Limites/st.	Kolea	Attatba	Ain-Tagourait	Tipaza	Cherchell (Imekraz)	Cherchell (Belkheira)
Nord	Piste	Pin d'Alep	Route goudronnée	Route nationale No 11	Pin maritime	Route goudronnée
Sud	Pin d'Alep	Pin d'Alep	Pin d'Alep	Pin d'Alep+Thuya de Berbérie	Pin maritime+qlq sujets de pin d'Alep reboisés	Pin pignon
Est	Pin d'Alep	Piste	Pin d'Alep	Pin d'Alep	Route goudronnée	Pin pignon
ouest	Piste	Pin d'Alep	Pin d'Alep	Piste forestière	Pin maritime	Pin pignon
Distance au barrage (Vol d'oiseau)	44km	35km	23km	16.5km	10km	9km
Distance à la mer	5.5km	4.5km	190m	400m	150m	1.7km

Tableau 4.4 : Caractéristiques des stations d'étude (Lat. latitude, Long. longitude, Alt. Altitude, Exp. Exposition, Asso. Vég. Association végétale, Sup. superficie, Act. Anthr. Activité anthropique, -- aucune lutte mentionnée)

Station	Lat.	Long.	Alt. (m)	Pente %	Exp	Asso. Vég.	Nature du sol	Sup. (ha)	Act. Anthr.	lutte
Kolea (pin d'Alep)	36°38' 17.06" N	2°47'25. 32"E	130	10	sud	-	Limono-argilo-calcaire	0.5	Forêt incendiée en 1994	échenillage
Attatba (pin d'Alep)	36°35' 36.72" N	2°41'26. 42"E	170	15	sud	Thuya de Berberie Chêne kermès	Limono-argilo-calcaire	1	Forêt incendiée en 1994	échenillage
Ain-Tagourait (pin d'Alep)	36°35' 21.70" N	2°33'20. 37"E	90	40	nord	Chêne kermès	Limono-argileux	0.5	Forêt incendiée en 1994	-
Tipaza (pin d'Alep)	36°35' 20.45" N	2°28'48. 54"E	60	7	nord	Chêne kermès	Limono-argileux	1	Regénération naturelle	-
Cherchel Si Imekraz (pin maritime)	36°37' 05.52" N	2°15'28. 67"E	26	3	nord	Chêne kermès	Sablono-argileux	1	Reboisé en 1993	échenillage
Cherchel Si Belkheira (pin pignon)	36°36' 36.73" N	2°15'53. 33"E	134	10	sud	-	Argilo-Limoneux	0.5	Reboisé en 1974	-

4.3. Méthodologies d'étude de l'activité de la processionnaire du pin dans les stations choisies :

4.3.1 Etude de la végétation associée aux pinèdes étudiées :

Il est important que la surface des relevés soit floristiquement homogène. Dans notre zone d'étude, la surface retenue est de l'ordre de 200 à 400 m². Chaque relevé floristique comprend la totalité des espèces présentes dans la surface du relevé. Les prélèvements ont été effectués en Mars et Avril de l'année d'étude. Les plantes ont été récoltées, séchées et conservées dans un herbier de référence, mentionnant la date et la station de récolte. Pour la détermination des espèces végétales, nous avons utilisé la clef de QUEZEL & SANTA (1962-1963) [151]. La nomenclature a été mise à jour avec Tela-Botanica (<http://www.tela-botanica.org>). Les pourcentages des plantes dans chaque station d'étude sont calculés sur le terrain selon la méthode des transects. Le nombre de chaque espèce végétale est compté à vue dans une bande de 100 mètres de long et 1 mètre de large en variant entre 2 et 3 le nombre de transects selon la superficie prise en considération dans la station.

Chaque espèce est affectée de son coefficient d'abondance-dominance basé sur l'échelle (+ à 5) de BRAUN-BLANQUET [156]. L'abondance estime le degré de présence de la plante c'est-à-dire le nombre d'individus de cette plante sur une surface considérée, alors que la dominance représente le degré de recouvrement où la place occupée par la plante au sein de la surface considérée (+ : quelques individus, 1 : plante rare avec degré de recouvrement faible, 2 : plante assez fréquente occupant 1/5 de la surface, 3 : plante fréquente occupant entre 1/4 et 1/2 de la surface, 4 : plantes très fréquentes occupation entre 1/2 et 3/4, 5 : abondance totale occupation supérieur au 3/4). Les valeurs obtenues ont été utilisées pour calculer la richesse totale, l'indice de Shannon et les pourcentages moyens des familles les plus représentatives.

4.3.2. Dénombrements des pontes et des nids

La période d'échantillonnage dans les différentes stations forestières s'est étalée du début du mois de septembre jusqu'au début du mois d'avril de l'année suivante. Au total, 15 à 16 sorties ont été réalisées dans chaque station respective, à raison d'une à 3 sorties par mois. Un effectif de 30 arbres a été observé aléatoirement à chaque fois. L'opération de dénombrement des pontes a été entamée au hasard pendant le mois d'Août après la découverte du premier vol des papillons repéré à l'aide de pièges à phéromones. Régulièrement, nous avons compté le nombre de manchons de ponte et le nombre de nids total et 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.

4.4. Méthodologies d'étude de l'effet des produits naturels choisis sur les populations larvaires :

4.4.1. Traitements réalisés in situ :

4.4.1.1. Préparation des solutions et des doses de traitements biologiques :

Nous nous sommes proposés d'étudier l'efficacité biocide comparée des extraits aqueux des feuilles de la Verbenaceae *L. camara*, avec l'insecticide

microbien homologué *B. thuringiensis* et le mélange combiné des deux produits sur les larves âgées de *T. pytiocampa*.

La plante *Lantana camara* a été récoltée en Janvier 2011 au niveau de la commune de Koléa. Les feuilles ont été triées, lavées et mises à sécher à l'air libre pendant 48h. Après le séchage, les feuilles sont ensuite broyées jusqu'à l'obtention d'une fine poudre que nous avons ensuite stockée dans des sacs de cellophane à 4°C jusqu'à son utilisation [172]. Ensuite, nous avons mis 100 grammes de poudre en solution avec 1 litre d'eau distillée. La solution obtenue a été mise sous agitation horizontale magnétique dans des flacons hermétiques (figure 4.7), emballés par du papier aluminium afin d'éviter toute dégradation des molécules par la lumière, à la température ambiante du laboratoire. Après 72 heures, le mélange est decanté, les surnageants sont filtrés successivement deux fois en utilisant du papier Wattman puis conservés.

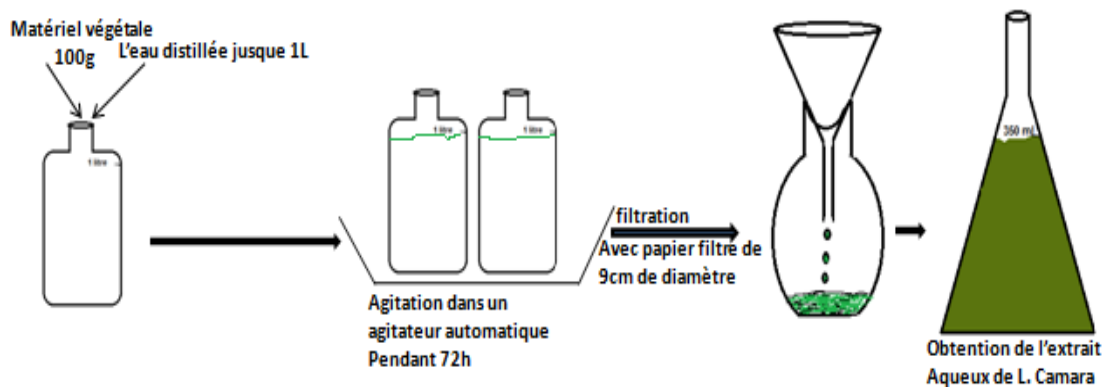


Figure 4.7. Etapes de la préparation des extraits aqueux de *Lantana camara* au laboratoire.

L'insecticide microbien homologué utilisé est commercialisé sous le nom "I.A.B-BT" par la société Agrichem de Ain-Benian (Alger). Le produit est inoffensif pour les auxiliaires naturels, les abeilles et les bourdons, et ne laisse aucun résidu dans le sol, ni sur les arbres traités. *Bacillus thuringiensis kurstaki* n'agit que par ingestion contre les Lépidoptères ectophytes. Les parties de la plante qui sont consommées par les chenilles doivent être touchées par le produit lors de l'application. Le dosage recommandé est de 0,5 à 1 kg/ha et varie selon la sensibilité de l'espèce visée.

Nous avons utilisé 10 g de poudre de la Bactérie de *Bacillus thuringiensis kurstaki* dans 2 litres d'eau distillée, 2 litres de solution aqueuse de *L. camara* et un

mélange de 5 g de Bt additionné à 500ml de solution aqueuse brute de *L. camara* auxquels nous avons rajouté 1.5 l d'eau distillée, concernant le traitement combiné.

4.4.1.2. Utilisation des traitements au niveau de la station forestière d' Attatba.

Les conditions atmosphériques sont importantes pour le succès du traitement microbiologique (Btk) ou autres. En effet, si la température est trop élevée et l'humidité relative trop basse, une partie du produit sera évaporée, ce qui pénalise l'efficacité du traitement [186]. Le vent est également un facteur important car il disperse le produit hors de la parcelle et participe à son évaporation. Nous avons considéré au total 16 sujets infestés de Pin d'Alep, ayant une hauteur moyenne d'environ 2 à 3 m et caractérisés par un houppier plus moins dense. Pour chaque traitement biologique ainsi que pour les sujets non traités, quatre arbres, que nous avons considéré comme répétitions et comportant chacun un nid, ont été choisis. Chaque nid compte 100 à 200 larves pour les nids les moins et les plus volumineux respectivement. Les arbres sélectionnés ont été pulvérisés sur les cimes des arbres à l'aide de pulvérisateurs manuels d'une contenance de 2 litres (figure 4.8). Les différents traitements ont été réalisés le 24 février 2011 sur les nids comprenant des larves âgées de la processionnaire (stades L4 et L5) à une température variant de 3°C comme valeur minimale à 20°C pour la valeur maximale. Les sujets témoins ont reçu des pulvérisations d'eau distillée à raison de 2 litres pour les 4 arbres sélectionnés.

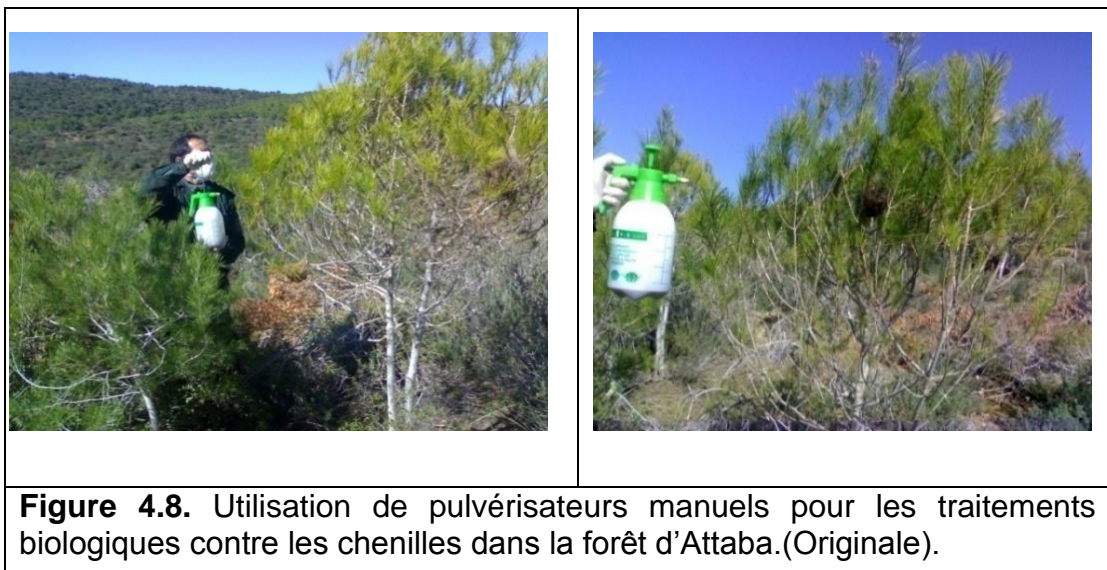


Figure 4.8. Utilisation de pulvérisateurs manuels pour les traitements biologiques contre les chenilles dans la forêt d'Attatba.(Originale).

4.4.2. Traitements réalisés au laboratoire

4.4.2.1. Extraction des principes actifs des feuilles de *L. camara*:

Nous avons envisagé d'étudier la toxicité des principes actifs des feuilles du lantanier sur les larves âgées, à savoir les flavonoïdes, les anthocyanes et les C-glycosyls-flavones. Pour l'extraction des flavonoïdes, nous avons considéré 5g de poudre fine végétale à laquelle sont ajoutés 40ml d'HCl. Ce mélange est mis dans un bain marie pendant 40mn à une température de 40°C. Après refroidissement et filtration, nous avons obtenu un extrait (43ml) de couleur vert foncé représenté par les flavonoïdes bruts.

Nous avons ajouté à cet extrait 15ml d'éther diéthylique et 15ml d'éther. On obtient dans une ampoule de séparation deux phases, la phase supérieure qui reste dans l'ampoule à décanter, et une phase inférieure (73ml) de couleur rouge-orange représentée par les anthocyanes. Pour l'extraction des C-glycosyls-flavones, nous avons ajouté à 43 ml de la solution des flavonoïdes bruts obtenue précédemment, 15 ml d'éther diéthylique et 15 ml d'éther puis 15 ml de butanol. Nous obtenons une solution à deux phases séparées où seule la phase supérieure est gardée et à laquelle on rajoute 15 ml d'HCl. Une autre phase supérieure est séparée de nouveau à laquelle on rajoute 10 ml d'HCl, séparation une troisième fois du produit où seule la phase inférieure est gardée: c'est la solution des C-glycosyls flavones (74 ml).

4.4.2.2. Application des traitements biologiques sur les larves âgées

Dans un premier temps, les mêmes applications de traitements à base des produits biologiques testés sur le terrain ont été reprises au laboratoire. Pour cela, nous avons utilisé 16 boîtes transparentes rectangulaires en plastique, d'une profondeur de 20 cm que nous avons recouvertes d'une fine moustiquaire, pour l'aération et réparties en 4 lots de 4 boîtes. Nous avons disposé dans chacune d'elles 50 larves (L4 et L5) de chenilles processionnaires de pin avec des aiguilles de pin d'Alep pour leur alimentation. Chaque lot au total (4 x 50 larves) a reçu séparément un volume de 2 litres de solutions de traitements avec les mêmes doses que celles utilisées pour les applications sur le terrain et cela pour chaque type de traitement (Bt seul, *L. camara* seul et les deux produits combinés). Les pulvérisations ont été appliquées directement sur les aiguilles de pin, de manière à ce que tout le substrat soit bien imbibé.

Dans une seconde expérience, nous avons étudié la toxicité des principes actifs selon que le produit était administré comme tel (solution brute=dose) ou en demi

dose du produit. Nous avons testé les extraits bruts des flavonoïdes totaux, des anthocyanes et des C-glycosyls-flavones obtenus, à raison de deux répétitions par traitement sur des lots composés de 50 chenilles âgées (L4 et L5) de la processionnaire. Les pulvérisations des solutions de traitements ont été directement appliquées sur la nourriture des larves composée de petites branches de pin fraîchement récoltée.

4.4.3. Evaluation des effets biocides sur les chenilles:

Les populations larvaires ont été dénombrées avant les applications des différents traitements et quotidiennement durant une période d'exposition au produit biologique testé à savoir: 24h, 48h, 72h puis 7 jours. Sur le terrain, les chenilles mortes pendent aux feuilles accrochées par leurs pattes. Il est facile de les dénombrer: on peut les retrouver en dehors du nid au sommet ou autour de ce dernier, mais aussi à la base des arbres traités.

L'efficacité d'un produit est évalué par la mortalité de l'organisme cible, cependant le nombre d'individus dénombrés morts 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 [187] 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.

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

L'évaluation de l'effet toxique des traitements à base des phytoextraits a été estimée par la comparaison des abondances exprimées en pourcentages des populations résiduelles (PR) en nous référant au test de Dunnett (Magali, 2009). Le pourcentage des populations résiduelles des chenilles de la processionnaire est exprimé par le rapport du nombre de formes vivantes dans les lots traités sur le nombre de formes vivantes dans les lots témoins. Les différents pourcentages de PR obtenus permettent de déduire de la nature de la toxicité des substances

contenues dans les phytoextraits utilisés: par exemple le produit utilisé sera considéré toxique pour la cible si les populations ayant survécu au traitement sont représentées par moins de 30%, alors que le produit testé aura un effet neutre si le pourcentage de survivants dépasse les 60%.

En transformant les pourcentages de mortalité corrigée en probits [188], BLISS in CAVELIER [189] et les temps d'exposition aux traitements en logarithmes décimaux, on peut estimer le temps létal pour tuer 50% de la population visée sur la base de l'équation de la droite de régression $y = ax + b$, où y représente les valeurs des probits des mortalités corrigées et x les valeurs des logarithmes décimaux des temps d'exposition. Le temps létal 50 sera le nombre d'heures correspond au probit de 5.

4.5. Etude des réserves énergétiques chez les larves en relation avec les principes actifs des aiguilles et la proline (Annexe.)

4.5.1 Mode d'extraction et de dosage des réserves énergétiques des larves âgées:

L'extraction des lipides a été réalisée selon la méthode de VAN BRUMMELEN & SUIJFZAND [176]. Pour l'extraction et la quantification des réserves glucidiques nous avons eu recours à la méthode de WINDECOEN, [177].

4.5.2 Mode d'extraction et de dosage des principes actifs végétaux :

4.5.2.1. Extraction et dosage des sucres totaux :

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode de DUBOIS et al. [178]. Ce sont les teneurs des sucres totaux bruts qui ont été prises en considération.

4.5.2.2. Extraction et quantification de la proline :

La méthode suivie est celle de TROLL et LINDSLEY [179], simplifiée et mise au point par DREIR et GORING [133].

4.6. Analyses:

4.6.1. Analyses de variance:

Nous avons eu recours à une analyse de variance (ANOVA pour Analysis Of Variance) qui permet de vérifier la significativité de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités dans les conditions paramétriques, si la distribution de la variable quantitative est normale. Dans le cas où cette distribution de variables n'est pas normale, nous avons eu recours au modèle linéaire global (G.L.M.). Dans ce cas la significativité de chaque facteur sur la variable dépendante est prise séparément sans tenir compte des interactions entre les facteurs.

4.6.2. Analyses multivariées :

Les corrélations existantes entre les différents traitements sont mises en évidence par une analyse en composantes principales (ACP) à l'aide du logiciel PAST vers 1.91 [191]. L'interprétation de l'ACP se fait à partir de l'examen du cercle des corrélations et de la position du statut des variables sur les axes factoriels [192].

La reconnaissance des assemblages de la flore selon les 6 stations forestières a été analysée par une analyse factorielle de correspondances (AFC). Cette analyse consiste à rechercher à partir d'une matrice la meilleure représentation simultanée de deux ensembles constituant le degré de recouvrement moyen des espèces en lignes et les périodes d'investigations dans les stations pour la végétation en colonnes.

4.6.3. Classification hiérarchique des variables :

L'AFC ou la CAH sont suivis d'une classification hiérarchique ascendante (CAH). Les coordonnées de chaque variable ou scores obtenus pour les 3 premiers axes sont utilisées pour calculer les distances euclidiennes entre les taxa et les stations. Cette méthode de classification procède à la construction de paquets ou

groupes décrits par les variables par agglomération successive des objets deux à deux, et permet d'examiner les différences de composition des échantillons (Martikainen *et al.* 2000).

4.6.4. Richesse et diversité :

La richesse (S) d'une population est le nombre n d'espèces qui la composent. La notion de structure organisée d'un peuplement dans un biotope se traduit par une distribution d'abondances déterminée étroitement liée celle de diversité spécifique. Celle-ci est maximale lorsque toutes les espèces ont un même effectif et minimale lorsque tous les individus appartiennent à une seule espèce. Selon Frontier [171], l'indice le plus couramment utilisé dans littérature est l'indice de diversité de Shannon (H') basé sur la formule suivante: $H' = - \sum ((n_i / n) * \ln (n_i / n))$, n_i : nombre d'individus d'une espèce donnée, i allant de 1 à S (nombre total d'espèces), n : nombre total d'individus. La valeur H' est exprimée en "bits". La signification des différences de diversité végétale entre deux stations a été calculée dans PAST par une procédure de rééchantillonnage (ou bootstrap), selon la méthode développée par POOL [210].

CHAPITRE 5

RESULTATS

5.1. Analyses qualitative et quantitative de la végétation des stations forestières étudiées :

La végétation est une partie intégrante du biotope ; elle influe sur la distribution spatiale des individus ; grâce à sa densité volumique. L'étude phytosociologique permet de fournir de précieuses indications sur le biotope et de mieux connaître et comprendre les relations, qui lient la phytocénose aux facteurs du milieu. La diversité des essences végétales peut favoriser les ennemis naturels prédateurs ou parasitoïdes en leur apportant un abri, des sites d'oviposition ou d'hibernation, des hôtes ou proies alternatifs, ou encore une alimentation complémentaire pouvant améliorer leur fitness [181].

5.1.1. Composition et recouvrement en végétation

Les relevés floristiques réalisés au courant du mois d'avril 2011 dans chaque pineraie respective nous ont permis de dresser un inventaire des différentes espèces de plantes avec leurs degrés de recouvrement respectifs ainsi que leur coefficient d'abondance dominance (tab. 5.1).

Les richesses floristiques de Koléa et Attatba sont plus importantes que celles des autres stations et sont caractérisées par la présence de 34 et 20 espèces respectivement. On peut remarquer que la station de Tipaza est la moins diversifiée (tab. 5.2) et les diversités floristiques comparées des stations de Koléa et Attatba sont significativement différents de celles des autres stations ($p < 1\%$). En revanche, il n'y a pas de différence significative dans les compositions floristiques entre les stations 4 et 5 et entre les stations 6 et 3, par rapport à leurs diversités et leurs richesses végétales (tab. 5.2).

Tableau 5.1. Composition et recouvrements floristiques des stations forestières étudiées

Familles	Espèces						
		Koléa	Attatba	Aïn Tagouraït	Tipaza	Cherchell Imekrez	Cherchell Belkheira
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> (Piha)	87,5 (5)	87,5 (5)	87,5 (5)	87,5 (5)	20 (2)	-
Pinaceae	Régénération de <i>Pinus halepensis</i> (Real)	62,5 (4)	20 (2)	-	62,5 (4)	-	-
Liliaceae	<i>Asparagus acutifolius</i> (Asac)	10 (1)	5 (+)	-	10 (1)	-	-
Fabaceae	<i>Genista tricuspidata</i> (Getr)	10 (1)	-	20 (2)	-	-	-
Poaceae	<i>Oryzopsis milliacea</i> (Ormi)	10 (1)	-	-	-	-	-
Rubiaceae	<i>Scherardia arvensis</i> (Scar)	10 (1)	-	-	-	-	-
Fabaceae	<i>Calicotome spinosa</i> (Casp)	37,5 (3)	20 (2)	-	-	-	20 (2)
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i> (Anar)	10 (1)	-	-	-	-	-
Dipsacaceae	<i>Scabiosa maritima</i> (Scma)	5 (+)	-	-	-	-	-
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i> (Pile)	62,5 (4)	37,5 (3)	37,5 (3)	62,5 (4)	20 (2)	62,5 (4)
Apiaceae	<i>Ammi majus</i> (Anom)	10 (1)	-	-	-	-	-
Cistaceae	<i>Cistus salvifolius</i> (Cisa)	20 (2)	5 (+)	-	-	-	-
Asteraceae	<i>Andryala integrifolia</i> (Anla)	10 (1)	5 (+)	-	-	-	-
Asteraceae	<i>Carlina lanata</i> (Cala)	10 (1)	-	-	-	-	-
Gentianaceae	<i>Blackstonia perfoliata</i> (Blpe)	10 (1)	-	-	5 (+)	-	-
Asteraceae	<i>Centaurea sp.</i> (Cesp)	5 (+)	-	-	-	10 (1)	-
Rosaceae	<i>Rubus fruticosus</i> (Rufr)	10 (1)	-	-	-	-	-
Oleaceae	<i>Olea europea</i> (Oleu)	20 (2)	20 (2)	-	-	-	-
Asteracées	<i>Pallenis spinosa</i> (Pasp)	10 (1)	-	-	-	-	5 (+)
Apiaceae	<i>Daucus carota</i>	5 (+)	-	-	-	-	-

	(Daca)						
Gentianaceae	<i>Centaurium umbellatum</i> (Ceum)	5 (+)	-	-	10 (1)	-	-
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (Cyda)	5 (+)	-	-	-	-	-
Convolvulaceae	<i>Convolvulus althioides</i> (Coal)	5 (+)	-	-	-	-	-
Poaceae	<i>Bromus rigidus</i> (Brri)	10 (1)	-	-	-	-	-
Fabaceae	<i>Lotus edulis</i> (Loed)	10 (1)	-	-	-	-	-
Fagaceae	<i>Quercus coccifera</i> (Quco)	20 (2)	20 (2)	37,5 (3)	62,5 (4)	10 (1)	-
Scrophulariaceae	<i>Verbascum sinuatum</i> (Vesi)	10 (1)	-	-	-	-	-
Lamiaceae	<i>Ajuga iva</i> (Ajiv)	10 (1)	-	-	-	-	-
Cistaceae	<i>Cistus monspeliensis</i> (Cimo)	37,5 (3)	62,5 (4)	20 (2)	20 (2)	10 (1)	62,5 (4)
Lamiaceae	<i>Marrubium vulgare</i> (Mavu)	10 (1)	10 (1)	-	-	-	-
Asteraceae	<i>Urospermum picroides</i> (Urpi)	5 (+)	-	-	-	-	-
Fabaceae	<i>Hedysarum sp</i> (Hesp)	5 (+)	-	-	-	-	-
Oleaceae	<i>Phylliria angustifolia</i> (Phla)	20 (2)	37,5 (3)	20 (2)	20 (2)	10 (1)	-
Poaceae	<i>Ampelodesma mauritanica</i> (Amma)	37,5 (3)	37,5 (3)	62,5 (4)	62,5 (4)	5 (+)	37,5 (3)
Lamiaceae	<i>Lavandula stoechas</i> (Last)	-	37,5 (3)	-	-	-	20 (2)
Ericaceae	<i>Arbutusu inedo</i> (Arin)	-	10 (1)	-	-	-	-
Asteraceae	<i>Galactites tomentosa</i> (Gato)	-	5 (+)	-	-	-	10 (1)
Arecaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> (Roof)	-	62,5 (4)	-	-	-	-
Lamiaceae	<i>Chamaerops humilis</i> (Chhu)	-	37,5 (3)	10 (1)	-	-	10 (1)
Cupressaceae	<i>Tetraclinis articulata</i> (Tiar)	-	62,5 (4)	-	-	-	-
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i> (Ansa)	-	37,5 (3)	-	-	-	-
Caprifoliaceae	<i>Lonicera caprifolium</i> (Loca)	-	-	10 (1)	-	-	-
Ericaceae	<i>Rubia sp</i> (Rusp)	-	-	10 (1)	-	-	5 (+)

Fabaceae	<i>Astragalus sp</i> (Assp)	-	-	5 (+)	-	-	-
Rubiaceae	<i>Erica arborea</i> (Erar)	-	-	37,5 (+)	-	-	-
Asteraceae	<i>Pallenis spinosa</i> (Pasp)	-	-	-	5 (+)	-	-
Pinaceae	<i>Pinus pinaster</i> (Pipi)	-	-	-	-	87,5 (5)	-
Fabaceae	<i>Medicago hispida</i> (Mehi)	-	-	-	-	5 (+)	-
Poaceae	<i>Lagurus ovatus</i> (Laov)	-	-	-	-	5 (+)	-
Brassicaceae	<i>Lobularia maritima</i> (Loma)	-	-	-	-	5 (+)	-
Geraniaceae	<i>Geranium sp</i> (Gesp)	-	-	-	-	10 (1)	-
Pinaceae	<i>Pinus pinea</i> (Pipn)	-	-	-	-	-	62,5 (4)
Asteraceae	<i>Plantago sp</i> (Plsp)	-	-	-	-	-	5 (+)
Linaceae	<i>Filago sp</i> (Fisp)	-	-	-	-	-	10 (1)
Plantaginaceae	<i>Linum corymbiferum</i> (Lico)	-	-	-	-	-	10 (1)
Hypericaceae	<i>Hypericum perforatum</i> (Hype)	-	-	-	-	-	5 (+)
Asteraceae	<i>Crepis vesicaria</i> (crve)	-	-	-	-	-	5 (+)
Boraginaceae	<i>Cynoglossum sp</i> (Cysp)	-	-	-	-	-	5 (+)

Tableau 5.2. Comparaison des richesses et des diversités floristiques stationnelles.

	st1	st2	st3	st4	st5	st6
Richesse	34	20	12	11	12	16
Individus	602	615	355	405	197	333
Shannon H	3,129	2,734	2,211	2,073	1,954	2,325
Equitabilité	0,8874	0,9126	0,8898	0,8645	0,7865	0,8386
st1	-	1,37E-17	2,76E-59	3,33E-83	3,15E-33	1,70E-36
st2	-	-	1,02E-29	2,07E-51	4,94E-19	3,15E-14
st3	-	-	-	0,005	0,001	0,07ns
st4	-	-	-	-	0,11ns	2,78E-05
st5	-	-	-	-	-	4,44E-05
st6	-	-	-	-	-	-

5.1.2. Analyse globale de la structure de la végétation

Le tableau initial (tab .5.1) correspond à des relevés montrant la présence des espèces dans les différents types de pineraies. Une AFC conduite sur cette matrice a permis de différencier nettement six groupes d'espèces de taille inégale (fig. 5.1).

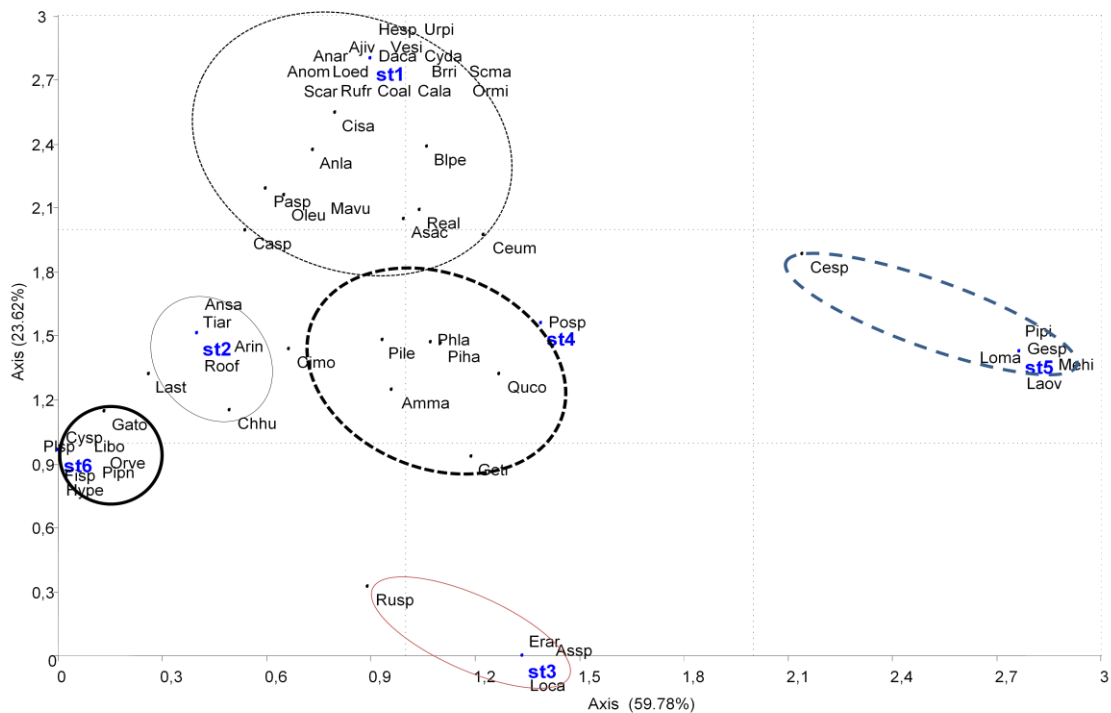


Figure 5.1. Analyse totale des relevés en fonction des espèces par AFC dans les différentes stations étudiées.

Le groupe 1 (Voir annexe) est caractérisé par des plantes caractéristiques de la station 2 et représentatives de la strate arbustive essentiellement comme *Lavandula stoechas* (Last, *Lamiaceae*) *Chamaerops humilis* (Chhu, *Arécacées*) *Arbutuse inedo* (Arin, *Ericaceae*) *Rosmarinus officinalis* (Roof, *Lamiacées*) ainsi qu'une espèce arborée *Tetraclinis articulata* (Tiar, *Cupressacées*) et une plante herbacée *Anagallis arvensis* (Ansa, *Primulacées*).

Le groupe 2 comprend une formation mixte d'espèces arbustives et herbacées associées à *Pinus halepensis* (Piha, *Pinacées*) et caractéristiques de la station 4 telles que *Cistus monspeliensis* (Cimo, *Cistacées*) *Quercus coccifera* (Quco, *Fagacées*) *Pistacia lentiscus* (Pile, *Anacardiaceae*) *Phylliria angustifolia* (Phla, *Oleaceae*) *Genista tricuspida* (Getr, *Fabaceae*) *Ampelodesma mauritanica* (Amma, *Poacées*) et *Pallenis spinosa* (Posp, *Asteracées*).

Le groupe 3 est représenté par une formation de pin d'Alep régénéré associé à l'olivier sauvage *Olea europaea*, sous associée au cyste *Cistus salvifolius*, à *Calicotome spinosa*, *Asparagus acutifolius*, *Verbascum sinuatum*, et *Rubus*

fruticosus comme strate arbustive. Le complexe herbacé associé est riche en une vingtaine diverses plantes représentées surtout par des Poaceae (*Bromus rigidus*, *Cynodon dactylon*, *Oryzopsis miliacea*, des Asteraceae (*Carlina lanata*, *Pallenis spinosa*, *Urospermum picroides*, *Andryala integrifolia* et des Fabaceae (*Hedysarum sp*, *Lotus edulis*).

Dans le groupe 4, le pin pignon (*Pinus pinea*) est strictement associé à quelques espèces herbacées appartenant à des Asteraceae (*Galactites tomentosa*, *Filago sp*, *Crepis vesicaria*), *Plantago sp* (Plantaginacées), *Linum corymbiferum* (Linaceae), *Hypericum perforatum* (Hypericaceae), *Cynoglossum sp* (Boraginaceae).

La composition floristique des groupes 5 et 6 est relativement peu diversifiée. Elle est caractérisée pour le groupe 5 par la présence de petits arbustes *Erica arborea* (Ericaceae), *Lonicera caprifolium* (Caprifoliaceae) et quelques individus de *Rubia sp* et *Astragalus sp*. Dans le groupe 6, *Pinus pinaster* est associé à quelques plantes herbacées comme *Centaurea sp*, *Medicago hispida*, *Lagurus ovatus*, *Lobularia maritima* et *Geranium sp*.

5.2. Activité de la processionnaire du pin au niveau de la frange littorale à Tipaza :

5.2.1. Distribution des nids dans les pineraies étudiées

Nos résultats montrent que le ravageur préfère s'installer au niveau des pineraies exposées au sud plus exposées au soleil que les pineraies à exposition nord. L'abondance des nids est en effet plus élevée au niveau des stations de Koléa et Attatba par rapport à celle enregistrée dans les stations de Tipaza et Aïn Tagouraït, (Fig. 5.2). Outre l'effet de l'exposition, la plante hôte influence l'installation du ravageur du fait qu'il préfère le Pin d'Alep et le pin maritime par rapport au pin pignon d'après nos observations. En effet, les abondances des nids les plus faibles ont été relevées sur cette espèce de pin.

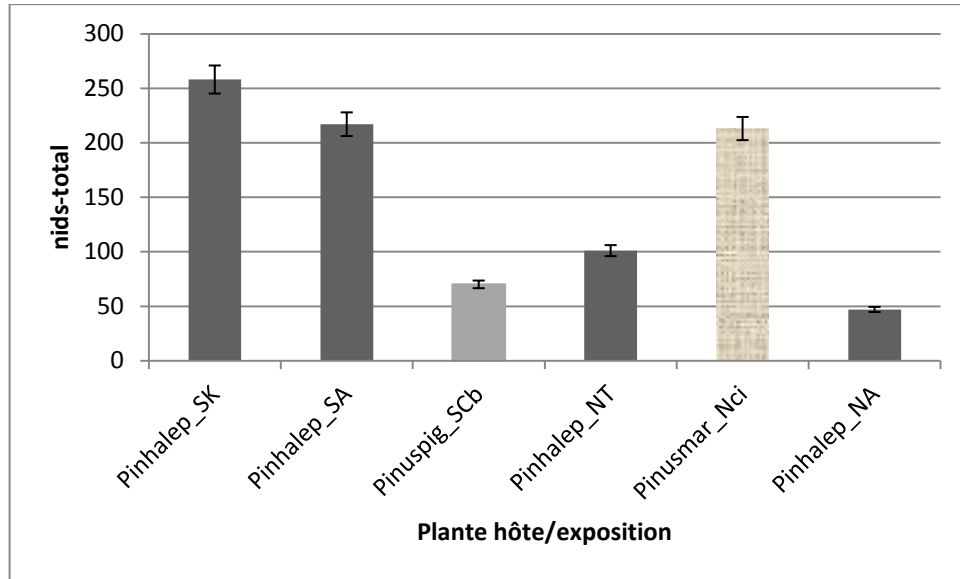


Figure 5.2. Distribution globale des nids dans les pinaies étudiées (les barres de couleur différente correspondent aux différentes plantes hôtes, S : exposition sud, N : exposition nord, K : Koléa, A : Attatba, Cb : Cherchell Belkheira, T : Tipaza, Ci : Cherchell Imekrez, A : Aïn Tagourait).

On peut remarquer également que les niveaux d'infestation diffèrent. Des taux comparables avec des valeurs maximales entre 55 et 65 % sont observés dans les pinaies à pin d'alep et à pin maritime selon que les forêts sont orientées vers le sud (Koléa et Attatba) ou vers le nord (Cherchell Imekrez) (fig. 5.3). Des taux d'infestation beaucoup moins importants, de 10 à 20% ont été globalement enregistrés dans les pinaies à pin d'alep respectivement à Aïn Tagourait et cherchell Belkheira orientées vers le nord.

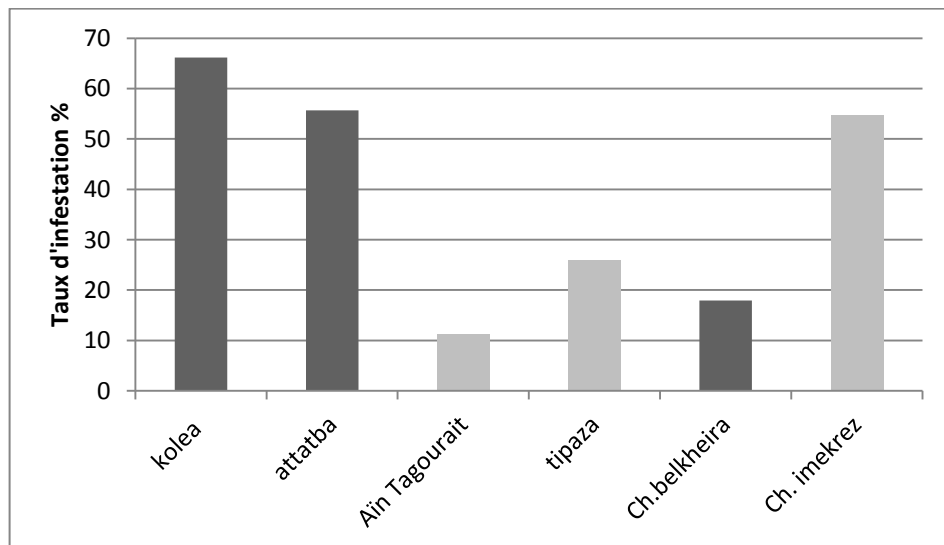


Figure 5.3. Variabilité du taux d'infestation dans les différentes stations forestières étudiées.

DEMOLIN [168], note que la processionnaire se dirige vers les sites les plus ensoleillés de l'arbre pour construire son nid. Les forêts étudiées de Kolea, Attaba et Ain Tagourait sont issues d'une régénération après incendie, alors que les forêts de Cherchell Imekraz et Cherchell Belkheira sont issues d'un reboisement ce qui dénote que les arbres ne sont pas élevés pouvant favoriser ainsi l'attraction et l'installation de la processionnaire du pin. DEMOLIN [94] a expliqué à cet effet que les parcelles de grands arbres sont peu attractives et GERI [165] a observé que les peuplements denses composés d'arbres élevés sont moins attaqués par les processionnaires.

5.2.2. Evolution des taux d'infestation

Nous avons représenté séparément l'évolution des infestations de la processionnaire du pin dans les forêts étudiées selon leur orientation (fig. 5.4). Nous n'avons pas trouvé de corrélation entre le nombre de nids moyen avec les altitudes des stations et les superficies considérées (1ha et 0.5ha) (fig. 5.5).

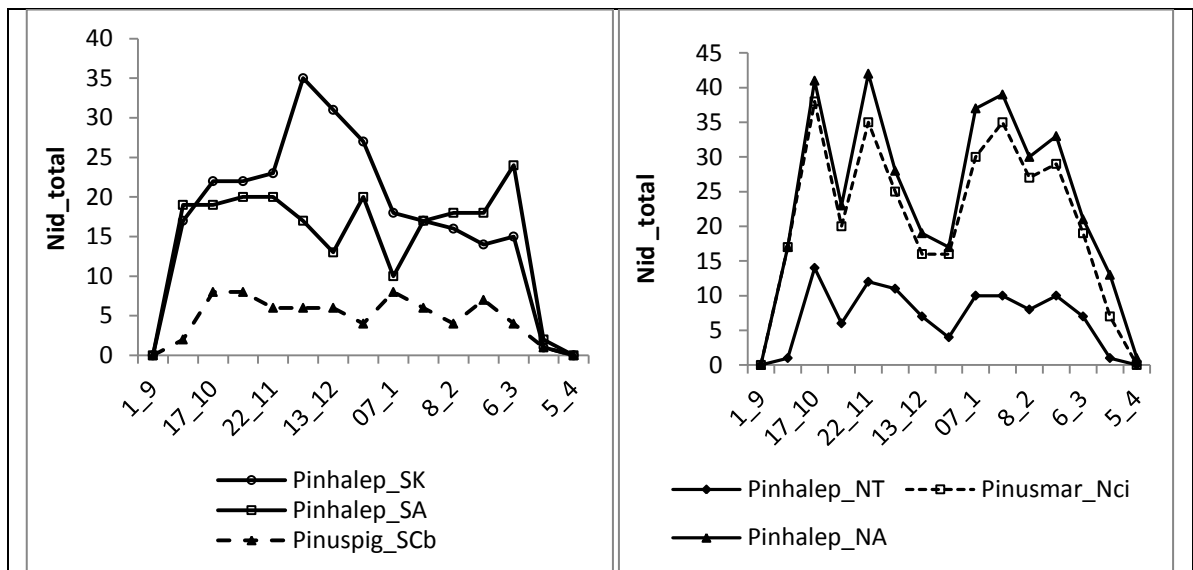


Figure 5.4. Distribution spatiotemporelle des nids.

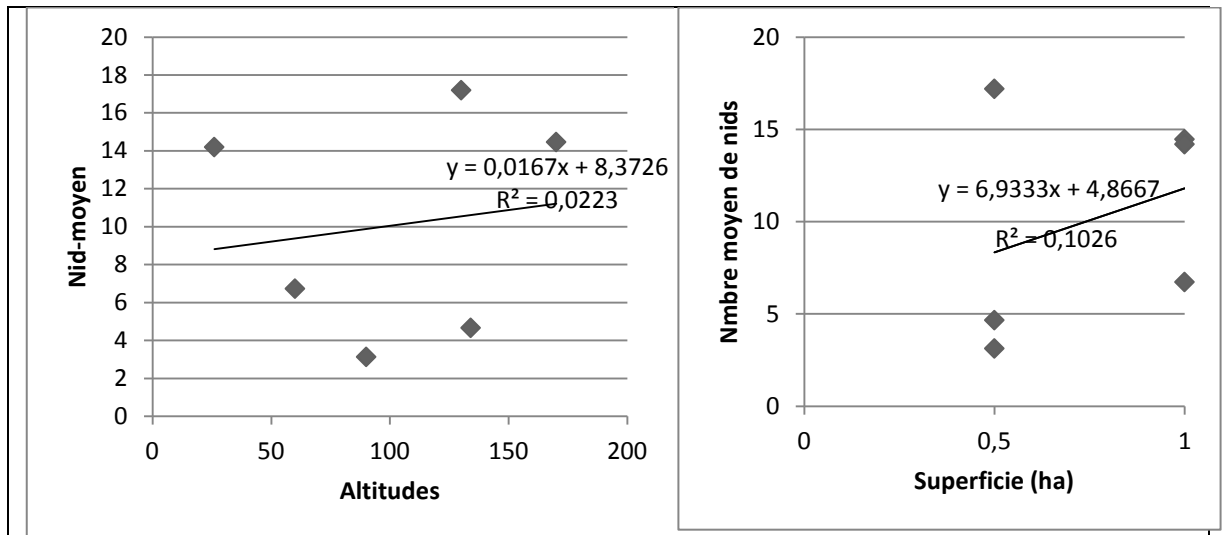


Figure 5.5. Influence des facteurs abiotiques sur la distribution des nids.

L'analyse de la variance fait apparaître une différence très hautement significative dans les niveaux d'infestation entre les stations ($p=0,00$) (tab. 5.3 et fig. 5.6) : ce sont les stations exposées au sud qui semblent les plus infestées, alors que celles exposées au nord le sont nettement moins. Les différences de la distribution temporelle des infestations est significative ($p= 0.04$, tab.5.3 et fig 5.6). L'apogée de la présence des nids actifs dans l'ensemble des pineraies étudiées est concentrée durant la saison automnale, précisément durant les mois d'octobre et novembre. On remarque en effet une diminution graduelle des infestations (chenilles actives) jusqu'au mi décembre, puis un maintien d'une activité stable qui se poursuit à la fin février puis devient nulle vers le début du mois d'avril.

Tableau 5.3 : Résultats de l'analyse de la variance sur la répartition des nids dans les stations et dans le temps Modèle ANOVA.

Source	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F-Ratio	p-Value
Stations	814,306	5	162,861	5,286	0,000
Jours	755,944	14	53,996	1,753	0,043
Erreur	16 020,333	520	30,808	.	.

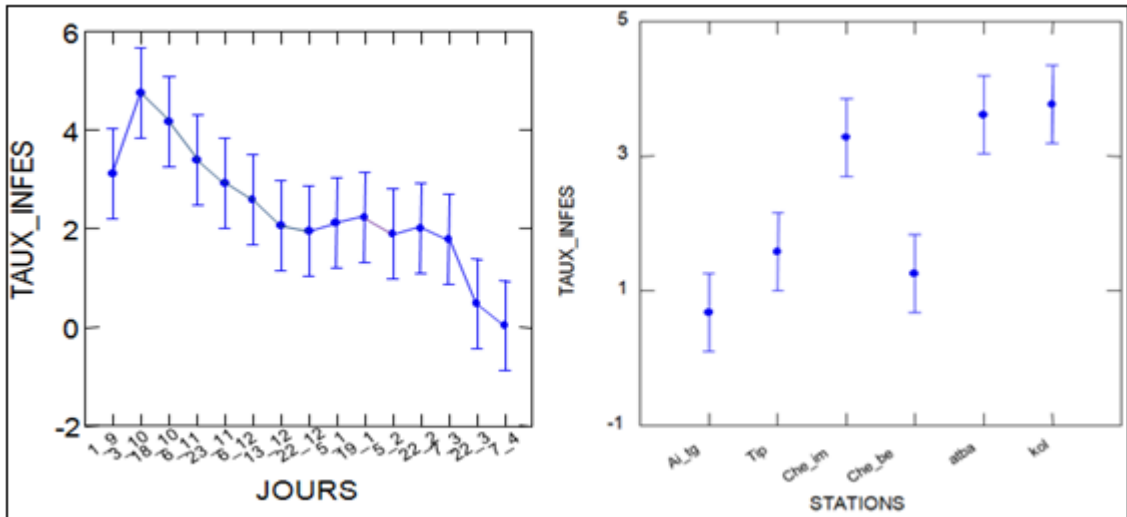


Figure 5.6. : Variabilité temporelle du Taux d'infestation des chenilles de *T. pytiocampa* à travers les stations d'étude et en fonction du temps.

Nous avons expliqué cette distribution des nids selon une ACP. L'axe 1 est représenté par la catégorie de stations alors que l'axe 2 est représenté par le taux d'infestation, le premier groupe est corrélé négativement avec les vecteurs où le taux d'infestation n'est pas important; alors que le deuxième groupe est corrélé positivement avec les vecteurs où le taux d'infestation est très important qui semble expliquer l'importance de l'ensoleillement dans le choix de site sud.

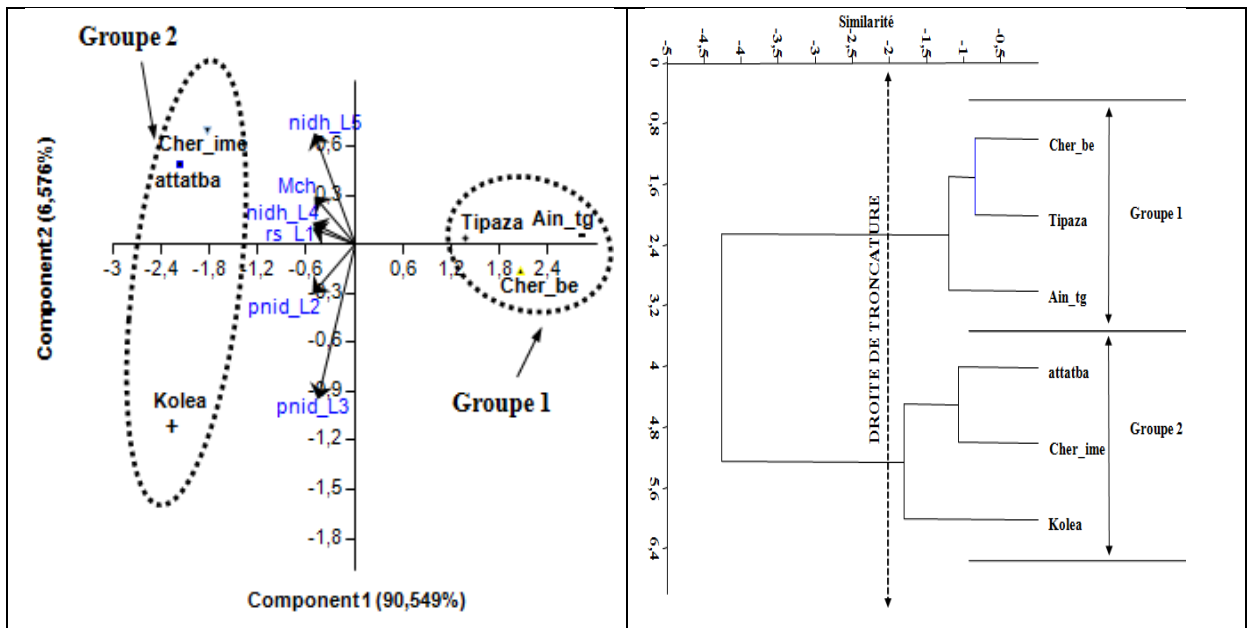


Figure 5.7. Analyse en Composantes Principales (ACP) et classification hiérarchique ascendante du taux d'infestation en fonction de l'exposition des stations d'études et l'espèce de plante hôte. (Ain_tg : Ain-tagourait ; cher_ime : cherchel si

imekraz ;cher_be : cherchel si belkheira ; Mch : manchon ;rs L1 : reseau du soie larvaire 1 ;
 pnid_L2 : près- nid larvaire2 ; pnid_L3 : près- nid larvaire3; nidh_L4 :nid d'hiver larvaire 4 ;nidh5 :
 nid d'hiver larvaire5) .

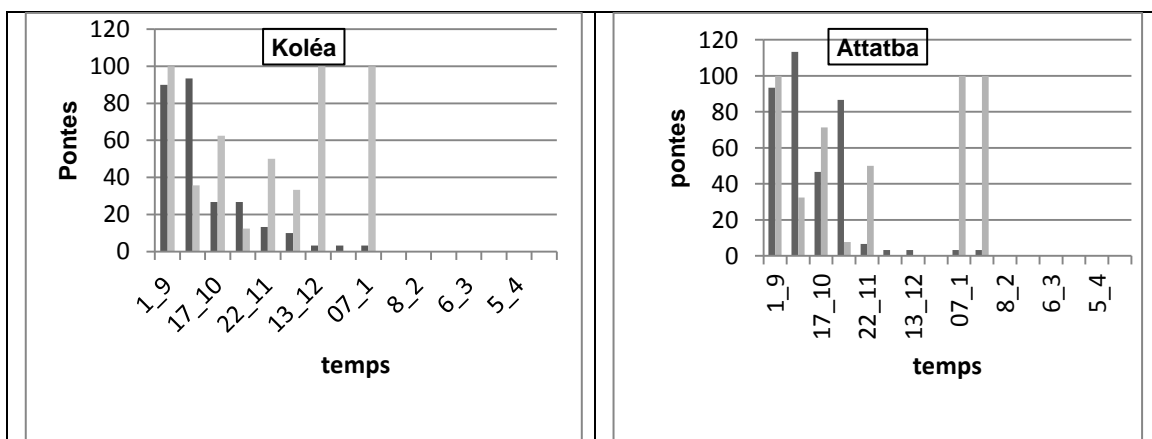
La classification hiérarchique ascendante basée sur le calcul des distances euclidiennes met en évidence deux groupes de statut constitutifs différents (fig. 5.7). Le premier groupe présente des corrélations avec l'exposition nord où le taux d'infestation est moins important. Le deuxième groupe est corrélé à l'exposition sud et l'espèce pin maritime *Pinus pinaster* (station cherchel imekraz).

L'intensité des dégâts de la processionnaire est très variable. Elle dépend de l'essence et du type de peuplement. LEMOINE [117] a identifié une réduction de la croissance de la circonférence de 30% après une attaque sur *Pinus pinaster*.

Il est connu que la processionnaire du pin s'attaque à toutes les espèces de pins de la région méditerranéenne, ainsi qu'aux cèdres. La plante hôte influe sur le développement larvaire. Néanmoins, son comportement alimentaire préfère une espèce à une autre, le pin maritime est classé à la 3eme position tandis que le pin d'Alep est classé à la 5eme position [92]. DEMOLIN [84], note que cet ordre s'explique par le fait que le premier critère de ponte de la femelle est le diamètre des aiguilles de l'espèce hôte.

5.2.3. Evolution des éclosions

Les pourcentages de manchons éclos et de manchons non éclos sont représentés pour chaque station respective en fonction du temps (fig. 5.8)



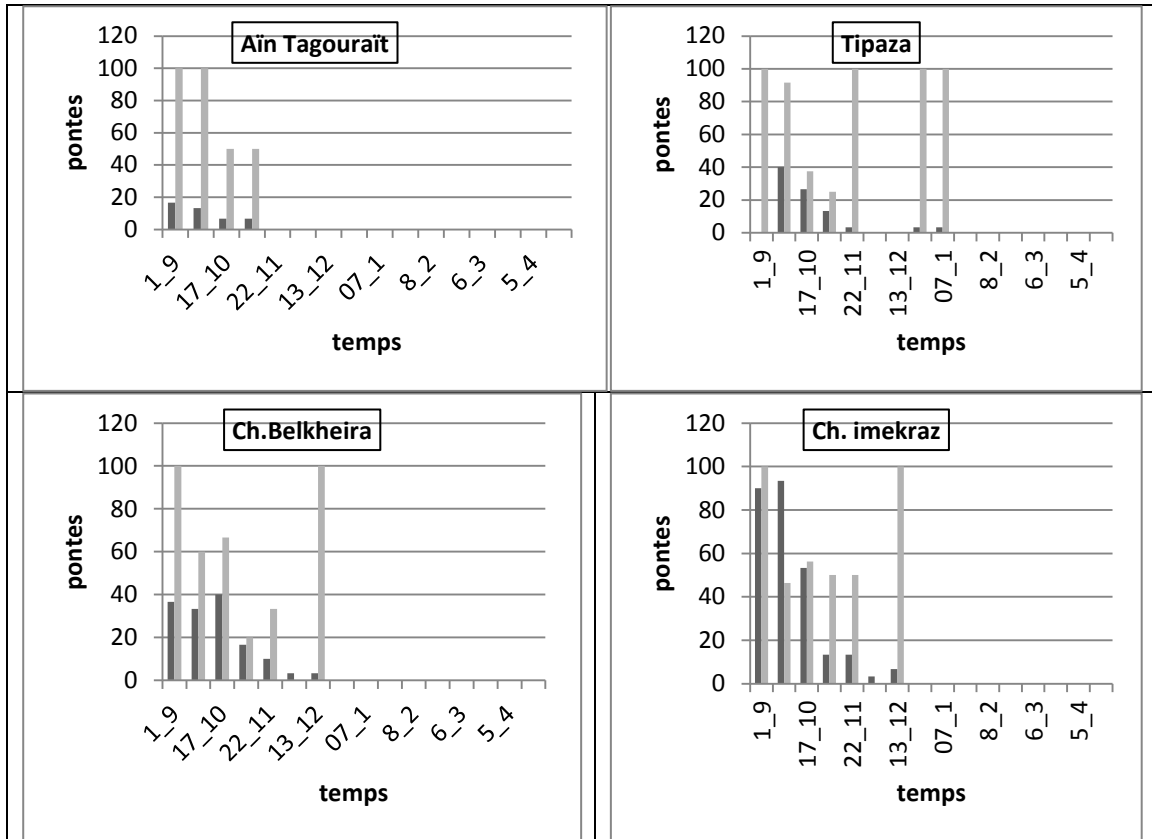


Figure 5.8. Taux de pontes et d'éclosions de la chenille processionnaire du pin dans les stations étudiées.

En tenant compte de ces résultats de présences des manchons éclos et de manchons non éclos observés dans chaque station respective sont mentionnés dans la figure. 5.8. On peut constater qu'une forte éclosion observée dans les stations sud sauf la station cherchel Belkheira où la plante hôte est le Pin Pignon alors que dans les stations Nord le taux d'éclosion est moins important à l'exception de la station cherchel Imekraz où la plante hôte est le Pin Maritime préféré à cet insecte ravageur. Les œufs non éclos, ils contiennent soit des parasitoïdes en diapause, soit des larves mortes. Selon GACHI [96], Les manchons, même après éclosion, peuvent rester plusieurs mois sur l'arbre. Les pontes comptent en fonction du stade de gradation de la population de 70 à 300 œufs.

5.2.4. Cycle larvaire de la processionnaire du pin dans les pineraies étudiées :

Nous avons étudié les abondances des différents stades biologiques aériens de la processionnaire du pin, les présences des manchons de ponte éclos et non éclos, et nous avons estimé les durées de développement larvaire par rapport à chaque stade dans chaque station respective. Les résultats de ces suivis sont

mentionnés dans les figures 5.9 de a à c (stations exposées au sud) et les figures 5.10 de a à c (stations exposées au nord) ainsi que dans les tableaux 5.3 a et b.

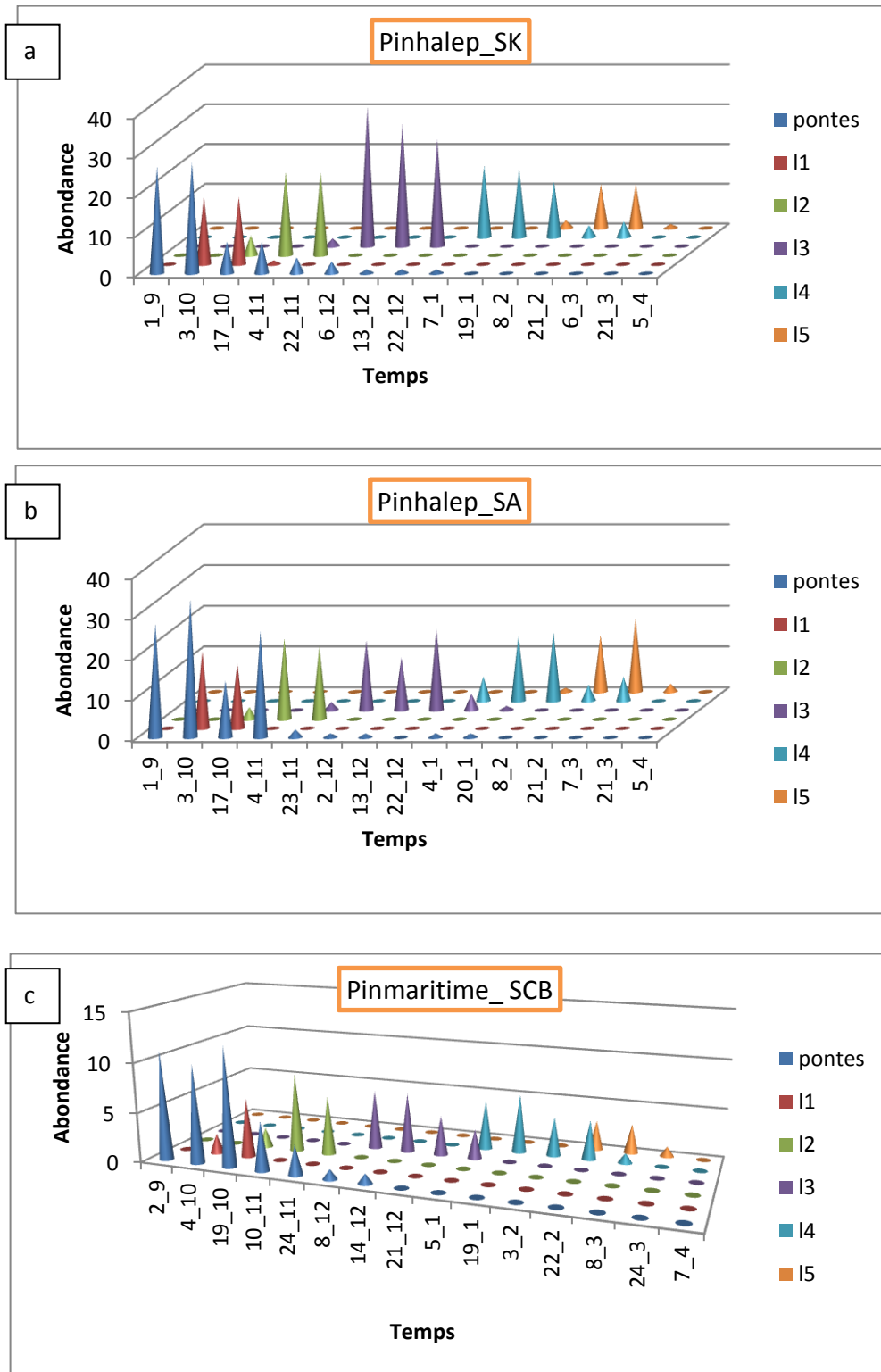


Figure 5.9. Phénologie de la processionnaire du pin dans les pineraies sud.

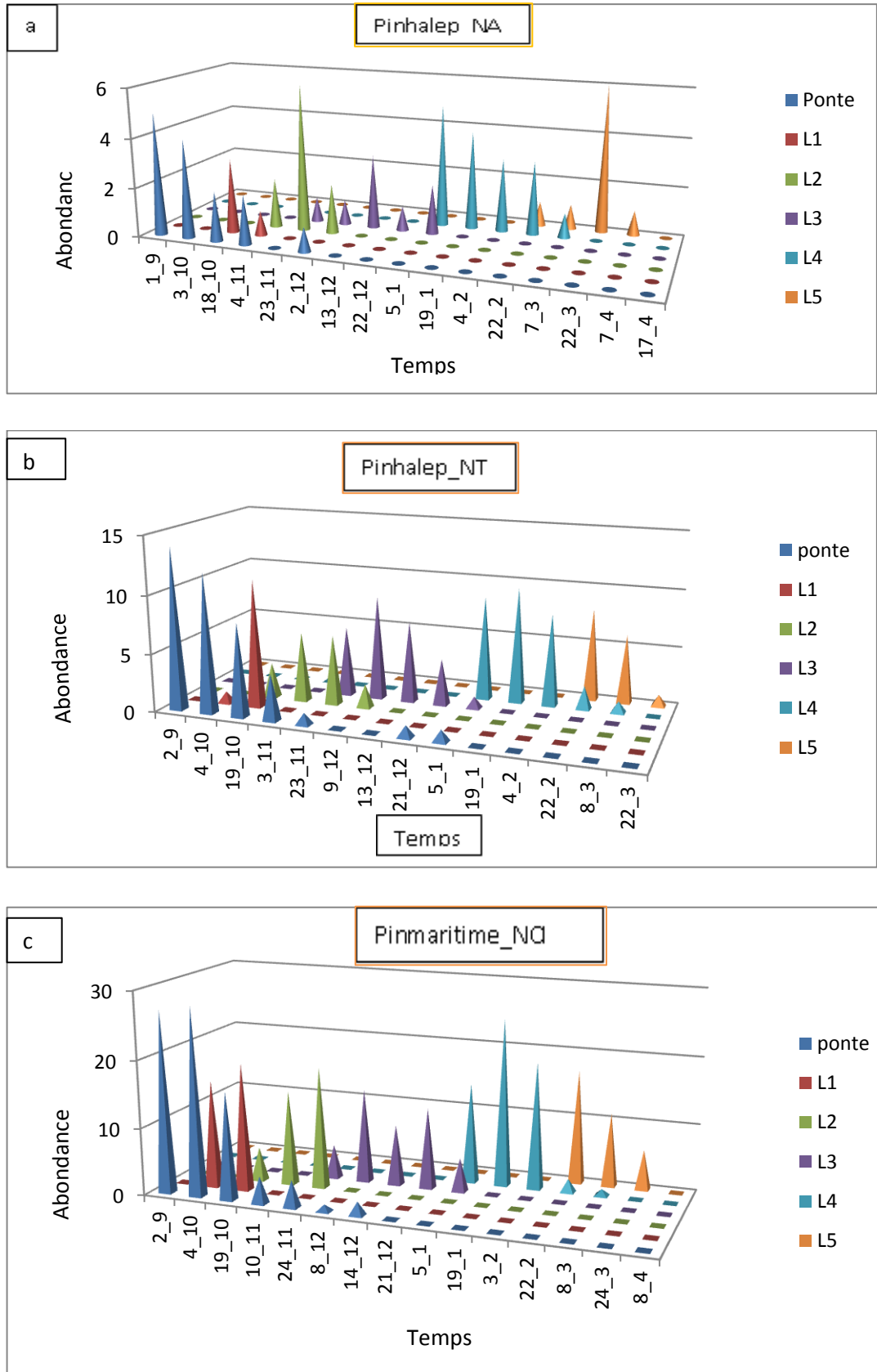


Figure 5.10. Phénologie de la processionnaire du pin dans les pineraies nord.

En 2010-2011 et indépendamment de l'exposition, on peut distinguer les intervalles temporels de chaque stade larvaire dans les différentes pineraies (tab. 5.4a). Les chenilles de premier stade se développent au courant de tout le mois d'octobre jusqu'à début novembre. On peut observer des chenilles du deuxième stade de la mi octobre à la première décade de décembre, alors que les L3 apparaissent entre la troisième semaine du mois de novembre ou les premiers jours de décembre pour finir leur développement vers la troisième semaine de ce mois pouvant s'étaler aux premiers jours de janvier.

Les L4 se manifestent dès janvier : on peut les trouver jusqu'à la première décade de mars. Les L5 avec leurs nids d'hiver sont présentes très tôt en février (début du mois) dans les pineraies exposées au sud et plus tard (durant la troisième semaine de ce mois) dans les pineraies exposées au nord (tab. 5.4a). Dès la 3eme semaine de mars, on peut observer un début de processions qui peut s'étaler jusqu'au début d'avril.

Tableau 5.4 a: Intervalles des périodes larvaires de la processionnaire dans les stations forestières étudiées.

station	exposition	altitude	réseaux de soie L1	pré nids L2	pré nids volumineux L3	nids d'hiver L4	nids d'hiver volumineux L5
Kolea	sud	130m	3_10/4_11	17_10/22_11	22_11/22_12	7_1/6_3	8_2/21_3
Attatba	sud	170m	3_10/17_10	17_10/23_11	23_11/22_12	4_1/7_3	8_2/21_3
Ain-Tagourait	nord	90m	18_10/4_11	4_11/2_12	23_11/5_1	5_1/7_3	22_2/7_4
Tipaza	nord	60m	4_10/19_10	19_10/9_12	23_11/5_1	5_1/8_3	22_2/22_3
Cherchell Belkheira	sud	134m	4_10/19_10	19_10/24_11	8_12/5_1	5_1/8_3	22_2/24_3
Cherchel imekrez	nord	26m	4_10/19_10	19_10/24_11	24_11/5_1	5_1/8_3	22_2/24_3

Tableau 5.4 b: Durées respectives (en jours) des périodes larvaires de la processionnaire dans les stations forestières étudiées.

altitude	Pl.hôte/expos.	I1	I2	I3	I4	I5	Développement larvaire
130	Pinhalep_SK	31	35	29	60	43	198
170	Pinhalep_SA	14	36	30	57	43	180
134	Pinuspig_SCb	15	20	27	57	30	149
60	Pinhalep_NT	15	20	36	57	30	158
26	Pinusmar_Nci	15	20	41	57	30	163
90	Pinhalep_NA	16	28	36	57	46	183

La durée du stade L1 varie de 14 à 16 jours, mais elle est plus longue, de 31 jours dans la station de pin d'Alep exposée sud à Koléa. Par rapport aux stations exposées au nord (Tipaza, Cherchell Belkheira et Aïn Tagouraït), le stade L2 dure plus longtemps spécifiquement dans les pineraies à pin d'Alep exposées au sud (entre 35 et 36 jours) excepté au niveau de la pineraie à pin pignon située à Cherchell Imekrez. On constate par ailleurs que les durées du stade L3 sont plus longues dans les pineraies exposées au nord que dans celles exposées au sud. Enfin, si les durées interstationnelles des stades L4 et L5 sont relativement comparables : entre 57 et 60 jours pour le stade L4 et entre 30 et 46 jours pour le stade L5 ; on peut remarquer que le quatrième stade larvaire de la processionnaire du pin est le plus long : sa durée peut varier entre 1 mois et 1 mois et demi, dans les pineraies étudiées d'après nos observations (Tab. 5.4b). Les différences ne sont pas significatives quand on considère les durées moyennes de chaque stade larvaire pour chaque catégorie de station (sud et nord) (test one way Anova, Past, $P > 5\%$, fig. 5.11)

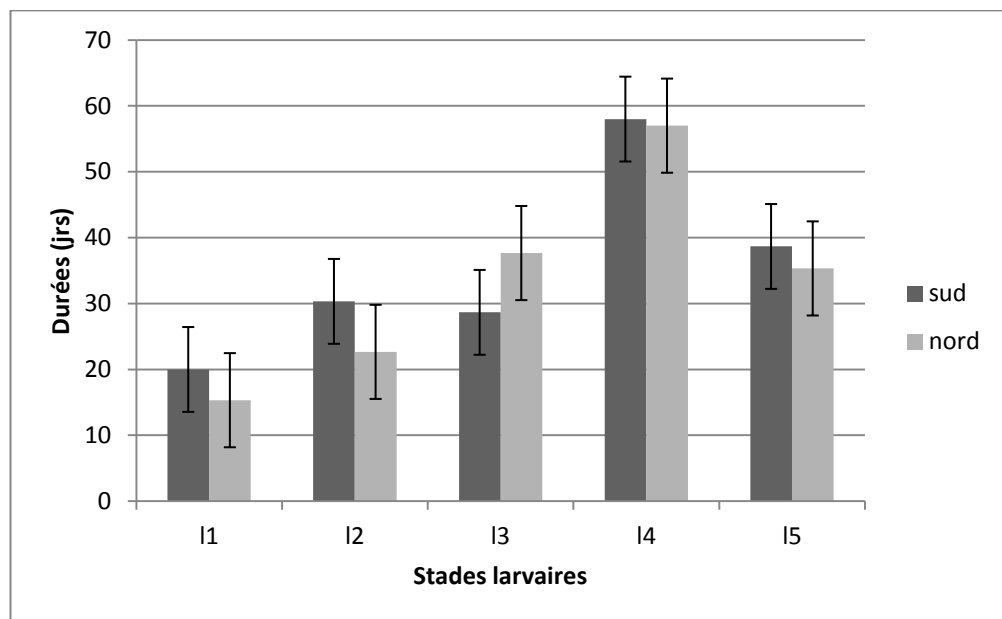


Figure 5.11. Variabilité comparée des périodes larvaires de *T. pityocampa* dans les pineraies étudiées en relation avec leur exposition.

Le suivi chronologique des stades d'évolution de la processionnaire de pin (*Thaumetopoea pityocampa*) sur les trois espèces Pin d'Alep, Pin Maritime et Pin Pignon et selon les deux expositions Sud et Nord dans la frange littorale de la

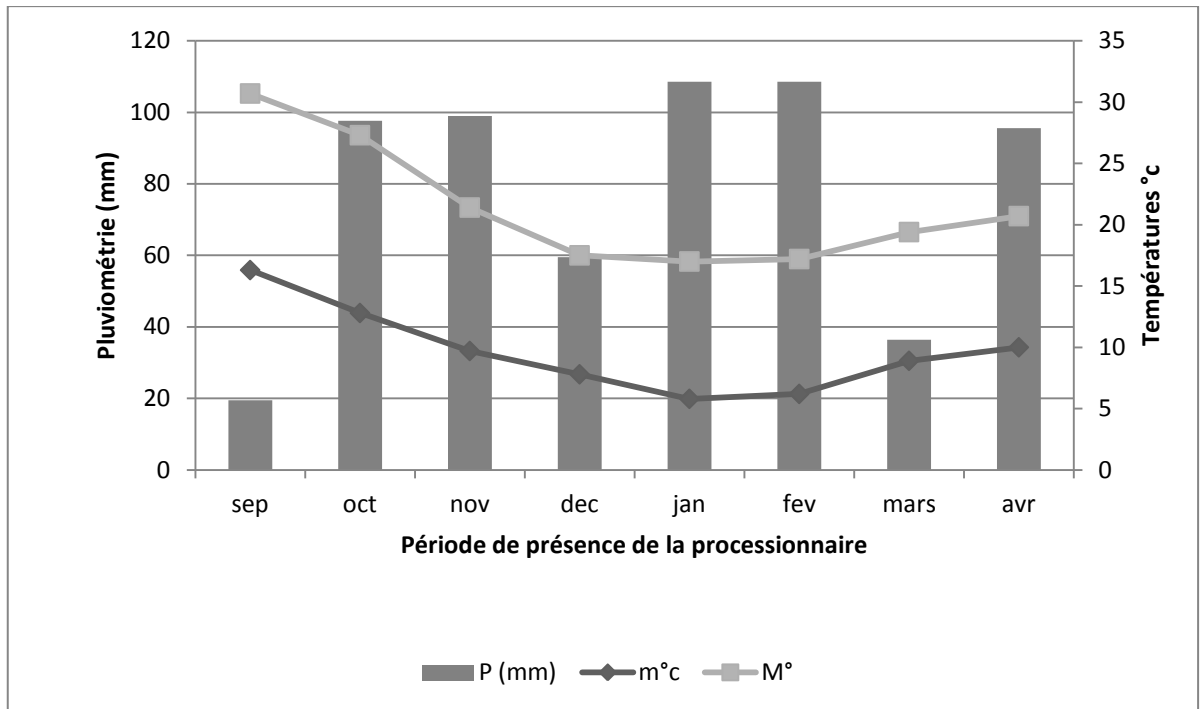


Figure 5.12. Cycle interprétatif moyen de *T. pityocampa* dans les pinèdes en rapport avec les variations pluviométriques dans la frange littorale de la wilaya de Tipaza durant la période annuelle 2010/2011.

5.3. Evaluation des effets biocides des produits biologiques contre les chenilles de la processionnaire du pin

5.3.1. Observations des effets biocides sur terrain dans la pineraie d'Attatba

5.3.1.1. Mortalités et symptômes

Nous avons observé que les larves de la processionnaire de pin traitées par les trois biopesticides testés ont été affectées (fig. 5.13). Les chenilles semblent affaiblies, présentent des difficultés pour se débarrasser de leur exuvie, ou finissent par mourir. Nous avons constaté une augmentation des mortalités avec le temps notamment chez les larves traitées par la Bactérie *Bacillus thuringiensis kurstaki* et l'extrait aqueux des feuilles de *Lantana camara*. Les larves traitées par les solutions aqueuses de *Lantana camara* ont fui et se sont déplacées de leurs nids pour se rassembler au sommet d'un arbre non hôte le thuya de Berbérie (*tetraclinis articulata*) se situant à proximité de l'arbre de pin d'Alep traité, puis sont mortes, ce qui montre que ce traitement semble avoir un effet répulsif très important, selon nos observations.

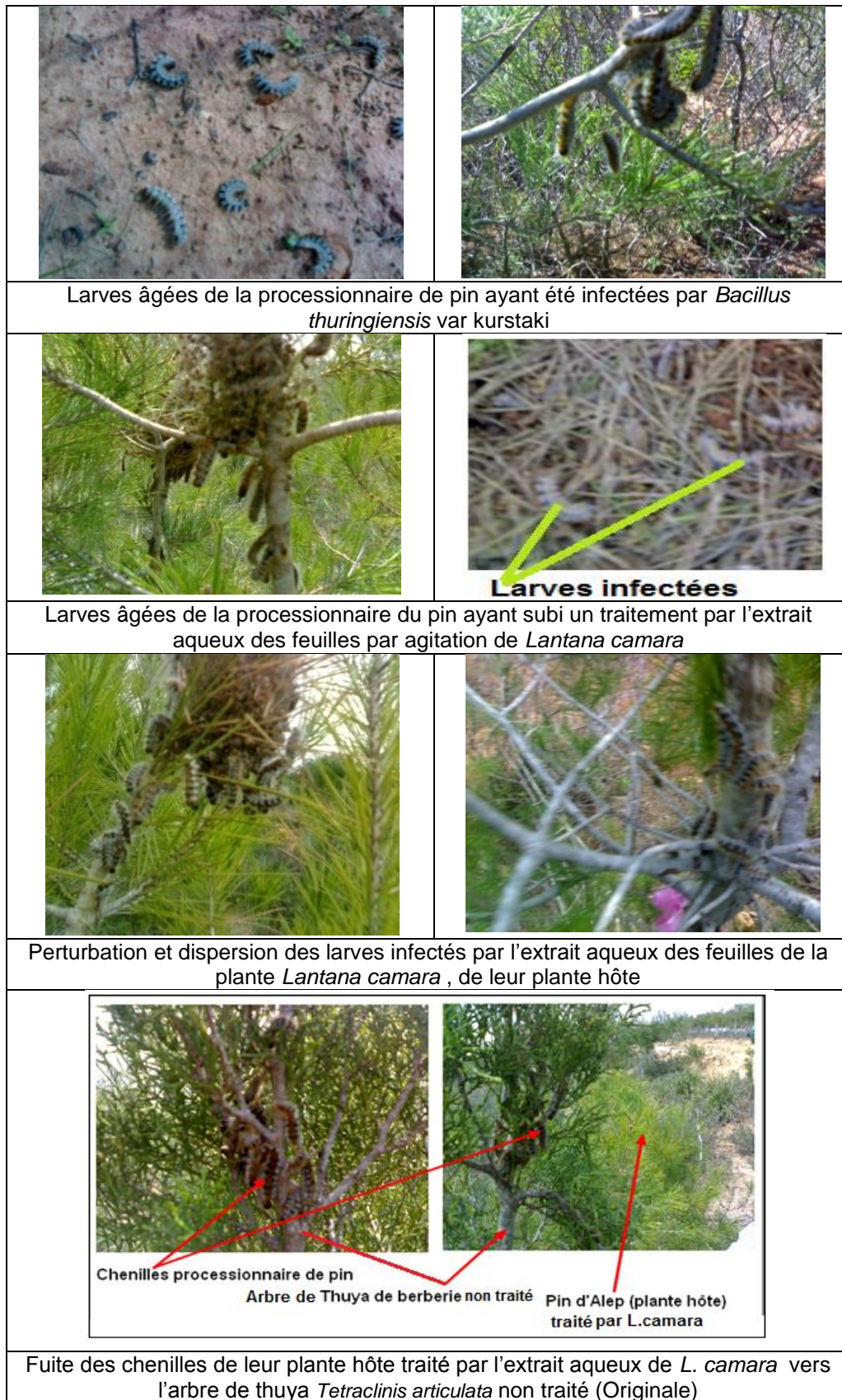


Figure 5.13. Comportement des chenilles de *T. pityocampa* vis-à-vis des traitements biologiques utilisés.

Concernant les essais de traitement sur les prénids et nids d'hiver pris individuellement, le Bt a manifesté la plus grande efficacité avec un taux de mortalité de 82 % après sept jours après traitement par exemple sur l'arbre 4. L'extrait aqueux de *Lantana* a induit une activité insecticide non négligeable sur les larves avec un taux de mortalité ayant dépassé les 76 % au bout d'une semaine sur l'arbre 4. Alors que le produit à base du mélange Bt+Lc a atteint seulement les 37 % de mortalité des larves sur l'arbre 1, par exemple. Globalement, les résultats obtenus après traitement par le Bt montrent un début de mortalité de 4.9%, à 24 heures. Les mortalités augmentent très rapidement à partir du 2^{ème} jour après traitement (15 %), 42.4% en 72 heures et 64% au bout d'une semaine. Sous l'effet des applications à base des extraits aqueux de *Lantana camara*, les mortalités sont comparables à celles obtenus avec le Bt. En revanche, les mortalités des chenilles sont de l'ordre de 23% seulement à 72 h pour atteindre un taux de avec 57.1% après une semaine. Le produit formulé à base de plante/Bt a entraîné de très faibles taux de mortalité dont les valeurs sont égales de moitié à celles obtenus sous l'effet du Bt seul (1.4% à 24 heures, 7 % à 48 heures, 18.2% à 72 heures et 31.6% après une semaine) (fig.5.14).

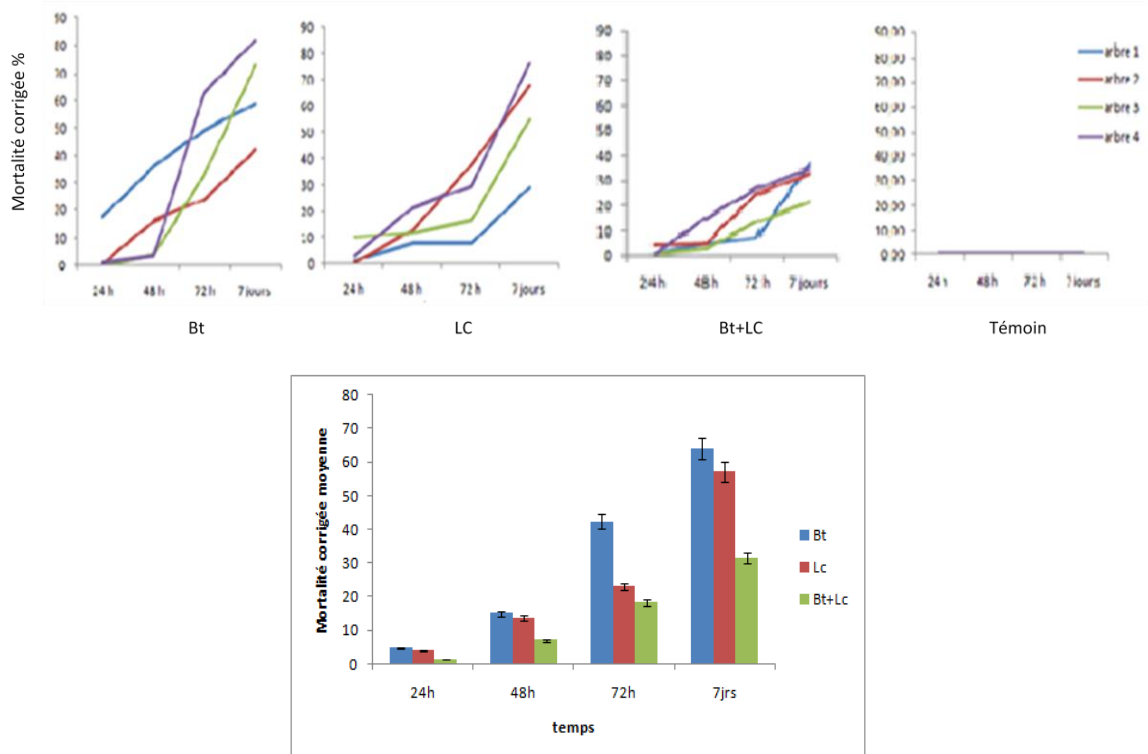


Figure 5.14. Mortalité des chenilles sous l'effet des différents traitements administrés sur le terrain.

5.3.1.2. Analyse comparée des effets biocides des produits biologiques sur les chenilles âgées in situ.

Nous avons utilisé une ACP pour expliquer la variation des effets temporels des produits biologiques utilisés sur le terrain (fig. 5.15).

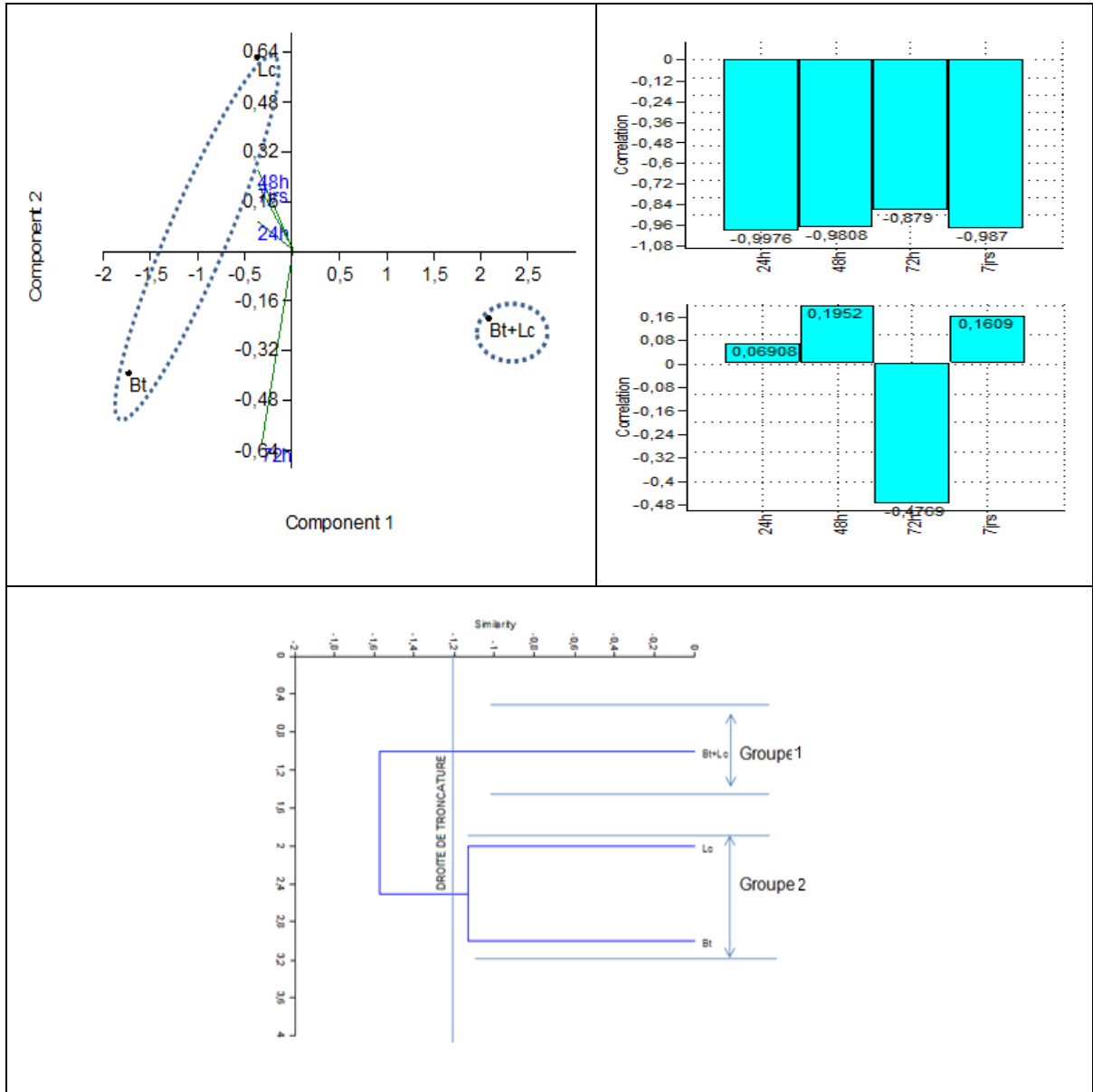


Figure 5.15. Analyse en Composantes Principales et classification hiérarchique ascendante de l'effet comparé des différents traitements en fonction du temps.

Le plan 1, 2 est retenu, puisqu' il rend compte d'une contribution maximale sur les corrélations. Le premier groupe représenté par le traitement mélange (Bt+Lc) n'est pas corrélé avec le temps. Le deuxième groupe tient en compte

essentiellement des deux traitements à base de (*Btk*) et de l'extrait aqueux foliaire de *L. camara* (*Lc*). Ce groupe est corrélé avec les vecteurs temps.

Les résultats obtenus à travers les comparaisons des moyennes des mortalités (tab. 5.5) montrent qu'il y a une différence hautement significative entre les trois traitements ($p= 0.001$) et dans le temps ($p= 0.000$). L'interaction entre le traitement et le temps ne présente aucune différence significative ($p= 0.149$).

Tableau 5.5 : Modèle ANOVA appliqué à l'effet insecticide des différents traitements utilisés (N=360) :

Source	Somme des carrés	d.d.l.	Moyennes des écarts	F-ratio	P
Traitement	2314.292	2	1157.146	8.025	0.001
Temps	15457.896	3	5152.632	35.732	0.000
Trait*Temps	1472.542	6	245.424	1.702	0.149
Erreur	5191.250	36	144.201		

D'une façon générale, le traitement *Bacillus thuringiensis kurstaki* demeure toujours le plus efficace suivi par l'extrait aqueux des feuilles par agitation de la plante *Lantana camara* puis le mélange (Bt+Lc) (fig. 5.14).

5. 3.1.3. Temps léthal 50 (TL50) des traitements insecticides étudiés :

Le temps léthal pour tuer 50% de la population est de 110 heures (4.58 jrs) pour *Bacillus thuringiensis kurstaki* (*Btk*), 144 heures (6 jrs) pour l'extrait aqueux des feuilles *L. camara* (*Lc*). Concernant le mélange (Bt+Lc), le temps léthal pour tuer 50% de la population est de 235 heures (9.9 jrs) (fig. 5.17).

D'après MONDACHIRON et al. [193], 500ml/ml de l'extrait aqueux de *Lantana camara*, tue à 100% les bactéries du milieu testé. Dans notre essai réalisé, cet effet bactéricide de la plante pourrait inhiber l'effet du Bt sur les chenilles processionnaires du pin d'où cette efficacité très faible observée pour le traitement combiné.

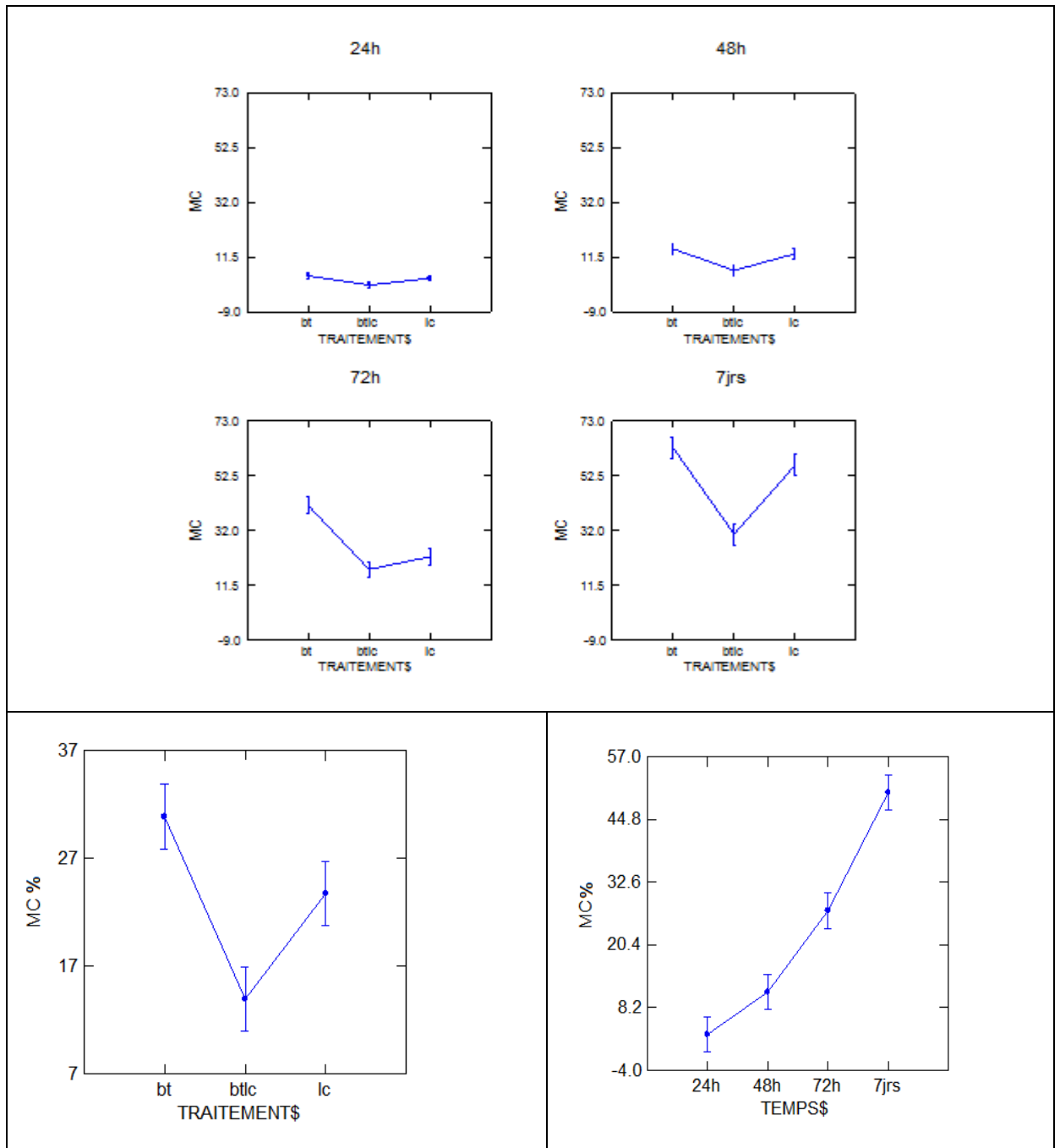


Figure 5.16. Mortalité comparée entre les traitements dans le temps.

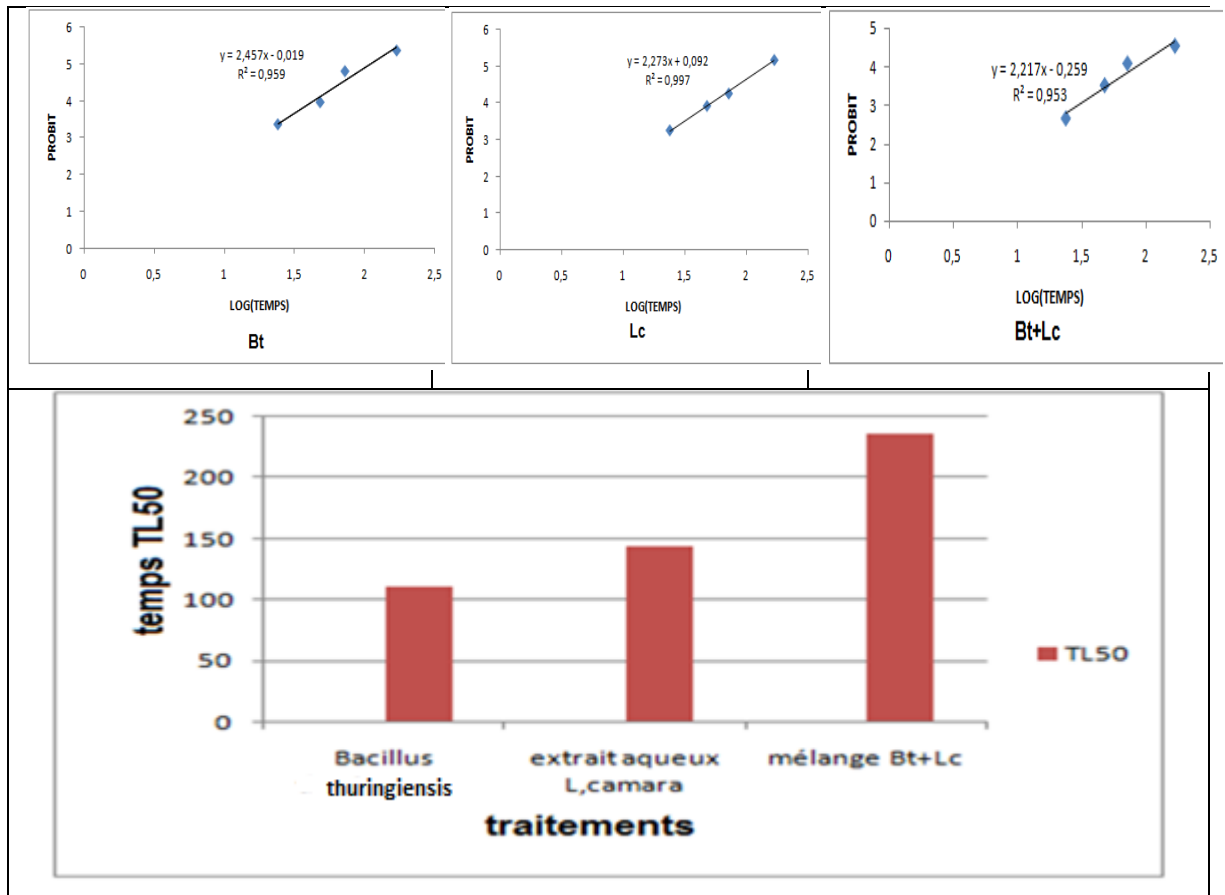


Figure 5.17 : TL50 des traitements insecticides utilisés.

5.3.2. Analyse globale de l'efficacité des traitements biologiques sur les chenilles de *T. pytiocampa* au laboratoire

Quelque soit le traitement utilisé avec la solution bactérienne de *Bacillus thuringiensis kurstaki* homologuée, la solution de l'extrait aqueux brut de *Lantana camara* ou bien le mélange des deux préparations ; on constate que les mortalités corrigées augmentent à des pourcentages faibles compris entre 10% et 20% dans l'intervalle temporel 24h-48h. A partir du 2eme jour après application des différents traitements biologiques, l'augmentation de la mortalité corrigée chez les chenilles est importante. Les pourcentages cumulés atteignent le double de ceux observés 1 jour après les applications notamment avec le Btk. En revanche, les mortalités des chenilles se stabilisent entre 48h et 72h concernant les traitements biologiques à base de l'extrait de lantana seul ou celui du mélange (Lantana+Btk). A partir de 72h après les applications de tous les traitements, nous obtenons une augmentation très rapide des mortalités qui

vont atteindre le maximum à la fin des observations au bout d'une semaine (fig. 5.18).

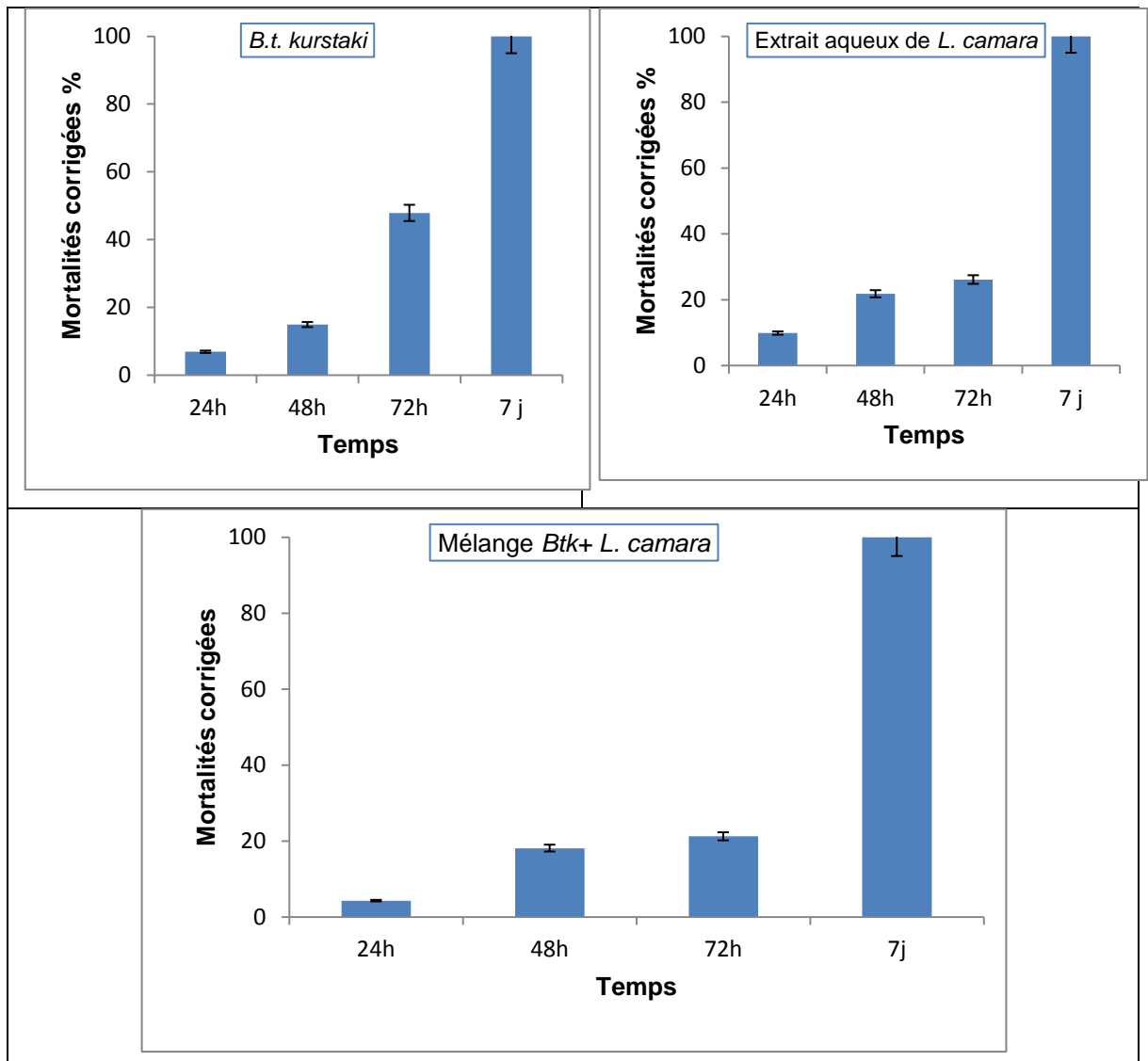


Figure 5.18. Variation temporelle des mortalités des chenilles de *T. pityocampa* sous l'effet des traitements biologiques au laboratoire.

On peut voir à 24h que la mortalité est relativement faible pour le traitement combiné par rapport aux deux autres Btk seul ou Lc seul. A 48h, la mortalité augmente de manière similaire pour les trois traitements mais elle reste faible. A 72h, il se produit une nette augmentation de la mortalité des chenilles avec le Btk alors qu'elle reste sensiblement inférieure avec le traitement à base du mélange de deux produits biologiques. Après 7 jours d'exposition, toutes les chenilles sont mortes quelque soit le traitement utilisé.

A chaque temps d'exposition des chenilles âgées de la processionnaire aux 3 traitements biologiques, l'analyse de la variance a montré des mortalités différentes (Tab. 5.6 et fig .5.19). Les résultats du modèle général linéaire nous montrent l'effet de chaque facteur avec les interactions (tableau 5.6). Les mortalités varient considérablement dans le temps mais indépendamment du traitement lui-même avec une différence très hautement significative ($p < 1\%$).

Tableau 5.6. Résultats de l'analyse de la variance sur la comparaison des moyennes des mortalités corrigées temporelles sous l'effet des traitements biologiques utilisées :

Source	somme des carrés	ddl	moyenne des carrés	F-ratio	P
Traitement	332.042	2	166.021	1.280	0.290
Temps	63263.729	3	21087.910	162.623	0.000
Traitement*temps	1416.958	6	236.160	1.821	0.122
Erreur	4668.250	36	129.674		

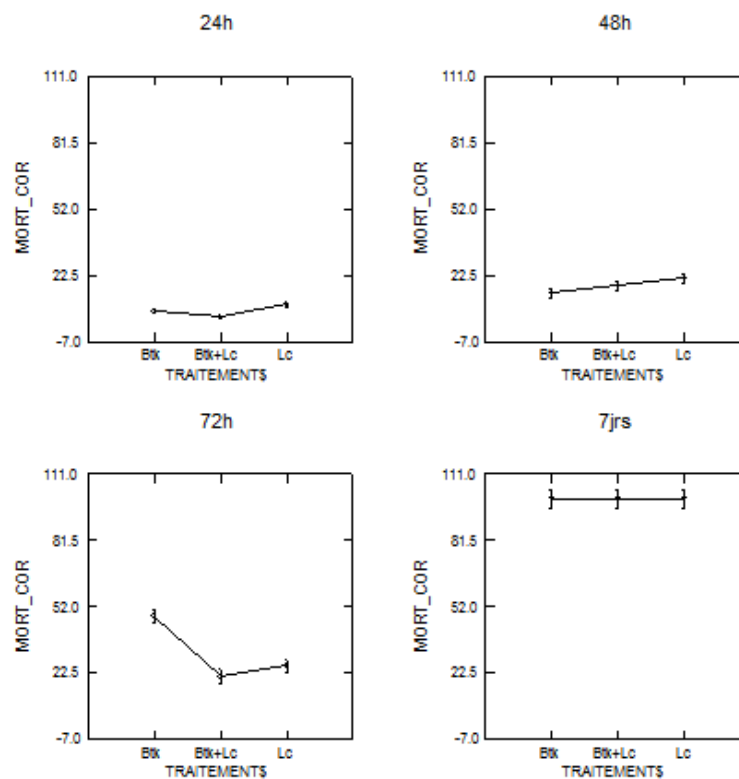


Figure 5.19. Variabilité temporelle des mortalités des chenilles de *T. pytiocampa* exposées aux trois types de traitements biologiques.

Pour visualiser globalement, les efficacités temporelles des trois traitements appliqués sur les mortalités des chenilles, nous avons eu recours à une analyse factorielle des correspondances suivie d'une classification ascendante hiérarchique sur la base des traitements des données dans la suite des programmes établies dans le logiciel Past (fig. 5.20).

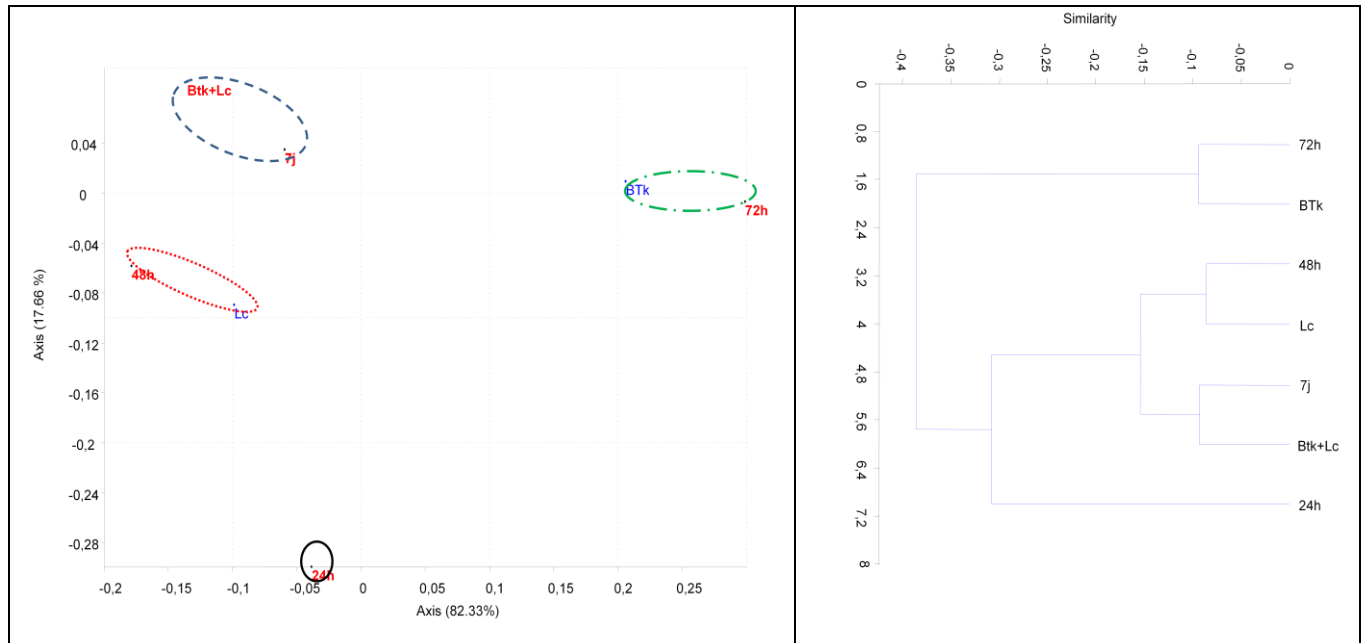


Figure 5.20. Projection des variables temporelles et des traitements sur les axes 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances et dendrogramme obtenu à travers la classification ascendante hiérarchique sur la base de la mesure de similitude de la distance euclidienne entre les variables temporelles et les variables de traitements.

La CAH a permis de structurer 4 groupes de statut homogène mettant en relation l'efficacité de chaque traitement par rapport à un temps déterminé. Le groupe Btk-72h indique une très importante augmentation des mortalités des chenilles à partir de cette période. Le groupe *Lantana camara*-48h explique une faible augmentation des mortalités sous l'effet de l'extrait aqueux de la plante. Le groupe du traitement mixte est associé au temps 7 jours expliquant une mortalité totale des chenilles sous l'effet combiné des substances libérées par les toxines du Btk et celles de *L. camara* que nous avons déjà indiqué comme étant très toxique d'après la bibliographie.

5.3.3. Evolution des populations résiduelles des chenilles de *T. pytiocampa* sous l'effet des principes actifs de l'extrait aqueux de *L. camara*.

L'évolution temporelle des populations résiduelles de la chenille processionnaire du pin a été étudiée au laboratoire sous l'effet des principes actifs extraits de la solution obtenue par macération des feuilles de *Lantana camara* à la dose initiale du produit brut et à la demi-dose diluée avec la moitié du volume d'eau distillée.

Les figures 5.21 et 5.22 montrent des évolutions différentes sous l'effet de la dose et de la demi-dose de chaque traitement considéré. Après 6 heures de l'application des anthocyanes et des flavonoïdes bruts à la dose initiale, on peut constater des populations résiduelles encore importantes par rapport à celles observées chez la population témoin (figure 5.18).

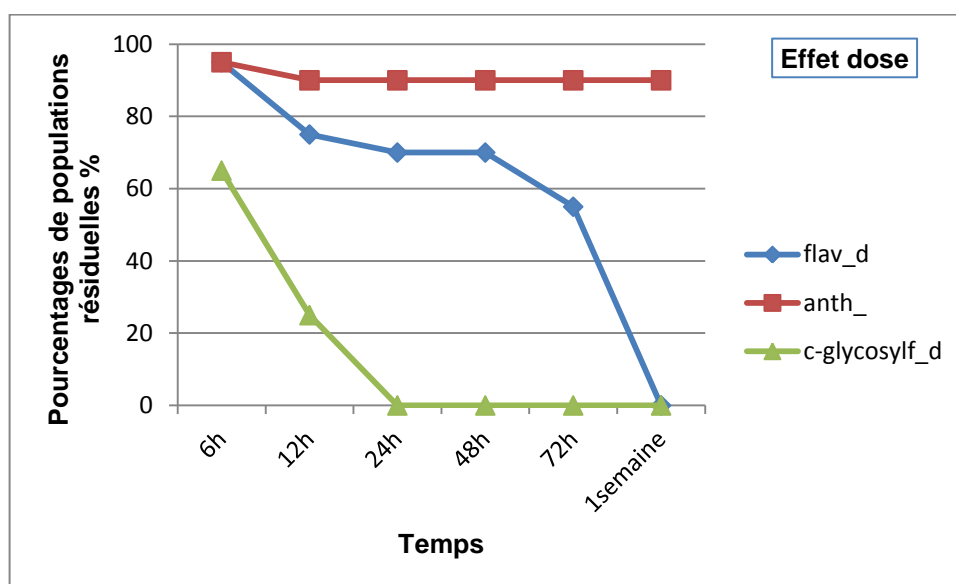


Figure 5.21. Evolution des populations résiduelles dans le temps après application de la dose de la solution brute des principes actifs issus de l'extrait foliaire de *L. camara*.

Dans l'intervalle 12h-48h, les populations résiduelles des chenilles de la processionnaire se maintiennent à des pourcentages encore élevées entre 65 et 80% sous l'effet de l'application de la dose des flavonoïdes bruts contrairement à ce qui est observé chez les C-glycosyls flavones où les niveaux de chenilles survivantes diminue jusqu'à 20% après 12 heures puis il devient nul à partir de cette durée jusqu'à la fin de nos observations. La diminution des abondances des chenilles est notable entre 48h et 1 semaine après l'application de la dose des

flavonoïdes. Néanmoins, les populations résiduelles après le traitement à base des anthocyanes ont une abondance presque similaire à celle des témoins ce qui indique que les chenilles n'ont pas été probablement affectées par ce principe actif.

Les applications des demi-doses des flavonoïdes bruts et des C-glycosyls flavones ont conduit également à une diminution très rapide des effectifs de chenilles dès les 12h pour les c-glycosyls et à partir de 48 heures pour les flavonoïdes bruts.

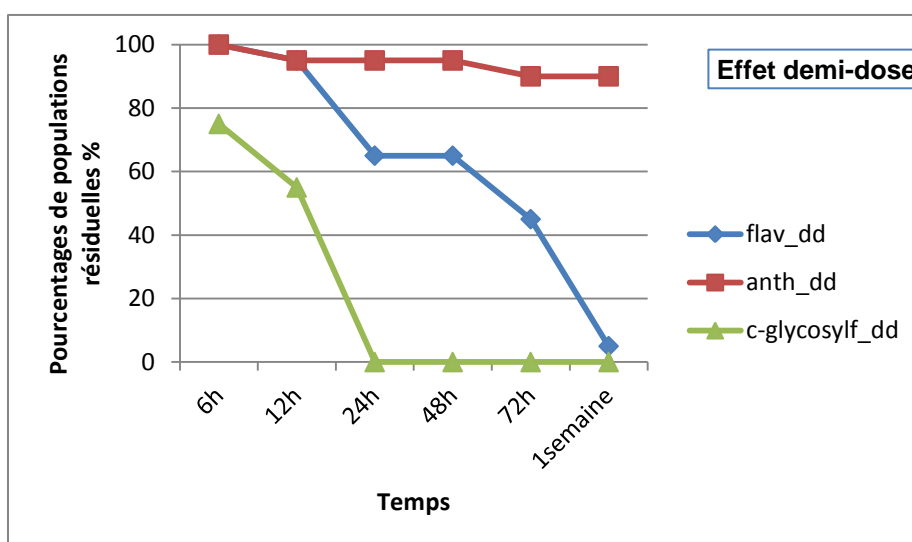


Figure 5.22. Evolution des populations résiduelles dans le temps après application de la demi-dose de la solution brute des principes actifs issus de l'extrait foliaire de *L. camara*.

L'efficacité globale des flavonoïdes, des C-glycosyls et des anthocyanes sur les chenilles L5 de la processionnaire *T. pytiocampa* a été analysée à travers une ACP.

L'axe 1 et l'axe 2 ont été retenus en raison du maximum d'informations apportés par les pourcentages de contribution des variances de 87.51% et de 10.27% respectivement (figure 5.23). L'axe 1 représente les traitements à base de principes actifs appliqués sur la processionnaire et l'axe 2 représente les temps d'exposition après traitement. La classification hiérarchique sur la base de la distance de similitude égale à 0.23 montre 4 groupes de variables. Le groupe 1 est caractérisé par la présence des flavonoïdes du côté négatif de l'axe 1 et corrélé avec les variables temporelles 6h et 12h, ce qui correspond à des

populations résiduelles abondantes. Le groupe 2 rassemble les anthocyanes du côté négatif de l'axe 1 mais corrélées très faiblement aux vecteurs des temps 24h, 48h et 72h, ce qui correspond à un effet nul de ces principes actifs sur les chenilles (figure 5.23).

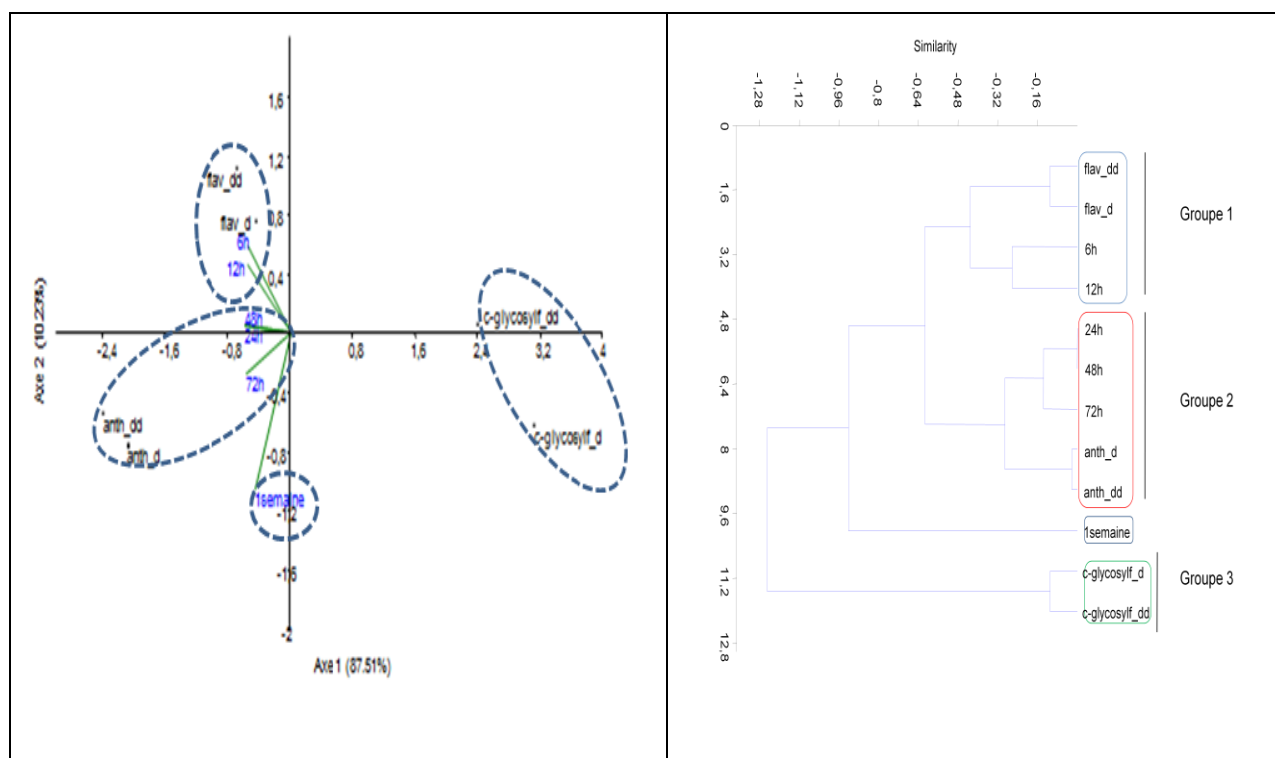


Figure 5.23. Projection des variables temporelles et des doses des différents traitements à base des principes actifs de l'extrait foliaire de *Lantana* sur le plan d'ordination de l'analyse en composantes principales et groupes issus de la classification hiérarchique obtenue sur la base des distances euclidiennes entre les variables traitements et temps.

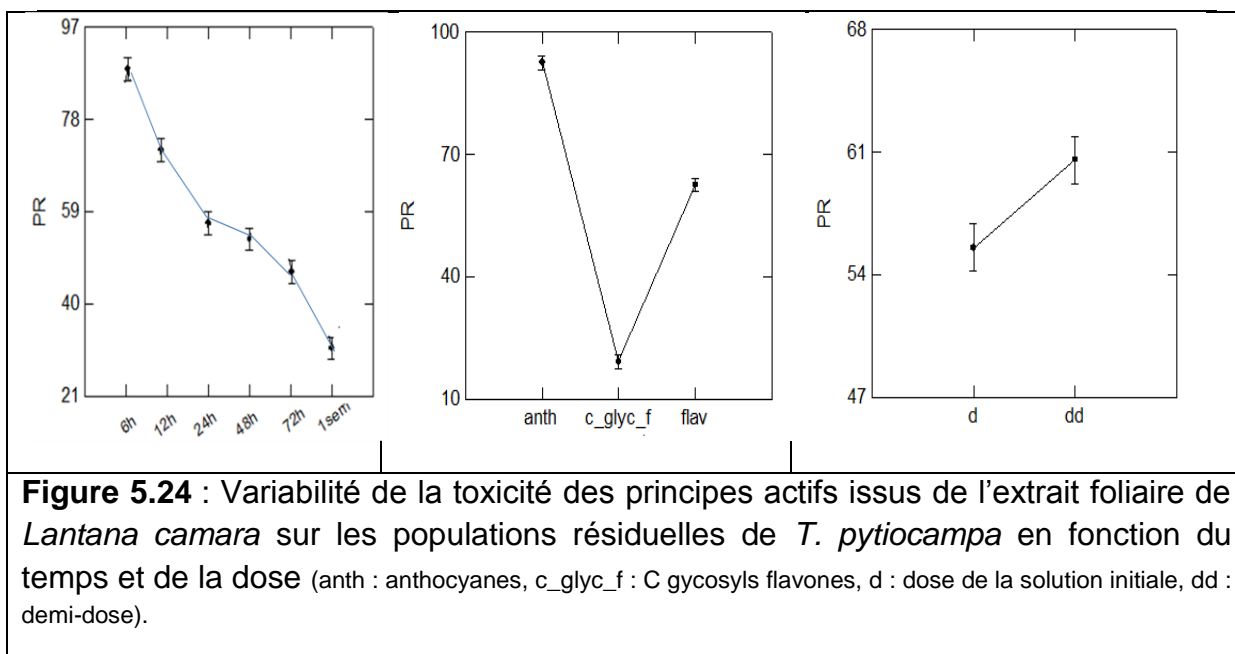
On remarque que le groupe des c-glycosyls flavones montre une disparité par rapport aux autres groupes du fait qu'il n'est corrélé à aucune variable temporelle en raison de leur important effet sur les chenilles dès les premières heures après application aussi bien à la dose qu'à la demi-dose.

D'après la figure 5.24, on remarque une augmentation graduelle de la toxicité dans le temps. Cette toxicité est nulle entre 6h et 24h après application, elle est moyenne entre 24h et 72h et atteint son maximum au bout d'une semaine. On voit également que les c-glycosyls flavones ont un effet très toxique par rapport aux flavonoïdes qui présentent une toxicité moyenne et aux anthocyanes qui

manifestent un effet non toxique. Enfin, nous avons une variabilité avec une différence significative ($p=0.01$; tableau 5.7) de la dose par rapport à la demi dose. L'abondance des populations résiduelles indique des pourcentages supérieurs à 50% et inférieures à 60%, ce qui nous permet de dire que la dose de la solution initiale du principe actif utilisé a présenté une toxicité moyenne par rapport à nos dilutions probablement.

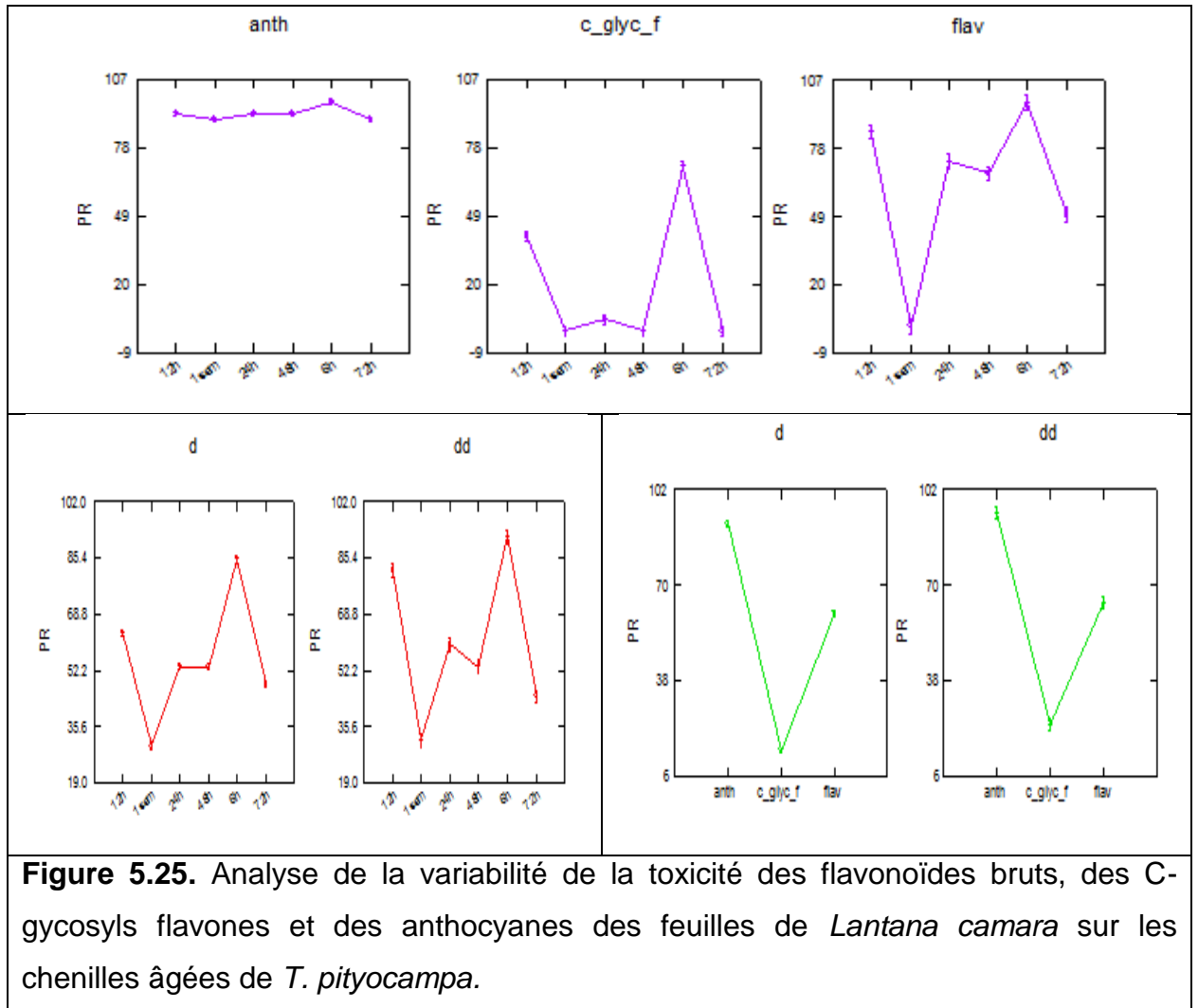
Tableau 5.7 : Résultats de l'analyse de la variance sur la comparaison des moyennes des abondances des populations résiduelles de *T. pytiocampa* sous l'effet des différentes applications des principes actifs.

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Temps	24244.444	5	4848.889	72.733	0.000
Princ. act	65244.444	2	32622.222	489.333	0.000
Dose	450.000	1	450.000	6.750	0.013
Temps* Princ. act	15638.889	10	1563.889	23.458	0.000
Temps*Dose	866.667	5	173.333	2.600	0.042
Princ. act *Dose	100.000	2	50.000	0.750	0.480
Temps* Princ. act	383.333	10	38.333	0.575	0.823
*Dose					
Erreur	2400.000	36	66.667		



En analysant les différentes interactions entre les facteurs, on remarque qu'il n'y pas de toxicité manifesté envers les chenilles chez les anthocyanes de *L. camara* d'une part et que les c-glycosyls flavones affichent une très forte toxicité

caractérisée par un effet de choc prolongé sur les chenilles sur une durée de 3 jours dans les conditions de laboratoire. Par ailleurs, la toxicité des flavonoïdes est moyenne mais elle augmente considérablement au bout de 7 jours après application (figure 5.25).



La variabilité des interactions temps-principes actifs présente une différence hautement significative où $p=0$ (tableau 5.7). D'après la figure 5.25, et selon les analyses des interactions dose temps, on constate que l'effet des doses n'atteint une toxicité élevée envers les chenilles qu'après une semaine d'exposition aussi bien pour la dose initiale que pour la demi dose. Les interactions dose temps montrent une différence significative ($p=0.04$; tableau 5.7). Que cela soit avec la dose ou avec la demi dose testées, les effets les plus toxiques se retrouvent chez les c-glycosyls flavones mais la variabilité montre une différence non significative où la probabilité associée ($p=0.48$).

5.4. Modulation de la fitness des larves exposées aux traitements biologiques

5.4.1. Variation quantitative des réserves énergétiques et des principes actifs

Prenant en considération leurs propriétés énergétiques et leur caractéristique de biomarqueur, les lipides et glucides des chenilles âgées (L4 et L5) de la processionnaire du pin ont été quantifiés avant et 24 heures après l'application des produits biologiques testés sur le terrain. Les quantités de lipides et de glucides restent comparables entre les stades mais les lipides sont relativement plus élevés que les glucides au sein d'un même stade.

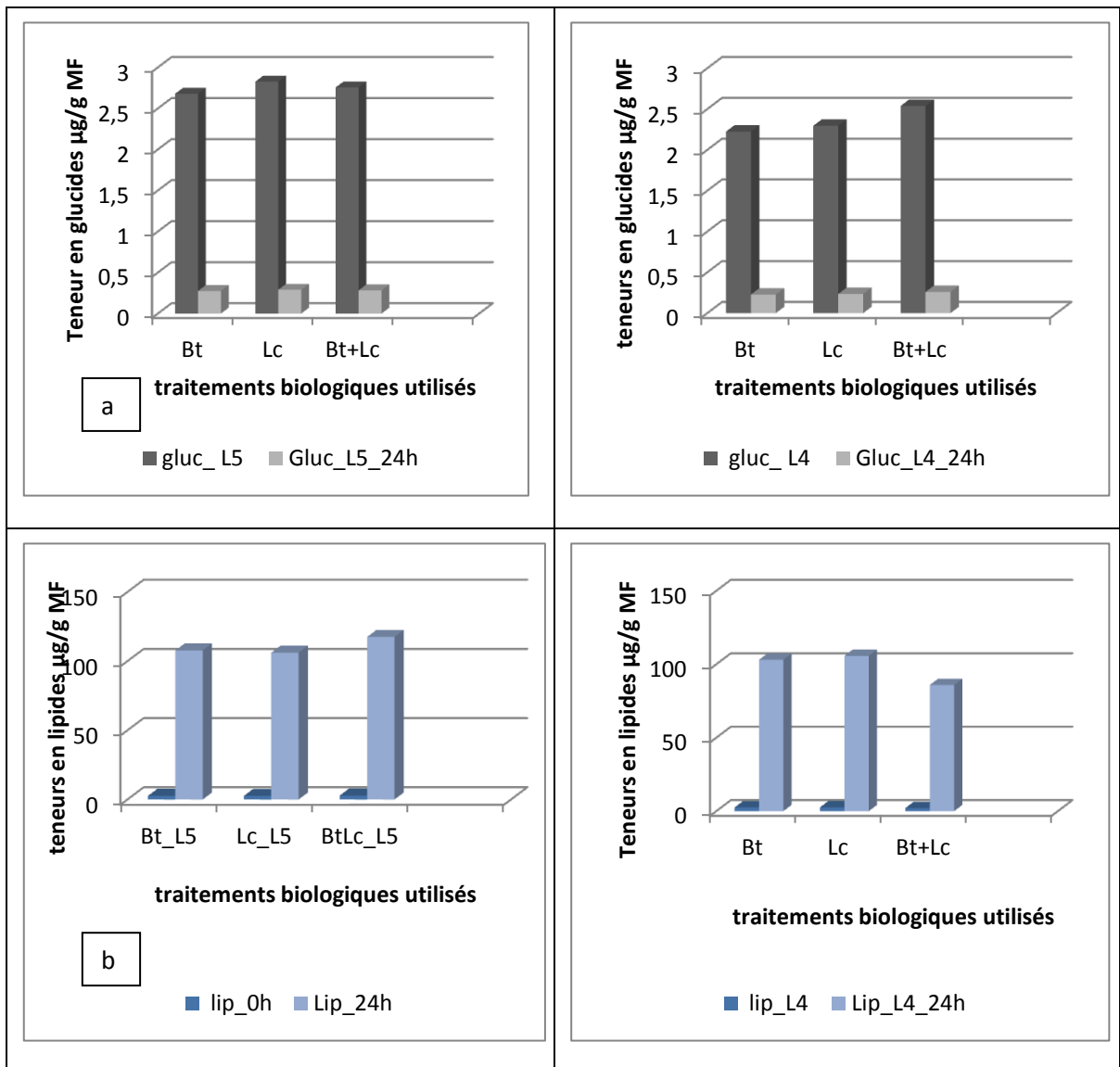
Les teneurs glucidiques importantes chez les chenilles non stressées ont nettement diminué au bout d'un jour d'exposition aux effets des matières actives biologiques utilisées. Ainsi, on peut remarquer d'une part que les teneurs en réserves des glucides de l'ordre de 2.754 µg/g MF chez les L5 et de l'ordre de 2.352 µg/g MF chez les L4 avant traitement, ont régressé à des teneurs très infimes de 0.274, 0.290 et 0.282 µg/g MF chez les L5 et de 2,224, 2,295 et 2,538 µg/g MF chez les L4 ayant reçu un traitement biopesticide à base de Bt, Lc et le produit synergique BtLc respectivement.

D'autre part, les réserves en lipides de l'ordre de 2,711 µg/g MF chez les L5 et de l'ordre de 2,417 µg/g MF chez les L4 ont augmenté à des quantités très importantes de 107,77 (Btk), 106,125 (Lc) et 117,52 (BtLc) µg/g MF chez les L5 traitées et de 103,04, 105,70 et 85,89 µg/g MF chez les L4 ayant reçu les 3 traitements biopesticides respectivement (figure 5. 26).

L'analyse de variance à un seul facteur a montré des différences très hautement significatives ($P < 1\%$) entre les différentes teneurs en réserves énergétiques des 2 stades larvaires avant et 24h après traitement (tab. 5.8)

En résumé, d'après nos constatations, nous pouvons dire que les produits biologiques utilisés seuls ou combinés ont provoqué une nette diminution de la production en réserves glucidiques à des taux similaires quelque soit le stade des chenilles ou le traitement testé, et une augmentation drastique des réserves en lipides à des quantités comparables chez les L5 et les L4 exposées pendant 24h au Bt et Lc seuls, mais ces teneurs paraissent plus élevées chez les L5 que chez les L4 ayant ingéré avec leur nourriture le produit synergique BtLc (fig. 5. 26).

Les aiguilles de pin, en tant que substrat alimentaire des chenilles, ont été analysés pour quantifier leurs teneurs en proline et en sucres totaux dans les mêmes conditions expérimentales réalisées précédemment et pour expliquer leur relation avec les variations des quantités lipido-glucidiques chez les chenilles. Nous avons constaté que les quantités en sucres totaux restent inchangées avant et après effet stress. En revanche, les teneurs en proline ont beaucoup augmenté concernant le traitement avec le produit synergique, suivi de celui avec le Bt et enfin celui avec le traitement à base de la solution aqueuse de *L. camara* (fig. 5.26) (tab. 5.9, différence marginalement significative $p = 0.08$).



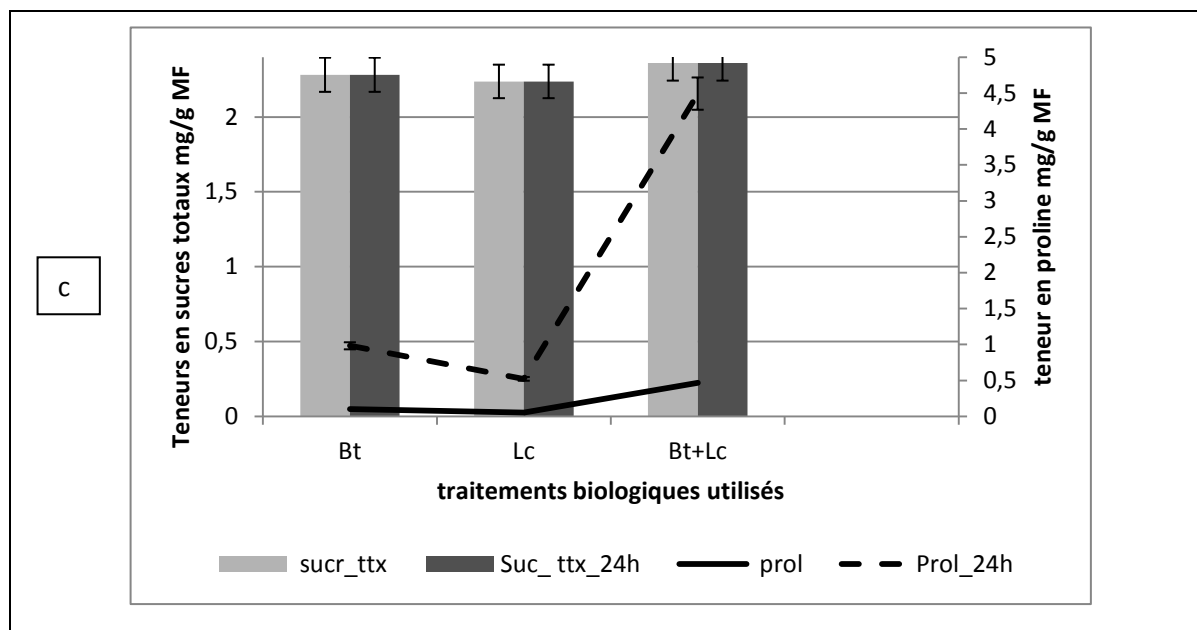


Figure 5.26. Variabilité des teneurs en réserves énergétiques des chenilles âgées de *T. pityocampa* (a et b) et teneurs en sucres totaux et proline (c) dans les aiguilles de pin avant et après application des produits biologiques testés.

Tableau 5.8. Comparaison des moyennes des teneurs en réserves glucido-lipidiques chez les chenilles âgées 24h après traitement (Test one way Anova, past).

	gluc_L5	Gluc_L5_24h	gluc_L4	Gluc_L4_24h
gluc_L5	-	0,0002306	0,002995	0,0002306
Gluc_L5_24h	47,07	-	0,0002306	0,941
gluc_L4	7,643	39,42	-	0,0002306
Gluc_L4_24h	47,86	0,793	40,22	-
	lip_L5	Lip_L5_24h	lip_L4	Lip_L4_24h
lip_L5	-	0,0002306	0,9999	0,0002306
Lip_L5_24h	30,12	-	0,0002306	0,1498
lip_L4	0,08221	30,2	-	0,0002306
Lip_L4_24h	26,69	3,426	26,77	-

Tableau 5.9. Comparaison des moyennes des quantités en sucres totaux et en proline dans les aiguilles de pin (Test de Kruskal Wallis, Past)

	prol	sucr_ttx	Prol_24h	Suc_ttx_24h
prol	-	0,08086	0,08086	0,08086
sucr_ttx	0,4851	-	0,6625	0,8273ns
Prol_24h	0,4851	1	-	0,6625
Suc_ttx_24h	0,4851	1	1	-

5.4.2. Analyse globale des effets des traitements biologiques sur les réserves énergétiques et les principes actifs

Pour étudier les relations entre les réserves énergétiques et les teneurs en sucres et en proline du pin, nous avons utilisé une ACP. Le plan formé par les axes F1 et F2 a été retenu du fait qu'il rend compte du maximum des informations apportées par les projections des variables étudiées (fig. 5.27). L'axe F1 (80.67%) est pris en considération pour l'étude des corrélations.

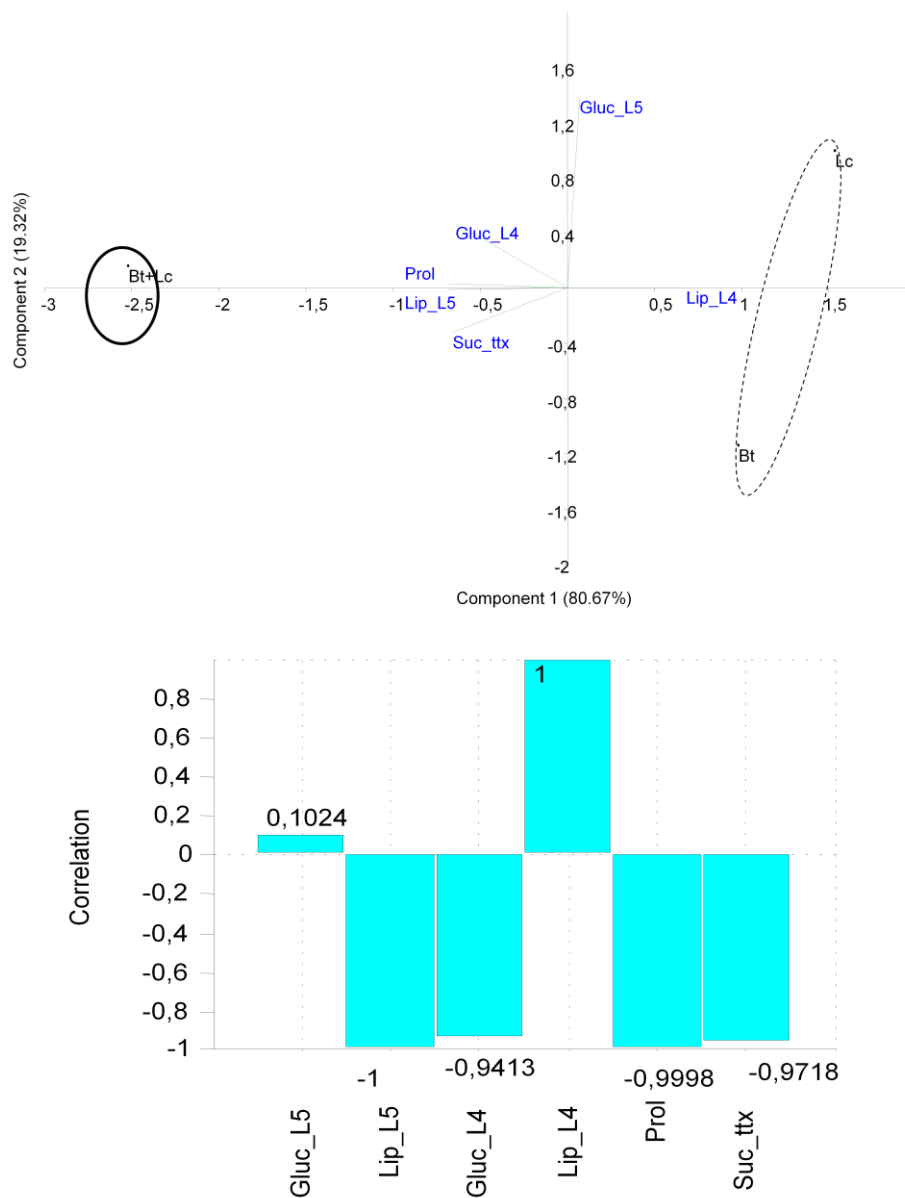


Figure 5.27. Corrélations de Pearson (F1) et projection des variables teneurs en lipides-glucides des chenilles et des variables teneurs en sucres totaux-proline du pin sur le plan d'ordination F1-F2 de l'ACP.

D'une part, les teneurs lipidiques des L4 sont inversement proportionnelles aux teneurs en réserves glucidiques et en sucres totaux, mais les corrélations ne sont pas significatives ($p > 5\%$; fig.5.26 et Tab. 5.8). Ces mêmes teneurs sont par contre corrélées négativement avec la proline avec une différence significative ($p = 0.01$, tab. 5.10). D'autre part, les quantités en réserves lipidiques des L5 sont corrélées aux teneurs en proline ($p = 0.01$, tab. 5.10) et varient dans le même sens du côté négatif de l'axe 1 (fig. 5.27).

Tableau 5.10. Corrélations de Pearson entre les teneurs en lipides/glucides des chenilles âgées de la processionnaire du pin, les supports alimentaires du pin et la proline :

	Gluc_L5	Lip_L5	Gluc_L4	Lip_L4	Prol	Suc_ttx
Gluc_L5	-	0,92949	0,84604	0,93565	0,9472	0,78326
Lip_L5	-0,11053	-	0,22447	0,0061583	0,017708*	0,14623
Gluc_L4	0,23948	0,93848	-	0,21831ns	0,20676	0,37069
Lip_L4	0,10091	-0,99995	<u>-0,94178</u>	-	0,011549*	0,15238ns
Prol	-0,082847	<u>0,99961</u>	0,94772	<u>-0,99984</u>	-	0,16393
Suc_ttx	-0,33391	0,97374	<u>0,83521</u>	-0,97149	0,96703	-

Du côté positif de l'axe 1, les corrélations les plus représentatives correspondent aux vecteurs des lipides L4, celles situées sur le côté négatif du même axe correspondent aux vecteurs des glucides L4, des lipides L5, des sucres totaux et de la proline. Du côté positif de l'axe 2 de l'ACP, seul le vecteur Glucides L5 est le plus représenté. On peut distinguer deux groupes, le groupe du traitement combiné BtLc qui est corrélé au vecteur proline et le groupe Bt-Lc qui correspond aux traitements à base des matières actives séparés et qui est corrélé avec les lipides des L4 et inversement corrélé avec les glucides du même stade L4, (fig. 5.27).

CHAPITRE 6

DISCUSSIONS

6-1- Caractérisation des habitats de la processionnaire du pin dans la frange littorale de la région de Tipaza :

Le Pin d'Alep est très présent au sein de la région méditerranéenne en peuplements spontanés, subsponnés ou plantés. Il est très difficile de distinguer les peuplements spontanés des peuplements subsponnés où le Pin s'est introduit après destruction de la végétation climacique et des peuplements plantés [336]. Les régions du nord de l'Algérie permettent le développement des formations forestières mais ce taux de boisement est évidemment très insuffisant pour assurer l'équilibre biologique. L'espèce prédominante est le pin d'Alep qui occupe une superficie vaste par rapport aux autres espèces forestières.

Notre étude a été réalisée pour la première fois, à notre connaissance dans les pineraies de la frange littorale de la région de Tipaza. Du point de vue de la physionomie et de la structure de la végétation dans ces pineraies, nous avons mis en évidence les groupements des plantes arbustives et herbacées associées à l'espèce de pin dominante dans chaque pineraie.

Compte tenu de la richesse en espèces arbustives et leur position intermédiaire entre le thermoméditerranéen et le mésoméditerranéen inférieur, ces pineraies relèvent des formations arbustives (et arborescentes) sclérophylles appartenant à l'Ordre Pistacio lentisci-Rhamnetalia alatani. Elles hébergent des espèces thermophiles, on peut les classer dans les formations thermoméditerranéennes à Association : *Quercus ilex*-Pinetum halepensis, Sous association : *oleo sylvestris*-*pistachietosum* lentisci, Sous-association : *juniperetosum turbinatae*.

La littérature mentionne que la strate arborescente est fréquemment réduite au Pin d'Alep qui peut atteindre 10 m de haut ; sur sol rocheux. La strate arbustive peut comprendre une strate supérieure jusqu'à 3-4 m avec Lentisque (*Pistacia lentiscus*),

Myrte (*Myrtus communis*), Filarias, Pistachier térébinthe... ; la strate herbacée est toujours très ouverte et moins constante.

6-2- Cycle biologique de *T. pytiocampa* dans la frange littorale à Tipaza :

Les chenilles processionnaires (*Thaumetopoea pityocampa*), insectes arboricoles et grégaires à l'état larvaire sont l'exemple le plus connu des défoliateurs formant une guildes importante de l'écosystème forestier. Leurs groupes organisés sont caractérisés par la coordination des activités individuelles en une activité collective qui se manifeste par la construction d'un nid servant de lieu de mue, de refuge contre la température et les prédateurs. On observe en outre le tissage de pistes de soie servant au guidage des individus, des déplacements collectifs en file indienne et la prise de nourriture en commun, ce qui provoque des modifications importantes du métabolisme. La chenille processionnaire est un lépidoptère connu depuis fort longtemps dans le bassin méditerranéen comme un défoliateur permanent des forêts naturelles de pin et de cèdre [17]. SIEMANN *et al* [129] notent que les peuplements homogènes fournissent un habitat favorable pour les espèces défoliatrices.

En Algérie, la phénologie de la processionnaire du pin a été établie par KERRIS [98], DEMOLIN [94], GACHI [96], ZAMOUM [332 ; 333] et par SEBTI [90].

Le développement dure 6 mois sous les conditions les plus favorables, mais les stades 4 et 5 peuvent se prolonger en hiver. Le stade nymphal peut aussi être considérablement prolongé par la diapause dont la durée s'ajuste, en un site donné et à l'intérieur de certaines limites, de façon à assurer une date de sortie des adultes constante chaque année. Les effets de l'altitude et de la latitude sont étudiés par Demolin [94], qui explique les différences de comportement en différents sites. Les dates de sortie des adultes sont plus précoces avec l'altitude et la latitude. D'une façon générale, la période de sortie dure moins de 1 mois pour les populations vigoureuses et 1,5 mois pour les populations affaiblies et en régression. Dans le plus grand nombre de conditions écologiques, le vol des adultes se déroule en juillet.

DEMOLIN [94] attribue cette variabilité au cours de la vie larvaire à trois facteurs : la température, la radiation globale et la photopériode. HUCHON et DEMOLIN [97]

précisent que généralement, les chenilles parviennent à maturité à partir de la fin janvier jusqu'au mois de juin.

Selon Sebti [90] les chenilles changent de couleur au cours de leur croissance et se couvrent de plus en plus de poils, elles restent groupées en colonies et partent se nourrir en procession, chaque déplacement donne lieu à l'élaboration d'un nid temporaire servant à la fois de refuge et de crottoir. Le début du cycle varie en fonction de l'altitude et la latitude et des conditions climatiques. En général les émergences sont d'autant plus tardives que l'été est plus chaud. Au cours de la gradation 2010/2011 dans la cédraie de Chréa, ce même auteur a pu observer également un cycle annuel. En effet, HUCHON et DEMOLIN [97] soulignent que dans les conditions les plus favorables, le cycle de développement d'une génération se termine en une année.

D'après KERRIS [98], la sortie des papillons a lieu entre la mi-juillet et la fin d'août. Les manchons, même après éclosion, peuvent rester plusieurs mois sur l'arbre. Les pontes comptent en fonction du stade de gradation de la population de 70 à 300 œufs GACHI [96]. Après l'éclosion des œufs (30 à 45 jours après émergences KERRIS [98], les jeunes chenilles (L_1 à L_2) attaquent les aiguilles de pin aux alentours immédiats de la ponte et laissent à chaque emplacement un réseau de soie très léger dans lesquels on retrouve, après 12 jours, les exuvies des L_1 puis, 20 jours plus tard, celle des L_2 [96]. Peu de temps avant l'hiver (mi-novembre), les chenilles tissent le nid d'hiver pouvant atteindre jusqu'à 20 cm [98] et [96].

La plante-hôte influence aussi le développement larvaire. La survie des larves serait supérieure sur *P. sylvestris* et *P. nigra* var. *austriaca* que sur *P. pinaster* et *P. halepensis*. *P. pinaster* n'est pas très attaqué en Corse (France), ou en Espagne mais est attaqué de façon significative dans les Landes (France). La qualité de l'hôte influence la multiplication des ravageurs, ainsi des arbres moins vigoureux sont vulnérables aux attaques [175] et [342]. Cette vulnérabilité est susceptible de s'accroître suite à des incendies en milieu forestiers [173].

Parmi les facteurs généralement favorables à la prolifération et à l'intensité des incendies, notons les hausses de température, la baisse de la teneur en eau, et

l'accroissement de la vitesse du vent. C'est le cas dans la zone méditerranéenne où les vents de terre qui soufflent l'été font chuter l'humidité relative et propagent l'incendie en projetant au loin des étincelles [174]. Billings [343] mentionne par ailleurs que les forêts plantées de peuplement souvent pur, sont elles aussi particulièrement vulnérables. Au Vietnam, le repeuplement de montagnes entières en *Pinus merkusii* et autres espèces de pins a provoqué des invasions fréquentes de chenilles processionnaires, *Dendrolimus punctatus*.

Le climat joue un rôle déterminant sur la distribution géographique, sur le nombre de générations annuelles ainsi que sur l'abondance des Arthropodes [159]. Le réchauffement climatique se traduit par de fortes extensions des aires potentielles pour les espèces de déprédateurs dont la survie hivernale est limitée par les basses températures [160] tel est le cas de la processionnaire du pin. L'action primordiale des facteurs climatiques sur la biologie de la processionnaire du pin, et notamment celle des températures minimales du mois de janvier et de l'insolation annuelle, a été clairement établie par DEMOLIN, qui a suggéré dès les années 1960 que les gradations de ce ravageur étaient en priorité liées aux facteurs climatiques [94] et [161].

Sous nos latitudes, le cycle de vie de la processionnaire du pin est variable selon les conditions environnementales, la ponte ayant lieu d'autant plus tôt et la procession d'autant plus tard que les températures hivernales sont basses [97]. Ainsi les insectes pondent en juin et réalisent leurs processions de nymphose en avril en limite nord de l'aire de distribution, alors que les pontes et processions ont lieu respectivement en septembre et janvier dans le sud de la Péninsule Ibérique. Cependant, ces dates restent indicatives, et peuvent fluctuer d'une année sur l'autre en fonction notamment des conditions climatiques.

L'aire de distribution potentielle de la processionnaire du pin est largement liée aux conditions de températures hivernales: la température létale se situerait aux alentours de -16°C. Avec l'augmentation récente des températures, on observe en Europe une expansion régulière des populations vers le Nord et en altitude [137]. En France, l'aire de la processionnaire du Pin a nettement progressé vers le nord et l'est. Une montée de la processionnaire du Pin en altitude est également observée

en Espagne [93] et en Italie [344]. Cette progression spatiale est au moins en partie due aux températures.

La vitesse à laquelle les insectes se développent et passent d'un stade de leur cycle de vie au suivant est largement dépendante de la température de leur micro-environnement. A chaque stade, le développement est soumis à des températures limites minimale et maximale. Chez la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, une croissance plus rapide des premiers stades larvaires sous l'effet d'une augmentation des températures, permet d'atteindre un stade de développement plus avancé avant la période hivernale et d'accroître ainsi la survie durant cette période [137]. Par ailleurs, la survie hivernale des larves est liée à la température, celle-ci ayant un effet direct sur la fréquence des phases d'alimentation et les risques d'exposition aux températures létales.

Les signaux qui gouvernent la phénologie de l'insecte et de son hôte sont souvent liés à des combinaisons complexes d'alternances de périodes de hautes et basses températures et de modifications de la photopériode. Certaines espèces de ravageurs seront moins sensibles à un risque de découplage avec la phénologie de leur hôte parce qu'ils pourront mieux suivre son évolution ou exploiter plusieurs stades phénologiques de leur hôte.

C'est le cas de la processionnaire du pin dont les larves peuvent se nourrir sur des aiguilles âgées si les jeunes aiguilles ne sont pas encore développées [137].

6.3. Evaluation des effets biocides des produits naturels étudiés :

Les traitements hivernaux tels qu'ils sont préconisés par DEMOLIN *et al.* [229] permettent d'éviter de systématiser les applications aériennes et d'intervenir uniquement dans les foyers d'infestation et ainsi d'épargner toute une zoocénose inactive à cette époque de l'année. De cette manière, il s'agirait de traiter quand et là où c'est nécessaire pour arriver à une lutte raisonnée [243].

La lutte contre la chenille processionnaire de pin, se déroule au cours de sa phase de vie aérienne, durant la période allant du mois de septembre au mois de mars [3]. Les traitements chimiques ou biologiques sont appliqués principalement par pulvérisation aérienne par ULM avec un pulvérisateur rotatif de 5 l ha⁻¹, utilisant de

l'huile végétale ou minérale comme solvant. Les doses de matière active sont de 45-56 g ha⁻¹ pour le diflubenzuron, 1,7-2,6 g ha⁻¹ de cyperméthrine (pyréthrianoïde); 0,65-1,00 g ha⁻¹ de deltaméthrine (pyréthrianoïde) [42 ; 196]. Tous les stades larvaires sont sensibles à ces traitements, mais les 4ème et 5ème stades nécessitent des doses plus élevées. A ce stade de développement, pendant les mois d'hiver, l'impact des pyréthrianoïdes sur les insectes bénéfiques est minime [162].

Le traitement biologique, est le procédé par lequel des épandages d'insecticides biologiques sont effectués par des aéronefs équipés de dispositif de pulvérisation approprié ou par voie terrestre à l'aide des atomiseurs. Le moyen le plus utilisé est celui du produit à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki* qui est très efficace, il ne détruit pas la faune utile [163; 335] Les traitements à base du Bt se font généralement sur les trois premiers stades larvaires de la processionnaire, [194].

Ce travail a porté sur les possibilités de traitement hivernal de la processionnaire du pin. Nous avons mis en évidence une différence d'efficacité entre les trois types de traitements. La mortalité immédiate a été contrôlée par des dénombrements des chenilles après la date de traitement et la mortalité différée de 24 heures à 7 jours. Il a été constaté, tout d'abord, une augmentation des taux de mortalité des chenilles du premier au quatrième prélèvement des chenilles, donc la mortalité augmente avec le temps. Les résultats des essais des extraits aqueux par agitation des feuilles de *Lantana camara* peuvent avoir une possibilité insecticide avec un effet répulsif très remarquable et sont intéressants du fait qu'ils représentent une première initiative de recherche sur une plante peu étudiée dans notre pays.

En Algérie, des essais de lutte ont été entrepris en 1975 à Djelfa contre la processionnaire du pin et ont mis en évidence une très bonne efficacité du *Bacillus thuringiensis kurstaki* serotype i, [17]. Un essai de traitement aérien contre la processionnaire du pin a été effectué également 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 du même produit biologique. 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 ainsi que,

sur les chrysalides et les papillons issus des chenilles survivantes au BtK. Il a été constaté, tout d'abord, 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 est de 93 %. Les pulvérisations aériennes ont eu lieu dans le reboisement de Moudjebara (Djelfa-Algérie) et sur une superficie de 1500 hectares [195].

L'action de la toxine de *Bacillus thuringiensis* ssp. *Kurstaki* (Btk) au niveau de la mortalité larvaire a été évidente. Nos résultats obtenus sur le terrain ont montré un taux d'efficacité global du (BtK) de 64 % sur les quatre sujets d'arbres traités. D'après les données d'observations de la direction générale des forêts, l'efficacité due à cette bactérie a atteint les 95% au total, pendant les années 2005, 2007 et 2008. Comparativement avec nos résultats obtenus, ce résultat présente d'une part un écart légèrement sensible de taux de mortalité. Cette différence peut être due d'une part à l'utilisation de traitement au stade larvaire avancé L4 et L5 chenilles (période hivernale) pouvant être plus résistantes par rapport aux chenilles des premiers stades larvaires (stade L1 à L3 : période automnale). D'autre part, le résultat du taux d'efficacité des traitements réalisés par la direction générale des forêts a été enregistré après un mois alors que durant notre expérimentation, le taux d'efficacité a été enregistré après une semaine seulement.

Des études antérieures ont déterminé les doses d'épandage nécessaires pour une bonne efficacité du traitement. Pour les premiers stades larvaires de la processionnaire du pin, la dose est de 40 à 50 milliards d'UBI/ha, alors que pour les stades L4 et L5, elle peut atteindre 75 milliards d'UBI/ha [197] et [194]. Le Btk avait atteint une efficacité de 100% sur les stades larvaires L1-L2, et 80% sur les stades L3-L4 dans les wilayas de Sétif, Tebessa et Tlemcen durant l'année 2005. Comparativement, nos résultats obtenus avec les traitements au Bt sur les larves âgées L4 et L5 ont mis en évidence un taux de mortalité de 64%. On peut statuer sur le degré d'efficacité du Bt homologué qui est beaucoup plus important sur les jeunes larves.

Les études conduites par l'Inra (France) ont montré des avantages écologiques de l'utilisation du BtK par rapport aux insecticides chimiques utilisés jusqu'alors contre la processionnaire du pin. En effet, la persistance des spores BtK sur le feuillage est relativement courte, de six à huit jours [209]. De ce fait, les traitements peuvent s'échelonner sur une période relativement longue

Le *B. thuringiensis* agit uniquement par ingestion et ce, spécifiquement sur les larves des Lépidoptères et il n'a aucun effet sur les œufs et sur les adultes. La chenille est infectée lorsqu'elle dévore les parties de la plante arrosée par la bactérie. La bactérie produit des spores et des cristaux de protéines les δ -endotoxines qui une fois ingérées par l'insecte sont solubilisées dans le tractus intestinal et sont transformées en toxines actives par les protéases intestinales.

Au niveau cellulaire, des chercheurs ont montré que les fractions actives des δ -endotoxines se fixent sur des récepteurs spécifiques présents à la surface des microvillosités des cellules épithéliales de l'intestin moyen des larves. La structure tridimensionnelle d'une δ -endotoxine révèle la présence de deux domaines distincts. L'un, composé de feuilletts beta, est responsable de la spécificité de la toxine pour le récepteur de l'insecte. L'interaction toxine/récepteur permet alors à un autre domaine de la protéine (composé d'hélices alpha) de constituer un pore dans la membrane et de provoquer ainsi une perturbation des échanges ioniques qui induit une modification du pH intestinal et la lyse cellulaire. Selon Dean et al [65], le domaine III jouerait également un rôle dans le repliement et la structure tridimensionnelle de la protéine active. La liaison de la toxine aux récepteurs des cellules épithéliales, et l'insertion dans la membrane apicale permettent la formation de pores membranaires conduisant à la mort de l'insecte [200]. Au niveau physiologique, la lyse des cellules épithéliales conduit à une paralysie du système digestif de l'insecte qui cesse rapidement de s'alimenter. Les insectes cessent habituellement de se nourrir dans les heures qui suivent leur exposition au Btk et meurent habituellement 2 à 5 jours plus tard.

La toxine du Btk (formulation commerciale : Foray 48B), réduit les taux d'ingestion de nourriture, toutefois elle aurait peu d'impact sur les indices nutritionnels des chenilles de la PP, selon Bauce et al [345], Cette réduction est vraisemblablement le

résultat de l'arrêt temporaire d'alimentation larvaire lorsque l'insecte est exposé au Btk, phénomène ayant été largement documenté dans la littérature.

En l'absence d'humidité, les spores se dégradent rapidement lorsqu'elles sont exposées au rayonnement solaire, et elles sont donc très vulnérables en présence de conditions très sèches [202]. En général, le Bt perd 50% de son potentiel insecticide en l'espace de 1 à 3 jours. Certains chercheurs ont cependant fait état d'une activité résiduelle plus longue (10 jours) [203] ; [204], et quelques endospores viables de Btk ont été isolées sur du feuillage un an après une application au sol de Btk effectuée à raison de 1 milliard d'unités internationales (MUI)/arbre [205]. La persistance des spores de Bt dans le sol est relativement courte car, d'après Dulmage et Aizawa [208], des applications répétées de Bt n'entraînent pas d'accumulation de la bactérie.

D'après nos résultats, les extraits aqueux des feuilles obtenus par agitation de la solution de poudre sèche de *Lantana camara* ont présenté une activité insecticide contre les larves de la chenille processionnaire du pin qui a pu atteindre 57% de mortalité. Nous avons constaté que le traitement a eu un effet répulsif très important suite à la mortalité des chenilles d'une part et d'autre part leur dispersion sur une plante non hôte (le thuya de Berbérie) située à proximité d'un arbre de pin d'Alep attaqué.

La protection des cultures contre les ravageurs par des extraits végétaux a été étudiée aussi bien sur des larves de lépidoptères [216], que sur des larves d'acridiens [217] ainsi que les Culicidés [218]. *Lantana camara* a été mentionné comme ayant une activité insecticide contre les organismes nuisibles des denrées stockées, contre les ravageurs des cultures maraîchères, les larves de moustiques, ainsi qu'une activité antifongique et répulsive. Des extraits des fleurs de *L. camara* ont montré un effet répulsif sur les moustiques du genre *Aedes*. De même que les extraits des feuilles ont montré une activité insecticide et allélopathique alors que l'huile essentielle de cette plante présente une activité qui ressemble à l'activité de l'hormone juvénile [48 ; 53 ; 58].

Les lantadènes présentes dans toutes les variétés de *L. camara*, seraient responsables de presque toutes les activités biologiques [213].

Les résultats des essais de l'activité insecticide des deux produits naturels combinés (*Btk/Lantana camara*) ne sont pas intéressants en raison du taux faible de mortalité obtenu (32 %) qui a été inférieur à celui obtenu avec les mêmes produits appliqués séparément. Cela peut être du d'une part soit à l'effet bactéricide de l'extrait aqueux de la plante sur le Bt qui inhiberait l'effet de la bactérie sur les chenilles processionnaires du pin et le Bt devient alors inefficace, soit à la concentration de la solution mixte utilisée suite à une plus grande dilution de l'extrait de *Lantana* d'autre part.

Les résultats de plusieurs autres études supportent l'hypothèse que la vulnérabilité des insectes envers les entomopathogènes peut être influencée par les composés allélochimiques des plantes hôtes ingérées [346] ; [347]. Ces auteurs signalent que les tannins purifiés du chêne inhibent le Thuricide (une formulation commerciale de *Bacillus thuringiensis kurstaki* var. *kurstaki*) pour *Lymantria dispar* L. Individuellement, les tannins et la toxine de Btk augmentent la mortalité des larves de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Par contre, lorsqu'ils sont ensemble, ces composés ont des effets antagonistes.

La nature des tannins selon qu'ils sont présents dans la plante hôte sous forme hydrolysés ou condensés et la physiologie de l'insecte ciblé comme son pH intestinal semblent être des facteurs dominants pour tenter de prédire l'impact des interactions Btk-tannins sur les insectes herbivores.

Les tannins peuvent donc aussi posséder une propriété toxique à l'égard de certains insectes [223] .Mole et al [224] ; [225].

Pour les essais visant à déterminer l'impact des tannins sur les insectes, Berenbaum [226] suggère que si les tannins forment des complexes avec les protéines et diminuent leur digestibilité, les indices nutritionnels seront plus bas chez les traitements contenant les tannins. Manuwoto et Scriber [227] ont étudié les effets

de l'acide tannique à différentes doses sur deux lépidoptères polyphages *Spodoptera eridania* et *C. promethea*. Avec les deux types de tannins, ils ont démontré que le taux de croissance réduit de *Spodoptera eridania* était relié à la réduction du taux relatif d'ingestion plutôt qu'à la réduction de digestibilité. Cependant, Karowe [223] a expliqué que les effets négatifs des tannins sur deux autres lépidoptères polyphages *Malacosoma disstria* Hübner et *Orgyia leucostigma* (J.E. Smith) sont dus à leur toxicité et à leur effet répulsif et non à leur réduction de digestibilité, Bouchier et Nealis, [228] montrent que l'effet de l'acide tannique sur *Lymantria dispar* change selon le stade larvaire. Les jeunes larves se développent plus rapidement et ont des poids plus élevés sur la nourriture contenant de l'acide tannique que sur de la nourriture n'en contenant pas. À partir du 4^{ème} stade larvaire, les larves sur la nourriture contenant des tannins se développent plus lentement que celles qui n'ingèrent pas de tannins sur les témoins.

Les propriétés antimicrobiennes des flavonoïdes vis-à-vis de différents micro-organismes pathogènes ont été mises en évidence par différents travaux [239] ; Taguri et al [240] ; Takahashi et al [241] et [242]. Les C- glycosyls- flavones contenus dans la Verbenaceae *L. camara* sont antibactériens selon Verma et al. [234]. C'est le cas également de différents flavonoïdes glycosides extraits des plantes qui ont présenté un pouvoir antibactérien contre des souches de bactéries gram (+) et gram (-) [193] [230] et [231, 232, 234 et 235], contre *staphylococcus aureus* [237] et contre les microbes fongiques pathogènes de l'homme [238]. Sur le plan cellulaire, les flavonoïdes sont synthétisés dans les chloroplastes, puis migrent et se dissolvent dans les vacuoles [219]. La plante fabrique des flavonoïdes pour se protéger de l'oxydation et c'est le rayonnement solaire qui stimule cette réaction. Plus l'ensoleillement augmente, plus les teneurs en flavonoïdes augmentent, surtout dans les parties les plus exposées [220]. La coloration vive des feuilles d'automne est due aux carotènes ainsi qu'à la transformation de grandes quantités de flavonols incolores en anthocyanes lors de la dégradation de la chlorophylle.

Selon une étude réalisée au Bénin, l'huile essentielle extraite des feuilles fraîches de *Lantana camara* Linn, récoltées sur le campus d'Abomey-Calavi serait composée

majoritairement de β -caryophyllène 18,5 %; le sabinène 13,1 %; l' α -humulène 10 %; le 1,8-cinéole 9 %; le δ -guaïène 5,0 %, représentant 94,76 % de l'huile et identifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée avec la spectrométrie de masse (CG et CG/SM). Cette huile s'est révélée très efficace sur des microorganismes (bactéries et champignons) et les tiques (*Amblyoma variegatum*).

D'une manière générale, nous avons rapporté une différence entre l'efficacité des trois types de traitements. Cette différence d'action pourrait être expliquée par le fait que le Bt agit par ingestion alors que l'extrait aqueux de *Lantana* a un effet répulsif sur les larves. En effet, il est connu que les chenilles de la processionnaire du pin sont très voraces. Le taux de mortalité augmente d'autant plus que les chenilles s'alimentent des aiguilles de pin. Contrairement, en raison de la répulsivité due à l'effet de l'extrait aqueux, la voracité des larves diminue. Sur le terrain, nous avons constaté qu'au niveau des arbres traités par le Bt, les aiguilles ont été beaucoup plus consommées alors que les aiguilles au niveau des arbres traités par l'extrait aqueux seul ou combiné avec le Bt, n'ont pas été consommées.

6.4. Effet des traitements sur l'allocation des réserves énergétiques chez les chenilles de la processionnaire du pin

Les réserves énergétiques fournissent des explications évolutives sur les traits d'histoire de vie et élucident le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance, au maintien des fonctions somatiques et à l'effort de reproduction, [339]; [340] et [341]. En termes de biomarqueurs, les réserves énergétiques ont un rôle dans la compréhension des stratégies comportementales ou physiologiques qui permettent à l'insecte de contourner partiellement ou totalement les effets toxiques des xénobiotiques, dans le cas de notre étude il s'agit des matières actives biologiques testées sur les chenilles.

L'étude des variations temporelles des réserves énergétiques, en tant que biomarqueurs d'effet dans une population aphidienne du clémentinier a montré des différences significatives entre deux espèces de pucerons *Aphis citricola* et *A. gossypii*. Ces réserves fluctuent durant la poussée de sève estivale, ce qui

correspond à un maintien des deux populations aphidiennes, en relation avec les réponses de la plante en principes actifs (proline et C-glycosyls). Elles augmentent par contre, au cours de la troisième poussée de sève automnale durant laquelle les aphides présentent une adaptation qui est plus accentuée pour *A.citricola*, [181]. KAMMENGA *et al* [337] et JAGER *et al* [338], ont montré que la réduction du taux de croissance d'une population de nématodes exposée à un milieu contaminé, n'est pas directement liée à la perturbation du trait d'histoire de vie mais le moment et la durée de leur exposition au toxique qui conditionne leur réponse biologique.

Les réserves énergétiques glucidiques sont sollicitées pour les fonctions somatiques et de mobilité. Alors que, la disponibilité des lipides et du glycogène semble être le résultat d'une balance entre la prise de nourriture et les demandes de réserves pour la croissance et la reproduction [348]. Mais, ces réserves d'énergie sont aussi mobilisées à la suite d'un stress. Les faibles teneurs en réserves glucidiques quantifiées chez les chenilles laissent supposer une détoxification des toxiques des produits biologiques testés auxquels elles ont été exposées, mécanisme biochimique dont le rôle est de rendre hydrosolubles ces produits et les excréter [349]. D'évidentes interactions ont été observées entre la présence de substances allélochimiques de plantes et l'induction de l'activité des enzymes intervenant dans la détoxification de substances xénobiotiques (XME) chez les insectes [357].

Ces systèmes enzymatiques de bio-transformation peuvent être regroupés en deux groupes [350] :

- les systèmes enzymatiques de la phase I (les monooxygénases à cytochrome P-450 et les estérases), incluant des réactions de transformation telles que l'oxydation, la réduction, l'hydrolyse. Ces réactions désactivent ou convertissent la molécule exogène en une molécule plus polaire qui peut ainsi être stockée ou éliminée de l'organisme;
- les systèmes enzymatiques de la phase II comme les glutathion S-transférases (GST) par exemple qui regroupent les réactions de conjugaison. Ces réactions combinent des molécules avec des métabolites exogènes hydrophiles afin de faciliter leur excrétion ou leur stockage.

Ce qui explique, l'importance des teneurs en lipides par rapport à celles des glucides aussi bien chez les L4 que chez les L5 de la processionnaire du pin. Il existerait une corrélation entre la teneur en sucres ou en lipides et la résistance au stress chez des populations de *Drosophila melanogaster* sélectionnées pour leur résistance à la dessiccation ou au jeûne [351].

Il semblerait que les chenilles investissent cette accumulation des lipides au profit du rétablissement de l'homéostasie. Des modes différents de stockage et d'utilisation des ressources ont pu être mis en évidence en fonction de traits sélectionnés. La vitesse de métabolisation des sucres apparaît en effet très nettement supérieure en conditions de dessiccation, et la consommation totale d'énergie était donc plus basse pour les mouches soumises au jeûne par rapport à celles soumises à la dessiccation. En revanche, la vitesse et le taux de métabolisation des lipides et les protéines sont identiques pour ces deux types de stress [233]. Les produits biologiques pulvérisés au niveau des nids d'hiver de la processionnaire entrent en contact avec les aiguilles de pin, substrat nourricier des chenilles et sont transportés à l'intérieur des cellules via les stomates. Nous pouvons émettre l'hypothèse que ces produits pourraient perturber la synthèse des glucides et des acides aminés au niveau de la plante, [352], d'où augmentation de la teneur en proline constatée dans notre expérimentation. La proline est un acide aminé indispensable chez les végétaux, elle est considérée comme un indicateur des stress. Elle fournit une réserve d'azote pouvant être utilisée en condition de stress comme un moyen de réduction de l'acidité ou l'élimination de résidus [353]. Les teneurs en sucres totaux quantifiés dans les aiguilles de pin avant et 24 h après application des traitements sont très comparables. Les sucres solubles s'accumulent dans les tissus des plantes cultivées sous stress afin de résister aux contraintes du milieu [354 ; 355]. Ces contraintes pourraient correspondre dans les conditions de notre expérimentation au stress biotique engendré par l'action alimentaire directe des chenilles aussi bien avant qu'après l'application des traitements biopesticides. Or, cet état de stress induit l'accumulation d'osmolytes chez les plantes [356], mais aussi une hydrolyse des protéines et à une augmentation de la concentration des acides aminés notamment la proline, signe d'une perturbation métabolique, [157]. Nous avons en effet

remarqué que sous l'effet du traitement combiné à base de Bt et de l'extrait aqueux foliaire du lantaniér, que la teneur en proline dans le feuillage avait considérablement augmenté par rapport à celle quantifiée sous les effets de Bt et de la solution aqueuse seuls. Outre la surconsommation énergétique, les toxiques réduisent le taux d'assimilation de la nourriture [164]. D'une part, les quantités élevées en réserves des lipides chez les chenilles âgées pourraient donc être attribuées à l'effet des crytoxines qui agissent sur l'épithélium intestinal inhibant l'ingestion de la nourriture et qui induiraient une surconsommation des lipides pour la survie des larves, à travers les mécanismes de détoxication. Nous avons déjà observé que les mortalités dues à l'effet du Bt sont faibles dès 24h (voir chapitre 5).

D'autre part, on peut expliquer l'augmentation des teneurs lipidiques chez les chenilles de la processionnaire sous l'effet du traitement à base de l'extrait aqueux foliaire de *L. camara*, de deux façons : Dans le premier cas, les larves ne consomment en aucun cas leur nourriture avec le produit biologique en raison de son effet phagorépulsif, dans ce cas, leurs réserves en glucides sont transformées en lipides stockés pour la survie des L5 dont la durée du stade pourrait être prolongé ou le passage des L4 au stade L5, donc cette énergie stockée serait allouée à la croissance. Dans le second cas, les larves peuvent ingérer de la nourriture traitée ce qui induirait une induction de la production de métabolites secondaires de défense pour la plante hôte défavorables sur les performances des larves et en même temps déclencherait une production d'enzymes de détoxication chez les larves. Les effets des molécules bioactives des feuilles du lantaniér peuvent varier en fonction des molécules elles mêmes obtenues à travers la méthode d'extraction utilisée, ou de la dose utilisée. En effet, les composés secondaires des plantes en relation avec des zones présentant de fortes probabilités d'attaque, [166] peuvent se manifester par des effets phagorépresseurs, les insectes peuvent y survivre en modifiant leur comportement alimentaire ou en métabolisant les composés toxiques ingérés.

Les larves peuvent avoir une capacité de discrimination envers les ressources trophiques en termes de valeur nutritionnelle, avec une préférence pour celles

permettant la meilleure performance. Nous avons par ailleurs observé que les lipides des L5 sont plus importants que ceux des L4. La plus grande taille des L5, peut d'un point de vue énergétique, constituer un désavantage lorsque la nourriture est limitée [158], d'où une utilisation plus efficace de l'énergie, car le taux métabolique spécifique à la masse décroît lorsque la taille corporelle croît [180 ; 190].

Chez les insectes, chaque stade biologique présente une allocation énergétique spécifique selon ses besoins et selon que l'insecte est holométabole, ou hétérométabole. Chez les lépidoptères, les réserves à l'éclosion sont suffisantes pour permettre le développement des larves. Au moment de la nymphose, les réserves de la larve suffisent à assurer la métamorphose. La biomasse structurelle de la larve est ainsi convertie en réserves d'énergie pour la nymphe. La dynamique de l'allocation énergétique varie par ailleurs au niveau de l'individu, à l'échelle temporelle, car la distribution des ressources évolue au cours du temps [254].

La qualité nutritive du feuillage dépend de son contenu en éléments nutritifs, elle peut être affectée par la présence de substances allélochimiques. Une plus importante teneur en sucres solubles par rapport à celle des phénols totaux induit une meilleure performance biologique du point de vue du développement larvaire et du poids des individus chez les opophages du peuplier [214].

Après les dommages causés par l'alimentation des herbivores, il se produit dans les tissus attaqués une induction d'une résistance de la plante qui s'effectue de deux façons, pas toujours combinées. Il peut y avoir une diminution des concentrations d'eau et d'éléments nutritifs, tel l'azote et une augmentation de la production de composés secondaires de défense, tels les phénols, les tanins et les alcaloïdes. L'essence hôte, l'âge de l'arbre et du feuillage, les défoliations antérieures, sont des facteurs qui influencent la résistance des plantes ligneuses aux insectes défoliateurs par leurs effets sur l'alimentation des insectes [211]. Suite à ces changements, les insectes sont affectés au niveau de leur comportement et de leur croissance, leur fécondité et leur survie (performance ou "fitness"). L'induction de la résistance à court terme est rapide (quelques heures à quelques jours), s'effectue après les premiers dégâts sur la plante et gouverne la distribution et la dispersion des insectes phytophages. Selon la théorie de Rhoades [212], les insectes ont deux stratégies

évolutives face à l'induction d'un changement de la qualité nutritive de la plante-hôte. Les insectes grégaires tels la processionnaire du pin sont des insectes dits "opportunistes": ils s'installent sur leur plante-hôte et concentrent leur distribution en groupe dense, pour mieux exploiter la nourriture et profiter de la qualité élevée de certains hôtes. Ils sont aussi tolérants à un changement rapide de la qualité nutritive de la plante, car ils sont bien adaptés à leur plante-hôte [215].

J.F DUBUC [221], a déterminé les impacts d'un changement de la qualité nutritive du bouleau, après dommage artificiel, sur la performance et le comportement alimentaire d'un lépidoptère solitaire *Enargia infumata*, et de deux lépidoptères grégaires, *Acrobasis betullela* et *Malacosoma disstria*. L'espèce *Enargia infumata* est affectée lorsqu'elle s'alimente de bouleau endommagé, au niveau de sa survie et de sa croissance larvaire qui est prolongé. De plus, son comportement alimentaire est modifié; les larves évitent du feuillage endommagé et consomment plus de feuillage intact.

Des processus impliqués dans la tolérance ou la résistance à un stress entrent en effet en compte quant à la gestion des ressources énergétiques [222 ; 233].

Une activité élevée des GST a été observée dans les tubes de Malpighi, organe intervenant dans la métabolisation des substances xénobiotiques chez *Bombyx mori* et *Spodoptera litura* [236]. Chez les Lépidoptères, de nombreuses espèces ont été étudiées : *Plutella xylostella*, *Helicoverpa zea* et *Spodoptera littoralis* [244]. *Helicoverpa zea*, *Spodoptera littoralis*, *Heilotheris virescens*, *Tichoplusia ni* Yu [289].

On peut par ailleurs émettre l'hypothèse que les matières actives des biopesticides utilisés en l'occurrence l'extrait aqueux foliaire du lantanier probablement neurotoxiques, peuvent altérer directement le système endocrinien chez les chenilles en altérant indirectement l'attribution d'énergie [319 ;334] ou pourraient provoquer vraisemblablement un effet de choc sur les populations après 24h d'exposition aux traitements, pouvant résulter de l'inhibition de l'acétyl cholinesterase chargée de réguler la transmission nerveuse.

Conclusion générale et perspectives

Un des éléments fondamentaux de l'aménagement forestier consiste à détecter à temps la présence des ravageurs, à délimiter leur terrain d'action, et à prévoir les tendances de développement des populations et les dégâts qu'elles sont susceptibles de produire. La surveillance et la compréhension des causes sous-jacentes des agressions ainsi que le maintien et l'amélioration de l'état sanitaire des forêts est beaucoup plus important que la lutte contre les ravageurs.

Les stations des peuplements de pin infestées par *T. pityocampa* et étudiées au niveau de la frange littorale de la région de Tipaza appartiennent à l'étage méditerranéen semi aride à hiver doux selon la période climatique récente de 1999 à 2009. Elles correspondent à des types d'habitats installés généralement sur pentes, aussi bien sur un substrat calcaire que sur un substrat siliceux et où le Pin d'Alep affectionne des sols à structure sablono-argileuse ou sablolimoneuse. La régénération naturelle est réalisée sur des substrats présentant une certaine friabilité nécessaire à la pénétration du pivot racinaire des jeunes pins. Ces pineraies relèvent de formations arbustives (et arborescentes) sclérophylles appartenant à l'Ordre Pistacio lentisci-Rhamnetales alaterni à Association : *Quercus ilex*-Pinetum halepensis, sous association : *olea sylvestris*-*pistachia lentisci*. Elles se caractérisent par une variante édaphique sur substrat siliceux avec une flore typique à Arbousier (*Arbutus unedo*), Cistes (*Cistus monspeliensis* et *C. salvifolius*), Bruyère arborescente (*Erica arborea*), Lavande (*Lavandula stoechas*) et Calycotome épineux (*Calycotome spinosa*) d'après nos résultats.

On peut y observer des peuplements mélangés indicateurs de ces habitats composés du chêne kermes, du lentisque, du romarin et du ciste de Montpellier, ainsi que *Tetraclinis articulata* dont le recouvrement dépasse les 60% dans la pineraie d'Attatba. Selon la nature du substrat (calcaire ou siliceux), les pineraies à pin d'alep étudiées (Aïn Tagourait, Attatba, Koléa) se caractérisent respectivement par une dynamique post incendie de la végétation qui a donné lieu à des fructifères à lentisque ou calicotome, et des guarigues à *Erica arborea*, chêne kermes et romarin

ou encore des maquis à *Erica arborea*, *Lavandula stoechas* et des cistaies à *Cistus monspeliensis* et *Cistus salviifolius*.

Les informations recueillies auprès de la direction générale des forêts portent à confirmer que les infestations de la processionnaire dans les stations investiguées remontent à au moins une trentaine d'années. Notre étude est originale dans le sens où aucun travail à notre connaissance n'a été entamé sur cet insecte défoliateur dans la frange littorale de Tipaza.

Les infestations les plus importantes ont été constatées au niveau des stations exposées au sud notamment dans la pineraie d'Attatba suivie de celle de Koléa et de Cherchell Si Belkheira qui apparait la moins infestée, tandis que les pineraies exposées plus au nord, surtout à Tipaza, manifestent des infestations beaucoup moins importantes à l'exception de la pineraie à pin maritime de Cherchell Si Imekrez où le degré de présence des nids de *T. pityocampa* est très voisin de celui de la pineraie de Koléa. Les pineraies les moins diversifiées en couvert végétal semblent les plus infestées, quelque soit la composition floristique des stations, les taux d'infestation étaient plus élevés en relation avec un taux de recouvrement en végétation faible, dans la majorité des cas. Du point de vue de l'effet anthropique, nous constatons que les stations reboisées à basse altitude (Tipaza) ainsi que les stations post incendie situées à plus haute altitude (130-180m) sont plus influencées par les attaques de la processionnaire du pin. Cependant, l'abondance moyenne des nids n'était corrélée ni avec l'altitude ni avec la superficie des pineraies d'étude.

En dehors de l'activité de vol des papillons que nous n'avons pas suivi, nous avons mis en évidence les périodes de développement larvaire dans les six pineraies qui se situent toutes entre les mois de septembre et mars, soit 7 mois d'activité. Les pontes non encore écloses peuvent s'étaler sur 45 jours à 2 mois environ, quelques rares manchons non éclos ont été dénombrés au début du mois de novembre. Les durées des différents stades semblent variables : La durée du stade L1 varie de 14 à 16 jours, mais elle est plus longue, de 31 jours dans la station de pin d'Alep exposée sud à Koléa. Par rapport aux stations exposées au nord (Tipaza, Cherchell Belkheira et Aïn Tagourait), le stade L2 dure plus longtemps spécifiquement dans les pineraies à pin d'Alep exposées au sud (entre 35 et 36 jours) excepté au niveau de la pineraie

à pin pignon située à Cherchell Imekrez. Les durées du stade L3 sont plus longues dans les pineraies exposées au nord que dans celles exposées au sud. Le quatrième stade larvaire de la processionnaire du pin est le plus long: sa durée peut varier entre 1 mois et 1 mois et demi, dans les pineraies étudiées d'après nos observations.

D'une manière générale, sur le pin d'Alep, les phénologies larvaires durent plus longtemps dans les stations à exposition sud et situées plus en altitude (entre 180 et 198 jours). Pour une même exposition, il semblerait que l'altitude joue un rôle dans la précocité ou le retard dans la phénologie des larves qui est d'autant plus décalée que l'on s'éloigne par rapport à la mer. En revanche, quelque soit l'exposition, le développement larvaire est plus court sur les pins pignon notamment et les pins maritimes reboisés (149 et 163 jours respectivement). Les conditions climatiques se sont révélées favorables au développement de la processionnaire du pin au niveau des stations d'étude, cependant, les basses températures constituent un facteur clé pour le développement, ce dernier et la survie des larves pourraient être liés à l'alimentation durant la période froide, période durant laquelle la moyenne hebdomadaire des minima journaliers de température nocturne est inférieure à 0°C.

La dynamique des populations de processionnaire du pin dans les peuplements forestiers de la frange littorale et les peuplements limitrophes, devrait faire l'objet d'un suivi régulier selon un gradient altitudinal au niveau d'un grand nombre de placettes, notamment dans les zones les plus boisées en pins où seront notés en particulier les nombres de pins attaqués et les quantités de nids de chenilles, complété par l'évaluation spatiale de la défoliation des lisières des boisements de pins. Nous avons en effet constaté que les lisières des boisements communiquaient avec d'autres forêts, ce qui n'excluerait pas l'expansion des papillons de zones plus infestées vers des zones qui le sont faiblement ou pas. Une cartographie de la répartition de l'insecte, des zones à risque et le bioclimagramme correspondant seraient également judicieux à étudier.

Ainsi en tenant compte de tous les paramètres pouvant influencer sur la dynamique de population de l'insecte (Altitude, Exposition, topographie, structure du peuplement...), les stratégies d'avertissement permettraient de déterminer une meilleure date pour traiter et obtenir ainsi un impact sur le plus grand nombre de larves possibles. Le

développement larvaire de la processionnaire s'effectuant principalement en hiver, l'insecte est soumis durant cette période à des extrêmes climatiques susceptibles d'influer sur son cycle et sur la régulation de ses populations. Les pins étant photosynthétiquement actifs en hiver, les réponses adaptatives aux températures des mois froids pourraient être très importantes pour les processus entraînant le débourrement et par conséquent sur les performances des populations de *T. pityocampa*. A ce sujet, il serait pertinent d'étayer cette analyse de la variabilité du développement larvaire des chenilles en étudiant les effets comparés de la plante hôte sur ces performances en confrontant les observations de terrain à celles d'expérimentations au laboratoire pour étudier le taux de croissance relatif, en relation avec des indices de nutrition.

Le traitement bioinsecticide à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki kurstaki* réalisé à la dose de 5g/l sur les chenilles âgées s'est montré le plus efficace avec 64% de mortalité obtenue au bout d'une semaine d'exposition, in situ avec un temps léthal pour tuer 50% de la population, égal à 4.5 jours. Des résultats originaux ont été mis en évidence concernant l'extrait aqueux foliaire de la Verbenaceae *L.camara* qui a présenté un effet répulsif remarquable avec un taux de mortalité de 57% atteint après une semaine de l'application du traitement. Les applications des flavonoïdes bruts et des C-glycosyls flavones extraits de Lantana ont conduit également à une diminution très rapide des effectifs des chenilles âgées, contrairement aux anthocyanes. Néanmoins, le produit biologique synergique s'est traduit par un effet relativement faible vraisemblablement du à l'action des composés secondaires de la plante sur le *Bacillus*. Ces résultats préliminaires doivent être complétés par des études sur la réalisation de pulvérisations de solutions plus concentrées de la plante sur les jeunes chenilles à l'éclosion. La toxicité des matières actives biologiques étudiées a été démontrée par la quantification des réserves énergétiques des chenilles. Les lipides ont été affectés dans le sens où une augmentation notable de leurs teneurs en 24 heures seulement serait en relation avec la détoxification des matières actives toxiques d'une part pour la survie des larves de stade 4 et la nymphose des larves de stade 5 d'autre part. Sur cet aspect, la question de la modulation de la fitness dont la croissance et la survie des larves sur la plante hôte

elle-même ou après l'application de biopesticides d'origine végétale in situ au niveau des nids ou au laboratoire, n'est pas encore investiguée.

Le fait que la résistance chimique n'a pas été quantifiée ne nous permet pas d'exclure complètement une absence de réponse chez les arbres de l'étude par rapport à l'analyse des aiguilles de pin où seules les quantités en proline et en sucres totaux ont été étudiées. De plus, le taux de consommation relatif, la digestibilité et l'efficacité de conversion de matière ingérée, n'ont pas été quantifiés ce qui donneraient une meilleure idée de la réponse des insectes à la qualité de la plante. Nous ne pouvons pas savoir également si les mêmes phénomènes peuvent se produire avec d'autres types de plantes hôtes.

ANNEXE

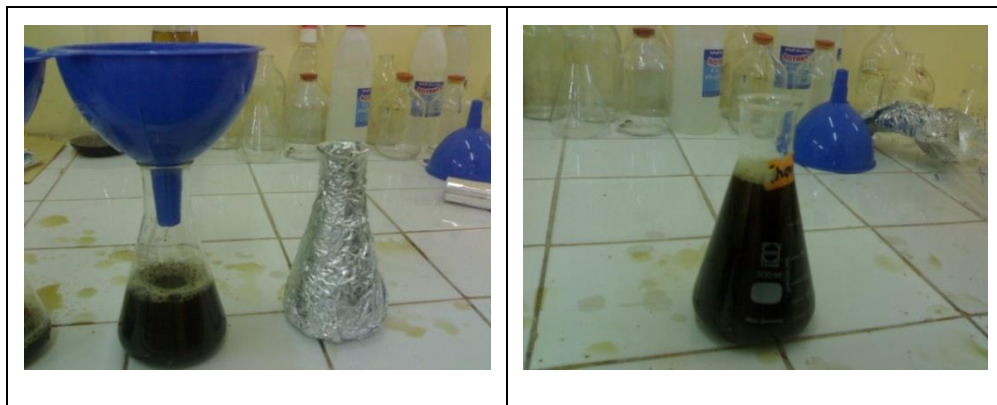
Méthode d'extraction de l'extrait aqueux de *L. Camara L* :



Pesée de 100 gr. de poudre fine de la matière végétale sèche de *Lantana camara* + 1 litre d'eau distillée.



Flacons emballés avec du papiers Aluminium sous agitation horizontale à la température ambiante du laboratoire .



Filtration de la solution obtenue.

*L'insecticide *Bacillus thuringiensis kurstaki* utilisé :



Bacillus thuringiensis kurstaki (I.A.B-BT) de la société *agrichem de Ain-Benian – Alger-*



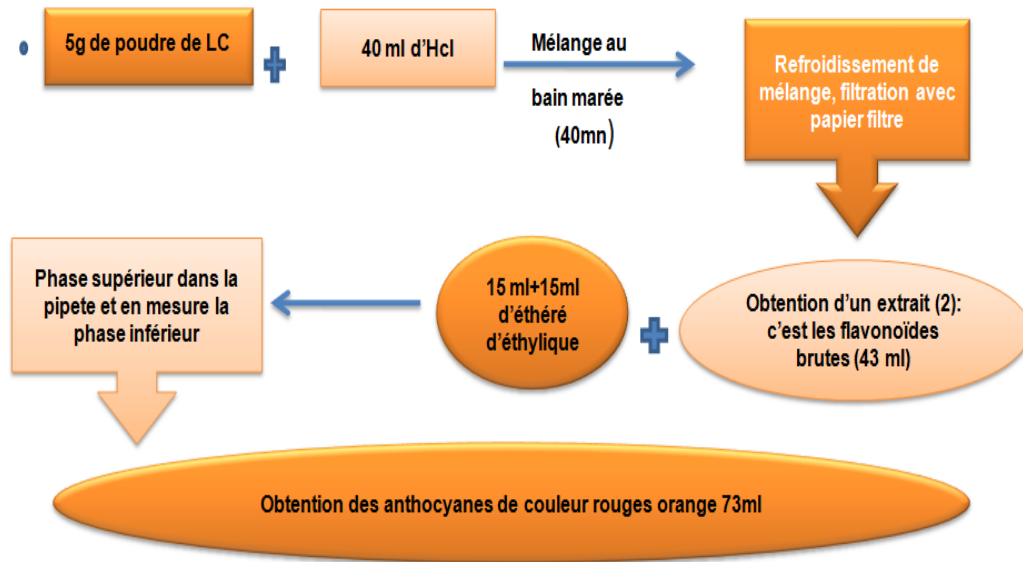
Pulvérisateurs utilisés pour différents traitements contre les chenilles de la processionnaire du pin sur le terrain et au laboratoire.

Extraction des flavonoïdes et des anthocyanes (Extraction selon la méthode de LEBRETON) :

L'extraction des flavonoïdes brutes et des anthocyanes été extraite a partir de la plante mère (poudre de Lantana Camara), comme présente la figure ci-dessous en prend 5g de poudre fine de Lantana Camara avec 40ml d'Hcl. En mets le mélange dans un bain marée pendant une durée de 40mn, après refroidissement de mélange avec filtration, on obtient un extraits(2) qui sont les flavonoïdes brutes avec une couleur vert foncé (43ml).

➤ Après l'obtention des flavonoïdes brutes, en reprend l'expérience, mais cette fois-ci, en mets 15ml d'éther d'yéthétique, juste en rajoute une deuxième 15ml d'éther. On obtient dans une ampoule de séparation deux phases, la phase

supérieur reste dans l'ampoule, et en essaye de mesurer la phase inférieur. La quantité mesurée est les anthocyanes avec une couleur rouge-orange (73ml).



Les différentes étapes d'extraction des flavonoïdes et des anthocyanes.

Extraction des C-glycolyses-flavone :

Pour l'extraction des glycolyses flavone en suivi les étapes figurées dans le schéma suivant :

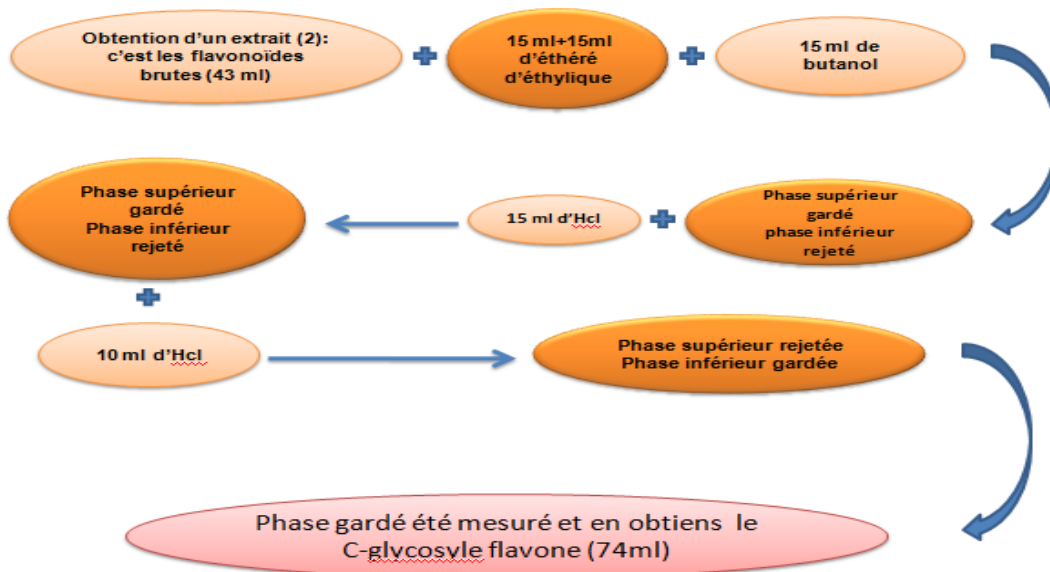


Schéma présentatif de la méthode d'extraction de C-glycosyle- flavone.

Préparation des doses :

A partir des extraits aqueux obtenus, nous préparons les doses à tester, on a préparé des doses et demi-doses pour les échantillons traités par des flavonoïdes brutes, les anthocyanes et les C-glycolyses-flavone et chaque dose était répétée deux fois pendant la durée de traitement pour confirmer les résultats obtenus.

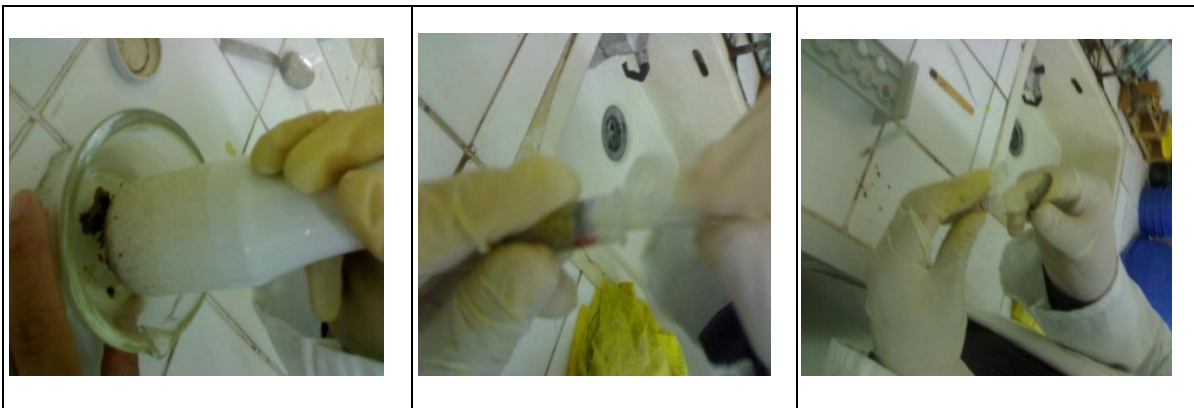
Ce qui concerne les traitements par *Bacillus thuringiensis kurstaki*, l'extrait aqueux de *Lantana Camara* et en fin le traitement par un mélange de *Lantana Camara* et le *Bacillus thuringiensis kurstaki*, ont été mises sur un échantillon des chenilles processionnaires dans deux stades larvaires (L4) et (L5), avec quatre répétition.

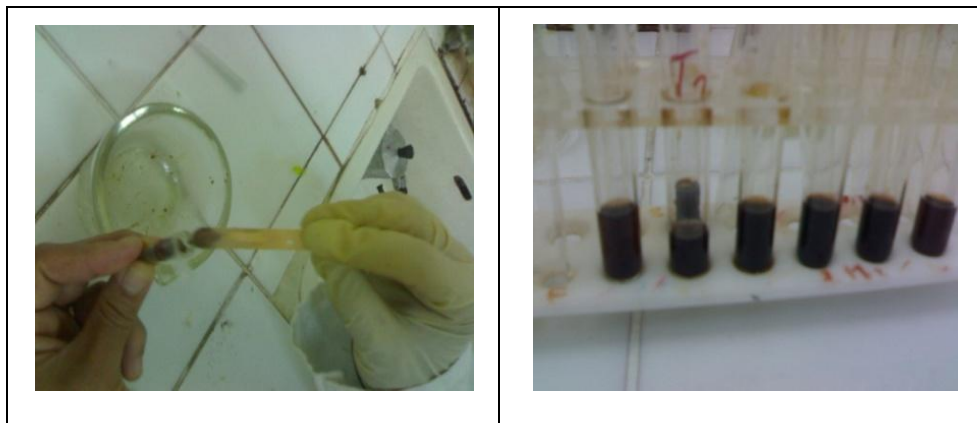
Le dernier traitement par l'eau distillée, est un traitement témoin.

Matériels utilisés pour l'évaluation de l'activité insecticide des extraits aqueux :

Au laboratoire :

- Etuve à 50°C.
- Des boites confortables pour l'élevage des chenilles,
- Des bouteilles de 1L de volume.
- Des pipettes de : 100, 50 et 20 ml de volume.
- Des moustiquaires.
- Des papiers filtres de 9 et 4,5 cm de diamètre.
- Des bichères de 300 et 500 ml.
- Des ampoules de séparations.
- Des pots de 250, 300 et 500 ml de volume.
- Bain marie à 100°C.





Extraction et des dosages des réserves énergétiques

Mode d'extraction et de dosage des réserves énergétiques :

Mode d'extraction et de dosage des lipidiques :

L'extraction des lipides a été réalisée selon la méthode de VAN BRUMMELEN & SUIJFZAND [176] : Après avoir pris de la matière organique animale à partir des larves L4 puis L5 de la chenilles processionnaire de pin, ils sont introduites dans des tubes eppendorf, ou ils vont subir l'extraction des lipides comme suit :

- 400ul du mélange monophasique à base de chloroforme, méthanol et eau distillée sont versés dans les tubes eppendorf contenant de la matière organique animale (larves de la processionnaire de pin).
- Les tubes sont ensuite mis à centrifuger pendant 5 minutes à 14000 tours/min;
- on rajoute du chloroforme dans chaque tube, ce qui induit la séparation du mélange en deux phases, puis agiter à la main pendant 1 min;
- poser les tubes et attendre que l'extrait se sépare en deux phases, celle contenant les lipides dans le chloroforme se trouvant au fond des tubes;
- récupérer ces culots (3 fois 1 ml de chloroforme) avec des pipettes pasteur et les mettre en commun, puis les faire sécher sur du sulfate de sodium;
- le sulfate de sodium est ensuite rincé avec 4 fois 1 ml de chloroforme;
- le chloroforme est évaporé sous flux d'azote;
- on ajoute 300ul de H_2SO_4 au résidu issu de l'évaporation, puis les mettre à l'étuve à $100^\circ C$ pendant 10min;
- Après refroidissement, rajouter 2,5 ml de la solution de vanilline aboutit à l'apparition d'une couleur rose;
- Lire la densité optique à l'aide du spectrophotomètre à 540nm au bout de 10mn.

Formule de dosage : $y = 0,024x + 0,06$

Mode d'extraction et de dosage des glucides :

Pour, l'extraction et la quantification des réserves glucidiques nous avons eu recours à la méthode de WINDECOEN, [177] qui propose une homogénéisation au vortex des larves de la processionnaire de pin dans le TCA (acide trichloroacétique) à 15% sont ajoutés dans chaque tube puis ceux-ci sont secoués au vortex pendant 5 secondes et déposés 10 minutes dans de la glace pillée ;

- Les tubes sont centrifugés pendant 10min à 3000 tour/min à 4°C puis les surnageant sont récupérés dans des tubes eppendorf au moyen d'une pipette pasteur ;
- Ajouter au culot 200ul de TCA 5%, puis les échantillons sont secoués au vortex pendant 5 secondes ;
- Les tubes sont ensuite centrifugés pendant 10 min à 3000 tours/min à 4°C et les surnageant sont récupérés et ajoutés aux tubes contenant les surnageant précédents;
- Les tubes sont secoués au vortex pendant 5 secondes ;
- 250ul de solution contenant les surnageant mélangés sont versés dans un tube eppendorf ;
- 250ul de phénol 5% et 1 ml de H₂SO₄ sont ajoutés rapidement dans chaque tube, puis les secoués manuellement quelques secondes ;
- 300ul de ce mélange est déposé dans un puits d'une microplaque (remplir trois puits par tube eppendorf).
- laisser la microplaque 30 minutes à la lumière et à température ambiante ;

- secouer la plaque 3 secondes, puis lire la densité optique à 490nm

Pour le dosage de la courbe standard, nous avons procédé de la manière suivante :

- A partir de la solution stock de glucose à 0,5mg/ml (5mg de glucose dans 10ml d'eau distillée), effectuer une série de dilutions afin d'obtenir les concentrations suivantes de glucose : 0.5, 0.25, 0.12, 0.062, 0.031, 0.016 et 0.0078 mg/ml ;
- Mettre chaque fois 250ul d'une des solutions dans un tube eppendorf, rajouter 250ul de phénol 5% et 1ml de H₂SO₄ puis secouer le tube au Vortex.

- 300ul de ce mélange sont versés dans un puits d'une microplaque (remplir trois puits par tube eppendorf).
- Laisser la microplaque 30 minutes à la lumière et à température ambiante.
- Secouer la plaque 3 secondes, puis lire la densité optique à 490nm.

Formule de dosage : $y = 9,6381x + 0,0292$

(Do : Densité optique).

Mode d'extraction et de dosage des principes actifs végétaux :

Matière végétale (aiguilles de pin de d'Alep) fraîche 1/3 médian de la feuille.



Extraction et dosage des sucres totaux :

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode de DUBOIS et al. [178] Elle consiste a :

- mettre 100 mg de matière végétale (aiguilles de pin de d'Alep) fraîche (1/3 médian de la feuille) dans un tube à essai ;
 - dans chaque tube, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour extraire les sucres, puis on laisse à température ambiante pendant 48 heures ;
 - au moment du dosage, les tubes sont placés à l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool ;
 - ensuite dans chaque tube, on ajoute 20 ml d'eau distillée à l'extrait (solution à analyser) ;
 - après avoir prélevé 2 ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% ;
 - on ajoute rapidement 5 ml d'acide sulfurique concentré 96% (densité 1,86) pour obtenir une couleur jaune orange ;
 - homogénéiser la couleur de la solution au vortex ;

- on laisse les tubes pendant 10 min, puis on les place au bain- marie pour 10 à 20 min à température de 30°C ;
- la couleur de la solution est stable pendant plusieurs heures ;
- lire la densité optique à 485 nm.

Les valeurs obtenues sont reportés sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivant :

$$Y = 4,3918 X - 0,1946$$

Extraction et quantification de la proline :

La méthode suivie est celle de TROLL et LINDSLEY [179], simplifiée et mise au point par DREIR et GORING [133], qui a partir de matière végétale fraîche mélangée au méthanol est chauffée à 85°C pendant 60 min. Après refroidissement, on ajoute à l'extrait de l'acide acétique, de la ninhydrine et un mélange d'eau distillée, d'acide acétique et d'acide orthophosphorique (0,4 : 1 : 0,26) ; l'ensemble est portée à ébullition pendant 30 min au bout des quelles, la couleur vire au rouge.

Après refroidissement, l'addition du toluène induit la séparation de la solution en deux phases: la phase supérieur contenant la proline est récupérée a laquelle on ajoute du Na₂SO₄ et lire la densité optique à 528 nm

Les valeurs obtenues sont converties en teneur de proline à partir de courbe étalon dont la relation est la suivante :

$$Y = 0,1043 X$$

Données climatiques de la région de Tipaza :
A : Pluviométrie :

Année	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept	oct.	nov.	déc.	annuel
1990	86,6	0	57,1	55,9	43,6	0	2,6	0,3	2,3	17,2	48,5	102,2	416,3
1991	131,3	68,4	102,9	21,5	27	6,9	2,2	3,8	5,5	135,9	23,1	10,5	539,0
1992	170,2	38	74,8	74	52,2	23,1	5,1	0	0	73,2	74,6	87,6	672,8
1993	5,5	85,4	28,9	65	8,3	2,2	0	0	19,9	21,1	54,1	35,2	325,6
1994	97,4	31,9	2,8	70,3	7,2	0	0	0	107,1	76,4	55,1	52,7	500,9
1995	140,9	89,6	106,4	11,6	7,2	19,8	1,96	2,64	62	25	56,4	20	543,5
1996	58,1	152,5	33,9	199,2	6,6	14,5	4,5	0,8	41,4	91,3	35	20,4	658,2
1997	50,7	44	6	69,1	26,2	0	2,8	8,8	23,1	46,6	96,9	47,9	422,1
1998	7,6	36	34,4	76,4	140,9	1,3	0	3,1	37,5	26,2	114,9	69	547,3
1999	126,7	168,8	5,5	11,6	0,9	0,7	0	1,5	10,7	12,8	131,8	260	841,0
2000	7,8	6,9	23	18,2	49,5	1,2	0	0	6,3	86	74,8	29,6	303,3
2001	107,8	50,5	0,8	60,7	11,5	0,3	0	0	18	11,3	175,2	46,2	482,3
2002	23,4	19,5	65,2	28,9	22,5	0	6,5	8	26,5	24,5	90,5	74,1	389,6
2003	155,1	124,9	13,3	43,3	39,8	0	0	1,8	2,7	27,7	106,1	60,5	575,2
2004	81,3	46,5	52,4	76,2	83,1	3,6	0	4	27,7	27,7	120,3	143	665,8
2005	98,9	145	95	24,1	3	0	0	0,6	13,7	33,2	78,7	133,7	625,9
2006	136,7	67,8	19,2	8,2	140,4	0	0	0	71,4	2	19,1	210,8	675,6
2007	12,4	44,8	103	92,5	2,8	0	1,96	0	60,2	120,2	196,4	123	757,3
2008	15,6	20,5	88,5	9,5	41,5	4,647	15,5	0	34,9	59,5	103	84,32	477,5
2009	81,9	69,24	73	86,5	0	0	0	17,5	101,2	3,5	81	117	630,8
2010	97,5	104,5	98	38	35,71	6	0	2,64	19,5	97,6	99	59,5	658,0
2011	108,6	108,6	36,4	95,6	93,5	18	0	2,64	32,9	44,6	106,8	68	715,7

B : Température :T° maximum :

Année	Tmax	jan	fév.	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
1990	Tmax	14,8	17,8	17,6	17,9	22,5	27,5	30,1	30,3	30,8	25,1	18	14,1
1991	Tmax	13,8	13,3	17	15,1	18,5	25,2	29,1	30,3	28,8	20,4	15,2	10,7
1992	Tmax	9,2	10,5	12,7	16,1	18,7	22,9	26,2	28,4	24,3	20,7	16,1	14,3
1993	Tmax	7,2	6,6	11,4	13,8	20,6	25	31,6	30,3	22,9	21,3	16,6	13,5
1994	Tmax	12,1	12,5	14,6	16	22,2	25,3	31,3	30,7	26,3	21,7	16,7	12,2
1995	Tmax	10,8	12,5	14,2	16	20,6	20,7	32,85	32,4	23,5	20,3	17,6	13,6
1996	Tmax	17,48	11,1	12	12,3	20,3	22,63	25,9	25,6	22,1	17,7	16,5	14,2
1997	Tmax	13	12,4	14,1	16,9	32	25,6	28,7	31,8	30,7	26	20,2	18,1
1998	Tmax	16,8	18,4	19,7	21,1	22,8	29,9	29,5	30,6	25,6	19,8	11,2	12
1999	Tmax	14	11,9	15,4	20,7	22	26,1	31,2	28,4	23,2	21,7	16,6	15,8
2000	Tmax	15	17,1	15,4	17	19,6	22	28,1	34,1	29	17,3	18,6	16
2001	Tmax	14,3	14,6	16,3	13,8	18,2	24,7	35,1	26,8	30,8	31,9	23,6	19,6
2002	Tmax	14,3	21,5	23,8	21,38	29,3	31,1	33,1	23,7	21,8	28,8	22,8	22,2
2003	Tmax	18,3	18,6	22,8	23,8	26,1	35,3	38,6	35,5	36,4	32,1	27,7	24,2
2004	Tmax	23,6	24,1	20,9	26,1	26,5	36,1	33,9	35,3	39,9	33,7	25,5	0,3
2005	Tmax	21,4	20,1	32	35	38	46	46	46	41	41	21,709	24
2006	Tmax	28	17,9	20,04	21,38	25,99	30	32,85	32,4	42	47	35	29
2007	Tmax	32	33	32	32	42	38	32,85	49	42	36	32	32

2008	Tmax	27	29	32	29	26	35	35	34	37	26	24	18
2009	Tmax	17,48	21	24	28	39	40	32,85	32,4	36	38	32	26
2010	Tmax	22	30	29	29	30	37	39	32,4	33	34	22	27
2011	Tmax	22	20	24	28	31	34	39	32,4	34	31	28	22

T° minimum :

Année	Tmin	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
1990	Tmin	7,7	8,6	10,5	11,5	15,9	20,3	22,1	22,2	23	16,6	11,9	6,9
1991	Tmin	6,1	6,5	11	12,3	14,2	20,5	23,6	23,5	22,5	15,8	11,6	7
1992	Tmin	7,2	8,6	10,8	12,5	16,2	20,2	23,7	22,9	20,5	14,6	13	12
1993	Tmin	4,7	6,3	8,4	10,3	18,1	22,1	21	24,7	18,2	17	12	9,6
1994	Tmin	7,6	9,3	12,1	13	19,2	22,3	25,3	26,8	21,6	18,2	12,7	8,1
1995	Tmin	7,5	9,3	9,9	11,6	15,9	18,1	20,36	20,12	20	15,5	12,7	11,4
1996	Tmin	5,34	8,6	10,1	16,7	15,4	18,1	21,5	24,5	17,9	14,1	12,3	10,7
1997	Tmin	9,8	9,6	9,9	13,7	13	23,3	18,6	20,8	19,8	16,3	12,3	9,1
1998	Tmin	7,3	8,1	8,2	11,4	14,4	19,3	20,3	24,2	22,2	13,3	15,9	6,9
1999	Tmin	7,7	7	10	11,2	17,5	21,4	24,7	26,1	21,6	19,1	12,4	9,8
2000	Tmin	7,3	9,2	11,2	10,4	18	20,2	24,8	21,7	19,4	16,2	10	10,6
2001	Tmin	10,6	8,9	13,8	15,8	16,7	23,5	24,2	25	21,3	21,6	15,5	11,5
2002	Tmin	8	12	14,1	9,77	18,7	22,5	23,4	22,7	20,8	18,6	15,1	13,7
2003	Tmin	11,4	10,6	13,5	14,9	17,4	24,7	25,6	17,9	10,5	7,4	16,3	0,8

2004	Tmin	4,3	0,1	12,7	2,9	5,5	13,7	10,7	12,2	12,8	10,1	1,9	23,2
2005	Tmin	5,34	6,01	8,48	9,77	1	6	10	8	5	4	9,36	7,49
2006	Tmin	5,34	6,01	8,48	9,77	12,55	16,91	20,36	20,12	4	4	-1	-2
2007	Tmin	-6	-4	-7	-2	0	3	20,36	9	6	1	-6	-7
2008	Tmin	-7	-7	1	3	6,5	7	13	10	9,5	5	2	0
2009	Tmin	5,34	0,5	0,5	0,5	1	5	20,36	20,12	9	7	5	6
2010	Tmin	2	5	5	7	8	11	17	20,12	8	3	2	3
2011	Tmin	0	3	4	9	11	13	17	20,12	16	12	9	6

Source : Barrage Boukerdane de Sidi Amer wilaya de Tipaza (A.N.R.H. Blida).

Pluviométrie mensuelles moyennes :

1990/2009	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sept	oct.	nov.	déc.	annuel
moyenne	79,8	65,5	54,8	55,1	35,7	3,9	2,2	2,6	33,6	46,1	86,8	86,4	552,5

2010/2011	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sept	oct.	nov.	déc.	annuel
moyenne	108,6	108,6	36,4	95,6	93,5	18	0	2,64	19,5	97,6	99	59,5	738,94

Températures mensuelles moyennes des minima et maxima:

1990/2009	jan	fév.	mars	avr	mai	juin	juil.	aout	sept	oct.	nov.	déc.
moy Tmin	5,8	6,2	8,9	10,0	12,9	17,4	20,7	20,1	16,3	12,8	9,7	7,8
moy Tmax	17,0	17,2	19,4	20,7	25,5	29,5	32,2	32,4	30,7	27,3	21,4	17,5
M+m	22,8	23,4	28,3	30,6	38,4	46,9	52,9	52,5	47,0	40,1	31,1	25,3
M+m/2	11,4	11,7	14,1	15,3	19,2	23,4	26,5	26,3	23,5	20,0	15,6	12,6
M-m	11,3	11,0	10,5	10,7	12,7	12,0	11,5	12,3	14,4	14,6	11,6	9,7

2010/2011	jan	fév.	mars	avr	mai	juin	juil.	aout	sept	oct.	nov.	déc.
moy Tmin	0	3	4	9	11	13	17	20	8	3	2	3
moy Tmax	22	20	24	28	31	34	39	32	33	34	22	27
M+m	22	23	28	37	42	47	56	53	41	37	24	30
M+m/2	11	12	14	19	21	24	28	26	21	19	12	15
M-m	22	17	20	19	20	21	22	12	25	31	20	24

Source: A.N.R.H. Blida (station météo. Barrage Boukerdane de Sidi Amer wilaya de Tipaza).

Relevé floristique :**Station1 : Kolea :**

Especes de plantes	Familles	Auteurs	Ste. Herbacé	Ste. Arbustive	Ste. arborescente
<i>Pinus halepensis</i>	Pinacées	Philip Miller			+
<i>Régénération de pin d'alep</i>	Pinacées	Philip Miller			Reg.
<i>Asparagus acutifolius</i>	Liliaceae	Linné		+	
<i>Genista tricuspidata</i>	Fabaceae	Psyllidae Latreille		+	
<i>Oryzopsis milliacea</i>	graminées	André Michaux	+		
<i>Scherardia arvensis</i>	Rubiaceae	William Sherard	+		
<i>Calicotome spinosa</i>	Fabaceae	(L.) Link		+	
<i>Anagallis arvensis</i>	Primulacées	L.	+		
<i>scabieuse maritime</i>	Dipsacacées	(L.)Fiori	+		
<i>Pistacia lentiscus</i>	Anacardiaceae	L.		+	
<i>Ammi majus</i>	Apiaceae	Linné	+		
<i>Cistus salvifolius</i>	Cistacées	L.		+	
<i>Andryala integrifolia</i>	Astéracées	L.	+		
<i>Carlina lanata</i>	Asteraceae	L.	+		
<i>Blackstonia perfoliata</i>	Gentianacées	L.	+		
<i>Centaurea sp.</i>	Asteraceae	L.	+		
<i>Rubus fruticosus</i>	rosacées	L.		+	
<i>Olea europaea</i>	oléacées	L.			+
<i>Pallenis spinosa</i>	Composées	(L.) Cass.	+		
<i>Daucus carota</i>	Ombellifères	L.	+		
<i>Centaureum umbellatum</i>	Gentianacées	Rafn	+		
<i>Cynedon dactylon</i>	graminées	L.	+		
<i>Convolvulus althioides</i>	Convolvulacées	L.	+		
<i>Bromus rigidus</i>	graminées	Roth	+		
<i>Lotus edulis</i>	Fabaceae	Linné	+		
<i>Quercus coccifera</i>	Fagacées	L.		+	
<i>Verbascum sinuatum</i>	Scrophulariacées	L.		+	
<i>Ajuga iva</i>	Lamiacées	(L.) Schreb	+		
<i>Cistus monspeliensis</i>	Cistacées	L.		+	
<i>Marrubium vulgar</i>	Lamiaceae	L.	+		
<i>Urospermum picroides</i>	Asteraceae	(Linné) Scopoli.	+		
<i>Hedysarum sp</i>	Fabaceae	Dehshiri	+		
<i>Phylliria angustifolia</i>	Oleaceae	L.		+	
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	graminées	T.Durand et Schinz	+		

Station2 : Attatba :

Especes de plantes	Familles	Auteurs	Ste. Herbacé	Ste. Arbustive	Ste. arborescente
<i>Pinus halepensis</i>	Pinacées	Philip Miller			+
<i>Lavandula stoechas</i>	<i>Lamiaceae</i>	L.		+	
<i>Calicotome spinosa</i>	Fabaceae	(L.) Link		+	
<i>Arbutusu inedo</i>	<i>Ericaceae</i>	L.		+	
<i>Olea europea</i>	oléacées	L.			+
<i>Quercus coccifera</i>	Fagacées	L.		+	
<i>Galactitese tomontosa</i>	<i>Asteraceae</i>	(L.) Moench	+		
<i>Régénération de pin d alep</i>	Pinacées	Philip Miller			Reg.
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Lamiacées	L.		+	
<i>Cistus monspilensis</i>	Cistacées	L.		+	
<i>Phylliria angustifolia</i>	Oleaceae	L.		+	
<i>Chamaerops humilis</i>	arécacées	L.		+	
<i>Titraclinis articulata</i>	Cupressacées	(M. Vahl.) Masters			+
<i>Anagallis arvensis</i>	Primulacées	L.	+		
<i>Andryala integrifolia</i>	Astéracées	L.	+		
<i>Asparagus acutifolius</i>	Liliaceae	L.		+	
<i>Cistus salvofolius</i>	Cistacées	L.		+	
<i>Pistacia lentiscus</i>	Anacardiaceae	L.		+	
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	graminées	T.Durand et Schinz	+		
<i>Marrubium vulgare</i>	Lamiaceae	L.	+		

Station3 : Ain-Taourait :

Especes de plantes	Familles	Auteurs	Ste. Herbacé	Ste. Arbustive	Ste. arborescente
<i>Pinus halepensis</i> 5.5	Pinacées	Philip Miller			+
<i>Ampelodesma mauritanica</i> 4.5	graminées	T.Durand et Schinz	+		

<i>Pistacia lentiscus</i> 3.3	Anacardiaceae	L.		+	
<i>Cistus monspilensis</i> 2.2	Cistaceae	L.		+	
<i>Phylliria angustifolia</i> 2.3	Oleaceae	L.		+	
<i>Quercus coccifera</i> 3.2	Fagacées	L.		+	
<i>Lonicera caprifolium</i> 1.1	Caprifoliaceae	L.		+	
<i>Rubia sp</i> 1.1	Rubiaceae	L.		+	
<i>Astragalus sp</i> +.1	Fabaceae	Linnavuori.	+		
<i>Chamaerops humilis</i>	arécacées	L.		+	
<i>Genista tricuspidata</i> 2.3	Fabaceae	Psyllidae Latreille		+	
<i>Erica arborea</i> 3.3	Ericaceae	Juss		+	

Station4 : Tipaza :

Especes de plantes	Familles	Auteurs	Ste. Herbacé	Ste. Arbustive	Ste. arborescente
<i>Pinus halepensis</i> 5.5	Pinacées	Philip Miller			+
Régénération de pin d alep2.1	Pinacées	Philip Miller			Reg.
<i>Quercus coccifera</i> 4.4	Fagacées	L.		+	
<i>Pistacia lentiscus</i> 4.4	Anacardiaceae	L.		+	
<i>Blackstonia perfoliata</i> + .1	Gentianacées	L.	+		
<i>Pallenis spinosa</i> +.1	astéracées	L.	+		
<i>Ampelodesma mauritanica</i> 4.3	graminées	T.Durand et Schinz	+		
<i>Cistus monspilensis</i> 2.4	Cistaceae	L.		+	
<i>Centaureum umbellatum</i> 1.1	Gentianacées	Rafn	+		
<i>Asparagus acutifolius</i> 1.1	Liliaceae	L.		+	
<i>Phylliria angustifolia</i> 2.3	Oleaceae	L.		+	

Station5 : Cherchel Imekraz :

Especes de plantes	Familles	Auteurs	Ste. Herbacé	Ste. Arbustive	Ste. arborescente
<i>Pinus pinaster</i> 4.5	Pinacées	Aiton			+
<i>Pinus halepensis</i> 2.2	Pinacées	Philip Miller			+
<i>Medicago hispida</i> + .1	fabacées	L.	+		
<i>Lagurus ovatus</i> + .1	graminees	L.	+		
<i>Lobularia maritime</i> + .1	crucifères	L.	+		
<i>Cistus monspilensis</i> 1.2	Cistacées	L.		+	
<i>Geranium sp</i> 1.1	Geranniacees	L.	+		
<i>Ampelodesma mauritanica</i> +.1	graminées	T.Durand et Schinz	+		
<i>Quercus coccifera</i> 1.1	Fagacées	L.		+	
<i>Phylliria angustifolia</i> 1.2	Oleaceae	L.		+	
<i>Pistacia lentiscus</i> 2.3	Anacardiacees	L.		+	
<i>Centauria sp</i> 1.1	Asteraceae	L.	+		

Station6 : Cherchell Belkheira

<i>Pinus pinea</i> 4.5	Pinacées	L.			+
<i>Cistus monspilensis</i> 4.5	Cistacées	L.		+	
<i>Ampelodesma mauritanica</i> 3.3	graminées	T.Durand et Schinz	+		
<i>Pistacia lentiscus</i> 4.4	Anacardiacees	L.		+	
<i>Plantago sp</i> +.1	Plantaginacées	A.lantain	+		
<i>Lavandula steackas</i> 2.2	Lamiaceae	L		+	
<i>Filago sp</i> 1.1	Asteraceae	L	+		
<i>Linum corymbiferum</i>	Linaceae	Desf	+		
<i>Rubia sp</i> +.1	Rubiaceae	L.		+	
<i>Galactites tomentosa</i> 1.1	Asteraceae	(l.) Moench	+		
<i>Chamaerops humilis</i> 1.1	arécacées	L.		+	
<i>Hypéricum perforatum</i>	Hypéricacées	L.	+		
<i>Calicotom spinosa</i> 2.2	Fabaceae	(L.) Link		+	
<i>Pallenis spinosa</i> +.1	Composées	(L.) Cass.	+		
<i>Crepis vesicaria</i> +.1	Astéracées	L.	+		
<i>Cynoglossum sp</i> + .1	Boraginaceae	L.	+		

Groupe 1 : Pinaie d'Attatba (sud, post incendie, R% = 31) : *Pinus halepensis*

Nom scientifique	Famille	Code de l'espèce	strate
<i>Lavandula stoechas</i> L., 1753	Lamiaceae	Last	arbuste
<i>Chamaerops humilis</i> L., 1753	Areaceae	Chhu	arbuste
<i>Arbutus inedo</i> L., 1753	Ericaceae	Arin	arbuste
<i>Rosmarinus officinalis</i> L., 1753	Lamiaceae	Roof	arbuste
<i>Tetraclinis articulata</i> (Vahl) Mast., 1892	Cupressaceae	Tiar	arborescente
<i>Anagallis arvensis</i>	Primulaceae	Ansa	herbacée

G2 : Pinaie de Tipaza (nord, régénération naturelle, R% = 37,04) : *Pinus halepensis*

Nom scientifique	Famille	Code de l'espèce	strate
<i>Cistus monspeliensis</i>	Cistaceae	Cimo	arbuste
<i>Ampelodesma mauritanica</i>	Poaceae	Amma	herbacée
<i>Quercus coccifera</i>	Fagaceae	Quco	arbuste
<i>Pinus halepensis</i>	Pinaceae	Piha	arborescente
<i>Pistacia lentiscus</i>	Anacardiaceae	Pile	arbuste
<i>Phylleria angustifolia</i>	Oleaceae	Phla	arbuste
<i>Pallenis spinosa</i>	Asteraceae	Posp	herbacée
<i>Genista tricuspida</i>	Fabaceae	Getr	arbuste

G3 : Pinaie de Koléa (sud, post incendie, R% = 17,79) : *Pinus halepensis*

Nom scientifique	Famille	Code de l'espèce	strate
<i>Ammi majus</i>	Apiaceae	Anom	herbacée.
<i>Hedysarum sp</i>	Fabaceae	Hesp	herbacée
<i>Cistus salvifolius</i>	Cistaceae	Cisa	arbuste
<i>Anagallis arvensis</i>	Primulaceae	Anar	herbacée
<i>Olea europaea ssp sylvestris</i>	Oleaceae	Oleu	arborescente
<i>Carlina lanata</i>	Asteraceae	Cala	herbacée
<i>Bromus rigidus</i>	Poaceae	Brrri	herbacée
<i>Calicotome spinosa</i>	Fabaceae	Casp	arbuste
<i>Pallenis spinosa</i>	Asteraceae	Pasp	herbacée
<i>Marrubium vulgare</i>	Lamiaceae	Mavu	herbacée
Régénération de pin d'alep	Pinaceae	Real	arbuste
<i>Asparagus acutifolius</i>	Liliaceae	Asac	arbuste
<i>Blackstonia perfoliata</i>	Gentianaceae	Blpe	herbacée
<i>Lotus edulis</i>	Fabaceae	Loed	herbacée
<i>Rubus fruticosus</i>	Rosaceae	Rufr	arbuste
<i>Scherardia arvensis</i>	Rubiaceae	Scar	herbacée
<i>Ajuga iva</i>	Lamiaceae	Ajiv	herbacée

<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae	Cyda	herbacée
<i>Daucus carota</i>	Apiaceae	Daca	herbacée
<i>Oryzopsis miliacea</i>	Poaceae	Ormi	herbacée
<i>Verbascum sinuatum</i>	Scrophulariaceae	Vesi	arbuste
<i>Urospermum picroides</i>	Asteraceae	Urpi	herbacée
<i>Scabiosa maritima</i>	Dipsacaceae	Scma	herbacée
<i>Centaurium umbellatum</i>	Gentianaceae	Ceum	herbacée
<i>Andryala integrifolia</i>	Asteraceae	Anla	herbacée
<i>Convolvulus althioides</i>	Convolvulaceae	Coal	Herbacée

G4 : Pinaie de Cherchell Belkheira (sud, reboisé, R% = 20,93): *Pinus pinea*

Nom scientifique	Famille	Code de l'espèce	strate
<i>Galactites tomentosa</i>	Asteraceae	Gato	herbacée
<i>Pinus pinea</i>	Pinaceae	Pipn	arborée
<i>Filago sp</i>	Asteraceae	Fisp	herbacée
<i>Plantago sp</i>	Plantaginaceae	Plsp	herbacée
<i>Linum corymbiferum</i>	Linaceae	Libo	herbacée
<i>Hypericum perforatum</i>	Hypericaceae	Hype	herbacée
<i>Crepis vesicaria</i>	Asteraceae	Orve	herbacée
<i>Cynoglossum sp</i>	Boraginaceae	Cysp	herbacée

G5 : Pinaie d'Aïn Tagourait (nord, post incendie, R% = 29,79): *Pinus halepensis*

Nom scientifique	Famille	Code de l'espèce	strate
<i>Rubia sp</i>	Rubiaceae	Rusp	herbacée
<i>Erica arborea</i>	Ericaceae	Erar	arbuste
<i>Astragalus sp</i>	Fabaceae	Assp	herbacée
<i>Lonicera caprifolium</i>	Caprifoliaceae	Loca	arbuste

G6 : Pinaie de Cherchell Si Imekrez (nord, reboisé, R% = 16,45): *Pinus pinaster*

Nom scientifique	Famille	Code de l'espèce	strate
<i>Centauria sp</i>	Asteraceae	Cesp	herbacée
<i>Pinus pinaster</i>	Pinaceae	Pipi	arborescente
<i>Medicago hispida</i>	Fabacées	Mehi	herbacée
<i>Lagurus ovatus</i>	Poaceae	Laov	herbacée
<i>Lobularia maritima</i>	Brassicaceae	Loma	herbacée
<i>Geranium sp</i>	Geraniaceae	Gesp	herbacée

Quelques espèces du relevé floristique des stations d'étude(Originale 2011) :



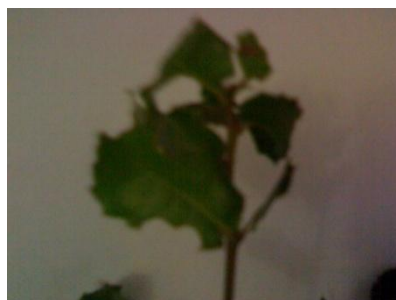
Rosmarinus officinalis (romarin)



Calicotum spinosa (genêt)



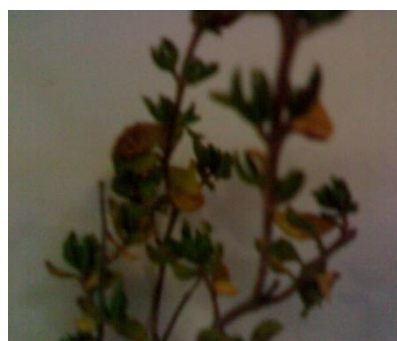
Pistacia lentiscus (lentisque)



Quercus coccifera (chêne kermès)



Tetraclinis articulata (thuya de berberie)



Cistus monspiliensis (ciste)



Phylliria angustifolia (phyllaire)



Ampelodesma mauritanica (Diss)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **YANIS A.** 2009. Ecologie et environnement en Algérie. Que faire pour sauver la forêt Algérienne. Revue de web écologique de Nouara. 3p.
2. **BOUGUENNA S.** 2011. Diagnostic écologique, mise en valeur et conservation des pineraies de *Pinus halepensis* de la région de Djerma (Nord-est du parc national de Belezma, Batna) Thèse Magister Université El Hadj Lakhdar-Batna (Algérie) ,162p.
3. **ANONYME**, 2008 Bilan de la lutte contre la chenille processionnaire du pin année 2007 en Algérie. Forums des Forestiers Algérien. Message N°17, 1P.
4. **ZAMOUM M.**, 1998 – Données sur la bioécologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller. (Lep., Thaumetopoeidae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie). Thèse de Doctorat, Université des Sciences de Rennes I, France, 247 p.
5. **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.
6. **Ministère de l'agriculture et de la pêche (France)**, 2007 - Département de la santé des forêts. Echelon technique Sud - Est. Méthodes de lutte contre la chenille processionnaire du pin en forêt. Information technique N° 57 Octobre 2007. 10p <http://agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/thaupit.pdf>.
7. **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.
8. **DEMOLIN G.**, 1986 – Intensification de la protection phytosanitaire des forêts en Algérie. Rapport scientifique - projet F.A.O. n° DP-FO-ALG/83/013 : 27 pages, 30 planches.
9. **ZAMOUM M.**, 2005 – Techniques de suivi de la biologie de la chenille processionnaire du pin avant et après le traitement insecticide prévu pour la campagne 2005. Doc. Tech. INRF, 12p.
10. **ZAMOUM M. et DEMOLIN G.** 2005 – The life cycle of the pine processionary caterpillar in the bioclimatic conditions of a sub-Saharan region. Int. Nat. Rech. Agronom. France éditions, Paris France, 107-116.

- 11. DEMOLIN G.**, 1967 – Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver-activité de tissage. *C.r. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux*. 69-77.
- 12. KHALADI O**, 2011. Essai de lutte par l'utilisation de lantana camara contre quelques ravageurs des cultures, Thèse magister université Saad Dahleb Blida (Algérie), 93 p.
- 13. AHMED S. et DIN N.**, 2009. Leaf powders of basil (*Ocimum basilicum*L.), lantana (*Lantana camara* L.) and gardenia (*Gardenia jasminoides* Ellis) affect biology of *Callosobruchus chinensis* L. (*Coleoptera: Bruchidae*). *Pak. Entomol.* Vol. 31, No.1, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan: 5-9.
- 14. SASHIKALA DEVI G., KOTTAIMUTHU A., SATHEESHKUMAR D., REKHA S., INDHUMATHY et NANDHINI R.**, 2009. Studies on the antibacterial and antifungal activities of the ethanolic extracts of *Luffa cylindrica* (Linn) fruit .*INT.J.DRUG DEV & RES.*, Annamalai University, 1(1):105-109.
- 15. KAABECHE M.**, 2007. Biodiversité floristique et plantes médicinales en Algérie. Recueil des résumés du symposium international sur le médicament de phytothérapie et plantes médicinales. Université Mentouri de Constantine (Algérie), 25p.
- 16. RATHGEBER C.** 2002. Impact des changements climatiques et de l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers : exemple du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Provence calcaire (France). Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, France. 312 p.
- 17. KADIK B. et HAMOUDI A**, 1976. La chenille processionnaire du Pin (*Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff.), Biologie et moyens de lutte, Note technique, Centre National de Recherche et d'expérimentation forestière, 8 p.
- 18. SEIGUE A.** 1995. La forêt méditerranéenne et ses problèmes.Paris : Maisonneuveet Laros. 502p.
- 19. BERCHICHE T.** 1986. Contribution à l'étude socio-économique de la forêt algérienne.Thèse magister Science agronomique : INA d'Alger.
- 20. IKERMOUD M.** 2000. Evaluation des ressources forestières nationales. Alger : DGF. 39p.
- 21. FOSA.** 2000. Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Algérie.Animé et coordonné par Mr **GOUSSANEM M.** Directeur d'Etudes à la Direction Générale des Forêts. Alger, Ministère de l'agriculture. Rome FAO 60 P.

- 22. DGF**, 2005- Superficies, potentialités, et bilan d'incendies des forêts algériennes.
- 23. FERKA ZAZOU N.** 2006. Impact de l'occupation spacio temporelle des espaces sur la conservation de l'écosystème forestier. Cas de la commune de tessala, wilaya de sidi bel abbes, (Algerie). Thèse magister Université Aboubekr Belkaïd tlemcen (Algérie), 150 p.
- 24. BEKDOUCHE F.** 2010. Evolution après feu de l'écosystème subéraie de Kabylie (nord Algérien). Thèse doct .Université Mouloud Maameri Tizi-ouzou (Algérie),150p.
- 25. LE HOUEROU H.N.**, 1968 - La désertification du Sahara septentrional et des steppes limitrophes. Ann. Algér. de Géogr. 6,2-27.
- 26. MONTERO G. et CANELLAS I.**, 1998 - Salviculturay gestion soslenible de sistemas forestales, Actas de Los Primeros Encuentos Cientificos del parque natural de Penalara, Mai. Conserjeria de Medio Ambienté de Madrid. 29-31.
- 27. BENABDELI K.**, 1996- Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers faces à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya. Algérie occidentale. Doct. Es-sci. Univ. Djilali Liabes de Sidi Bel Abbés, 356p.
- 28. QUEZEL P. et BARBERO M.**, 1990- Les forêts méditerranéennes, problème posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. Acta botanica Malacitana, n°15, pp 145-178.
- 29. LE HOUEROU H. N.**, 1993 - Changements climatiques et désertisation. Rev. Sécheresse; Vol. 4, pp : 95-111.
- 30. GRIMES S. et LAMRI H.** 2005. Développement de stratégies pour un tourisme durable dans les nations méditerranéennes ; Algérie: Choix et évaluation environnementale de la structure pilote: La Corne d'Or (Wilaya de Tipaza). Algérie. 26 p.
- 31. SMAIHI A.H.**, 2009. Influence du type de pineraies (pineraie, pineraie chânaie) sur la mobilisation et le comportement de plantules de pin d'alep dans des sols forestiers de la région de Batna. Thèse magister hadj lakhdar batna (algérie), 90p.
- 32. BONIN G.** 1994. Quelques aspects des forêts d 'Afrique du Nord. Forêt méditerranéenne t. xv n° 1 janvier 1994, 75 P.
- 33. LE HOUEROU H.N.** 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Institut. National Recherche Agronomique,Tunis 42/5/624p.
- 34. Anonyme**, 2010. Pin (plante), [http://fr.wikipedia.org/wiki/Pin_\(plante\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pin_(plante)).

- 35. BOUDY P.**, 1952. Guides du forestier en Afrique du Nord, 490p.
- 36. QUEZEL P., BARBERO M.**, 1992 - Le pin d'Alep et les essences voisines : répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. Forêt méditerranéenne, XIII (3), 158-170.
- 37. 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.
- 38. KADIK B.**, 1987- Contribution à l'étude du pin d'Alep en Algérie. Ecologie, dendrométrie et morphologie. Ed. OPU. Alger, 508p.
- 39. QUEZEL P.** 1980. Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Dans : Actualités d'Ecologie Forestière (Ed. : Pesson), Ed. Gauthier Villars, Paris, pp. 205-256.
- 40. Conservation des forêts de la wilaya de Tipaza.** 2011. Statistique du patrimoine forestier de la wilaya de Tipaza, (Algérie).2011.
- 41. PARDE J. & BUCHON J.**, 1988 - Dendrométrie. 2ème Ed. ENGREF, 328p. PDAU, 2005- Plan de développement et d'aménagement urbain de la commune de Tessala, 43p.
- 42. ROBREDO, F.** 1980 [Traitements extensifs au diflubenzuron contre les larves de la processionnaire du pin en Espagne]. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* 6, 141-154.
- 43. LOULLOU ZE.**, 1987. Analyse des reboisements en pin pignon dans la région de Mostaganem : Contribution à l'étude dendrométrique. Mém. Ing. Ins. Nat. Agro. Alger, 90p.
- 44. ZANNDUCHE O**, 2000. Etude comparative de la croissance de trois espèces forestières : *Pinus pinea* L, *Pinus pinaster* Ait. et *Pinus canariensis* Ch.switch. Aspect éco.dendrométrique. Thèse de magistère. Université. Mouloud Mammeri. Tizi.Ouzou, 100p.
- 45. LEHOUT A**, 2008. Limites thermiques et adaptation du Pin Pignon dans la région de Constantine. Thèse Mag. Université Mentouri Constantine (Algérie) ,128p.
- 46. ANONYME**, 2003. Weed Management Guide – *Lantana camara*. Weeds of national significance, Australia, 6p.
- 47. JOLY A.B.**, 1993. Introdução à Taxonomia Vegetal, 11^a Ed. Companhia Editora Nacional, São Paulo, Brasil., 163p.

- 48. GHISALBERTI E.L.**, 2000. *Lantana camara* L. (*Verbenaceae*). *Fitoterapia*, 71: 467-486.
- 49. MISRA L. et LAATSCH H.**, 1999. Triterpenoids, Essential oil and Photo-oxidative 28-->13- Lactonization of Hepatoprotective Oleanolic acid from *Lantana camara*. CIMAP communication no. 99/73J, India, 14p.
- 50. OUDHIA P.**, 2001. Allelopathic research on chickpea seeds in Chhattisgarh (India) region: an overview. *Ecol. Environ. Conserv.*, 7 : 31–34.
- 51. GANJEWALA D., SAM S. et HAYAT KHAN K.**, 2009. Biochemical compositions and antibacterial activities of *Lantana camara* plants with yellow, lavender, red and white flowers. *Eur. Asia Journal of BioSciences* 3, India : 69-77.
- 52. DAY M.D., WILEY, C.J., PLAYFORD, J. et ZALUCKI, M.P.**, 2003. *Lantana* Management status and future prospects. Australian Centre for International Agricultural Research Canberra. ACIAR Monograph, 102p.
- 53. SHARMA OP, MAKAR HPS et DAWRA RK.**, 1988 *in* Maria Jancy Rani P., Kannan P.S.M. and Kumaravel S., 2011. GC-MS analysis of *Lantana camara* L. leaves. *International Journal of Pharma Research and Development*: 63-66.
- 54. DUA V.K., PANDEY A.C. and DASH A.P.**, 2010. Adulticidal activity of essential oil of *Lantana camara* leaves against mosquitoes. *Indian J. Med. Res.* 131 : 434-439.
- 55. ISSG DATABASE**, 2011. *Lantana camara* (<http://www.issg.org/database/species/ecology>).
- 56. CAVALLI J-F**, 2002. Caractérisation par CPG/IK, CPG/SM et RMN du carbone-13 d'huiles essentielles de Madagascar. Thèse. Doc. Chim. Orga. et analytique, Univ. De Corse Pascal Paoli, Corse (France), 261p.
- 57. DEMOLIN, G.** 1963 Les 'miroirs' de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Revue de Zoologie Agricole Appliquée* Nos 11-12, 8 pp.
- 58. DUA VK, PANDEY AC, SINGH R, SHARMA VP et SUBBARAO SK.**, 2003. Isolation of repellent ingredients from *Lantana camara* (*Verbenaceae*) flowers and their repellency against *Aedes mosquitoes*. *J. Appl. Entmol*; 127 : 509-511.
- 59. ZIPRKOWSKI, L.; ROLAND, F.** (1966) Study of the toxin from the poison hairs of *Thaumetopoea wilkinsoni* caterpillars. *Journal of Investigative Dermatology* **46**, 439-445.

- 60. HANNAY, C.L.** - 1953 - Crystalline inclusions in aerobic sporeforming bacteria. *Nature*. 172, p. 1004.
- 61. BEEGLE, C.C., AND YAMAMOTO, T.** 1992. History of *Bacillus thuringiensis kurstaki* Berliner research and development. *Can. Entomol.* 124: 587-616.
- 62. ANGUS, T.A.** - 1954 - A bacterial toxin paralyzing silkworm larvae. *Nature*, 173, pp. 545 - 546.
- 63. BARJAC, BURGERJON ET BONNEFOI,** 1966 – The production of heat-stable toxin by the nine serotypes of *Bacillus thuringiensis kurstaki*. *J. Invert. Pathol.*, i, pp. 537 -538.
- 64. LECADET et MARTOURET.** 1967 enzymatique hydrolysis of the cristalof *B.thuringiensis* by the protéase of pieris brassicae .II. Toxicity of the different fractions of the hydrolysate for larvae of pieris brassicae .J. invertebr. Pathol., 2,322-330.
- 65. DEAN, D. H., RAJAMOHAN, F., LEE, M. K., WU, S. J., CHEN, X. J., ALCANTARA, E., AND HUSSAIN, S. R.** 1996. Probing the mechanism of action of *Bacillus thuringiensis kurstaki* insecticidal proteins by sitedirected mutagenesis-- a minireview. *Gene* 179, 111-117.
- 66. HÖFTE, H., et WHITELEY, H.R.** 1989. Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis kurstaki*. *Microbiol. Rev.*, 53: 242-255.
- 67. Martin, P.A.W.** 1994. An iconoclastic view of *Bacillus thuringiensis kurstaki* ecology. *Am. Entomol.* 40(1): 85-90.
- 68. RAMPERSAD J., KHAN A. et AMMONS D.** 2003. A *Bacillus thuringiensis kurstaki* isolate possessing a spore-associated filament. *Current Microbiology* 47: 355-357.
- 69. DU C., MARTIN P.A.W. et NICKERSON K.W.** 1994. Comparison of disulfide contents and solubility at alkaline pH of insecticidal and noninsecticidal *Bacillus thuringiensis kurstaki* protein crystals. *Applied and Environmental Microbiology* 60: 3847-3853.
- 70. HELASSA,** 2008. Devenir de la protéine insecticide Cry1Aa issue de *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk) dans le sol. Thèse doct. Centre International d'études Supérieures en sciences agronomiques (Montpellier Sup. Agro).France. Pp 160.
- 71. BRAVO A., GILL S.S. et SOBERON M.** 2007. Mode of action of *Bacillus thuringiensis kurstaki* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon* 49: 423-435.

- 72. BURGESS, H.D., et DAOUST, R.A.** 1986. Current status of the use of bacteria as biocontrol agents. In: Fundamental and applied aspects of invertebrate pathology (Edited by R.A. Samson, J.M. Vlak and D. Peters). Soc. Invertebr. Pathol., Wageningen. pp. 514-517.
- 73. FAUST, R.M.** 1974. Bacterial diseases. In: Insect Diseases (Edited by G.E. Cantwell). Marcel Dekker, New York. pp. 87-183.
- 74. AGAISSE H. et LERECLUS D.** 1995. How does *Bacillus thuringiensis kurstaki* produce so much insecticidal crystal protein? J Bacteriol 177: 6027-6032.
- 75. PARKER M.W. et FEIL S.C.** 2005. Pore-forming protein toxins: from structure to function. Progress in Biophysics and Molecular Biology 88: 91-142.
- 76. SCHNEPF E., CRICKMORE N., VAN RIE J., LERECLUS D., BAUM J., FEITELSON J., ZEIGLER D.R. et DEAN D.H.** 1998. *Bacillus thuringiensis kurstaki* and its pesticidal crystal proteins. Microbiology and Molecular Biology Reviews 62: 775-806.
- 77. FEITELSON J.S., PAYNE J. et KIM L.** 1992. *Bacillus thuringiensis kurstaki* - Insects and Beyond. Bio-Technology 10: 271-275.
- 78. JARRETT P. et STEPHENSON M.** 1990. Plasmid transfer between strains of *Bacillus thuringiensis kurstaki* infecting *Galleria mellonella* and *Spodoptera littoralis*. Applied and Environmental Microbiology 56: 1608-1614.
- 79. Anonyme.,** Biologie, écologie et entomotoxicité du *Bacillus thuringiensis kurstaki* taste.versailles.inra.fr/inapg/ostrizone/lutte/biopesticide.htm.
- 80. AHMAD ABID MUNIR,** 1966. A Taxonomic review of *Lantana cámara* L. and *L. monte vidensis* (SPRENG.) BRIQ. (Verbenaceae) in australia State Herbarium of South Australia, Botanic Gardens of Adelaide, PP 28.
- 81. AGENJO R.,** 1941- Monographie de la famille des *Thaumetopoeidae* (Lep.). Eos, 17, 69-128.
- 82. ELYOUSFI M.,** 1989 - The cedar processionary moth, *Thaumetopoea bonjeani* (Powell). Boletin de Sanidad Vegetal, Plagas, 15, 43-56.
- 83. Anonyme.,** 1981 Insectes ravageurs des forêts espagnoles. MAPA, (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), Madrid, Espagne.
- 84. DEMOLIN, G.** 1969. Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance économique. Annales des Sciences Forestières 26, 81-102.

- 85. AVTZIS N.**, 1986 - Development of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in relation to food consumption. *Forest Ecology and Management* **15**, 65-68.
- 86. GERI C.**, 1980 - Application des méthodes d'études démécologiques aux insectes défoliateurs forestiers. Cas de *Diprion pini* L. (Hymenoptère, Diprionidae). Dynamique des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptère, Thaumetopoeidae) dans l'île de Corse. *Thèse doct. Etat, Orsey, Université Paris-Sud, 260p.*
- 87. DÉMOLIN G.**, 1969 c - La processionnaire du pin. *Note d'information sur la biologie et sur les techniques de lutte.*
- 88. Anonyme.**, *Thaumetopoea pityocampa*. Fiche informative sur les organismes de quarantaine, LE CABI et l'OEPP pour l'UE, www.eppo.int/QUARANTINE/fungi/Phaeoramularia.../F-cercan.pdf.
- 89. RIVIÈRE J.**, 2011. Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale thèse doctorat vétérinaire. École nationale vétérinaire d'Alfort cosne-cours-sur-loire france. 200p.
- 90. SEBTI S.** 2011 - Caractéristiques biologiques et écologiques de la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera : Thaumetopoeidae) sur le cèdre de l'atlas *Cedrus atlantica* Manetti dans le parc national de Chréa. Thèse magister, université Saad Dahleb Blida (Algérie), 128 p.
- 91. FABRE J.H.**, 1899. La processionnaire du pin. *In : Souvenirs entomologiques*. [en-ligne] Série VI, 155 chapitres 19 à 23 (Créé en 2000).
- 92. MARTIN J.C.** 2005. La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. INRA Avignon. 61p.
- 93. MONTOYA R.**, 1984 - Description of a new type of trap to catch males of the pine processionary. *Boletín de la Estación Central de Ecología*, **13**, 99-103.
- 94. DEMOLIN G.**, 1969b - Bioecología de la processionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*. Incidencia de los factores climáticos. *Bol. Serv. Plagas Forest.* 23: 9-24.
- 95. GUERRERO A., CAMPS F., COLL J., et RIBA M.** 1981- Identification of a potential sex pheromone of the processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera, Notodontidae). *Tetrahedron Lett.* 22(21): Pp 2013-2016.
- 96. GACHI M.**, 1996 - La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Conférence Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S.- Jijel. 17 pp.

- 97. 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.
- 98. KERRIS T.**, 1983. La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Note technique I.N.R.F. 17 pp.
- 99. DÉMOLIN G.**, 1967b - Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nid d'hiver – *activité de tissage*. C. R. Ve congrès de l'union internationale pour l'étude des insectes sociaux. Pp : 69-77.
- 100. DAJOZ R.** 1998. Les insectes et la forêt. Ed. Lavoisier Tec & Doc. 594 p. Paris.
- 101. ROBREDO F.**, 1963. La nymphose chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* 12, 122-129.
- 102. ZAMOUM M., DEMOLIN G., MARTIN J.C.**, 2005 - Lutte contre la processionnaire du pin : que deviennent les chenilles survivantes après un traitement au Bt aux stades L3 et L4. *Phytoma – la défense des végétaux* 585 : 38-41.
- 103. Anonyme.**, La chenille processionnaire du pin. France. Site web : http://www.chenilles-processionnaires.fr/chenille_processionnaire_du_pin.htm.
- 104. DU LAURENT M.**, 2010. Effet de la diversité des essences forestières sur les niveaux de population de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), à différentes échelles spatiales, dans la forêt des Landes de Gascogne .Thèse Doct.université de BORDEAUX.FRANCE. PP : 17-18.
- 105. KERDELHUE C., ZANE L., SIMONATO M., SALVATO P., ROUSSELET J., et ROQUES A., A.**, 2009 - Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species.*BMC Evolutionary Biology*, 9, 220.
- 106. ANONYME.** Bilans des campagnes de lutttes contre la processionnaire du pin, S.E.F.M.V.T. 1980-1984.
- 107. 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.
- 108. HÓDAR J A., CASTRO J., ZAMORA R.**, 2003 - Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biol. Cons.* 110 : 123-129.

- 109. CADAHIA D., ENRIQUEZ., L. et SANCHEZ A., 1975** - Attraction sexuelle chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* 1, 1-11.
- 110. TURPIN M.** 2006. Les chenilles urticantes : effets pathogènes chez l'homme et chez l'animal et données actuelles sur les venins et les moyens de lutte. Thèse.Méd.Vét., Nantes, N°097, 182p.
- 111. DEMOLIN G., et RIVE J.L., 1968.** La processionnaire du pin en Tunisie Ann. Inst. Nat. Rech. For. de Tunisie Vol. 1 Fasc.1, Ariana.
- 112. RABASSE J.M., 1967.** Évaluation de la réduction de la croissance des pins provoquée de la processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). Note technique, INRF, Tunisie.
- 113. BOUCHON J. et TOTH J., 1971.** Étude préliminaire sur les pertes de production des pinèdes soumises aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Ann. Sc.For.*28(3): 323-340.
- 114. FRAVAL A., 2007-** Les processionnaires 1^{er} partie La processionnaire du pin. *Insectes* n°147, pp : 35-39.
- 115. CHAKALI G.** 1992. Les insectes ravageurs du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill.mem.Soc. Belg.ent.35, pp 505-509.
- 116. CHAKALI G.**1985. Etude de la biologie de la tordeuse du pin *Rhyacionia buoliana* Schiff (*Lepidoptere-Tortricidae*) dans la région de Moudjebara, Djelfa. Thèse Mag.INA El-Harrach, 95P.
- 117. LEMOINE B., 1977.** Contribution to the measuring of production losses caused by the processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) to maritime pine in the Landes of Gascony. *Annales des Sciences Forestieres*, 34, 205-214.
- 118. LAURENT-HERVOUET N.** 1986. Mesure des pertes de croissance radiale sur quelques espèces de *Pinus* dues à deux défoliateurs forestiers.I.Cas de la processionnaire du pin en région méditerranéenne. *Ann.Sci.For.*43(2) : 239-262.
- 119. KAZI AOUAL N. et RACHEDI S.** 2010. Atelier sur « La Régénération des Forêts par l'utilisation des eaux usées traitées » Expérience Algérienne, Tunisie, 16-17 octobre 2010.
- 120. VEGA J.M., MONEO I., ARMENTIA A., CABALLERO M.L. et MIRANDA A.** 2004. Occupational immunologic contact urticaria from pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*): 60-64.

- 121. GRISON P., VAGO C., MAURY R.** 1959 La lutte contre la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff dans le massif du Ventoux. Essai d'utilisation pratique d'un virus spécifique. *Rev. For. Fr.* **5**, 353-370 <http://documents.irevues.inist.fr>.
- 122. RIBRIOUX, Y., DOLBEAU, C.**, 1975. Essai de lutte contre la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) à l'aide du diflubenzuron. *Phytiatrie-Phytopharmacie* **24**, 193-204.
- 123. MARTIN, J. C. et BONNEAU, X.**, 2006. *Bacillus thuringiensis kurstaki*, 30 years of control of cluster caterpillars. *Phytoma* **590**, 4-7.
- 124. MARTIN MAZET R.**, 2001- Winter control of pine processionary Caterpillar. *Phytoma*, **540**, 32-35.
- 125. MARTIN J.C., et BONNET C.** 2005. http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/zoologie-1/d/la-chenille-processionnaire-du_pin_700/c3/221, Ingénieurs d'Études INRA.
- 126. VAGO C.** 1964 Emploi des virus contre les insectes nuisibles et possibilités d'adaptation de cette méthode de lutte contre les vecteurs de maladie. *Bull. O.M.S.* [en-ligne] **31**, 513- 517 <http://www.who.int/bulletin/fr/index.html>.
- 127. ROOT, R.**, 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* **43**, 95-124.
- 128. RUSSELL, E. P.**, 1989. Enemies hypothesis - A review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environmental Entomology* **18**, 590-599.
- 129. SIEMANN, E., TILMAN, D., HAARSTAD, J. et RITCHIE, M.**, 1998. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *American Naturalist* **152**, 738-750.
- 130. BILIOTTI E.**, 1958 - Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*). *Entomophaga*. **3**(1) : 23-34.
- 131. SCHMIDT G.H., TANZEN E. et BELLIN S.**, 1999 - Structure of egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. And Schiff.) (*Lep., Thaumetopoeidae*), egg parasitoids and rate of egg parasitism on the Iberian Peninsula. *J. Appl. Ent.* **123** : 449-458.
- 132. WAY M.J., PAIVA M.R. et CAMMELL M.E.**, 1999 - Natural biological control of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) by the

Argentine ant *Linepithema humile* (Mayr) in Portugal. *Agricultural and Forest Entomology*, 1, 27-31.

133. BONNET C. et MARTIN J C., 2008 - *Quand un ravageur forestier devient un problème sanitaire*. NPI 54, p. 23-25.

134. PIMENTEL, C., 2004. Pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) and great tit (*Parus major*) in Portugal: population dynamics and interactions. Ph.D. thesis, Universidade Nova de Lisboa, Lisbon.

135. BARBARO, L., COUZI, L., BRETAGNOLLE, V., NEZAN, J., VETILLARD, F., 2008. Multi-scale habitat selection and foraging ecology of the eurasian hoopoe (*Upupa epops*) in pine plantations. *Biodiversity and Conservation* 17, 1073-1087.

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

137. BATTISTI, A., COLAZZA, S., ROVERSI, P. F. et TIBERI, R., 1988. Alternative hosts of *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet) (Hymenoptera Encyrtidae) in Italy. *Redia* 71, 321-328.

138. BILIOTTI, E., 1956. Biologie de *Phryxe caudata* Rondani (Dipt. Larvaevoridae), parasite de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Revue de Pathologie Végétale et d'Entomologie Agricole de France*, 50-65.

139. DUMERLE, P., 1979a. Biologie de la larve planidium de *Villa brunnea* Beck., Diptère Bombyliide parasite de la processionnaire du pin. i - Recherche et découverte de l'hôte. *Annales de Zoologie, Ecologie Animale* 11, 289-304.

140. DUMERLE, P., 1979b. Biologie de la larve planidium de *Villa Brunnea* Beck., Diptère Bombyliide parasite de la processionnaire du pin. ii - Infestation de l'hôte. *Annales de Zoologie, Ecologie Animale* 11, 305-326.

141. Anonyme, 2010. Monographie de la wilaya de Tipaza. Direction de la planification et du l'aménagement du territoire Edition 2010.152p.

142. 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.

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

- 144. ANONYME.**, 1998 - Changement climatique et ressources en eau dans les pays du Magreb, Algérie, Maroc, Tunisie, en jeux et perspective. Dept. Env. Rabat, Maroc, 55p.
- 145. RAMADE F.**, 2003 - Éléments d'écologie - Écologie fondamentale. 3ème édition. 690 p.
- 146. BALE J S., MASTERS G J., HODKINSON I D., AWMACK C., BEZEMER T M., BROWN V K., BUTTERFIELD J., BUSE A., COULSON J C., FARRAR J., GOOD J E G., HARRINGTON R., HARTLEY S., JONEST H., LINDROTH R L., PRESS M C., SYMRNIOUDIS I., WATT A D. et WHITTAKER J B.**, 2002 - Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8(1): 1–16.
- 147. CHARARAS C.**, 1982 – Les insectes parasites des forêts. *Ed. Chararas*, Paris, 297p.
- 148. SELTZER P.**, 1946 - Le climat de l'Algérie .Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie .université d'Alger, 217p.
- 149. BAGNOULS et GAUSSEN**, 1953 - Saisons sèches et indice xérothermique. Document pour les cartes de production végétale. Toulouse. Série généralités. T3.1953. Vol 1 Art 8.
- 150. STEWART P.**, 1969 – Quotient pluviométrique et dégradation Biosphérique ; Quelques réflexions. Bull. Soc. Hist. Afri. Du nord, pp. 24- 24.
- 151. QUÉZEL, P., and S. SANTA.** 1963. Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Editions du C.N.R.S., Paris. II.:12, 13, 693-701
- 152. DEMOLIN, G.; DELMAS, J.C.** 1967 Les Ehippigères (Orthoptères, Tettigoniidae), prédateurs occasionnels, mais importants de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Entomophaga* **12**, 399-401.
- 153. BOOTH CO** 1964 Seaweed has possibilities apart from its fertiliser use. The Grower
- 154. BOOTH E** 1966 Some properties of seaweed manures. In Proc. 5th International Seaweed Symposium. Pergamon Press, London, 349-357
- 155. STEPHENSON WM.** 1966 The effect of hydrolysed seaweed on certain plant pests and diseases. In Proc. 5th International Seaweed Symposium 5: 405-415, Halifax, Canada
- 156. BRAUN-BLANQUET J.**, 1951- Pflanzensoziologie Grundzuge der vegetations Kunde (2^{ème} ed.) Spring, Vienne, Autrich, pp 631.

- 157. YAKHLEF G.**, 2010. Etude de l'activité biologiques de feuilles de *Thymus vulgaris* et *Laurus nobilis*. Thes mag. Univ Batna. 110p.
- 158.. REIM, C., TEUSCHL, Y. & BLANCKENHORN, W. U.** 2006. Size-dependent effects of larval and adult food availability on reproductive energy allocation in the Yellow Dung Fly. *Functional Ecology*, 20 (6), 1012-1021.
- 159. HUFFAKER C., ERRYMAN A., TURCHIN P.**, 1999 - Dynamics and regulation of insect populations. C. B. Huffaker et A. P. Gutierrez [eds.], *Ecological entomology*, 2e édition, Wiley, New York. 269-305.
- 160. PATTERSON D T.**, *et al.* 1999 - Weeds, Insects ans Diseases. *Climatic Change*.43 (4) : 711-727.
- 161. DÉMOLIN G.**, 1987- La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au Mont-Ventoux. *Etude Vauclusiennes*, n°spécial, 3,157-173.
- 162. ROBREDO, F.; OBAMA, E.** 1991 [Essais d'efficacité de la cyperméthrine et deltaméthrine contre *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.)]. *Informe para el Registro Oficial de Productos y Material Fitosanitario*. Archivos de la Subdirección General de Sanidad Vegetal, Madrid, Espagne
- 163. DEMOLIN G., et MILLET A.**, 1981 essais d'insecticides contre la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Action comparative de différentes spécialités commerciales, Bactospeïne, Dipel, Thuricide, et Dimilin. . *Ann. Sc. For.*, 38 (3), pp.: 389-404
- 164. CALOW, P.**, 1991. Physiological costs f combating chemical toxicants: ecological implications. *Comparative Biochemistry and Physiology*, part C, 1991, 100: 3-6.
- 165. GERI C.**, 1983 - Répartition et évolution des populations de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., (*Lep., Thaumetopoeidae*) dans les montagnes corses. *Acta OEcologica – OEcolog. Applic.* 4(3) : 247-268.
- 166. ZANGERL, A.R. et BAZZAZ, F.A.** 1992. Theory and patter in plant defense allocation. In: *Plant resistance to herbivore and pathogens: Ecology, evolution, and genetics*, eds, R.S Frits & E.L Simms, University of Chicago Press, Chicago, pp. 363-391.
- 167. NESTER E.W., THOMASHOW L.S., METZ M., an GORDON M., 2002.** 100 years of *Bacillus thuringiensis kurstaki*: a critical scientific assessment. Report from the American Academy of Microbiology.
- 168. NIRAKAR R.**, 2007- Biopesticides : an Economic Approach for Pest Management. Orissa Review. Plant Protection, KVK, Rayagada, Gunupur, 8p.

- 169. AUGER J. et THIBOUT E.**, 2002- Substances soufrées des Allium et des Crucifères et leurs potentialités phytosanitaires. *In* Regnault-Roger C, Philogène B J.R, Vincent C .Biopesticides d'origine végétale. Tec & Doc, Paris : 77-96.
- 170. BENAYAD N.**, 2008- Les huiles essentielles extraites des Plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Laboratoire des Substances Naturelles et Thermolyse Eclair Département de Chimie Faculté des Sciences de Rabat, Maroc, 61p.
- 171. FRONTIER S.** 1982.- Stratégies d'échantillonnage en écologie.Ed. Masson et Cie, Paris, 381 p.
- 172. ALI-EMMANUEL N., MOUDACHIROU M., AKAKPO A.J. et QUETIN-LECLERCQ J.**, 2002. Activités antibactériennes *in vitro* de *Cassia alata*, *Lantana camara* et *Mitracarpus scaber* sur *Dermatophilus congolensis* isolé au Bénin. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.* 55(3) : 183-187.
- 173. AMMAN, G.D. et RYAN, K.C.** 1991. *Insect infestations of fire-injured trees in the Greater Yellowstone Area*. Research Note, 398. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, USDA Forest Service, 9 p.
- 174. VELEZ, R.** 1990. Mediterranean forests: a regional perspective. *Unasyl*. 41(162): 3-9.
- 175. RUDINSKY, J.** 1962. Ecology of Scolytidae. *Annu. Rev. Entomol.*, 7: 327-348.
- 176. VAN BRUMMELEN T C., et SUIJFZAND S C.**, 1993. Effects of benzofalpyrene on survival, growth and energy reserves in the terrestrial isopods *Oniscus asellus* and *Porcellio scaber*. The science of the total environment supplement, pp: 921-929.
- 177. WIN DECOEN T.**, 2000. Influence of metals on reproduction, mortality and population growth in *Onychiurus armatus* (Collembola). *Jour. of Applied. Ecol.* 22, pp: 967-978.
- 178. DUBOIS M K A., GILLES Y K. et HAMILTON P.A.**, 1956. Colometric method for determination of sugars and related substance. *Anal and Chem. Jour.* 28. P: 350-356.
- 179. TROLL W. et LINDSLEY J.**, 1955 – A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 216, pp: 655 – 660.
- 180. CANGUSSU, J. A. et ZUCOLOTO, F. S.** 1992. Nutritional-Value and selection of different diets by adults *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Journal of Insect Physiology*, 38 (7), 485-491.

- 181. MOSTEFAOUI H**, 2009. Effet de la qualité de la plante hôte sur l'allocation des réserves énergétiques des pucerons dans un verger d'agrumes en Mitidja centrale. Thèse magister Université Saad Dahleb Blida (Algerie), 167 p.
- 182. CARSON R.L.**, 1962. Silent spring. Riverside Press, Cambridge, MA, USA.
- 183. PIMENTEL D.**, 1995. Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 8, 17-29.
- 184. REGNAULT-ROGER C. PHILOGENE B.J.R. et FABRES G.**, 2005. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Lavoisier Tec and Doc, Paris, 1013p.
- 185. PHILOGENE B.J-R., FABRES G. et REGNAULT-ROGER C.**, 2005. Protection des cultures, environnement et développement durable : Enjeux pour le XXIe siècle. *In* Regnault-Roger C, Fabres G. Philogène B J.R .Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Lavoisier Tec & Doc, Paris : 1- 14.
- 186. Anonyme.**, 2002. Protecting our forest, protecting our future. Valent Biosciences, Forestry Technical Manual.
- 187. ABBOTT WS.**, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol*; 18: 265-266.
- 188. FINNEY, D.F.**, 1971. Probit Analysis, 3rd ed. Cambridge University Press, 333 p.
- 189. CAVELIER A.**, 1976. Cours phytopharmacie. Ed. I.N.A., El-Harrach, T1. 514 p.
- 190. BLANCKENHORN, W. U., FANTI, J. et REIM, C.** 2007. Size-dependent energy reserves, energy utilization and longevity in the yellow dung fly. *Physiological Entomology*, 32 (4), 373-381.
- 191. HAMMER Ø., HARPER D.A.T. et RYAN P.D.**, 2001- PAST: Palaeontological Statistic software package for education and data analysis. <http://folk.uio.no/ohammer/past>, *Palaeontologica Electronica* 4(1): 9 p.
- 192. PHILIPPEAU G.**, 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. I.T.C.F., Paris, 63 p.
- 193. HARIKRISHNA D., APPA RAO A. V. N., et PRABHAKAR M.C.** 2004 Pharmacological investigation of a flavonoid glycoside. *Indian. J. Pharmacol.* 36 : 244-250.

- 194. MARTIN J.C. et MAZET R.**, 2001. Lutte hivernale contre la processionnaire du pin. Possibilité d'utilisation du *Bacillus thuringiensis kurstaki*. Phytoma. 540 : 32-35.
- 195. ZAMOUM M., GACHI M., BENSIDI A., BAHAKEMI S. et SAADI M.** 1992. Essai d'utilisation de FORAY 48B sur le stade L3 dans le reboisement de Moudjebara (Djelfa-Algérie). Rapport interne.
- 196. ROBREDO, F.; OBAMA, E.** 1987 Soybean oil as ULV carrier in forest spraying using *Bacillus thuringiensis kurstaki*. *Proceedings of 29th International Symposium on Crop Protection, Gent, May 5th 1987.*
- 197. DÉMOLIN G., MARTIN J.C., et LAVANCEAU P.**, 1993. Lutte contre la processionnaire du pin – L'évolution des insecticides à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki*. Phytoma. 452 : 13-16.
- 198. ERLER F., ULUG I. et YALANKAYA B.** 2006. Repellent activity of five essential oils against *Cubx pipiens*. *Fitoterapia*. 77 : 491-494.
- 199. MARK E. WHALON B.A.W.** 2003. Bt: Mode of action and use. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 54: 200-211.
- 200. JENKINS J.L., LEE M.K., VALAITIS A.P., CURTISS A. et DEAN D.H.** 2000. Bivalent sequential binding model of a *Bacillus thuringiensis kurstaki* toxin to Gypsy moth aminopeptidase N Receptor. *Journal of Biological Chemistry* 275: 14423-14431.
- 201. PARKER M.W. et FEIL S.C.** 2005. Pore-forming protein toxins: from structure to function. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 88: 91-142.
- 202. PINNOCK, D.E., BRAND, J.R. et MILSTEAD, J.E.** 1971. The field persistence of *Bacillus thuringiensis kurstaki* spores. *J. Invertebr. Pathol.* 18: 405-411.
- 203. MCLEOD, P.J., YEARIAN, W.C. et YOUNG, S.Y.** 1983. Persistence of *Bacillus thuringiensis kurstaki* on second year lobolly pine cones. *Environ. Entomol.* 12: 1190-1192.
- 204. BECKWITH, R.C. et STELZER, M.J.** 1987. Persistence of *Bacillus thuringiensis kurstaki* in two formulations applied by helicopter against western spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) in north central Oregon. *J. Econ. Entomol.* 80: 204-207.
- 205. REARDON, R.C. et HAISSIG, K.** 1984. Efficacy and persistence of *Bacillus thuringiensis kurstaki* after ground application to balsam fir and white spruce in Wisconsin. *Can. Entomol.* 116: 153-158.

- 206. JOUNG K.B. et CÔTÉ J.C.**, 2000. Une analyse des incidences environnementales de l'insecticide microbien *Bacillus thuringiensis kurstaki*. Bull. Technique n°29.
- 207. SOPUCK L., OVASKA K., and WHITTINGTON B.**, 2002. Responses of songbirds to aerial spraying of the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis kurstakivar*. Kurstaki (Foray 48B®) on Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Env. Tox. Chem.* 21(8) : 1664-1672.
- 208. DULMAGE H.T. et AIZAWA K.**, 1982. Distribution of *Bacillus thuringiensis kurstaki* in nature. In: Microbial and viral pesticides. Ed E Kurstak. New-York. pp 209-237.
- 209. MARTIN J.C., VILLEMANT C. et MAZET R.** 2002. Utilisation de *Bacillus thuringiensis kurstaki Kurstaki* 3a-3b dans la lutte contre le bombyx disparate et problèmes posés par les migrations de chenilles. Meeting ; 2001/10/01-04
- 210. POOLE R.W.**, 1974 - *An introduction to quantitative ecology*. McGraw-Hill, New York
- 211. BAUCE, É., CARISEY, N. ET DUPONT, A.** 2001. Implications des relations alimentaires plante-insecte dans la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Actes du colloque « Tordeuse des bourgeons de l'épinette : l'appivoiser dans nos stratégies d'aménagement » tenu à Shawinigan, pp.27-32
- 212. RHOADES, D.F.** 1985. Offensive-defensive interactions between herbivores and plants: their relevance in herbivore population dynamics and ecological theory. *Am. Nat.*125:205-238.
- 213. BARRE J.T., BOWDEN B.F., COLL J.C., DE JESUS J., DE LA FUENTE V.E., JANAÏRO G.C. et RAGASA C.Y.**, 1997. A bioactive triterpene from *Lantana camara*. *Phytochem*, 4: 321-324.
- 214. FORTIN M.**, 2000. Effets de l'hétérogénéité de la nourriture et de la température sur la performance biologique de la livrée des forêts *Malacosoma disstria* Hbn s'alimentant dans une érablière. Thèse de Doctorat, UQAM.
- 215. HANSKI, et OTRONEN, M.** 1985. Food quality induced variance in larval performance: comparison between rare and common pine-feeding sawflies (Diprionidae). *Oikos* 44:165-174.
- 216. LEE HK., PARK C., AHN YJ.** 2002. Insecticidal activities of asarones identified in *Acorus gramineus* rhizome against *Nilaparvata lugens* (Homoptera:

Delphacidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutoidea). *Jap. Soc. Appl. Entomol. Zool.* 37 (3), p. 459–464.,

217. BARBOUCHE N., HAJJEM B., LOGNAY G., AMMAR M. 2001. Contribution à l'étude de l'activité biologique d'extraits de feuilles de *Cestrum parqui* L'Hérit. (*Solanaceae*) sur le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk.). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 5 (2), p. 85–90. ,

218. JANG YS., KIM MK., AHN YJ. et LEE HS. 2002b. Larvicidal activity of Brazilian plants against *Aedes aegypti* and *Culex pipiens pallens* (Diptera : Culicidae). *Agric. Chem. Biotechnol.* 45 (3), p. 131–134.

219. MAZZA. G. 2000 - Programme de recherches alimentaires, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Numéro spécial du Journal of Food Science and Agriculture, vol. 80, n°7.

220. HERTOOG, M. G. L., HOLLMAN, P. C. H., et VAN DE PUTTE, B. 1993, Content of potentially anticarcinogenic flavonoïds of tea infusions, wine and fruit juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41, 1993. 1242-6.

221. J.F DUBUC., 1996. La performance biologique et le comportement alimentaire de trois espèces de lépidoptères après défoliation du bouleau blanc (*Betula Papyrifera* Marsh.). Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie, 44p.

222. SAWABE, K. ET MOGI, M. 1999. Differences in energy metabolism and adult desiccation resistance among three *Aedes* (*Stegomyia*) species (Diptera : Culicidae) from South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Medical Entomology*, 36 (1), 101-107.

223. KAROWE, D.N., 1989. Differential effect of tannic acid on two tree-feeding Lepidoptera: implications for theories of plant antiherbivore chemistry. *Oecologia*, 80: 507-512.,

224. MOLE, S., ROGLER, J.C., MORELL, C.J. et BUTLER, L.G., 1990. Herbivore growth reduction by tannins: use of Waldbauer ratio techniques and manipulation of salivary protein production to elucidate mechanisms of action. *Biochemical Systematics and Ecology*, 18: 183-197.;

225. VOLTURA, M.B. et WUNDER, B.A., 1994. Physiological responses of the Mexican woodrat (*Neotoma mexicana*) to condensed tannins. *American Midland Naturalist*, 132: 405-409.

226. BERENBAUM, M., 1983. Effects of tannin on growth and digestion in two species of Papilionids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 34: 245-250.

- 227. MANUWOTO, S. & SCRIBER, J.M.**, 1986. Effects of hydrolysable and condensed tannin on growth and development of polyphagous Lepidoptera: *Spodoptera eridania* and *Callosamia promethea*. *Oecologia*, 69: 225-230.
- 228. BOURCHIER, R.S. et NEALIS, V.G.**, 1993. Development and growth of early- and late-instar gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) feeding on tannin-supplemented diets. *Environmental Entomology*, 22: 642-646,
- 229. DEMOLIN, G., MARTIN J-C. et LAVANCEAU P.** 1993. Controlling secondary insects pest in pine forests. *Phytoma*, 452, 13-16.
- 230. TERESCHUK M. L., RIERA M.V., CASTRO G.R., ABDALA L. R.** 1997 Antimicrobial activity of flavonoids from leaves of *Tagetes minuta*. *J. Ethnopharmacol.* **56** : 227–232.
- 231. ESSAWI T. et SROUR M.** 2000 Screening of some Palestinian medicinal plants for antibacterial activity. *J. Ethnopharm.* **70**: 343-349.
- 232. SAKAR M.K., ENGELSHOWE R., et TAMER A.U.** 1992. Isolation and antimicrobial activity of flavonoids from *Prunus spinosa* L. flowers. *Hacettepe Universitesi Eczacilik Fakultesi Dergisi.***12** : 59-63.
- 233. MARRON, M. T., MARKOW, T. A., KAIN, K. J. ET GIBBS, A. G.** 2003. Effects of starvation and desiccation on energy metabolism in desert and mesic *Drosophila*. *Journal of Insect Physiology*, 49 (3), 261-270.
- 234. VERMA D. K., SINGH S. K. et TRIPATHI V.** 1997 A rare antibacterial flavone glucoside from *Lantana camara*. *Indian Drugs.* **34** : 32–35.
- 235. HAMILTON-MILLER J. M. T. et SHAH S.** 2000. Activity of the tea component epicatechin gallate and analogues against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J. Antimicrob. Chemother.* **46** : 852-853.
- 236. FUKAMI J. et SHISHIDO T.** 1966. Nature of soluble glutathione-dependent enzyme system active in cleavage of methyl parathion to desmethyl parathion. *J. Econ. Ent.* 59, 1338-1346.
- 237. SATO M., TSUCHIYA H., TAKASE I., KURESHIRO H., TANIGAKI S. et IINUMAM.** 1995. Antibacterial activity of flavanone isolated from *Sophora exigua* against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and its combination with antibiotics. *Phytother Res.* 9 : 509-512.
- 238. HARBORNE J. B. et WILLIAMS C. A.** 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry.* 55 : 481-504.

- 239. JASSIM S.A. et NAJI M.A.** 2003. Novell antiviral agents: a medicinal plant perspective. *Appl. Microbiol.* 95 (3) : 412-27.
- 240. TAGURI T., TANAKA T. et KOUNO I.** 2004. Antimicrobial activity of 10 different plant polyphenols against bacteria causing food-borne disease. *Biol. Pharm. Bull.* 27 (12) : 1965-1969.
- 241. TAKAHASHI T, KOKUBO R. et SAKAINO M.** 2004. Antimicrobial activities of eucalyptus leaf extracts and flavonoids from *Eucalyptus maculata*. *Lett. Appl. Microbiol.* 39 (1) : 60-4.
- 242. YADAVA R.N. et TIWARI L.** 2005. A potential antiviral flavone glycoside from the seeds of *Butea monosperma*. *O. Kuntze. J. Asian. Nat. Prod. Res.* 7 (2): 185-188.
- 243. DELORME R.,** 1991. Prévenir et gérer la résistance des ravageurs aux produits phytosanitaires. ADALIA. Bull. Inf.tech. "Club Protection Raisonnée Rhodiagri-Littorale", n° 17-18, 1^{er} trimestre 1991, 39-41.
- 244. CHIEN C. ET DAUTERMAN W.C.** 1991. Studies on glutathione S-transferase in *Helicoverpa zea*. *Insect Biochem.* 21, 857-864.
- 245. BENAOUA Z., MEHDADI Z. et BOUCHAOUR I.** 1999. Influence pédoclimatique sur l'évolution des formations forestières en zone semi-aride (cas de la forêt de Tenira, ouest algérien). *Ann. Recherches Forestières en Algérie*. Ed. INRF.14 p.
- 246. MESSAOUDENE M., DJEMA A. et FERRAHI M.** 1993. Contribution à l'étude du comportement des espèces du genre *Pinus* (*Pinus pinaster* L. ; *Pinus radiata* et *Pinus canariensis* C. Smith) introduites dans le reboisement de Tigrine (W. de Tizi Ouzou). *Ann. Recherche Forestière en Algérie* : 6-20.
- 247. KADIK B.** 1985. Aperçu sur les sols et la végétation des pineraies d'Eghti (Sidi Bel Abbas). *Ann. Recherche Forestière en Algérie*. Ed : INRF. Volume 1. Pp : 7-22.
- 248. KERRIS T., GUERROUDJ A. et AICI M.** 1989. Dépérissement du pin Alep dans les wilayat d'Oran, Saida et Tialet. *Expertise*. INRF, 6 p.
- 249. ANONYME, SD.** Fiche informative sur les organismes de quarantaine: *Thaumetopoea pityocampa*. Préparé par le CABI et l'OEPP pour l'UE sous Contrat 90/399003).
- 250. ARIBI N.** 1981. La processionnaire du Pin dans la région d'El-Kala. Thèse de D.E.S, Université D'Annaba.

- 251. ARIBI N.** 1988. Etude d'un ravageur des forêts *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera). Bioécologie dans 3 wilayas de l'est Algerien. Activité insecticide du thuricide HP. Dosages des ecdystéroïdes. Thèse de Magister.
- 252. KHEMICI M., ZAMOUM M. & DEMOLIN G.** 1988. Ecologie de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) en Algérie. Incidence du climat sur le comportement de l'insecte. *Ann. Recherche Forestière*, Algérie, 3 (3) : 67-77.
- 253. KERRIS T., GACHI M. & ZAMOUM M.** 1987. Etudes des étapes de développements de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Rapport interne INRF. 3p.
- 254. KOOIJMAN, S. A. L.M.** 2000. Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems, Cambridge University Press. Cambridge, seconde édition.
- 255. LE GAL Y., LAGADIC L., LE BRAS S., CAQUET T.,** 1997. Charge énergétique en adénylates (CEA) et autres biomarqueurs associés au métabolisme énergétique. In: Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C., Ramade F. (Eds.), Biomarqueurs en écotoxicologie – Aspects fondamentaux. Masson, 241-286.
- 256. AHMED, S. I. et LEATHER S. R.** 1994. Suitability and potential of entomopathogenic microorganisms for forest pest management - some points for consideration. *Intern. J. Pest Management* 40: 287-292.
- 257. STARNES, R. L., C. L. LIU ET P. G. MARONE.** 1993. History, use and future of microbial insecticides. *Amer. Entomol.* 39: 83-91.
- 258. JOURDHEUIL, P., GRISON P. et FRAVAL A.** 1992. La lutte biologique: un aperçu historique. *La lutte biologique. Dossier de la Cellule environnement de l'INRA* 5,11-35.
- 259. BURGESS, H. D.** 1981. *Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980.* Academic Press, London.
- 260. FARGUES, J.** 1984. Adhesion of the fungal spore to the insect cuticle in relation to pathogenicity. In: *Infection Processes of Fungi.* D. W. Roberts and J. R. Aist (eds.). Rockefeller Foundation, pp. 90-110.
- 261. DOBERSKI, J. W.** 1981. Comparative laboratory studies on three fungal pathogens of the elm bark beetle *Scolytus scolytus*: Effect of temperature and humidity on infection by *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces farinosus*. *J. Invertebr. Pathol.* 37: 195-200.

- 262. 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.
- 263. RIBA, G. et MARCANDIER S.** 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.
- 264. KHACHATOURIANS, G.K.** 1986. Production and use of biological pest control agents. Trends Bio. Tech. 4: 120 - 124.
- 265. GREATHEAD, D. J., KOOYMAN, C., LAUNOIS-LUONG, M. H. et POPOV, G. B.** 1994. Les ennemis naturels des criquets du Sahel. Collection acridologie opérationnelle N° 8CILSS/DFPV, Niamey, Bp 12625. Niger.
- 266. CLOUTIER, C.** 1992. Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. In: C. Vincent et D.Coderre Chicoutimi, La lutte biologique. Gaétan Morin, Québec, Canada Pp.19-88.
- 267. SCHMUTTERER H.** 1992. Control of diamondback moth by application of neem extracts. In: *Diamondback moth and other crucifer pests* (ed NS Talekar). Proceedings of the Second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan, AVRDC Publication No. 92-368, pp. 325-332.
- 268. FAUST, R. M.,** 1973. The *Bacillus thuringiensis kurstaki* beta-exotoxin: current status, Bull. Entomol. Soc. Am., 19, 153. IPM Systems. Academic Press, Orlando and London, pp. 263-80.
- 269. 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.
- 270. 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.
- 271. MILLER, L. K., LINGG, A. J., et BULLA, L. A.** 1983. Bacterial, viral and fungal insecticides. Sci. 219: 715-721.
- 272. PAYNE, C. C.** 1982. Insect viruses as control agents. Parasitology 84, 35-77.

- 273. DEVAUCHELLE, G.** 1993. Les baculovirus des insectes intérêt et perspectives. La lutte biologique. Dossier de la Cellule environnement de l'INRA 5, 97-101.
- 274. DENT, D. R.** 1991. Insect pest management, ed. CAB International, UK.v Debach, P. et B.
- 275. FRANZ, J. M.** 1971. Influence of environment and modern trends in crop management on microbial control. In: Burgess, H. D. and Hussey, N. W. (eds), Microbial control of Insects and Mites. Academic Press, London, pp. 407-44.
- 276. WRAIGHT, R. J. et ROBERTS D. W.,** 1987. Insect control effort with fungi. Devel. Industr. Microbiol. 28: 77-87.
- 277. FERRON, P.,** 1978. Biological control of insects pests by entomogenous fungi. Ann. Rev. Entomol. 23: 409-442.
- 278. 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.
- 279. 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.
- 280. GARDNER, W. A., SUTTON M. R. et NOBLET R.** 1977. Persistence of *Beauveria bassiana*, *Nomurea necatrix* on soybean foliage. Environ. Entomol. 6: 616-618.
- 281. HALL, R. A. et PAPIEROK, B.** 1982. Fungi as biological control agents of arthropods of agricultural and medical importance. Parasitology 84, 205-40.
- 282. 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.
- 283. RIBA, G. ET C. SIIVY.** 1993. Perspectives de la lutte microbiologique contre les ravageurs des cultures. La lutte biologique. Dossier de la Cellule environnement de l'INRA, 5, 41-47.
- 284. JACOBSON, E. R.,** 1984. Biology and diseases of reptiles, in Fox, J. G., Cohen, B. J., and Loew, F. M., Eds., Laboratory Animal Medicine, Academic Press, New York, 449.

- 285. DE KOUACI, M.**, 2001. Les possibilités de la lutte microbiologique, Emphase sur le champignon entomopathogène *B. bassiana*. *Vertigo, la revue électronique en sciences de l'environnement*, volume 2 numéro 2.
- 286. PRESCOTT et al.** 1995. *Microbiologie*, DeBoeck-Université, Bruxelles, 1014 pages.
- 287. BAUM, J. A., JOHNSON, T. B., et CARLTON, B.C.** 1999. *Bacillus thuringiensis kurstaki*: Natural and recombinant bioinsecticide products. In: *Biopesticides: Use and Delivery*, Hall, F. R. and Menn, J. J., Eds., Humana Press, Totowa, NJ, 189-210.
- 288. TIRADO-MONTIEL, M. I.; TYAGI, R. D. et VALERO, J. R.**, 2001. Wastewater treatment sludge as a raw material for the production of *Bacillus thuringiensis kurstaki* based biopesticides. *Water Research*, New York, v. 35, p. 3807-3816, 2001.
- 289. YU S. J.** 1989. Purification and characterization of glutathione Stransferases from five phytophagous Lepidoptera. *Pest. Biochem. Physiol.* 35, 97-105.
- 290. RAJNCHAPEL-MESSAÏ J.** 1993. *Bacillus thuringiensis kurstaki*, les insectes font de la résistance au *Bacillus thuringiensis kurstaki*: Resisting insects. *Biofutur*, 1993, n°127, pp. 33-38.
- 291. OTVOS, I.S. et VANDERVEEN, S.** 1993. Environmental report and current status of *Bacillus thuringiensis kurstaki* var. *kurstaki*. Use for control of forest and agricultural insect pests. British Columbia Forestry Canada Rep.
- 292. DULMAGE H.T.** 1970. Production of spore-endotoxin complex by variants so *Bacillus thuringiensis kurstaki* in two fermentation media. *J. Invertebr. Phatol.* 18: 353-358.
- 293. HERRNSTADT, SOARES C., WILCOX G., EDWARD R. et EDWARDS, D. L.** 1986. A new strain of *Bacillus thuringiensis kurstaki* with activity against coleopteran insects. *Bio/Technology*, April 1986, vol. 4, no. 4, p. 305-308.
- 294. BURGES, H. D. et DAOUST, R. A.** 1986. Current status of the use of bacteria as biocontrol agents; in *Fundamental and Applied Aspects of Invertebrate Pathology*, Samson, R. A., Vlak, J. M. and Peters, D. (eds.), pp. 514-517, Soc. Invertebr. Pathol., Wageningen, Netherlands.
- 295. REGNAULT-ROGER C, PHILOGENE B.J. et VINCENT C.**, 2002. Biopesticides d'origines végétales. Tec & Doc Eds. Paris, p.337.

- 296. NAS (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE).** 1969. Insect-pest management and control. pp. 448- 449. Vol. 3. Principles of plant and animal pest control. Natl. Acad. Sci. Pub. 1695. 508 pp.
- 297. WARE, G.W.** 1991. Fundamentals of Pesticides. A Self-Instruction Guide. 3rded. Thomson Pul. Fresno, CA.
- 298. WEINZEIR, R.** 1998. Botanicals insecticides, soaps and oils. In : Rechcigl, J.E. and Rechcigl N.A (eds) Biological and Biotechnological control of insect Pests. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 101-121.
- 299. LARSON E, MAYUR K, LAUGHON BA.,** 1989. Influence of two handwashing frequencies on reduction in colonizing flora with three handwashing products used by health care personnel. *Am J Infect Control* 1989; 17: 83–8.
- 300. SURESH G., NARASIMHAMN N.S., MASILAMANI S., PARTHO P.O., GOPALAKRISHNAN G.,** 1997. Antifungal fraction and compound from uncrushed green leaves of *Azadirachta indica*. *Phytoparasitica*, 25 (1): 33-39.
- 301. COUDRIET LD., PRABHAKER N., MEYERDIK DE.** 1985 Sweetpotato whitefly (*Homoptera: Aleyrodidae*): effects of neem seed extract on oviposition and immature stages. *Environ. Entomol.* 14 (6), p. 77–83.
- 302. NARDO EAD., DE COSTA AS., LORENCAO AL.** 1997. Melia azadirach extract as an antifeedent to *Bemisia tabaci* (*Homoptera : Aleyrodidae*). *Florida Entomol.* 80 (1), p. 92–94.
- 303. DE SOUZA AP et VENDRAMIM JD.,** 2000. Efeito de extratos aquosos de Meliaceas sobre *Bemisia tabaci* biotipo B em tomateiro. *Bragantia* **59** (2), p. 173–179.
- 304. OFUYA TL.** 1986. Use of wood ash, dry chilli pepper fruits and onion scale leaves for reducing *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) damage in cowpea seeds during storage. *J. Agr. Sci.* 107 (2), p. 467–468.
- 305. ZIBOKERE DS.** 1994. Insecticidal potency of red pepper (*Capsicum annum*) on pulse beetle (*Callosobruchus maculatus*) infesting cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds during storage. *Indian J. Agr. Sci.* 64 (10), p. 727–728.
- 306. ONU I., ALIYU M.** 1995. Evaluation of powdered fruits of four peppers (*Capsicum* spp.) for the control of *Callosobruchus maculatus* (F.) on stored cowpea seed. *Int. J. Pest Manag.* 41 (3), p. 143–145.
- 307. EL-LAKWAH F., KHALED OM., KATTAB MM., ABDEL-RAHMAN TA.** 1997. Effectiveness of some plant extracts and powders against the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (F.). *Ann. Agric. Sci.* 35 (1), p. 567–578.

- 308. MORALLO-REJESUS B.** 1987. Botanical pest control research in the Philippines. *Philipp. Entomol.* **7**, p. 1–30.
- 309. TREMATERRA P., SCIARRETTA A.** 2002. Activity of chilli, *Capsicum annum* L. var. *acuminatum*, on stored product insects *Oryzaephilus surinamensis* (L.), *Sitophilusoryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). *IOBC/wprs Bull.* **25** (3), p. 177–182.
- 310. WILLIAMS LAD. et MANSINGH A.** 1993. Pesticidal potential of tropical plants - I. Insecticidal activity of leaf extracts of sixty plants. *Insect Sci. Applic.* **14** (5), p. 697–700.
- 311. GAKURU S., FOUA BK.** 1996. Effects of plant extracts on the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus* Fab.) and the rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.). *Cah. Agric.* **5** (1), p. 39–42.
- 312. FEATONBY-SMITH BC et VAN STADEN J.,** 1987. Effects of seaweed concentrate on grain yield in barley. *South Afric J Bot* **53**: 125-128.
- 313. CROUCH IJ, VAN STADEN J.** 1993. Effect of seaweed concentrate from *Ecklonia maxima* (osbeck) Papenfuss on *Meloidogyne incognita* infection on tomato. *J. Appl. Phycol.* **5**: 37-43.
- 314. WHAPMAN C, JENKINS T, BLUNDEN G. et HANKINS SD.** 1994. The role of seaweed extracts, *Ascophyllum nodosum*, in the reduction in fecundity of *Meloidogyne javanica*. *Fundam Appl Nematol* **17**: 181-183
- 315. WU Y, JENKINS T, BLUNDEN G, VON MENDE N, ET HANKINS SD** 1998. Suppression of fecundity of the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in monoxenic cultures of *Arabidopsis thaliana* treated with an alkaline extract of *Ascophyllum nodosum*. *J Appl Phycol* **10**: 91-94.
- 316. Anonyme.,** 2008. Dictionnaire encyclopédique, **ACTU-ENVIRONNEMENT** Définition de bioindicateur.
- 317. VAN COILLIE, R.** 2008. Éléments d'écotoxicologie générale et appliquées. Presses de l'Université du Québec, 450 p.
- 318. ALLAN, I. J., VRANA, B., GREENWOOD, R., MILLS, D. W., ROIG, B. et GONZALEZ, C.** 2006. A “toolbox” for biological and chemical monitoring requirements for the European Union’s Water Framework Directive. *Talanta* **69**(2), 302–322.
- 319. MAYER, F.L., VERTEEG, D.J., MAC KEE, M.J., FOLMAR, L.C., GRANNEY, R.L., MAC CUME, D.C. ET RATTNER, B.A.** 1992. Physiological and nonspecific biomarkers. In Hugget R.J., Kimerle R.A., Mehrle P.M et Bergman H.L., eds,

Biomarkers: biochemical, physiological, and histological markers of anthropogenic stress, Lewis Publishers, Chelsea, pp 5-86.

320. LAM ET GRAY, 2003. The use of biomarkers in environmental biomonitoring programmes. *Marine pollution bulletin*. 47, 182-186.

321. DEPLEDGE M.H. 1994. The rational basis for use of biomarkers as ecological tools. In : Fossi M.C., Leonzio C. (Eds), *Non destructive biomarkers in vertebrates*. Lewis Publishers: Boca Raton, 1994, 271-295.

322. WENDELAAR-BONGA, SE.1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.*, 77: 591-625.

323. VAN DER OOST R., BEYER J. et VERMEULEN, NPE 2003: Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ Toxicol Pharmacol* 13: 57-149.

324. TIMBRELL, J.A., DRAPER, R. ET WATERFIELD, C.J., 1994. Biomarkers in toxicology: new uses for some old molecules? *Toxicology and Ecotoxicology News* 1, 4-14.

325. TRAVIS, C.C.1993. Use of biomarkers in assessing health and environmental impacts of chemical pollutants. *NATO ASI Series. Series A: Life Sciences*. New York Plenum Press, 284 pp.

326. OJANEN et AL. 1979 in REIM, C., TEUSCHL, Y. et BLANCKENHORN, W. U. 2006. Size-dependent effects of larval and adult food availability on reproductive energy allocation in the Yellow Dung Fly. *Functional Ecology*, 20 (6), 1012-1021.

327. SELL, C.S. 2006. *The Chemistry of Fragrance. From Perfumer to Consumer*. 2nd edition. The Royal Society of Chemistry. Cambridge. 329 p.

328. ZAMOUM, M. DEMOLIN. G. 2004. Mécanisme de régulations des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiff (Lep., Thaumetopoeidae) en zone semi aride (Algérie). *Ann. de la recherche forestière.* , Tunisie, 6, 155-173.

329. FEKROUN Z., CHABIRA N., 2003. Contribution à l'étude éco biologique des principaux parasitoïdes des oeufs et des chrysalides de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* (Lep., *Thaumetopoeidae*) et évaluation de son aptitude de diapause nymphale à Djelfa. *Mem. D'Ing.* , Univ. De Djelfa, 98p.

330. GUENDOZ H., 2000. Etude bioécologique de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller. (Lep., Thaumetopoeidae) dans les reboisements de Djelfa. *Mem. D'Ing.* , Univ. De Djelfa, 94p.

- 331. ZAMOUM M, BAHAKEMI S., et SAADI M**, 1987. Essai en Ultra Bas Volume du Dimilin sur les chenilles de stade L2-L3 de la processionnaire du pin (Telagh - Sidi Bel Abbés). Rapport Interne, INRF- Algérie, 15p.
- 332. ZAMOUM M.**, 1986. Instruction technique, réseau d'avertissement contre la processionnaire du pin juin 1986. INRF Doc. Interne 14 pp.
- 333. ZAMOUM M.**, 1992. Évaluation de quelques facteurs de mortalité agissant sur une population de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*, *Thaumetopoeidae*.), depuis le départ des chenilles en procession de nymphoses jusqu'à l'émergence des adultes DEA. Université de RENNES-FRANCE.
- 334. LAGADIC, L., CAQUET, T. ET AMIARD, J.C.** 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. In Biomarqueurs en Ecotoxicologie. Aspects Fondamentaux. Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F. (Eds.). Paris, Masson, 1-9.
- 335. KERRIS T., et HUSSEINY M.M.** 1982. Essai d'efficacité du traitement aérien à bas volume contre la processionnaire du pin. S.E.F.M.V.T. Doc. Interne.
- 336. QUEZEL P.**, 1986 - Les pins du groupe « *halepensis* », Écologie, végétation, écophysologie. Le Pin d'Alep et le Pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne, Tunis, p. 11-23.
- 337. KAMMENGA J. E., ARTS M. S. J., et OUDE-BREUIL W. J. M.**, 1996 - HSP60 as a Potential Biomarker of Toxic Stress in the Nematode *Plectus acuminatus* Arch. Environ. Contam. Toxicol Springer-Verlag New York Inc. 34, 253–258.
- 338. JAGER, T. ALDA ÁLVAREZ, O. KAMMENGA J. E. et KOUIJMAN S. A. L. M.** 2005- Modelling nematode life cycles using dynamic energy budgets *Functional Ecology*, 2005, 19, 136–144.
- 339. BARBAULT R.**, 1984. Le concept de stratégie démographique, point de rencontre privilégié entre écologistes et généticiens de populations? *Acta Oecologica. Oecologia generalis* 5 : 243-259.
- 340. ROFF D.A.**, 1992. The evolution of life histories: theory and analysis. Chapman & Hall, London.
- 341. HOPKINS.** 1999. Introduction to plant physiology. Second edition. The university of western Ontario. Edit. John Wilay and sons., Inc, 512 p.
- 342. MISTRETTA, P.A.** 1984. *Littleleaf disease*. Forest Insect and Disease Leaflet 20. Washington, USDA Forest Service. 6 p.

- 343. BILLINGS, R.F.** 1991. The pine caterpillar *Dendrolimus punctatus* in Vietnam: recommendations for integrated pest management. *Forest Ecol. Manage.*, 39: 97-106.
- 344. BENIGNI M., BATTISTI A.**, 1999. Climate change and the pine processionary caterpillar : adaptation of a defoliator to changing environmental conditions. [Variazioni climatiche e processionaria del pino : adattamenti di un defoliatore a condizioni ambientali mutevoli]. — L'Italia Forestale e Montana, vol. 54, n° 2, 1999, pp. 76-86.
- 345. BAUCE, É., BIDON, Y. et BERTHIAUME, R.**, 2002. Effects of food nutritive quality and *Bacillus thuringiensis kurstaki* on feeding behaviour, food utilization and larval growth of spruce budworm *Choristoneura fumiferana* (Clem.) when exposed as fourth- and sixth-instar larvae. *Agricultural and Forest Entomology*, (4): 57-70.
- 346. SHEPARD, M. & DAHLMAN, D.L.**, 1988. Plant induced stresses as factors in natural enemy efficacy. In: Plant stresses insect interactions (Ed.) E.A. Heinrich. John Wiley & Sons, New York, pp. 263-330.
- 347. APPEL, H.M. & SCHULTZ, J.C.**, 1994. Oak tannins reduce effectiveness of thuricide (*Bacillus thuringiensis kurstaki*) in the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Journal of Economic Entomology*, 87: 1736-1742.
- 348. CONVEY, P.**, 1992. Seasonal lipid contents of Antarctic micro-arthropods. *Ex. Appl. Acarol.* 15: 219-231.
- 349. NAMOUR P.**, 1992. Les mono- oxygénases de poisons, un outil pour la caractérisation des pollutions chroniques. Etudes de CEMAGREF, série Ressources en Eau, n. 6, 232 p.
- 350. VOS R.M.E. et VAN BLADEREN P.J.** 1990. Glutathione S-transferases in relation to their role in the biotransformation of xenobiotics. *Chem. Biol. Inter.* 75, 241-265.
- 351. DJAWDAN, M., CHIPPINDALE, A. K., ROSE, M. R. et BRADLEY, T. J.** 1998. Metabolic reserves and evolved stress resistance in *Drosophila melanogaster*. *Physiological zoology*, 71 (5), 584-594.
- 352. SEGUY, L., HUSSON, O., CHARPENTIER, H., BOUZINAC, S., MICHELLON, R., CHABANNE, A., BOULAKIA, S., TIVET F., NAUDIN, K., ENJALRIC., F., RAMAROSON, I., et RAMANANA R.**, 2009. Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. vol.I. <http://Agroecologie>. Cirad.fr, p.32.

- 353. GUL, A., KIDOGLU, ANAC, D.** 2007. Effet of nutrient sources on cucumber production in différent substrates, *Scientia Horticulturae* 113, 216-220.
- 354. BENKHALED A., MORTE GOMEZ A., HONRUBIA M. et OIHABI A.** 2003. Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le *Rhizobium*. *Agronomie*. Vol.23, No, pp.553-560.
- 355. BAJJI M.** 1999. Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variant somaclonaux sélectionnes In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- 356. MATTSON W.J et HAACK R.A.,** 1987. The role of drought in outbreaks of plant-eating insect. *BioScience*, 37, pp. 11-118.
- 357. YU S.J.** 1984. Interactions of allelochemicals with detoxification enzymes of insect-susceptible and resistant armyworm. *Pest. Biochem. Physiol.* 22, 60-68.
- 358. MAIRE R.,** 1926- Notice de la carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Alger, Baconnier, 78p.
- 359. MEDDOUR R.,** 1994- Contribution à l'étude phytosociologique de la portion centroorientale du Parc national de Chréa. Essai d'interprétation synthétique des étages et des séries de végétation de l'Atlas Blidéen. Thèse de Magister. Inst. Nat. Agron. Alger. 330p.
- 360. KHELIFI H. ET SADKI N.,** 1994- Esquisse géobotanique des régions de Collo, Skikda, et Annaba (Nord-Est algérien). *Colloques Phytosociologiques XXIII*. Bailleul, 1994. Pp : 594- 615.
- 361. DAHMANI M.,** 1997- Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia Mediterranea*. XXII (3/4) : 19-38.
- 362. ZERAÏA L.,** 1981- Essai d'interprétation comparative des données écologiques, phenologiques et de production subéro-ligneuse dans les forêts de chêne liège de Provence Cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille. 367 p.