



DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN
REPUBLIC
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND
SCIENTIFIC RESEARCH



ZIANE ACHOUR UNIVERSITY OF DJELFA
FACULTY OF SCIENCE OF NATURE AND LIFE
DEPARTMENT OF AGRONOMIC AND VETERINARY SCIENCES

THESIS

FOR THE OBTAINING OF THE THIRD CYCLE DOCTORATE (D-LMD) DEGREE
IN AGRONOMIC SCIENCES

OPTION: FOREST ECOLOGY

By

BACHIR Kamilia

Theme

BIOCENOSE OF *Pinus halepensis*, *Cupressus dupreziana* IN THE REGION OF
DJELFA AND BIOCIDES TEST TO FIGHT AGAINST *Thaumetopoea pityocampa* Den.
& Schiff. (Lepidoptera, Notodontidae)

Before the jury composed of:

M ^{me} BELHADJ Safia	Professor (Djelfa University)	President
M ^{me} SAIDI Fairouz	Professor (Blida01 University)	Thesis director
M ^{me} TAIL Ghania	Professor (Blida01 University)	Thesis co-director
M ^{me} GUERZOU Ahlem	MCA (Djelfa University)	E xaminer
M ^{me} BENRIMA Atika	Professor (Blida01 University)	E xaminer
M. SOUTTOU Karim	Professor (Djelfa University)	E xaminer
M. ZAMOUM Mohamed	research director (INRF-Algiers)	E xaminer

University year : 2018/2019



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة زيان عاشور-الجلفة.

UNIVERSITÉ ZIANE ACHOUR -DJELFA-

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

قسم العلوم الفلاحية والبيطرية

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VÉTÉRINAIRES

THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT DE TROISIÈME CYCLE (D-LMD) EN SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : ECOLOGIE FORESTIÈRE

Par

BACHIR Kamilia

Thème

BIOCENOSE DE *Pinus halepensis*, *Cupressus dupreziana* DE LA RÉGION DE DJELFA
ET TEST D'UN BIOCIDÉ POUR LUTTER CONTRE *Thaumetopoea pityocampa* Den. &
Schiff. (Lepidoptera, Notodontidae)

Devant le jury composé de :

M ^{me} BELHADJ Safia	Professeur (Univ. Djelfa)	Présidente
M ^{me} SAIDI Fairouz	Professeur (Univ. Blida01)	Promotrice
M ^{me} TAIL Ghania	Professeur (Univ. Blida01)	Co-promotrice
M ^{me} GUERZOU Ahlem	MCA (Univ. Djelfa)	Examinatrice
M ^{me} BENRIMA Atika	Professeur (Univ. Blida01)	Examinatrice
M. SOUTTOU Karim	Professeur (Univ. Djelfa)	Examineur
M. ZAMOUM Mohamed	Directeur de Recherches (INRF-Alger)	Examineur

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ceux grâce à qui notre formation de troisième cycle a pu exister ;

Je remercie particulièrement Prof. BELHADJ Safia, directrice d'option de notre doctorat qui n'a jamais hésité à m'aider, à me conseiller, et à me faire part de son savoir faire tant sur le plan technique que linguistique.

J'exprime ma gratitude, et reconnaissance au Prof. SAIDI Fairouz qui a accepté de m'encadrer, d'avoir dirigé pendant plus de 07 ans la réalisation de ma thèse, et de n'avoir jamais décliné les démarches entreprises pour l'avancement de mes recherches tout en mettant à ma disposition le matériel disponible dans son laboratoire, déployé dans cette thématique.

J'adresse mes vifs remerciements à ma co-directrice de thèse Prof. TAIL Ghania pour ses orientations, ses conseils, et son soutien qui m'a été très encourageant ; durant toute cette période tout en m'initiant au domaine de l'entomologie en me faisant part de ses connaissances.

Une reconnaissance particulière, et respect à monsieur ZAMOUM Mohamed (directeur recherches à l'institut national de recherches forestières à Bainem) que je ne remercierai jamais assez de m'avoir assisté et parrainé durant la réalisation de ma thèse, de m'avoir accueillie dans son laboratoire, et d'avoir toujours été disponible pour me faire part de ses connaissances et de son expérience sur la chenille processionnaire du Pin.

Je ne peux remercier ceux qui m'ont aidé à la réalisation de cette thèse sans adresser mes vifs remerciements à monsieur BENSIDI Attia de l'institut national de recherches forestières à Djelfa qui me parrainait lors de mes déplacements sur terrain, ou aux laboratoires de l'INRF de Djelfa. Je remercie aussi Prof. BOURAGBA Nadia de l'institut national de recherches forestières pour ses conseils et toute l'aide qu'elle m'a apporté.

Reconnaissance et remerciements aux responsables du laboratoire de l'université de Djelfa qui m'ont permis de réaliser une bonne partie de mes extractions dans leur laboratoire.

Je remercie également le Prof. BENRIMA Atika, doyenne de l'université de Blida d'avoir dégagé un espace adéquat pour mes essais quand j'étais dans l'obligation de faire face aux poils urticants allergènes de l'espèce étudiée.

Je remercie infiniment le Prof. TRIGUI Mohamed, et le Prof. SLIM Tounsi du centre de biotechnologie de Sfax- Tunisie. qui m'ont accueillis dans leur laboratoire, et qui m'ont apporté aide et assistance nécessaire durant mon stage en Tunisie.

Je remercie les membres de Jury d'avoir accepté d'examiner mon travail à savoir : Dr GUERZOU AHLEM, Pr SOTTOU KARIM , et Pr. BELHADJ SAFIA ; de l'université de Djelfa ainsi qu'aux examinateurs externes : Pr. BENRIMA ATIKA, et Dr ZAMOUM MOHAMED d'avoir accepté de lire et ou de se déplacer afin d'enrichir, et d'améliorer via leurs commentaires la qualité du présent manuscrit.

Mes vifs remerciements seront adressés à mon oncle, Prof. SI BACHIR Abdelkrim de l'université de Batna pour sa disponibilité et son aide notamment en me faisant part de son savoir et son savoir faire concernant l'entomologie.

Je remercie aussi Prof. BENHOUBOU Salima de l'ENSA (El Harrach), Prof. SMAIL SAADOUN Nouria (de l'UMMTO), Prof. ALLAL Benfekih Atika (Univ. Blida), Prof. KARA TOUMI F.Zohra (Univ.Blida), L'ingenieur du laboratoire de zoologie de Blida Mme Amina, Docteur MAGHNICHE Faiza (INSV d'El-Harrache), Prof. MORRAKCHI Salima (Univ. Annaba), Prof. SOLTANI Nour-Eddine (univ. Annaba) d'avoir contribué tous et aidé gentiment à la réalisation de ce travail notamment par leurs conseils et ou leur aide à l'identification des espèces végétales et des arthropodes recensés dans mon diagnostic ainsi qu'à l'interprétation de mes résultats.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Dr. YAHIA Nadia, maître de conférences à l'université de Blida qui m'a consacré du temps pour m'aider à réaliser l'étude climatique tout en m'initiant à l'interprétation de mes données faunistiques.

Je remercie mes amis et collègues qui m'ont encouragé, aidé et initié dans les statistiques, en particulier Dr. SASSOUI Dallal, Dr. HAFSI Zakaria, et Mme. MOUHEB Samia ainsi que toutes mes collègues doctorantes qui m'accompagnaient sur terrain et m'encourageaient à chaque fois : KOCHERANE Rima, ACI Louiza, ZAHRAOUI Rabia, HOUMA Randa, BOUABDELLI Zahra, LOUZABI Siheme, et AIT-OUAMER Yasmine. Je remercie également M. Saadane BOUHLEL l'ancien conservateur des forêts de Djelfa et tous les forestiers qui m'accompagnaient pour effectuer mes sorties, à savoir : M. HAMIANI, M. BOUREKHECHAIBA, M. SLIMANE dit (El-Hadj), et le Chauffeur M. Ahmed.

Dédicaces

*Je dédie ce travail de longue haleine à ceux qui m'ont donné la vie, ceux qui m'ont épaulé sans relâche et qui se sont sacrifié pour moi, aux meilleurs parents au monde ; à ma maman **Dhaouia Koudil** et à mon papa **Ali BACHIR**, lui qui m'a beaucoup assisté pour pouvoir achever ce travail.*

Que dieu les garde pour moi.

RESUME

Notre travail s'articule sur deux volets principaux : Dans un premier temps, il a été question de dresser à titre comparatif un inventaire floristique et faunistique dans les pineraies naturelles (Djellal et Toghersane) et reboisements (Moudjbara) de la région de Djelfa dans le but de comprendre les relations biocénologiques entre les espèces cohabitant avec les deux résineux : *Pinus halepensis* et *Cupressus dupreziana*. Nous avons essayé dans un deuxième temps, de comprendre le comportement de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* principal ravageur de *Pinus halepensis* afin d'apporter également quelques éléments de réflexion sur les aspects méthodologiques d'identification de nouveaux biocides, puis examiner en laboratoire si ces composés constituent une réponse satisfaisante aux préoccupations et exigences actuelles de la lutte contre ce déprédateur.

Plus de 73 espèces végétales ont été recensées, constituant le premier maillon de la chaîne trophique de 1368 individus d'arthropodes appartenants à 62 espèces différentes. La distribution de ces derniers varie en fonction des saisons et des peuplements forestiers étudiés.

In vitro, les extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* ont révélé un faible effet biocide contre les larves de *Thaumetopoea pityocampa*. Ces extraits ont agi différemment sur les larves, l'analyse des probits a permis d'estimer la CL50 à $13,427 \pm 3,456$ mg/cm² pour les extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* et à $13,659 \pm 3,059$ mg/cm² pour ceux de *Juniperus phoenicea*. Les taux de mortalité des larves varient en moyenne de 54,4 % à 56,2%.

Dans la même optique, les bio-essais à base de *Melia azedarach* contre les chenilles du quatrième stade larvaire de *T.pityocampa* ont permis de constater une corrélation positive entre les taux de mortalité enregistrés (entre 50 et 100 %) et les doses utilisées (5, 10 et 15 mg/cm²) après 24h d'application. Cette efficacité était proche de celle des δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis* KurstakiHD1 (20 μ g/ml, 40 μ g/ml, 80 μ g/ml, 150 μ g/ml et 300 μ g/ml) qui ont permis d'enregistrer un taux de mortalité de 100% des chenilles trois jours après exposition, à la dose de 300 μ g/ml. L'utilisation du mélange *M. azedarach* et les δ -endotoxines de *BtK* HD1 a donné 100% de mortalité après 24h de l'application. Ces résultats s'accompagnent d'un effet anti-appétant et une réduction significative du poids des crottes rejetées par les chenilles traitées comparativement aux chenilles non traitées. Sur le plan histologique, cette anti-appétance s'est traduite par une destruction membranaire vacuolisation des cellules intestinales des larves traitées comparativement aux témoins.

Mots clés : Biocénose ; *Pinus halepensis* ; *Cupressus dupreziana* ; *Thaumetopoea pityocampa* ; effet biocide ; δ -endotoxines de *BtK* HD1.

Abstract

Our work is based on two main aspects : Initially, it was a question of drawing up for comparison a floristic and entomological inventory in Djelfa's natural pine forests (Djellal and Toghersane) and reforestation (Moudjbara) to understand the biocenotic relationships between the species coexisting with the two conifers : *Pinus halepensis* Mil. and *Cupressus dupreziana*. We then tried to understand the behavior of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* regarding its host plant *Pinus halepensis* this, in order to provide some elements of reflection on new biocides methodological identification aspects, and then examine in the laboratory whether these compounds are a satisfactory response to the current concerns and requirements against this pest.

More than 73 plant species have been identified, constituting the first link in the trophic chain of 1368 arthropod individuals belonging to 62 different species. The distribution of these varies according to the seasons and forest stands studied.

In vitro, the methanolic extracts of *Juniperus oxycedrus* and *Juniperus phoenicea* revealed a weak biocidal effect against larvae of *Thaumetopoea pityocampa*. These extracts acted differently on the larvae, the analysis of the probits made it possible to estimate the LC50 at $13,427 \pm 3,456$ mg / cm² for the methanolic extracts of *Juniperus oxycedrus* and at $13,659 \pm 3,059$ mg / cm² for those of *Juniperus phoenicea*. Mortality rates vary from 54.4% to 56.2% on larvae.

In the same optics, *Melia azedarach* bioassays against fourth instar caterpillars of CPP found a positive correlation between the recorded mortality rates (between 50 and 100%) and the doses used (5, 10 and 15 mg / cm²) after 24 hours of application. This efficiency was close to that of *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxins Kurstaki HD1 (20 μ g / ml, 40 μ g / ml, 80 μ g / ml, 150 μ g / ml and 300 μ g / ml) which made it possible to record a 100% mortality rate of caterpillars three days after application, at a dose of 300 μ g / ml. The use of the *M. azedarach* mixture and the δ -endotoxins of BtK HD1 gave 100% mortality after 24 hours of application. These results are accompanied by an anti-palatability effect observed after a significant reduction in the consumption of pine needles compared to untreated caterpillars. Histologically, this anti-appetite resulted in vacuolation of the intestinal cells of the treated larvae.

Key words: Biocenosis; *Pinus halepensis*; *Cupressus dupreziana*; *Thaumetopoea pityocampa*; biocidal effect; δ -endotoxines de BtK HD1

ملخص

يرتكز عملنا على محورين اساسيين: في البداية توجب تخطيط جرداً مقارناً للوحدات الحياتية النباتية والحشرات في كل من غابات الصنوبر الطبيعية لجلال وتغرسان وتشجير مجبارة لمنطقة الجلفة قصد التعرف على العلاقات الحيوية للكائنات المقيمة مع كل من الصنوبر الحلبي *Pinus halepensis Mil* و سرو صحراء الطاسيلي *Cupressus dupreziana*

في منطقة الجلفة. حاولنا في المرحلة الثانية فهم سلوك دودة الصنوبر الجرارة (يرقات *Thaumetopoea pitycampae* توميتيبيا بتيوكامبة) إتجاه النبات الذي تعتمد عليه من أجل تقديم عناصر بحث حول أشكال منهجية التعرف على مبيدات حيوية جديدة ثم تجريبها مخبرياً للتأكد من كون هذه المركبات تشكل حلاً إيجابياً يتوافق مع شروط مكافحة هذا الطفيلي المفترس

احصينا وجود أكثر من 73 صنف نباتي كحلقة أساسية في السلسلة الغذائية ل-1368 فرداً من مفصليات الأرجل التي تنتمي إلى 62 اصناف مختلفة، توزع هذه الأخيرة يختلف حسب الفصول وحسب الوحدات الغابية

مخبرياً سمح تطبيق مستخلصات الميثانول لنباتي العرعار: جونيبيريس أوكسيسدريس *Juniperus oxycedrus*

وجونيبيريس فينيسيا *Juniperus phoenicea*

على يرقات هذه الحشرات بتسجيل نتائج مختلفة وقدرت الجرعة القاتلة المتوسطة ب-13,427 مغ لمستخلصات جونيبيريس أوكسيسدريس أما نسبة الموت فتراوحت بين 54,4% و 56,2%

في نفس النطاق، تجارب حيوية ضد نفس الحشرة تمت باستعمال مستخلصات النيم المثنولية *Melia azedarach* ميليا اذارا التي أدت إلى قتل كل اليرقات في مدة 3 أيام فتناسبت طريداً الجرعات المستعملة (5 غ ، 10 غ و 15 غ) مع نسب موت الحشرات (بين 50% و 100%)

هذه النتائج تماثل تلك التي تحصلنا عليها بتطبيق بكتيريا باسيلس ترنجينسس *Bacillus thuringiensis*

بجرعات مختلفة (20, 40, 80, 150) والذي أدى أيضاً إلى موت كل اليرقات لكن بعد مرور 3 أيام من تطبيقه وبجرعات 300. أما عند تناول اليرقات لمزج من مستخلصات نبتة الميليا مع بكتيريا باسيلس فكانت النتيجة هي موت كل اليرقات بجرعات بسيطة وفي حدود 24 ساعة فقط من زمن استعمالها. مختلف النتائج المسجلة كانت مصحوبة بنقص كبير في إستهلاك اليرقات لابر الصنوبر المعاملة بمختلف المستخلصات أثناء التجارب الأمر الذي تمثل من الناحية النسيجية في تجوف الخلايا المعوية لليرقات المعالجة بالمستخلصات مقارنة باليرقات الشاهدة

الكلمات المفتاحية: الوحدات الحياتية، الصنوبر الحلبي، سرو صحراء الطاسيلي، دودة الصنوبر الجرارة، مبيد حيوي،

δ توكنسات بكتيريا HD1-BtK

Liste des tableaux :

N°	Tableaux	Pages
I	Dimensions des nids sur les arbres traités par <i>Melia azedarach in vivo</i>	59
II	Composition du sol des parcelles reboisées de <i>Pinus halepensis</i> Mil. et et <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus dans la forêt de Moudjbara	63
III	Composition du sol dans les deux Forêts naturelles Djellal et Toghersane	64
IV	Liste des espèces végétales recensées à Moudjbara	68-69
V	Liste des espèces végétales recensées à Djellal et Toghoursane	75-76
VI	Variations des indices écologiques de diversité en fonction des peuplements forestiers (Moudjbara, Djellal et Toghoursane)	88
VII	Variations des indices écologiques de diversité en fonction des saisons	89
VIII	Caractères dendrométriques et quelques aspects de <i>Pinus halepensis</i> Mil.	92
IX	Description dendrométriques des arbres	93
X	Comparaison des nombres de nids par arbres dans le reboisement (test-t par STATISTICA 10)	95
XI	Comparaison des nombres de nids par arbres dans les forêts naturelles comparativement au reboisement (test-t par STATISTICA 10).	97
XII	Tableau XII : Couleurs, aspects, et rendements des extraits méthanoliques (MeOH) obtenus.	98
XIII	Screening chimique qualitatif des espèces utilisées comme biocide	99
XIV	Résultats de la CG-MS sur les extraits méthanoliques de <i>M. azedarach</i>	101
XV	Résultat de la toxicité des extraits méthanoliques de <i>Juniperus oxycedrus</i> et <i>Juniperus phoenicea</i> évaluée par le logiciel de statistiques R	103
XVI	Résultats de la toxicité des traitements à base de <i>Melia azedarach</i> (calculée par le logiciel de statistiques R).	105
XVII	Résultats de la toxicité des traitements à base de δ -endotoxines de la souche HD1 de <i>Btk</i> (δ -HD1) (calculée par le logiciel de statistiques R).	106
XVIII	Impact de l'extrait méthanolique de <i>Melia azedarach</i> sur l'émergence des adultes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff.	111

Liste de Figures :

N°	Figures	Pages
01	Aire de répartition de <i>Pinus halepensis</i> Mil. dans le monde.	08
02	Répartition du genre <i>Pinus</i> Mil. en Algérie.	09
03	<i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus à Moudjbara- Djelfa.	13
04	échantillon remis par Lavaudin au Musée de l'histoire naturelle de Paris	15
05	Aire de répartition du Cyprès du Tassili au Sahara central	16
06	Aspect de <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus dans son milieu naturel	17
07	Aire de répartition de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> et <i>Thaumetopoea wilkinsoni</i> en relation avec leurs plantes hôtes	21
08	Les éruptions cutanées causées par <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den.& Schiff. sur les humains	28
09	Situation géographique de la région de Djelfa	31
10	Géo localisation des forêts étudiées à Djelfa sur la carte	34
11	La forêt de Djellal Chergui	35
12	Forêt naturelle de Teghorsane	35
13	Reboisement de <i>Pinus halepensis</i> Mil. à Moudjbara	36
14	Reboisement de <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus à Moudjbara	36
15	Moyennes des températures annuelles dans la région de Djelfa de 1982 à 2015	37
16	Moyennes des précipitations annuelles dans la région de Djelfa de 1982 à 2015	38
17	Moyennes annuelles de la vitesse du vent dans la région de Djelfa de 1982 à 2015	38
18	Projection de la région d'étude dans le climagramme d'Emberger de 33 ans [1982-2015]	39
19	Diagrammes ombrothermiques des peuplements étudiés (de 1982 à 2015).	41
20	Couvert végétal du reboisement de Pin (Moudjbara)	42
21	Lichens de la forêt de Djellal au printemps	43
22	<i>Testudo graeca</i> retrouvés dans la forêt de Djellal au printemps	43
23	Méthode d'évaluation de l'infestation par <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff.	50
24	Colonies de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff. sur <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus dans le reboisement de Moudjbara	51
25	Morphologie du feuillage de <i>Juiperus oxycedrus</i> de la forêt naturelle de	52

	Djellal à Djelfa	
26	Allure des organes aériens de <i>Juiperus phoenicea</i> de la forêt naturelle de Djelfa	53
27	Aspect de <i>Melia azedarach</i>	53
28	piégeage des larves lors de la procession	60
29	Dispositif du suivie des chrysalides lors de la diapause	60
30	Spectre biologique des espèces végétales inventoriées	65
31	Fréquence des familles des espèces végétales recensées dans le reboisement	66
32	Plan factoriel de la distribution des espèces végétales dans le reboisement (AFC/R).	67
33	Classification hiérarchique de la végétation dans le reboisement étudié (CAH/ R).	70
34	Fréquence des différentes familles botaniques recensées dans les forêts naturelles : Djellal et Toghoursane	71
35	Plan factoriel de la distribution des espèces végétales dans les forêts naturelles (AFC/R).	72
36	Aspect des arbres dans la forêt naturelle de Djellal	73
37	Aspect des arbres dans la forêt naturelle de Toghoursane	73
38	Classification hierarchique de la végétation en forêts naturelles.	74
39	Planche a. Quelques espèces végétales inventoriées à Djelfa	77
40	Planche b. Quelques espèces végétales inventoriées à Djelfa	78
41	Forêt naturelle Djellal Chergui vue du sommet de la montagne	79
42	Aspect des formations végétales dans la forêt naturelle de Djellal	79
43	Effectif des divers ordres d'arthropodes inventoriés à Moudjbara, Djellal et Toghoursane.	80
44	Proportions des individus de différents groupes entomologiques recensés dans le reboisement de <i>Pinus halepensis</i> Mil. à Moudjbara	82
45	dans le reboisement de <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus à Moudjbara	82
46	Proportions des individus de différents groupes entomologiques recensés dans la pineraie naturelle de Djellal	83
47	Proportions des individus de différents groupes entomologiques recensés dans la pineraie naturelle de Toghoursane	83

48	Plan factoriel de l'AFC montrant la distribution des espèces recensées en fonction des peuplements forestiers (AFC/ EXCEL)	85
49	Plan factoriel de l'AFC montrant la distribution des espèces recensées en fonction des saisons (AFC/ EXCEL).	87
50	Planche a. Quelques espèces d'arthropodes inventoriées	90
51	Planche b. Quelques espèces d'arthropodes inventoriées.	91
52	Aspect de <i>Pinus halepensis</i> Mil. dans le reboisement de Moudjbara	93
53	Distance entre les parcelles des deux arbres étudiées dans le reboisement	94
54	Circonférence du tronc de <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus	94
55	Etat de dégradation des arbres de <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus reboisés	97
56	Séquences du chromatogramme de l'analyse par GC-MS des extraits méthanoliques de <i>Melia azedarach</i> .	100
57	Cinétique de l'effet insecticide de <i>Juniperus oxycedrus</i> et <i>Juniperus phoenicea</i> sur <i>T. pityocampa</i> des différents stades larvaires.	102
58	Moyennes des taux de mortalité des larves de la CPP durant 15 jour d'exposition	103
59	Analyse en composantes principales de l'effet des différents extraits méthanoliques de <i>Junieprus oxycedrus</i> et <i>Juniperus phoenicea</i> sur les mortalités larvaires de <i>T.pityocampa</i> (ACP/PAST).	104
60	Cinétique de l'effet insecticide de <i>Melia azedarach</i> sur les différents stades larvaires de <i>T.pityocampa</i> à la dose de 5 mg/cm ²	105
61	Fréquences relatives des mortalités causées par les différents traitements	107
62	Poids (g) des crottes excrétées par les larves de <i>T.pityocampa</i> après ingestion des aiguilles traitées par les extraits méthanoliques de <i>Juniperus oxycedrus</i> et <i>Juniperus phoenicea</i> L.	107
63	Poids des crottes rejetées par les larves traitées et témoins (g).	108
64	Poids des larves (g).	109
65	L'effet histologique des différents traitements sur les larves L4 de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff.	110
66	Aspect macroscopique des chrysalides mycosées (originale, 2015)	112
67	Aspect du conidiophore du champignon <i>Aspergillus flavus</i>	112

Liste des Abréviations

INITIALES	DESIGNATION
BtK	<i>Bacillus thuringiensis</i> variété Kurstaki
CBS	Centre de Biotechnologie de SFAX.Tunisie
CH	Chamaephyte
DGF	Direction générale des forêts
EJO	Les extraits méthanoliques de <i>Juniperus oxycedrus</i> (EJO)
EJP	Les extraits méthanoliques de <i>Juniperus phoenicea</i> (EJP)
ENSA	Ecole nationale supérieur d'agronomie
ENSV	Ecole nationale supérieur de vétérinaire
FAO	Food and Agriculture Organisation
FNUF	Forum des Nations Unis sur les Forêts
GPS	Global Positioning System
HC	Hemicryptophyte
INRF	Institut nationale de recherches forestières
l'INSID	Institut national des sols, de l'irrigation, et du drainage
MeOH	Extraits methanoliques
PH	Phanérophyte
TH	Thérophyte
UICN	l'union internationale pour la conservation de la nature
USDA	Unated-State Diagram of soil texture and Classification

Sommaire :

Liste des figures.....	a
Liste des tableaux.....	b
Liste des abréviations	c
Introduction.....	01

Chapitre I : Bibliographie

Partie I : Données bibliographiques sur les deux espèces végétales étudiées :

Pinus halepensis Mil. et *Cupressus dupreziana* A. Camus.

1. Présentation de <i>pinus halepensis</i> Mil.....	04
1.1 Description de <i>Pinus halepensis</i> Mil.....	04
1.2 Systématique.....	05
1.3 Historique.....	07
1.4 Répartition.....	08
1.5 Exigences climatiques, édaphiques et écologiques.....	09
1.6 Principaux ravageurs et ennemis naturels.....	10
2. Présentation de <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus.....	11
2.1 Description de <i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus.....	12
2.2 Systématique.....	14
2.3 Historique.....	15
2.4 Répartition.....	15
2.5 Exigences climatiques, édaphiques et écologiques.....	17
2.6 Principaux ravageurs et ennemis naturels	17

Partie II : Présentation de *Thaumetopoea pityocampa* Den. & schiff.

1. Introduction.....	19
2. Position systématique et air de répartition de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & schiff...	19
3. Cycle de développement.....	21
a) La ponte.....	22
b) Le développement larvaire.....	22
c) La procession de nymphose (la pré-nymphose).....	23
d) La nymphose (phase sous terrain).....	23
e) Emergence des adultes.....	24

4. Impact des facteurs climatiques sur le développement de l'insecte.....	24
5. Influence des facteurs biotiques sur la chenille processionnaire.....	26
6. Dégâts causés par l'insecte.....	27
6.1 Incidence des chenilles sur les arbres.....	27
6.2 Incidence des chenilles sur l'homme et les animaux domestiques.....	28
7. Contrôle des populations de la processionnaire du pin.....	29
✓ Lutte mécanique (enlèvement de pontes, et échenillage)	29
✓ Lutte chimique.....	29
✓ Lutte biologique : prédation par les mésanges.....	29
✓ La lutte microbiologique.....	30
✓ Lutte semiochimique : utilisation de la phéromone sexuelle.....	30
✓ La lutte sylvicole.....	30

Chapitre II : Zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude.....	31
1.1. Localisation de la région d'étude « région de djelfa ».....	31
1.2. Description des peuplements étudiés.....	32
1.2.1 Reboisements.....	32
1.2.2. Forêts naturelles.....	33
2. Choix des différentes stations d'étude.....	33
3. Synthèse climatique.....	37
3.1 Températures.....	37
3.2 Précipitations.....	37
3.3 Vent.....	38
3.4 Climagramme pluviothermique d'Emberger.....	38
3.5 Régime saisonnier.....	40

Chapitre III : Matériels et Méthodes

1. Analyse du sol.....	44
2. La phytocénose.....	44
2.1 Méthode d'échantillonnage.....	44
2.2 L'abondance dominance des espèces floristiques.....	45
2.3 Le spectre biologique des espèces inventoriées.....	45
3. L'entomocénose (recensement des arthropodes).....	46
3.1 Recensement et identification des arthropodes.....	46
3.2 Utilisation des indices écologiques	47
4. Exploitation des résultats par les analyses statistiques	48

4.1. Analyse factorielle des correspondances.....	49
4.2. Classification ascendante hierarchique.....	49
5. Prospection de l'état sanitaire des arbres étudiés.....	50
5.1 Evaluation des taux d'infestations de <i>Pinus halepensis</i> Mil. par <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff. dans les pineraies étudiées.....	50
6. Les bio-essais pour lutter contre la processionnaire du pin.....	52
6.1 Tests de biocides à base de plantes médicinales <i>in vitro</i>	52
6.1.1 Matériel végétal.....	52
6.1.2 Le matériel entomologique	53
6.1.3 Le matériel microbiologique.....	54
6.1.4 La préparation des extraits méthanoliques.....	54
6.1.5 Analyse chimique.....	55
a. Screening chimique des espèces végétales.....	55
b. Analyse phyto-chimique de <i>Melia azedarach</i>	57
6.1.6 Test biocide des extraits de plantes sur <i>T. pityocampa</i>	58
6.1.7 La mortalité corrigée des larves et test de toxicité.....	58
6.2 Impact de <i>Melia azedarach</i> sur l'émergence des adultes de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & schiff.....	59
6.3 Effet synergique entre les δ -endotoxines de <i>Bacillus thuringiensis</i> kurstaki HD1et les extraits méthanoliques de <i>Melia azedarach</i> sur les larves de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den.&Schiff.....	61
6.4 Effet anti-appétant des extraits de plantes sur l'insecte.....	62
6.5 Effet histopathologique des différents traitements sur l'insecte.....	62
7. Analyse statistique.....	63

Chapitre IV : Résultats et Discussion

1. Résultats de l'analyse du sol et conditions édaphiques des milieux étudiés.....	63
2. la phytocénose.....	64
2.1Reboisement.....	65
2.2 Les forêts naturelles : Djellal et Toghersane.....	71
3. Inventaire des arthropodes	80
3.1Classification des divers ordres des espèces inventoriées.....	80
3.2Résultats de l'analyse factorielle de correspondance fonction des peuplements forestiers.....	84
3.3Résultats de l'analyse factorielle de correspondance en fonction des saisons.....	86
3.4Variation des indices de diversité en fonction des peuplements forestiers	88
3.5Variation des indices de diversité en fonction des saisons.....	89

4. Etat de <i>Pinus halepensis</i> dans les différentes stations.....	92
4.1 Paramètres dendrométriques de <i>P. halepensis</i>	92
4.2 Etat actuel du cyprès du Tassili dans le reboisement.....	92
4.2.1 Caractères dendrométriques.....	95
4.2.2 Fluctuation des infestations par <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff. dans le reboisement.....	95
4.2.3 Comparaison du nombre de nids par arbre entre forêt naturelle et reboisement.....	96
5. Des bio-essais pour lutter contre la processionnaire du pin.....	98
5.1 Rendement des extraits méthanoliques.....	98
5.2 Analyse chimique.....	98
5.1.1 Screening chimique qualitative des espèces végétales.....	98
5.1.2 2 Analyse phyto-chimique des extraits méthanoliques de <i>Melia azedarach</i> (identification par CG-MS).....	99
5.3 Tests biocides contre <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff.....	102
5.3.1 Effet insecticide de <i>Juniperus oxycedrus</i> et <i>Juniperus phoenicea</i>	104
5.3.2 Effet insecticide de <i>Melia azedarach</i>	105
5.3.3 Effet insecticide de <i>Bacillus thuringiensis</i> contre <i>T.pityocampa</i>	106
5.3.4 Effet insecticide du mélange (extraits méthanoliques de <i>Melia azedarach</i> et les δ -endotoxines de <i>Bacillus thuringiensis</i> Kurstaki HD1).....	106
6. Autres observations engendrées par les différents traitements sur <i>T.pityocampa</i>	107
6.1 Evolution des traitements sur la consommation des aiguilles de <i>Pinus halepensis</i> par les larves	107
6.1.1 Effet de <i>Juniperus oxycedrus</i> et <i>Juniperus phoenicea</i>	107
6.1.2 Effet des des traitements à base de <i>Melia azedarach</i> , le Bt et le mélange Me-Bt sur l'évolution pondérale des larves et de leurs crottes	108
6.2 Effet histopathologique des différents traitements (à base de : <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Melia azedarach</i> , δ -endotoxines de <i>Bacillus thuringiensis</i> , et de leur mélange) sur l'intestin moyen des larves L4 de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Den. & Schiff.....	109
6.3 Incidences des traitements à base de <i>Melia azedarach</i> sur l'émergence des adultes.....	111
Discussion.....	122
Conclusion.....	123
Références bibliographiques.....	124
Liste des annexes.....	d

Introduction

Hormis leur rôle dans le maintien de l'équilibre écologique et la fertilisation du sol, les insectes constituent des communautés à structure, fonctionnement, et évolution propre (Dajoz, 1975). Cette dernière, fait en sorte que leur présence ou leur absence peut modifier profondément le couvert végétal notamment en foresterie. La protection de la biodiversité en sylviculture, nécessite une parfaite connaissance de la distribution de la faune et de la flore. La réalisation des inventaires s'inscrit donc dans cette perspective (Blondel, 1979 ; Dajoz, 1998).

Les organismes vivants coexistent dans le biotope et se maintiennent en se reproduisant de façon permanente, formant des ensembles liés par une dépendance réciproque. Cette interdépendance est conditionnée par des paramètres écologiques multiples (climatiques, édaphiques, et topographiques) d'où le concept de vie commune fut nommé par Möbius en 1877 biocénose, un terme (gr. bios = vie et koinos = commun) qui met en exergue le cadre d'étude en écologie non pas au niveau de l'individu, mais de l'ensemble des individus (Dutuit et Gorenflot, 2016).

En Algérie, la forêt se heurte depuis longtemps à des écueils tels que son hétérogénéité floristique, et bioclimatique. L'action conjuguée des différents facteurs (le feu, l'exploitation pastorale, mise en culture, et abatage des forêts) lui a porté un coup fatal (Louni, 1994). Actuellement, le patrimoine forestier s'étend sur 4,1 millions d'hectares (DGF, 2014) où l'espèce *Pinus halepensis* Mil. constitue une essence de première importance mais qui est contrainte comme l'ensemble des pinèdes et céderaies méditerranéennes, à des attaques répétées d'insectes ravageurs dont *Thaumetopoea pityocampa* Den.& Schiff. avec un total de 116 485 ha de superficie infestée en 2013. Cet insecte nous fait perdre en moyenne 50-100 000 ha/an voire plus dans les reboisements. Cas de la région de Djelfa qui a subi à elle seule des infestations de l'ordre de 5 900 ha en 2105 (DGF, 2015).

La région des hautes plaines du Sud algérois et de l'Atlas saharien (Wilaya de Djelfa) subit d'une part les pressions dues à l'action de l'homme (surpâturage, labours dans les parcours, surexploitation des espèces pérennes) et d'autre part celles du climat avec une saison estivale souvent très sèche et très longue. Faisant partie de la steppe, la région de Djelfa est caractérisée selon Ozenda (1977) par une formation végétale basse dont la densité de la couverture végétale diminue notablement et la composition de la flore se modifie au

profit des espèces adaptées aux conditions (telle que l'Alfa). Ces peuplements sont composés essentiellement de graminées (*Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora*, *Lygeum spartum*) et (ou) des chaméphytes vivaces (*Artemisia herba alba*, *Artemisia campestris*) auxquelles s'ajoutent un cortège varié souvent important d'espèces annuelles (Pouget, 1980).

Bénéficiant de l'expérience du barrage vert, La région de Djelfa a connu l'installation de résineux en terme de monocultures reboisées qui ont favorisé l'activité d'une entomofaune forestière particulière, parfois dangereuse, différente de celle des forêts naturelles de la même région (Derouèche, 2015). Dans les pinèdes de cette région, et parallèlement aux scolytes xylophages menaçants les forêts naturelles, *Thaumetopoea pityocampa* ayant comme hôte principal le pin d'Alep, a des répercussions graves sur la régénération des jeunes plantations dans les reboisements (Guit, 2015).

Dans ce travail, l'idée de recenser les espèces floristiques et faunistique (à titre comparatifs entre les reboisements de Moudjbara, et les peuplements naturels de Djellal et Toghersane) tend à déterminer les interactions biocénologiques dans le biotope de cet insecte, et parvenir ainsi à dévier son comportement au profit des deux espèces ligneuses étudiées : *Pinus halpensis* et *Cupressus dupreziana* car des larves de *Thaumetopoea pityocampa* sont observées sur ce dernier dans le barrage vert (à Moudjbara), et ont été signalées en 2011 à la conservation des forêts de Djelfa. Le barrage vert représente la limite sud de l'aire de répartition de *Thaumetopoea pityocampa* présent car la durée et l'intensité de ses pullulations sont temporaires et plus importantes dans le reboisement où les défoliations sont plus sévères (Zamoum, 1998 ; Zamoum, 2002 ; DGF, 2014).

En plus du fait que *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff. (Lepidoptera, Notodontidae) est considéré comme principal ravageur des forêts résineuses du pourtour méditerranéen, cet insecte présente également un risque sanitaire pour l'homme et les animaux du fait de ses poils urticants (Demolin, 1963 ; (Demolin, 1969a ; Zamoum, 1998 ; Bonamonte *et al.*, 2013).

La lutte chimique, utilisée jusqu'au début des années 1990, est particulièrement destructrice de la faune et présente un risque majeur pour la santé humaine, ce qui renvoie vers les traitements biologiques. Autant que solution et alternative, les biopesticides sont appelés à supplanter les pesticides chimiques et demeurent de plus en plus utilisés (Loudhaief, 2018).

Bacillus thuringiensis est une bactérie Gram+ qui produit, pendant la sporulation, des toxines nommées Cry (Benkhedher *et al.*, 2017).

Les préparations à base de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (la variété : Btk) constituent le bio-pesticide le plus utilisé dans le monde, il représente à lui seul 75 % du marché mondial des pesticides (Silvy, 1992 ; Loudhaief, 2018).

Selon leur spécificité d'action contre les nuisibles, les différentes souches de *Bacillus thuringiensis* sont sélectionnées avant d'être commercialisées. Contre les lepidoptères, Btk est retenue car ces insectes sont sensibles aux toxines cry de *Btk* (Dutton *et al.*, 2005 ; Bergamasco *et al.*, 2013 ; Carisse & Boyetchko, 2016 ; Zamoum *et al.*, 2016 ; Ben Khedher *et al.*, 2017).

Cependant, des cas de résistances aux toxines cry ont été notées suite à des mutations en fonction de leur mode d'action (Bravo *et al.*, 2011).

Cette résistance engendre la réduction de toxines au niveau des cellules intestinales (Zhang *et al.*, 2009 ; Gahan *et al.*, 2010).

En outre, l'usage intensif des BtK a des incidences sur la santé publique à cause de leurs sporanges présents de plus en plus dans les denrées alimentaires, constituant une source de danger microbiologique potentiel pour l'homme et l'environnement. Des bactéries opportunistes dans l'intestin des mammifères, peuvent être à l'origine d'un état inflammatoire pouvant engendrer des cancers chez des individus génétiquement prédisposés. Chez les humains, *Bt* représente une bactérie opportuniste responsable entre autres, de maladies nosocomiales avec des complications respiratoires, des diarrhées et des intoxications (Loudhaief, 2018).

Pour contrecarrer ces aléas, l'alternance à l'aide de produits d'origine végétale apparaît comme une stratégie de contrôle des populations d'insectes ravageurs (Breuer et Devkota, 1990 ; Abbassi *et al.*, 2003 ; Senthil-Nathan *et al.*, 2006 ; Regnault *et al.*, 2008). Pour cela, nous avons testé l'effet insecticide de quelques plantes comme le *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* et surtout *Melia azedarach* (Méliacées). Par ailleurs, nous avons aussi étudié l'effet des extraits méthanoliques de *M. azedarach* et, des δ -endotoxines de *BtK* et de leur mélange contre la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* issue de deux régions en Algérie.

Chapitre I
BIBLIOGRAPHIE

**Partie 01 : Synthèse bibliographique sur les deux espèces végétales étudiées ;
Pinus halepensis Mil. et *Cupressus dupreziana* A. Camus**

1. Présentation du *Pinus halepensis* Mil.

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) est un pin très commun dans la région méditerranéenne, constituant l'une des unités écologiques les mieux considérées et représentées dans les forêts Algériennes tant par la superficie qu'elle occupe que par le rôle qu'elle joue dans l'économie forestière des pays de cette région (Kadik, 1987 ; Guit, 2015).

Cet arbre se reconnaît de loin dans le paysage à son feuillage d'un vert clair et couvre pratiquement tous les bioclimats à l'exception des zones arides et hyper arides, où il représente avec le genévrier rouge, la dernière expression sylvatique avant les Steppes présahariennes et les formations végétales sahariennes. Son aire de répartition est la plus étendue en Algérie car il s'agit d'une espèce spontanée plastique, qui évolue dans tous les types du sol (Kadik, 2011). Sa facilité de reproduction et ses exigences écologiques modestes ont incité les forestiers à l'introduire à grande échelle dans les reboisements.

1.1 Description de *Pinus halepensis* Mil.

C'est un arbre toujours vert, vivace, peu droit, tortueux et souvent penché, pouvant atteindre 20 mètres de hauteur. La cime reste conique jusqu'à 20 ans (Gaussen et Ozenda, 1982). Selon Becker (1985), c'est un arbre forestier résineux de deuxième grandeur qui peut parfois atteindre les 30 mètres de hauteur. Il présente une cime écrasée, irrégulière et claire mais ses branches sont assez étalées. Cet élargissement du feuillage est en relation avec l'âge de l'arbre.

L'âge auquel commence ce ralentissement dépend de la fertilité et de la profondeur des sols. Sur des sols fertiles et profonds, la couronne conserve plus longtemps sa forme conique que sur les sols superficiels et pauvres (Nahal, 1962).

Le tronc est généralement sinueux, à écorce d'abord écaillée d'un gris argenté ou rougeâtre puis à rhytidome crevassé. L'écorce des jeunes sujets est riche en tanins, elle est lisse et de couleur gris argenté. A maturité, elle devient épaisse et crevassée de couleur noirâtre ou rougeâtre (Nahal, 1962 ; Kadik, 1984).

Les feuilles sont des aiguilles fines, de 1 mm environ d'épaisseur, souples, de 6 à 10cm de long, droites et souples. Elles sont de couleur vert clair ou foncé, fasciculées par deux et entourées à la base d'une gaine persistante (Guignard, 1986).

Les jeunes aiguilles sont dures, piquantes et persistantes pendant deux ou trois ans (Nahal, 1962). Etant souvent polycyclique, les rameaux de cet arbre sont verts clair, puis gris clair, assez fins faisant une seconde pousse la même année. Les bourgeons sont non résineux, ovoïdes, aigus, bruns avec des écailles libres frangées de blanc (Kadik, 1987).

Les cônes sont ovoïdes, de 6 à 12 cm de long, insérés isolément sur un pédoncule de 1 à 2cm, réfléchis vers la base du rameau. Ils sont pourpres puis brun lustré avec des écussons aplatis. Ils restent sur l'arbre, mûrissent au cours de la deuxième année, et ne s'ouvrent qu'à la 3ème année sous l'effet d'une forte chaleur. Un incendie est souvent la cause de leur ouverture (Guignard, 1986 ; Kadik , 1987).

Le pin d'Alep fructifie tôt. Toutefois, les graines ne sont ni aptes à germer ni suffisamment abondante qu'à partir d'un âge compris entre 18ans et 20ans. Les graines sont de petite taille de 5 à 7 mm (Kadik , 1987), elles conservent leur vitalité au moins pendant deux ans ou plus lorsque les cônes restent attachées aux arbres (Bentouati, 2006).

Le bois, présente sur le plan anatomique par des parois minces caractérisant ses trachéïdes (Kadik, 1987). L'écorce et le bois revêtent des canaux contenant une substance visqueuse et collante : la résine (Nahal, 1962 ; Kadik, 2011).

. 1.2 Systématique

Le genre *Pinus*, de la famille des Pinacées (Abiétacées), est divisé en trois sous genres, et les sous genres sont divisés en sections qui, elles mêmes sont divisées en groupes. *Pinus halepensis* Mill. se trouve attaché à la section Halepensoides. Où se trouvent des rayons de trachéïdes à paroi sineuse. La section Halepensoides est divisée en trois groupes parmi lesquels se classe le groupe *halepensis* qui est caractérisé par des feuilles à deux aiguilles et des cônes caducs (Kadik, 2011).

Selon Nahal (1962), et Farjon (1996), l'étude taxonomique des pins a permit de déterminer la systématique suivante :

Règne : Plantae

Sous règne : Trachéobionta

Embranchement : Spermaphyta

Sous-embranchement : Gymnospermae

Classe : Pinopsida

Ordre : Abietales

Famille : Pinaceae (Abietaceae)

Sous-famille : Pinoïdeae

Genre : *Pinus*

Sous-genre : *Eupinus*

Espèce : *Pinus halepensis* Mill.

Usuellement, multiples noms communs sont utilisés pour désigner cette espèce, et qui peuvent se résumer comme suit :

- Aleppo pine, Jerusalem pine (Angleterre).
- Aleppo Kiefer (Allemagne).
- Pin d'Alep, pin de Jérusalem, pin blanc (France).
- Pino carrasso (Espagne).
- Pino di Gerusalemme (Italie).
- Sanaouber halabi (pays arabes).
- Azoumbei, Tayada (Noms vernaculaires et Berbère).

Selon Nahal (1986), l'identification de *Pinus halepensis* repose sur les critères suivants :

- Cône largement pédonculé et réfléchi vers la base du rameau.
- Feuilles très fines, inférieures à 1 mm, molles, très finement serrulées sur les bords, 5 à 10cm de long ; réunies par deux, rarement par trois dans une gaine ; groupées en pince à l'extrémité des rameaux ; couleur vert jaunâtre.
- Cônes isolés ou par paires, rarement verticillés ; écusson de l'écaille portant au centre un ombilic relevé et muni d'un petit mucron saillant ; graine à aile allongée et droite des deux côtés. Encore adulte, l'écorce est formée d'écailles minces, aplaties et non fissurée.

En plus des précédents critères morphologiques, anatomiques, et phytogéographiques, une révision taxonomique de ces pins a déjà été effectuée par Nahal (1962) en invoquant des paramètres tirés de la biochimie (composition de l'essence de térébenthine). À partir des études biochimiques, et écologiques des Pins méditerranéens du groupe "*halepensis*" faisant ressortir les conclusions suivantes :

- *Pinus brutia* Tenor, n'est pas une variété de *Pinus halepensis* mais une espèce bien définie et nettement distincte de *P. halepensis* Mill.

- *Pinus halepensis* Mill., n'est pas une espèce homogène dans toute son aire géographique. Il se présente sous des formes se distinguant par le port, le caractère des cônes et la morphologie des pollens. Les formes suivantes ont été distinguées :

- forme orientale (Liban)
- forme occidentale (France)
- forme nord-africaine (Algérie)

Il renferme également des races et des écotypes dont il faudra tenir compte pour le reboisement, en particulier les écotypes résistants à la sécheresse et au froid (Nahal, 1986)

1.3 Historique

L'étude des pins fossiles montre que le pin d'Alep occupait des régions septentrionales que celles qu'il occupe aujourd'hui. A la fin de l'aire tertiaire, il n'avait probablement qu'une aire restreinte au Nord de la méditerranée orientale et occidentale (Rushforth, 2000).

Selon Emberger (1960), le genre *Pinus* existe depuis le Wealdien (à la fin de l'époque Jurassique), les différentes sections ont été reconnues dès le Crétacé inférieur. Ce genre est considéré comme l'ancêtre lointain du Cèdre et du Sapin. Il a été trouvé en France dans les dépôts de Pliocène (*Pinus halepensis* var. *ataworum* Marion, La Valentine), Loisel (1976) souligne donc que le non indigénat de *Pinus halepensis* sur le littoral provençal n'est plus d'actualité.

Pinus halepensis a été reconnu ultérieurement par son pollen, dans les massifs sahariens du Hoggar (Sahara centrale Algérien) datant du dernier pluvial (Quezel, 1957 ; Kadik, 2011).

Les modifications climatiques (refroidissements) qui sont survenues au début de l'ère quaternaire réduisirent son extension au profit du pin brutia mais ces modification lui permirent de coloniser le Sud de la méditerranée grâce aux phases du climat humide qui régnait à cette époque en Afrique du nord (Kadik, 1987). Quant aux glaciations, elles auraient permis au pin d'Alep de s'avancer jusqu'au Hoggar. A l'époque actuelle, le Hoggar est très aride et le pin d'Alep y est totalement absent. Sa paléogéographie indique qu'il a une origine Nord-méditerranéenne, et qu'il a pu conquérir l'Afrique du Nord à la faveur des glaciations.

1.4 Répartition

Le pin d'Alep est une espèce très répandue en région méditerranéenne qui représente sa limite (Fig. 01). En Europe et en méditerranée, l'indigenat de cet arbre sur le littoral n'est plus d'actualité (Loisel, 1976). On compte 497.709 ha de pineraies naturelles et 1.046.97 ha de monocultures reboisée en Espagne, 202 000 ha au Nord de la France, 330.000 ha en Grèce, et 20.000 ha dans le Sud de l'Italie (Quezel, 1980 ; Seigue, 1985 ; Guit, 2015).

En Afrique, cet arbre couvre 170.00 has en Tunisie, il est réparti sur différents étages bioclimatiques (Ben jema et Belhaj, 2010). Au Maroc, les peuplements de pin sont disloqués, ils couvrent 65.000 has de la façade littorale (Quezel, 1986).

Selon Boudy (1950), le pin d'Alep occupait 850.000 ha en Algérie ; une surface qui comprend toutes pinèdes confondues, réparties entre des formations mixtes et monocultures reboisées avec prédominance des plantations dans l'étage bioclimatique semi-aride (Fig. 02). L'étendu de la pineraie Algerienne fut aussi estimé à 855.000 ha (Seigue, 1985). Ensuite, dans un rapport pour le Forum des Nations Unis sur les Forêts (FNUF) un chiffre de 800.000 ha est indiqué (Mezali, 2003).

Actuellement, selon un bilan réalisé par la DGF (2014) *P. halepensis* occupe 881.000 ha sur 4,1 millions d'hectares du patrimoine forestier.

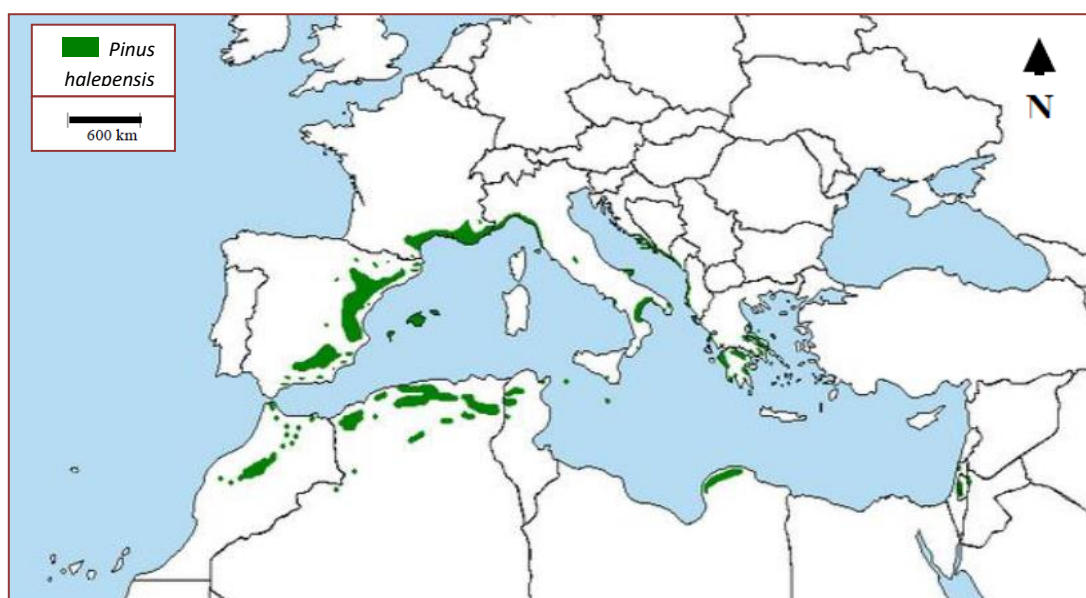


Figure 01: Aire de répartition de *Pinus halepensis* Mil. dans le monde (Quezel, 1980)

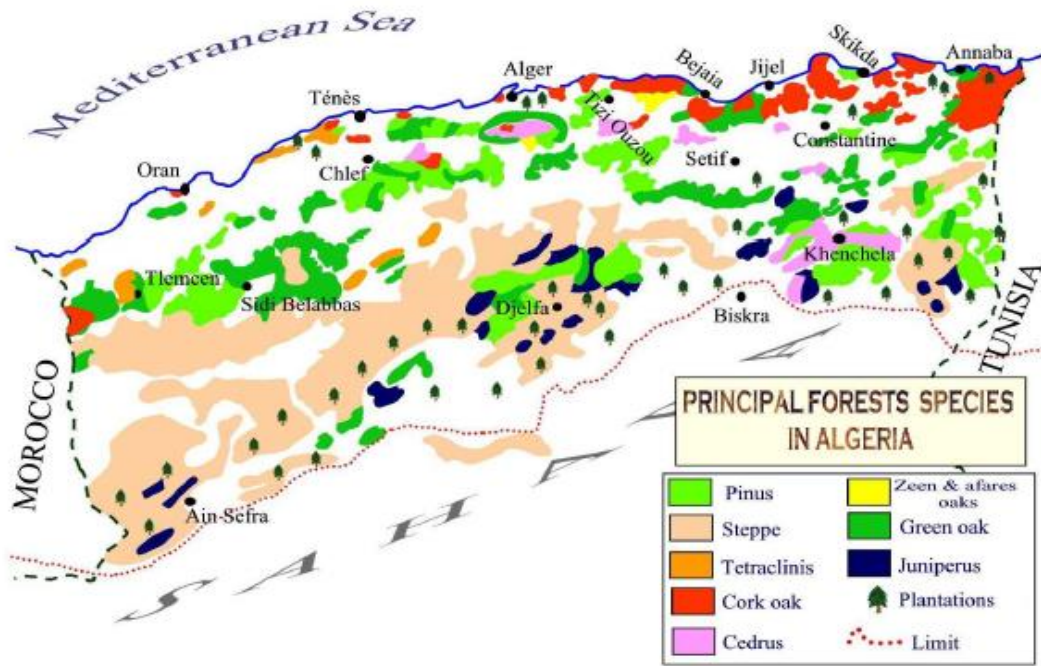


Figure 02 : Répartition du genre *Pinus* en Algérie (Nedjahi et Zamoum, 2005).

1.5 Exigences climatiques, édaphiques et écologiques

Selon Nahal (1962), malgré la résistance du pin d'Alep aux températures élevées et luminosités (Espèce thermophile et héliophile), la température demeure un facteur limitant son expansion, tolérant des températures annuelles moyennes comprises entre 11 et 19°C. Il peut aussi tolérer des vagues de froid occasionnelles et courtes oscillants entre -15 à -18°C (Bedel, 1986)

Quant aux précipitations favorables à la croissance de l'arbre, elles sont de l'ordre de 200 à 1500mm, elles corrént positivement avec le développement du pin mais elles n'impactent pas forcément sa croissance (Quezel, 1986).

D'après Nahal (1962) ; Quezel (1980) ; Kadik (1983, 1984), la pineraie s'adapte à différents types de sols ; en Algérie elle peut croître aussi bien sur des sols épais que les sols superficiels. Le pin d'Alep peut coloniser des sols très jeunes en voie de formation à partir d'une roche mère tendre (marnes, marnes et calcaire, terra rossa) ou à partir d'une roche mère dure (calcaire, schistes et les micaschistes) à l'exception du granite et du gneiss où cette essence est quasiment absente, cet arbre se développe bien surtout sur les sols bruns calcaire et bruns calcique à croute et encroutement, sur les rendzines.

Pinus halepensis peut s'installer donc sur des sols très variés, un substrat friable et meuble lui est adéquat (Loisel, 1976). Même si cette essence est tolérante à des sécheresses périodiques, le stress hydrique diminue la croissance des arbres (Nahal, 1962 ; Rathgeber *et al.*, 2005) raison pour laquelle l'espèce évolue mieux en hauteurs (Quezel, 1986).

Selon Kadik (2011), les essences forestières telles que le cèdre, le chêne vert, le chêne liège, et le pin d'Alep, ont tendance à occuper plusieurs étages altitudinaux de la végétation qui sont des ensembles climatiques :

- Etage infra-méditerranéen ;
- Etage thermo-méditerranéen ou méditerranéen inférieur ;
- Etage eu-méditerranéen ou méso-méditerranéen ;
- Etage supraméditerranéen ou mésoméditerranéen ;
- Etage montagnard méditerranéen ;
- Etage oro-méditerranéen ;

Les pins du groupe *halepensis* se développent surtout aux étages thermo et mésoméditerranéen, c'est à dire entre 0 et 300-600 m en méditerranée septentrionale, et entre 0 et 1200-1400 m en méditerranée méridionale. Au Séalba (Forêt localisée à Djelfa), sur les monts d'Ouled Nail, le pin d'Alep peut atteindre 1600 m et peut même gagner 2000 m sur la dorsale Tunisienne (Quezel, 1980).

1.6 Principaux ravageurs et ennemis naturels de *Pinus halepensis* Mil.

Un état de fragilité écologique et de dégradation avancée sous l'aboutissement d'un ensemble de facteurs, soumet la richesse forestière à des attaques successives de plusieurs ravageurs, le cas des scolytes qui sont de redoutables ravageurs forestiers dont les dégâts sont considérables (Piou et Lieutier, 1989 ; Derouche, 2015).

En Amérique, deux millions et demi d'hectares de pin ont été détruits entre 1962 et 1964, à raison d'environ 100000 arbres par jour sur un front de 180 Kms (Pesson et Chararas, 1969). Selon Guit (2015), le groupe des xylophages constitue le groupe le plus à craindre particulièrement aux conifères. Ce groupe d'insectes appartient essentiellement aux familles Scolytidae, Cerambycidae et Buprestidae, qui posent de gros problèmes à la santé des forêts du monde entier avec des retombées économiques conséquentes. Ces insectes, détruisent chaque année en Californie le bois de conifères pour une estimation de deux millions de Dollars, ces xylophages ravageurs de premier rang sont des ennemis des forêts et responsables

de 85 à 90% des dommages (Pesson, 1974). Lieutier (1984) les considère comme agresseurs secondaires, aggravant l'état de peuplements aux capacités de réaction amoindries.

Les périodes de sécheresse enregistrées au cours de ces dernières décennies, les fluctuations saisonnières des températures et des quantités pluviométriques enregistrées au cours du temps ont conditionné la multiplication et l'activité de plusieurs espèces de scolytes (Chakali, 2007).

En Algérie, les ennemis naturels causent des défoliations de plus de 100.000 ha/an dans les reboisements où la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea Pityocampa* peut nous faire perdre à elle seule, des superficies de l'ordre de 50-100.000 ha/an en forêts (DGF, 2014). Zamoum (1998) confirme que *T.pityocampa* est un parasite cosmopolite à incidences non négligeables sur la croissance des arbres.

Le pin d'Alep constitue un hôte favorable au développement de divers insectes ravageurs traduit par de sévères attaques de *Thaumetopoea pityocampa* dans les jeunes plantations auxquelles s'ajoutent divers groupes de xylophages qui trouvent un milieu favorable lors des périodes de sécheresse (Guit, 2015).

2. Présentation de *Cupressus dupreziana* A. Camus

Le cyprès du Tassili ou cyprès de Duprez par référence à l'officier topographe l'ayant découvert au Hoggar « *Cupressus dupreziana* A. Camus », c'est un conifère de la famille des cupressacées aussi dit Tarout en Tamachek (langue locale). Le Duprez est une espèce endémique stricte du Tassili N'Ajjer en Algérie au Sahara central, dangereusement menacé d'extinction (Rossi, 2013).

Entre 1997 et 2001, ces arbres ont été inventoriés sur la base des notes de Grim (1992) par Abdoun et Beddiaf (2002) indiquant un nombre total d'arbres vivants de 233 individus, ces travaux ont permis de délimiter l'aire actuelle de cette espèce, d'évaluer le taux de dépérissements en 30 ans et surtout, d'observer une régénération par la présence de nouveaux jeunes arbres. La mort de plus de 20 arbres depuis 1972 représente une perte de près de 8% en 30 ans. Cet arbre est classé par l'UICN (l'union internationale pour la conservation de la nature) au douzième rang des espèces les plus menacées au monde.

Deux aires seulement sont connues au Sahara où ne survivent que 230 pieds, sachant que ces arbres peuvent vivre mille ans et plus (Hamon, 2001 ; Rossi, 2013). Malgré sa longévité

exceptionnelle, cet arbre est dans sa phase de régression ce qui illustre une perte de la capacité à régénérer dans les conditions naturelles même s'il fructifie abondamment, le taux de graines aptes à germer est presque nul, rendant ainsi les arbres survivants de véritables fossiles.

Ultérieurement, cette espèce a fait l'objet d'essais d'introduction dans différentes stations ce qui a confirmé sa tolérance aux zones particulièrement arides, et une meilleure résistance au froid que le cyprès de Provence (- 15°C) pour une vigueur légèrement inférieure. Ces caractéristiques illustrent que cette espèce est digne d'un intérêt utilitaire certain (Sahli, 2007).

2.1 Description de *Cupressus dupreziana* A. Camus

Dans son aire naturelle, le plus haut cyprès atteint une hauteur de 22m avec une circonférence de 12m (Grim 1992). C'est une espèce appartenant au groupe afro- méditerranéen (Allemand, 1979) qui est aussi représenté par le cyprès vert, *Cupressus sempervirens* et le cyprès de l'Atlas, *Cupressus atlantica* endémique marocaine. Son architecture comporte principalement des branches horizontales avec une circonférence de 3m en région méditerranéenne où le port est rarement fastigié (Rossi, 2013). Les arbres adultes sont souvent mutilés ce qui empêche de voir la forme naturelle ; les jeunes sujets, ceux qui ont poussé dans un environnement protégé, présentent au départ une forme buissonneuse, et sont articulés sur une glande résinifère à l'axe central vertical (Stewart, 1976).

Son écorce brune rougeâtre vire en vieillissant au gris-brun ; portant des fissures longitudinales sans décortication. Les branches, qui forment avec le tronc un angle obtus, se recourbent vers le haut (Fig.03). La ramification des premières et secondes pousses tend à se faire sur deux plans et les premières sont considérablement aplaties (Rivera-Nava, 2008).

Les rameaux sont bruns rouges, solitaires, ovoïdes de couleur brun clair longs de 1 à 2cm, présentant des écailles à écusson plus larges que hautes et mucronées. Les feuilles sont persistantes, courtes, aplaties, et dense sur l'arbre jeune, faisant corps avec les rameaux. Les feuilles adultes sont des écailles cypressoides (Fig.03), opposés, décussés, imbriqués, légèrement aplaties, acuminés, et présentent une glande résinifère (Hamon, 2001).

Les fleurs mâles sont jaunâtres, les grains de pollen sont de plus grandes tailles que celles des autres espèces de cyprès. Les cônes femelles ligneux, avec 10 à 12 écailles, verts puis bruns à maturité, mesurent environ 2 cm de diamètre (Hamon, 2001 ; Rossi, 2013). Ils sont pourpres, ovoïdes ou ellipsoïdes de 12 à 24 x 10 à 17 mm. Ils deviennent gris-brunâtre à maturité, mat ou peu brillants, allongés (18 à 24 x 16 à 20 mm), portant entre 10 à 12 écailles ligneuses, à écusson plus large que haut, rugueux radialement et avec un mucron très court,

arrondi (Fig.03). Les graines sont de couleur brun rougeâtre, ovales, aplaties de 4 x 5 mm à 5 x 6 mm et avec des ailes larges et fines. Les cônes mâles se localisent à l'extrémité des ramules. Ils sont de couleur jaunâtre à maturité, ils sont allongés de 6 x 3 mm de longueur. Le grain de pollen est d'un diamètre de 38 microns. Il est le plus gros de toutes les espèces de cyprès (Rivera-Nava, 2008).

Son bois, de densité moyenne, stable et balsamique, se prête aux utilisations les plus exigeantes. En plantation (peuplement artificiel), les fûts sont droits et les branches fines. Aussi, cet arbre se distingue de *C.atlantica* et *C.sempervirens* par la couleur de son feuillage qui est plus bleu, avec une tache blanche de résine sur chaque feuille, des rameaux courts et aplatis dans un seul plan, et des cônes plus petits de 1,5 à 2,5 cm de long (Pichot *et al.*, 2000).

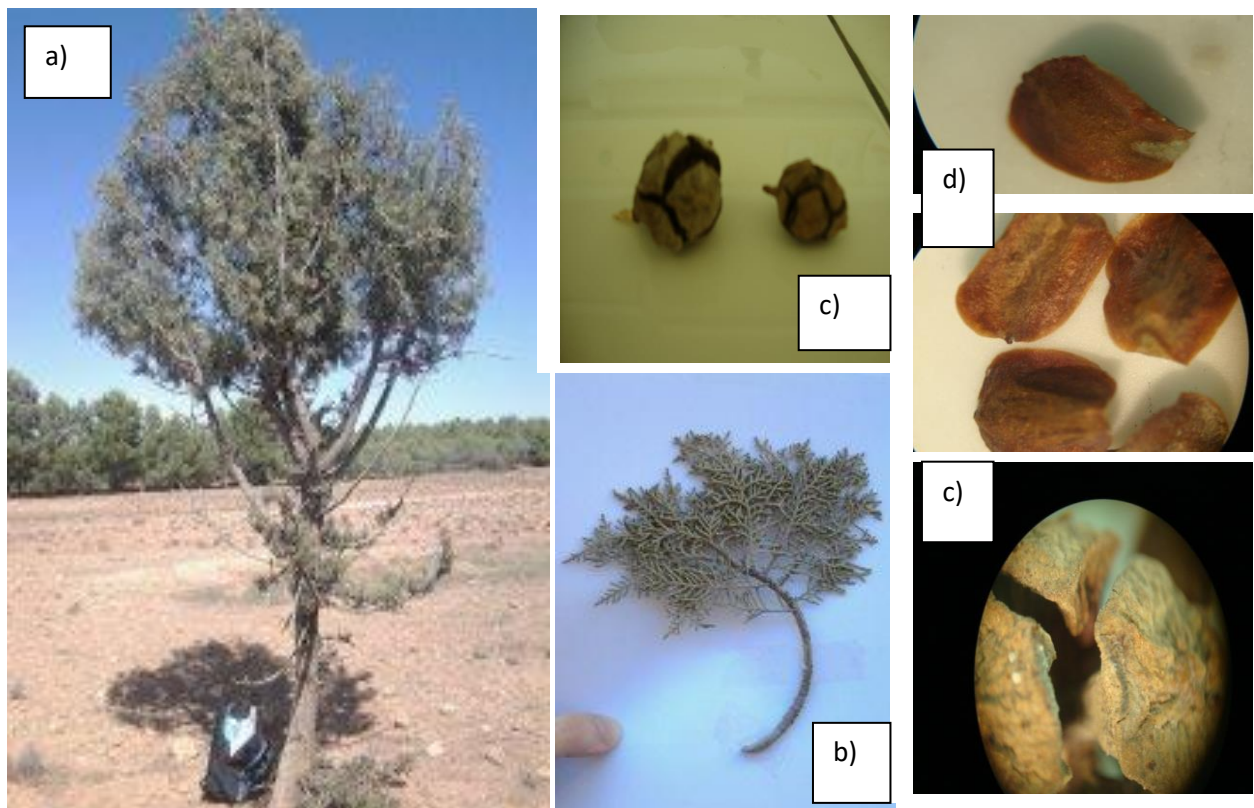


Figure 03 : *Cupressus dupreziana* A. Camus à Moudjbara- Djelfa. [a : l'arbre, b: feuilles écailleuses aplaties, c : cônes femelles à maturité, d : graines à maturité] (Originale, 2013)

2.2 Systématique

Hormis la présence d'analogies relevant des ressemblances entre *Cupressus dupreziana* et le *Cupressus sempervirens* notamment avec *Cupressus atlantica*, selon Abdoun (2002), la classification botanique du cyprès de Tassili établie par A. Camus en 1925 peut être résumée comme suit :

Règne : Plantae

Embranchement : Pinophyta

Classe : Pinopsida

Ordre : Pinales

Famille : Cupressaceae

Genre : Cupressus

Espèce : *Cupressus dupreziana* A. Camus 1926

2.3 Historique

La présence d'un conifère au Sahara central était déjà soupçonnée bien avant de la découverte du cyprès du Tassili par le capitaine Duprez en 1924. C'est en 1860 que l'ornithologue britannique Tristram a pressenti l'existence d'un résineux d'un genre voisin de celui de *Juniperus* après examen de bois utilisé par les Touaregs (Sahli, 2007).

En effet, Duveyrier avait examiné des objets touaregs fabriqués en bois résineux lors de son déplacement entre 1859 à 1861 dans le Tassili nord et le Fezzan. Des voyageurs constatèrent à travers les vieilles portes et des poutres maîtresses des maisons, des oasis de Rhat et de Djanet étaient construites avec le bois d'un conifère qui, d'après les indigènes, existait encore dans les montagnes du sud du Tassili. Par la suite, en 1906, Chudeau réalise l'existence probable d'un thuya ou d'un cyprès dans ces mêmes montagnes. (Balachowsky, 1955).

En 1925, Lavauden a pu voir un arbre vivant dans l'oued Tamghit. Il remet des échantillons au Muséum National d'Histoire Naturelle à Paris (Figure 04). Ces échantillons, étudiés ensuite par Albert Camus qui a établi à partir de fruits, de graines et des rameaux récoltés une classification propre au Duprez comme étant un nouveau cyprès. Il le nomme *Cupressus dupreziana* en hommage à celui qui l'a découvert (Rossi, 2013).

moins importante). Les dalles gréseuses abritent dans leurs fissures 22% des arbres, les crêtes 8%, les Gueltas 2%

En effet, les 233 cyprès vivants ont été recensés par Abdoun et Beddiaf (2002) qui présentent pour la plupart des ports variables allant de la forme fastigiée à la forme la plus tourmentée (Fig.06). Les plus âgés (à plus de 2000 ans) occupent des sites difficiles d'accès (Abdoun *et al.* 2005). Une surexploitation humaine semble être à l'origine de l'important recul de l'espèce, en plus d'une évolution défavorable dû au climat. La régénération dans l'habitat naturel est très réduite, notamment en raison de la diminution de la nappe phréatique (Abdoun et Beddiaf 2002). À partir du début des années 1970, l'intérêt pour le cyprès du Tassili rentre dans une nouvelle ère, celle de sa réintroduction *in situ* et son utilisation dans les reboisements (Abdoun, 2002). Des plantations conservatoires ont déjà été installées en Algérie et en France. D'autres collections sont dispersées dans différents pays, ne représentant vraisemblablement qu'une petite partie des individus encore présents dans l'aire naturelle.

Une plantation à Moudjbara dans l'Atlas saharien a reçu vers 1973 des plants du Cyprès du Tassili. L'étude de leur comportement a conclu que la croissance et la regeneration des arbres sont faibles (Sahli, 2007). Cet arbre introduit à Moudjbara semble aussi être attaqué par le ravageur menaçant le barrage vert en *Thaumetopoea pityocampa* car des larves de ce dernier ont été signalées en 2011 sur le *Cupressus dupreziana* dans la région de Djelfa.

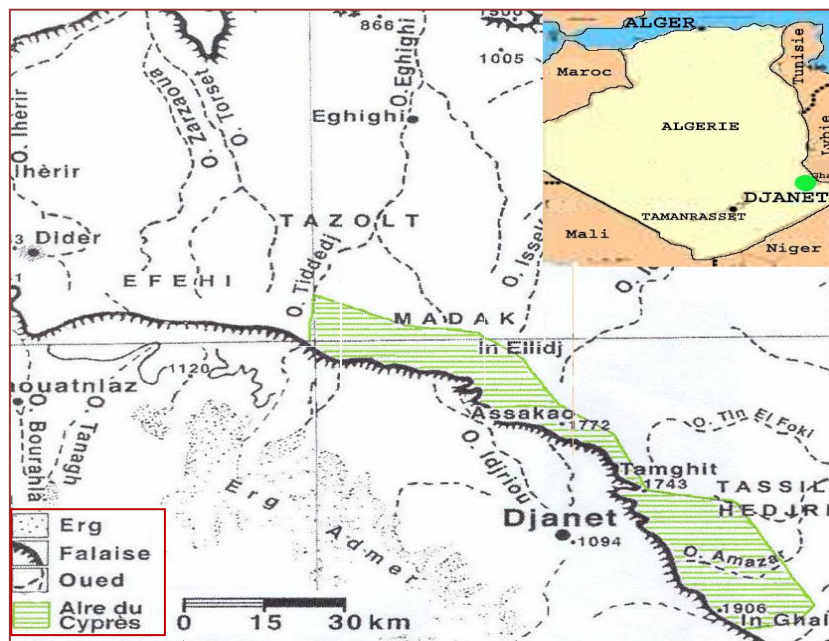


Figure 05 : Aire de répartition du Cyprès du Tassili au Sahara central (Sahli, 2007)



Figure 06: Aspect de *C.dupreziana* dans son milieu naturel (Sahli, 2007)

2.5 Exigences climatiques, édaphiques et écologiques

Ces cyprès sont connus pour être très résistants à la sécheresse et aux grands froids avec une bonne tolérance aux gelées (-10°C), ils se trouvent presque tous placés dans les ravins de montagne (entre 1500-2000 mètres d'altitude), dans des lits d'oueds ou dans les éboulis sous une pluviosité qui n'excède pas 30mm par an. Hethener (1967) distingue la rhizosphère des cyprès par sa grande humidité, sa richesse en matière organique, son rapport C/N élevé et son pH voisin de 7. Selon Rossi (2013) les jeunes pieds de *C.dupreziana* sont localisés entre 1200 et 1700 m d'altitude, occupant aussi des lits d'Oueds rocheux et sablonneux.

2.6 Principaux avageurs et ennemis naturels de *Cupressus dupreziana* A. Camus

La cause la plus ancienne du dépérissement des cyprès est une maladie cryptogamique provoquant un chancre suintant à localisation corticale. (Ponchet, 1979) cette maladie est causée par un champignon dit *Coryneum cardinale*. C'est un parasite cortical connu pour sa polyphagie à l'intérieur de la famille des Cupressacées, tout particulièrement dans le genre *Cupressus* (Grasso et Ponchet, 1979). Ce même auteur indique que *Cupressus dupreziana*

serait, d'autre part, peu sensible à *Coryneum cardinale* tout au moins dans sa phase «adulte», transmise par greffage.

Par ailleurs, Rock (1999) mentionne que d'autres macro-parasites peuvent s'installer sur les arbres de *C.dupreziana* à savoir les chenilles de tordeuses, les acariens, et les punaises du genre *Orsillus*. Ces ravageurs endommagent essentiellement les cônes et les graines issues de l'arbre. Aucune différence d'entomofaune (sept espèces d'insectes et un acarien) n'a été constatée entre l'aire naturelle et les zones d'introduction du cyprès. La tordeuse *Pseudococcyx tessulatana* (Lépidoptera : Tortricidae) et l'acarien *Trisetacus juniperinus* (Acari ; Nalepellidae) constituaient les ravageurs les plus importants, leur attaque induisant la disparition des cônes durant la période de croissance.

**Partie 02 : Synthèse de recherche et réflexion sur la chenille processionnaire du Pin ;
Thaumetopoea pityocampa Den. & Schiff. (Lepidoptera, Notodontidae)****1. Introduction**

La forêt est un écosystème dans lequel les arbres prédominent au point de modifier les conditions de vie qui règnent au sol et créent un microclimat spécial. Une forêt abrite aussi des arbrisseaux, des arbustes, des cryptogames et des végétaux herbacés. Une faune spéciale, à structure complexe et à stratification particulière, s'installe dans ce milieu faisant naître des liens de dépendance nombreux dans cet ensemble (Dajoz, 2002).

Pour les forêts composées de résineux à savoir les pineraies, les cédraies ...ect, Les chenilles processionnaires comptent parmi les principales contraintes menaçants ces plantations qu'elles soient naturelles ou reboisées. La processionnaire du pin est une larve qui devient un papillon de nuit une fois adulte, le *Thaumetopoea pityocampa* est inféodé aux résineux de la région méditerranéenne (Demolin *et al.* 1994).

En Algérie, le barrage vert est sa limite sud. Ce défoliateur est présent dans l'ensemble des forêts résineuses, de pin et de cèdre. On désigne sous le nom de chenille processionnaire, des chenilles grégaires arboricoles qui construisent des nids de soie leur servant de refuge collectif et qui se déplacent en procession de nymphose. Elles appartiennent à la famille des Notodontidae, d'intérêt écologique considérable car ses ennemis naturels participent au maintien de la chaîne trophique dans l'écosystème et rendent le sol plus fertile. Le genre *Thaumetopoea* renferme à lui seul 9 espèces (Dajoz, 2002).

2. Position Systématique et aire de répartition de *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff. (Lepidoptera, Notodontidae)

Thaumetopoea pityocampa Den. & Schiff. fait partie de l'ordre des Lépidoptères, de la famille des Notodontidae et de sous-famille des *Thaumetopoeinae* (Dajoz, 2002).

Thaumetopoea est l'unique genre de la famille des Thaumetopoeidae représenté à lui seul par 9 espèces de processionnaires phytophages d'où son nom (Thaumeto = vénérer, poea = herbe). Ces espèces peuvent coexister localement et sont difficiles à distinguer malgré les différences morphologiques trophiques, et comportementales qui existent entre elles. Il s'agit de : *T. pityocampa* (Schiff.), *T. solitaria* (Freyer.), *T. processionea* (Linneo.), *T. bonjeani* (Powell.), *T. pinivora* (Treitschke.), *T. herculeana* (Rambur.), *T. jordana* (Staudinger), *T.*

wilkinsoni (Tams.), *T. cheela* (Moore). De nombreuses études de ces dernières sont menées pour caractériser leur évolution phylogénétique et caractériser les différents clades (Agenjo, 1941 ; El Yousfi, 1989 ; Riviere, 2011). Selon Sebti (2015), la confusion taxonomique la plus répandue en méditerranée est celle de *T.pityocampa* et *T.wilkinsoni* qui prêtent à confusion au vu d'une interfécondité possible entre les deux espèces en plus de la similitude qui existe entre leurs phéromones sexuelles.

En Algérie et au Maroc, il était difficile de distinguer entre *T.pityocampa* et *T.bonjeani* du fait qu'elles peuvent vivre sympatriquement sur le cèdre de l'Atlas même si la spécification de la plante hôte demeure un critère déterminant dans la spécialisation de ce phytophage (Demolin *et al.* 1994).

Thaumetopoea pityocampa Den. & Schiff. est l'un des plus grands ravageurs forestiers. Elle a été décrite par Denis & Shiffermuller 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* (Agenjo, 1941).

La processionnaire fait partie de :

La classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Thaumetopoeidae

Genre : *Thaumetopoea*

Espèce : *pityocampa*

Noms communs :

Pine processionary (anglais) ;

Procesionaria del pino (espagnol) ;

Processionnaire du pin (français).

Son aire s'étend de l'Europe centrale et méridionale jusqu'en Afrique du nord et au Proche-Orient (Figure 07). Elle est présente dans le bassin méditerranéen et en l'occurrence, dans les forêts de pin et de cèdre. La France constituait la limite nord de son aire d'extension et en Algérie, le barrage vert délimite son extension sud (Zamoum, 1998 et 2002). Son impact est étroitement lié aux paramètres climatiques (température et ensoleillement). En effet, Demolin *et al.* (1996), Goussard *et al.* (1999), Hodar *et al.* (2003), Battisti *et al.* (2005), et

Roques (2014) évoquent et confirment par la suite, une progression des populations de l'espèce en altitude vers des latitudes Nord suite aux changements climatiques.

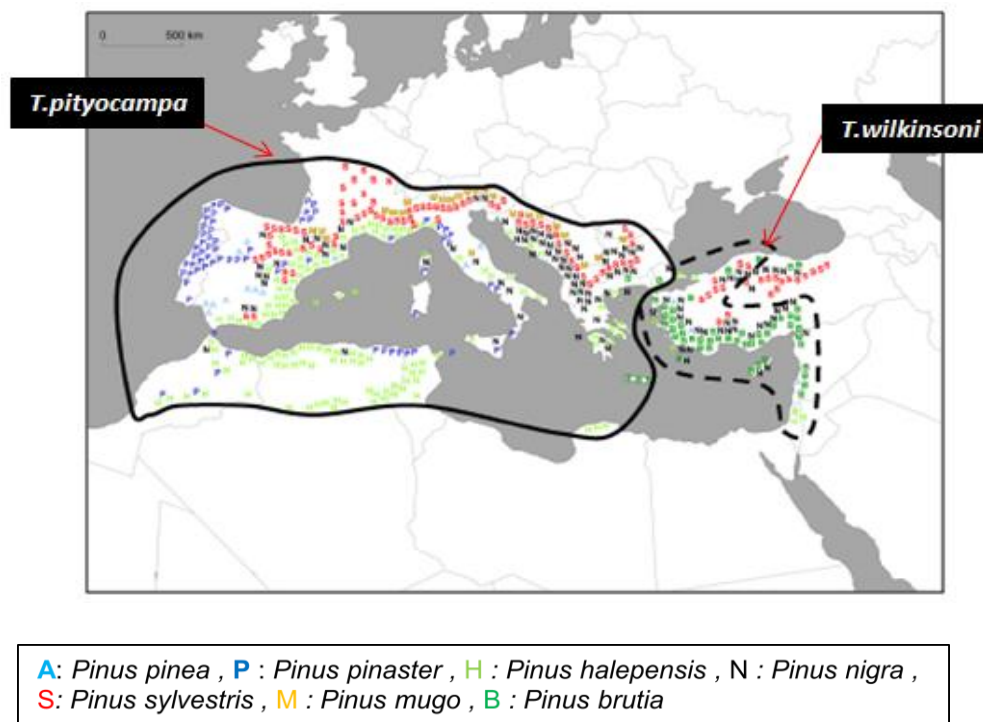


Figure 07 : Aire de répartition de *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea wilkinsoni* en relation avec leurs plantes hôtes (Kerdelhué *et al.* 2009).

3. Cycle de développement de l'insecte

Le développement de *Thaumetopoea pityocampa* s'effectue durant un cycle annuel qui comprend deux phases se déroulant dans deux strates distinctes, l'une aérienne réalisée sur l'arbre et qui correspond au prend-off et au développement larvaire, l'autre c'est une vie sous terraine caractérisée par l'évolution larvaire des dites : pré-nymphose et nymphose (Huchon et Demolin, 1970 ; Martin et Bonnet, 2007 ; Roques, 2014).

Le cycle de développement de la processionnaire est variable et peut s'étendre sur plusieurs années selon les conditions écologiques du milieu, à savoir : le type de climat et de l'altitude considérée (Imbert, 2012).

Ce ravageur à comportement grégaire, présente cinq stades larvaires (L1 à L5). Les larves, généralement en (L3), recherchent l'endroit le plus exposé au soleil sur l'arbre pour tisser un inter-nid. Un tel abri assure la cohésion du groupe et joue le rôle de radiateur solaire (Demolin, 1969b). La procession coïncide avec les périodes durant lesquelles les chenilles L5

arrivent à maturité et migrent à partir de l'arbre hôte vers le sol pour effectuer la nymphose et atteindre le stade adulte. Les adultes émergent en été et les femelles émettent une phéromone sexuelle, de sorte que l'accouplement est immédiatement suivi d'une ponte. Le développement embryonnaire dure de 30 à 45 jours. Après éclosion, les larves grégaires se développent en hiver et construisent des nids sur les arbres pour obtenir une bonne insolation (Demolin, 1969b ; Zamoum, 1998).

3.1 Chronologie des écophases de la processionnaire du pin

a) Les pontes

En quête de plante hôte pour pondre des œufs, la femelle peut parcourir des distances de plusieurs kilomètres de son lieu d'accouplement ce qui ne constitue pas un critère pour le choix de l'hôte (Demolin, 1969a). Lors de l'installation des œufs, la femelle s'intéresse au diamètre des aiguilles avec une préférence pour les aiguilles émettant des substances volatiles tels que le limonène (Tiberi *et al.*, 1999). Cependant, de nombreuses causes, notamment, la densité et la qualité des aiguilles peuvent intervenir et entraîner la malformation des pontes (Demolin, 1969a). Dulaurant (2010) met en exergue l'hypothèse de « barrière physique » à la perception de l'hôte que peut constituer la diversité des essences forestières dans les peuplements naturels contrairement aux monocultures.

La femelle de *T.pityocampa* pond en effet des œufs sphériques sur les aiguilles, les rameaux et parfois les cônes des arbres qu'ils soient proches ou ceux des autres territoires (Gachi, 1996). Elle ne dépose ses œufs sur d'autres essences que le pin qu'en ultime recours. Ces œufs pondus sont recouverts d'écailles provenant de l'extrémité de l'abdomen de la femelle, ces écailles sont de couleur gris argentée à brun jaunâtre, et brillants (Demolin, 1969a).

b) Le développement larvaire

Le développement larvaire s'effectue en 5 stades. Après l'éclosion (Juillet-Septembre), les chenilles d'une même colonie coexistent en groupe tout au long de leur évolution (Devkota et Schmidt, 1990). Ce gréganisme est indispensable à leur survie. Pendant les premiers stades, les larves changent fréquemment d'endroit à la recherche de la nourriture (Demolin, 1965).

Les cinq stades larvaires se distinguent par des différences dans les dimensions de la capsule céphalique, la taille (longueur et diamètre), et la quantité des poils de soie.

Les L1 sont de 3mm de long, et de couleur vert pomme terne. Ces larves ne présentent leur aspect définitif qu'après la seconde mue pour acquérir 5 cm de longueur, une couleur brun-roux et des soies latérales blanches (Demolin, 1969b ; Zamoum, 1998, Sebti, 2015).

Le prés-nids constitue une période ambulatoire entre l'éclosion et les premiers froids, édifié par les chenilles des trois premiers stades sur les aiguilles (Dajoz, 1998) où resteront les exuvies des premiers stades après une dizaine de jours pour évoluer 20 jours plus tard au second stade. Pendant les mues de chaque stade, les chenilles cessent de s'alimenter.

Au troisième stade, les poils urticants organisés par paires sur le côté dorsale pour être libérés en cas de déplacement ou de danger. Ultérieurement, une période de nid d'hiver durant laquelle la colonie reste à un emplacement fixe jusqu'à la maturité des chenilles (Demolin, 1969b). Le nid d'hiver tissé sur la partie la plus ensoleillée de l'arbre leur confère de la chaleur pour les derniers stades (Demolin, 1969b).

La durée des stades larvaires dépend du climat car plus la période hivernale est longue, moins la vitesse de croissance des larves est accélérée (Demolin, 1971). Une baisse d'énergie débute en fin de développement larvaire quand les chenilles cessent de se nourrir en amont de leur procession de nymphose avant leur passage en chrysalides diaposantes (Zamoum, 1998).

c) Les processions de nymphoses (la pré-nymphose)

Lors des processions de nymphose (février-mai), les chenilles peuvent parcourir jusqu'à 40m. Les larves issues de la même ponte quittent l'arbre pendant ce temps pour se rendre jusqu'au lieu de nymphose, en se dirigeant vers une zone éclairée à la recherche d'un sol meuble et assez ensoleillé. Ces larves peuvent s'enfouir 5 à 20 cm en profondeur, provisoirement ou définitivement jusqu'à effectuer la nymphose (Demolin, 1971 ; Dajoz, 1998).

Si le climat est particulièrement chaud lors des processions, les chenilles peuvent exceptionnellement s'enterrer dans les clairières, en bordures ou en sous-bois (Huchon et Demolin, 1970). Après l'enfouissement, les chenilles peuvent ressortir durant cette période pour chercher une zone plus propice si toutefois les conditions d'espace et de température ne sont pas réunies (Sebti, 2015).

d) Phase souterraine (La nymphose)

Les chenilles enfouies dans le sol se nymphosent aussi en groupe (Mars-Juillet) en arrêtant

leur développement dans des cocons individuels, serrés les uns contre les autres. Ces cocons de nymphoses sont blanc-ocres, et ovales (Sebti, 2015).

Durant le mois qui précède l'émergence des adultes, la chrysalide complètement formée (brun-rouge, 7-14 mm de large) entre en diapause obligatoire.

En effet, la diapause est marquée par l'arrêt de développement, sa durée n'est pas définie car elle est en fonction du développement larvaire. En fin de diapause, le cocon porteur du futur adulte retrouve son activité métabolique pour la constitution de ce dernier pendant environ un mois (Huchon et Demolin, 1970). Lors de la morphogenèse, les températures peuvent impacter la diapause et la prolonger jusqu'à 5ans (Markalas, 1989).

Selon Billiotti et *al.*, (1964) une longue diapause est très peu probable en zone méditerranéenne mais avoisine les 100% en Corses, chose qui peut présenter une contrainte à la lutte contre l'insecte.

e) L'émergence des adultes

L'émergence marque le début d'un cycle nouveau, elle est régie par différents facteurs tels que l'altitude, la latitude et les conditions climatiques (Battisti et *al.*, 2005). Elle se déroule à l'époque la plus favorable pour garantir la survie de la descendance, généralement entre Juillet et Aout. A cet effet, la diapause qui la précède assure un rythme annuel précis. Après un mois de sa constitution, l'adulte serait prêt à sortir de la terre (Huchon et Demolin, 1970).

Les mâles sont les premiers à sortir d'environ une demi-heure avant les femelles, les imagos quittent le cocon via des crêtes sclérifiées (canthus) situées sur leur tête et qui permettent de perforer l'enveloppe qui protège la chrysalide (Demolin, 1969a). Quelques minutes après la sortie de la terre, les papillons cherchent un lieu surélevé pour déployer leurs ailes. L'activité des papillons est nocturne. La nuit, les femelles cherchent une zone de repos et se placent quelques temps après en position d'appel émettant une phéromone spécifique (la pityolure), ce qui permettra l'accouplement pendant presque une heure (Guerrero *et al.*, 1981).

4. Impact des facteurs climatiques sur le développement de l'insecte

Le climat impacte clairement les gradations de l'insecte tels que les températures minimales du mois de janvier ou l'insolation annuelle (Demolin, 1987 ; Imbert, 2012).

De nombreux travaux portent sur l'impact du climat sur la chenille processionnaire et sont rapportés dans le recueil de Roques (2014).

Ces données évoquent la migration de l'insecte vers le Nord et son extension vers des altitudes plus élevées suite aux changements climatiques (Battisti *et al.* 2005).

4.1 Température :

Des seuils thermiques affectent directement la survie des populations de la processionnaire du pin, à savoir : 32°C comme limite supérieure et -16°C comme limite inférieure. Cependant, elles peuvent également compenser les variations climatiques brutales grâce aux nids d'hiver (Demolin, 1969b ; Battisti *et al.*, 2005).

Les fortes ou les basses températures peuvent provoquer chez les larves des perturbations physiologiques marquées quelquefois par l'arrêt de leur alimentation nocturne conditionnée habituellement par une série de températures journalières supérieure à 9°C dans les nids et à 0°C dans l'air (Demolin, 1969b).

Les températures supérieures (32°C) sont défavorables à l'évolution des larves et à l'incubation des pontes pouvant engendrer l'échec des éclosions et la mortalité des larves, cette dernière en est aussi la conséquence des températures inférieures (-16°C) (Battisti *et al.*, 2005 ; Imbert, 2012).

En période de processions, le sol adéquat exigé est d'une température comprise entre 10°C et 22°C. Le facteur thermique influence aussi l'émergence des adultes (chrysalides), cette dernière est généralement retardée dans les régions à été chaud où les températures mensuelles dépassent 25°C. En outre, et pour résister pendant l'hiver aux températures très basses (-10°C) les larves doivent être assez évoluées, aidées par l'effet de masse, et conduisant les adultes à pondre très tôt (Demolin, 1969a ; Imbert, 2012).

4.2 L'insolation

La photopériode impacte significativement le cycle de *Thaumetopoea pityocampa*, les chenilles processionnaires sont d'alimentation nocturne. À la tombée du jour, au retour des basses températures, elles se regroupent pour digérer (Demolin, 1969b).

Pendant le développement larvaire dans les nids d'hiver, l'insolation stimule l'évolution des larves, en compensant les basses températures surtout celle des périodes les plus froides. Ce paramètre, aide les chenilles à effectuer leurs mues rapidement voire supporter les températures très basses (Roques, 2014).

L'air de répartition de la chenille processionnaire du pin voire son absence au delà du nord de la France révèle que ce phytophage s'installe uniquement dans les zones où la moyenne d'insolation annuelle est supérieure à 1800 heures (Huchon et Demolin, 1970).

5. Influence des facteurs biotiques sur la chenille processionnaire

a) Les plantes hôtes

Concernant le choix de l'arbre hôte, Devkota et Schmidt (1990) évoquent des préférences en présence de plusieurs essences. Dulaurant (2010), aborde des niveaux d'infestation inférieurs en présence d'une diversité d'essences forestières. Selon Sebti (2015), l'insecte s'attaque à toutes les espèces de pins en méditerranée et occasionnellement aux cèdres.

Son comportement alimentaire a permis donc de lister sa gamme de nutrition et qui se résume selon Martin (2005) comme suit : Pin noir d'Autriche, Pin laricio de Corse, Pin laricio, Pin maritime, Pin sylvestre, Pin d'Alep, Cèdre de l'Atlas, Cèdre du Liban.

Le diamètre des aiguilles est suggéré être à l'origine de cette spécialisation par plante-hôte car il s'agit du premier critère de ponte et de développement larvaire, raison pour laquelle la survie des chenilles sur *le Pinus sylvestris* et le *Pinus nigra* est supérieure que sur le *Pinus pinaster* et *Pinus halepensis* (Montoya, 1984).

Cedrus atlantica ravagé en Afrique n'est pas attaqué en France (Geri, 1980). Au nord de la Grèce, les larves se sont développées mieux sur *Pinus radiata* que sur *Pinus pinea* (Avtzis, 1986). Le choix de l'hôte dépend aussi de la présence de substances volatiles émanant des arbres, comme le limonène ou le taux de nitrogène (Tiberi *et al.*, 1999 ; Hodar *et al.*, 2003).

b) Les parasites et les prédateurs de la chenille processionnaire

Biliotti (1958) a listé un cortège de parasites et de prédateurs qui s'attaquent à *T.pityocampa* en milieu forestier outre que la mésange bleu consommatrice de chenilles. Ces auxiliaires ont été aussi recensés par plusieurs auteurs (Biliotti *et al.*, 1965; Cadahia *et al.* , 1967 ; Demolin

& Delmas, 1967 ; Demolin, 1969 ; Du Merle, 1969 ; Zamoum, 1998 ; Bouchou, 2015). Ces parasites diffèrent selon leur niche écologique (œufs, chenilles, chrysalides ou papillons) et peuvent causer des incidences sur les populations de l'insecte. Parmi les prédateurs naturels on compte un bon nombre d'Hyménoptères, et de Diptères parasites mais le grand calosome demeure le principal prédateur des chenilles (Dajoz, 2002), c'est un Tenebrionidae vivant ordinairement sur le sol parasitant par la larve de ce Coléoptère qui monte parfois aux arbres, infestant jusqu'à 100 % ses proies. Des taux de parasitisme divers peuvent être constatés mais en parallèle, une régulation naturelle des populations de *T.pityocampa* est possible (Schmidt *et al.*, 1999 ; Way *et al.*, 1999).

6. Dégâts causés par l'insecte

6.1 Incidence des chenilles sur les arbres

Dès l'éclosion, la processionnaire du pin consomme les aiguilles de son hôte. Les larves des stades L1 et L2 (premiers stades larvaires) consomment généralement la sève des aiguilles qui se trouvent juste à proximité des pontes et engendrent des dégâts reconnaissables de loin via l'effet de rouille qu'on peut distinguer à partir des bouquets d'aiguilles décolorés et secs (Sebti, 2015).

Si les larves du premier et du deuxième stade présentent un appareil buccal non développé, du troisième au cinquième stade elles consomment entièrement les aiguilles. Cette défoliation provoque des pertes de croissance par diminution du pouvoir photosynthétique et les sujets attaqués deviennent alors très sensibles aux insectes xylophages et aux maladies, privant l'arbre de toute une partie de ses capacités de photosynthèse, il en résulte une perte de croissance importante en cas de défoliations répétées.

Une colonie peut consommer environ 1,5 à 2 Kg (en poids sec) ce qui est suffisant pour mettre à nu un arbre de pin de 20 ans (Fraval, 2007).

Parmi les défoliations répandues, nous citons : une réduction de croissance en altitude de 60% chez *Pinus nigra*. une pertes en croissance et en volume sont de 14 et 33%. de *Pinus radiata* dans les jeunes plantations, *Pinus nigra* perd environ 45% de son volume en 50 ans, une réduction de la croissance de la circonférence de 30% après une attaque sur *Pinus pinaster*, une réduction de la croissance radiale est probable Chez les *Pinus nigra*, (Calas, 1897 ; Cadahia & Insua, 1970 ; Bouchon & Thot, 1971 ; Lemoine, 1977 ; Sebti, 2015), En Algérie, *T.pityocampa* nous fait perdre jusqu'à 100.000 ha dans les reboisements (DGF,

2014). Toutefois l'intensité des dégâts diffère en fonction du type de peuplement. Les taux d'infestations sont remarquables dans les rebisement et les lisières.

Le coût des traitements biocides à appliquer contre la processionnaire du pin constitue la seconde contrainte redoutée à la suite de son installation sur différents arbres hôtes.

6.2 Incidence des chenilles sur l'Homme et les animaux domestiques

A partir de son 3ème stade de développement de *T.pityocampa*, l'insecte est muni de petits poils urticants microscopiques organisés en miroirs sub-cutanés. Ces poils sont libérés dans l'air quand la chenille se sent menacée ou lors de son déplacement. Ils peuvent aussi être déplacés à moyenne distance par le vent (Devkota et Schmidt, 1990 ; Martin, 2005). Chez l'homme, le contact direct avec les poils urticants disséminés par le vent est responsable de démangeaisons plus ou moins graves suivant la sensibilité des individus (Figure 08).

Quatre voies d'introduction de ces poils sont définies : le contact cutané, le contact oculaire, l'inhalation et l'ingestion. Quelque soit le mode de la contamination, les poils urticants pénètrent alors soit dans l'épiderme soit dans les muqueuses pour s'y fixer et libérer la substance urticante surtout quand on se gratte (Devkota et Schmidt, 1990). Les troubles constatés peuvent être, cutanés, conjonctivite, respiratoire ou digestif formant parfois des muqueuses de la bouche et des intestins (Martin, 2005 ; Bonamonte *et al.*, 2013). Au même titre que l'homme, quelques animaux domestiques peuvent présenter des allergies (démangeaisons, problèmes respiratoires, ophtalmologiques). Les chiens et les chevaux sont les plus vulnérables aux risques causés par l'insecte.



Figure 08: Les éruptions cutanées causées par *Thaumetopoea pityocampa* Den.& Schiff. chez les humains (Originale ,2013).

7. Contrôle des populations de la processionnaire du pin

Plusieurs méthodes peuvent être préconisées contre *T. pityocampa*: biologique, mécanique, chimique et sylvicole. La lutte contre la Chenille processionnaire du pin ne permet pas d'éviter une nouvelle infestation, mais sert à protéger les jeunes peuplements, à limiter localement les populations en fonction de leur biocénoses (Imbert, 2012). Elles tiennent compte des surfaces infestées et des stades de développement ciblés.

➤ Lutte mécanique ou échenillage biologique

Les manchons d'œufs sont en effet repérables grâce à la couleur de leur chaton gris caractéristique à l'extrémité des rameaux, et sont souvent localisées sur les branches basses de l'arbre (Du-Merle, 1988).

En milieux forestiers, l'intervention par la récolte des pontes s'effectue en été avant l'éclosion des œufs. L'opération peut donc s'effectuer en coupant les branches infectées et les brûler.

Aussi, les prés nids sont perceptibles au vue de leur aspect. Dès l'apparition des pré-nids, il est possible d'appliquer la même méthode.

➤ Lutte chimique

Les préparations à base de Diflubenzuron constituent un régulateur de croissance qui peut perturber la mue larvaire (Martin, 2005). Les produits phytosanitaires chimiques sont peu utilisés contre la chenille processionnaire du pin. Selon Loudhaief (2018), ces produits de synthèse sont de moins en moins utilisés.

➤ Lutte biologique : La prédation par les mésanges

La mésange bleue n'étant pas sensible aux poils urticants, c'est un excellent prédateur de chenilles processionnaires. Dajoz (2002) décrit les mésanges autant qu'espèces d'oiseaux sédentaires qui se nourrissent d'insectes dont la processionnaire du pin. L'implantation des mésanges par des nichoirs permet de réduire les populations de l'insecte (Martin et al., 2001).

➤ La lutte microbiologique

L'utilisation d'insecticides biologiques à base des toxines Cry1 de *Bacillus thuringiensis* couvre actuellement presque 100% des surfaces traitées contre la processionnaire du pin (Silvy, 1992 ; Loudhaief, 2018).

Bacillus thuringiensis est une bactérie à Gram positif qui produit des toxines protéiques insecticides durant la phase de sporulation de la bactérie. L'ingestion des toxines présentes à la surface du feuillage conduit à la destruction du tube digestif puis la mort des chenilles mais seuls les trois premiers stades larvaires sont généralement visés par ce type de traitement (Martin, 2006 ; Martin et Frerot, 2006). *Bacillus thuringiensis* est également efficace contre les chenilles du quatrième et le début du cinquième stade (Martin et Mazet, 2001). L'application du produit se fait généralement par traitement aérien au cours des premiers stades larvaires (Martin, 2006 ; Zamoum, 2008). Elle s'effectue avant les processions (Décembre à Février).

➤ Lutte semiochimique par l'utilisation des phéromones sexuelles

Cette méthode permet de réduire la descendance des adultes par la diminution de la fécondation (Martin et Mazet, 2001). La phéromone est utilisée par diffusion à l'intérieur de pièges pour une capture massive des mâles de la processionnaire ou pour un suivi de la dynamique de ses populations (Zamoum, 1998).

➤ La lutte sylvicole

La lutte sylvicole est une méthode de lutte naturelle et efficace (Martin, 2005). Elle est fondée sur des pratiques sylvicoles, cette méthode consiste à planter des essences d'arbres qui ne sont pas sensibles à l'insecte considéré (Sebti, 2015).

Les peuplements forestiers mélangés subissent en général moins de dégâts d'herbivores que les monocultures (Herve, 2006), ils constituent selon Dulaurant (2010) et Dulaurant *et al.* (2012) une sorte de barrière physique à l'adulte en diminuant son pouvoir olfactif, rendant difficile la reconnaissance de l'hôte. La diversité d'essences forestières et son impact sur la déviation du comportement de l'insecte constitue donc un moyen sans risque environnemental et peut engendrer la montée des biocénoses au détriment de l'insecte en favorisant la présence de son cortège parasitaire.

Chapitre II
Zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

1.1 Localisation de la région d'étude « Région de Djelfa »

La région de Djelfa est une zone steppique et pastorale, localisée entre 1000 et 1500m d'altitude, à près de 300 km au sud d'Alger ; c'est une zone de transition entre les hautes plaines steppique de l'Atlas Tellien et les débuts désertiques de l'Atlas Saharien, limitée par : la wilaya de Médéa au Nord, la wilaya de M'sila au Nord-Est, la wilaya de Tiaret au Nord-Ouest, à l'Est par la wilaya de Biskra, au Sud-Ouest par la wilaya de Laghouat et au Sud-Est par la wilaya de Ouargla (Figure 09).

Djelfa est connue pour ses déficits hydriques et la pauvreté de ses potentiels édaphiques, elle bénéficie de 300 à 400mm de précipitations. Ces conditions extrêmes sont adéquates à un patrimoine forestier typique mélangé entre forêts naturelles et reboisements (Kadik, 1983).

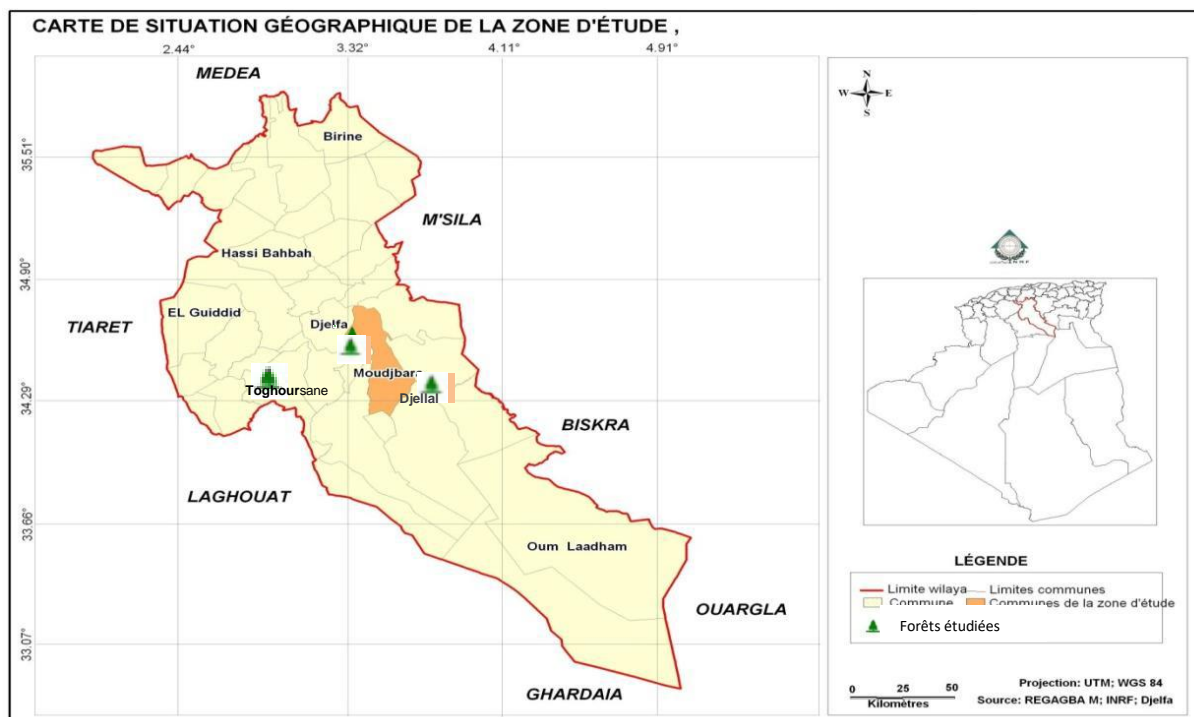


Figure 09 : Situation géographique de la région de Djelfa. (Sba et Benrima, 2017)

1.2. Description des peuplements étudiés

1.2.1 Reboisements

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux peuplements de *Pinus halepensis* et de *Cupressus dupreziana* qui se trouvent dans le reboisement de Moudjbara au Sud de la région d'étude.

Comme barrière à la désertification et pour une reconstitution du complexe climacique, Djelfa a bénéficié d'un programme nommé « barrage vert », qui consiste en un reboisement de *Pinus halepensis* s'étendant sur 1500km de longueur et 20km de largeur par endroits recouvrant 60.000 ha de plantation, sous forme de bande le long des routes Mouillah et Ain Ouessara (Zaamoum, 1998). Ces arbres sont jeunes, leur plantation a débuté en 1970 et ils ont fait l'objet de plusieurs reboisements par la suite. Le reboisement le plus important a été effectué à Moudjbara avec plus de 13.000 hectares (D.G.F., 2004). Ce reboisement est caractérisé par un relief plat légèrement vallonné (Brague, 2007), situé dans une enclave à relief relativement homogène avec un taux de recouvrement très variable entre 10 et 100% (Derouèche, 2015).

Le premier peuplement forestier retenu pour cette étude est donc celui de *Pinus halepensis* de la forêt artificielle de Moudjbara (34°38'23"N/ 003°18'56" E) pour étudier la bio-écologie de ses arbres, et leurs biocénoses, notamment le modèle de *T.pityocampa* qui pillule dans ces formations forestières, situés à 1200 m d'altitude, à 4 km au sud-est de Djelfa (Fig.10). Ils sont limités au sud par les monts de Djellal Chergui, au nord par la ville de Djelfa, à l'ouest par la route nationale n °1 et à l'est par d'importantes nappes alfatières (Zamoum, 1998). A Moudjbara, le dernier reboisement (398 ha) effectué a eu lieu en 2014. La hauteur des arbres varie entre 1,70 mètre en relief et 5,30 mètres en dépression.

A partir de 1980, de faibles superficies ont été peuplées avec d'autres essences que *P. halepensis*, on y retrouve aussi le cyprès de l'Arizona *Cupressus arizonic*, le cyprès du Tassili *Cupressus dupreziana*, le Févier d'Amérique *Gledichsia triacanthos*, l'Olivier de Bohême *Eleagnus angustifolia* et le Pistachier de l'Atlas *Pistacia atlantica* (Kadik, 2011).

Par ailleurs, le deuxième peuplement retenu pour notre étude est celui de *Cupressus dupreziana* (espèce introduite dans la région) afin de mieux comprendre la biocénose de cet arbre ainsi que le comportement de *T.pityocampa* dans cette même forêt.

Moudjbara a reçu vers 1973 des plants du cyprès du Tassili. Ce dernier, a montré que la croissance des arbres est faible et que les potentialités de l'espèce ne se sont pas exprimées, en

raison d'un pâturage intensif Sahli (2007). En outre, cette espèce introduite à Moudjbara ne semble pas écartée du danger menaçant le barrage vert en termes de *T.pityocampa* car des larves de cette dernière ont été signalées en 2011 sur le *Cupressus dupreziana* A. Camus dans la région de Djelfa (Figures 13, 14).

1.2.2. Forêts naturelles

Dans ce travail, nous avons retenu deux forêts naturelles au Sud de Djelfa (Figure 10) « Djellal Chergui » et « Toghersane ».

Dans la commune de Zakkar, la forêt Djellal Chergui (figure 11) est située au Sud-Est de Moudjbara, elle est composée principalement de *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* et de *Pinus halepensis* âgés pour la plupart de plus de 100 ans (Derouèche, 2015). Quant à la forêt de Toghersane (Figure 12), elle est située au Sud-Ouest de Moudjbara, c'est une pinède naturelle où *Pinus halepensis* est associé en abondance à des sujets de chêne vert *Quercus ilex* et d'autres formations végétales composant une forêt un peu moins dense et à relief plat au bord d'une route goudronnée.

2. Choix des différentes stations d'étude

Cette région a été choisie vu son importance géographique d'une part, car elle est la limite entre l'ossature de l'Atlas Saharien au Sud et la région asylvatique des hauts plateaux au Nord. D'autre part, de nombreuses forêts de Djelfa couvrent plus de 13000 ha du barrage vert, constituant un maillon important dans ce dernier.

Ces plantations représentent la limite Sud aux chenilles de *T.pityocampa* qui demeurent la première menace mettant en péril ses reboisements (Zamoum, 1998 ; Guit, 2015). Ce ravageur est plus présent dans les pineraies reboisées comparativement aux forêts naturelles.

Pour mener à bien un recensement régulier de la flore et de la faune cohabitants avec *P.halepensis* et *C.dupreziana*, les forêts Moudjbara, Djellal et Toghersane, ont été choisies pour des raisons d'accessibilité car ce sont des peuplements rapprochés dans l'espace ; situés toutes au Sud de la région d'étude.

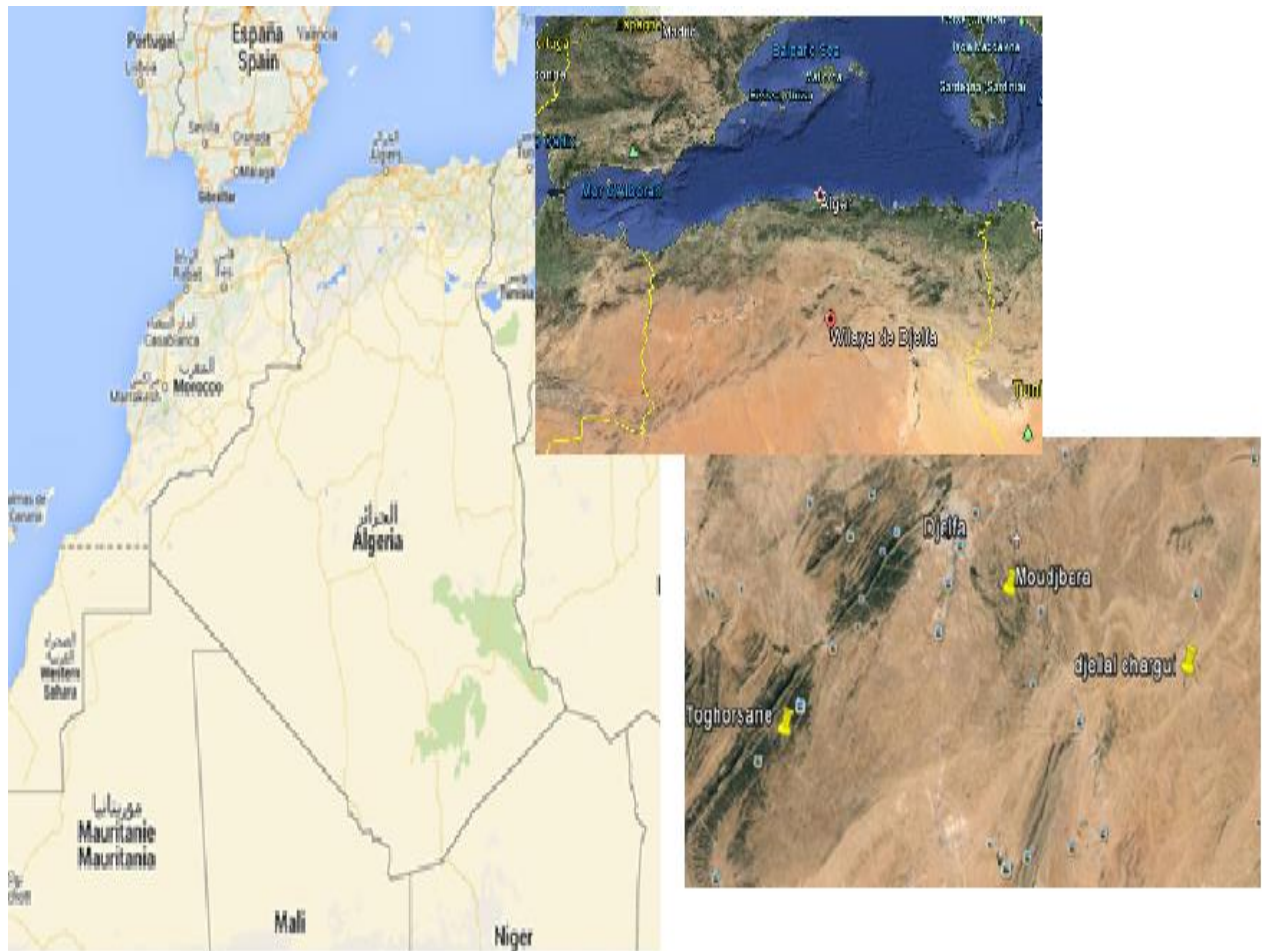


Figure 10 : Géolocalisation des forêts étudiées à Djelfa/ GoogleMap. (Originale, 2014)



Figure 11 : La forêt de Djellal Chergui (Originale, 2013)



Figure 12 : forêt naturelle de Toghersane (Original, 2013)



Figure 13 : Reboisement de *Pinus halepensis* Mil. à Moudjbara (Originale, 2013)



Figure 14: Reboisement de *Cupressus dupreziana* à Moudjbara (Originale, 2013)

3. Synthèse climatique

3.1 Température

La wilaya de Djelfa est caractérisée par des températures moyennes maximales élevées et par un grand écart thermique. Il ressort que les températures sont très variables, élevées en été et basses en périodes hivernales (figure 15). La moyenne des minima du mois le plus froid (m) varie de $-0,3^{\circ}\text{C}$ à $+0,2^{\circ}\text{C}$, et les températures maximales du mois le plus chaud (M) (du mois de juillet pour ces dix dernières années), elles sont approximativement comprises entre $32,15^{\circ}\text{C}$ et $33,43^{\circ}\text{C}$.

Généralement, l'hiver est caractérisé à djelfa par des températures plus basses que l'optimum requis par le pin d'Alep ($-0,8^{\circ}\text{C}$) (Djebaili, 1984).

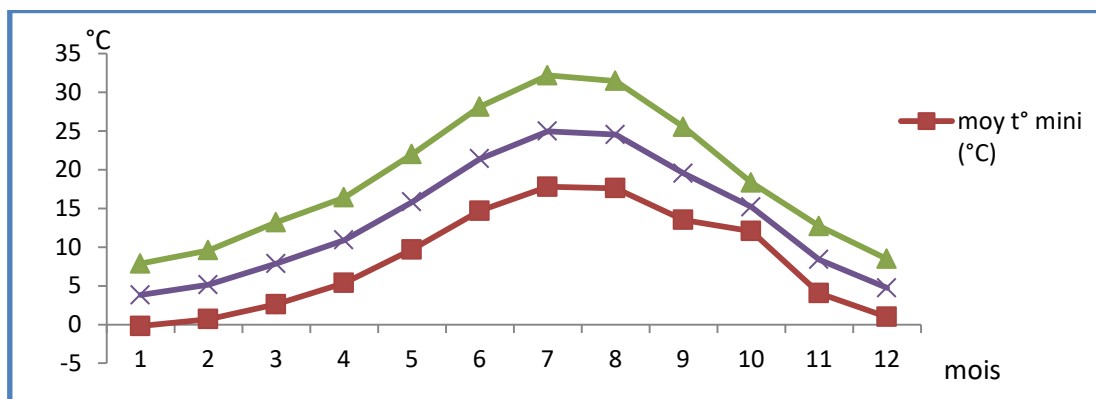


Figure 15: Moyennes des températures annuelles dans la région de Djelfa de 1982 à 2015.

3.2 Précipitations

La pluviosité moyenne annuelle est faible, varie de 35 à 58mm (figure 16), et sa répartition est irrégulière dans l'espace et dans le temps. Les pluies se caractérisent par leur brutalité et leur aspect orageux. Les pluies sont surtout concentrées en automne et en hiver.

Selon Aidoud (1989), les pluies d'hiver contribuent à maintenir l'humidité du sol alors que les pluies de printemps sont impliquées dans la phase de croissance, les pluies d'automne quant à elles ont un rôle important dans le cycle de vie annuel des espèces.

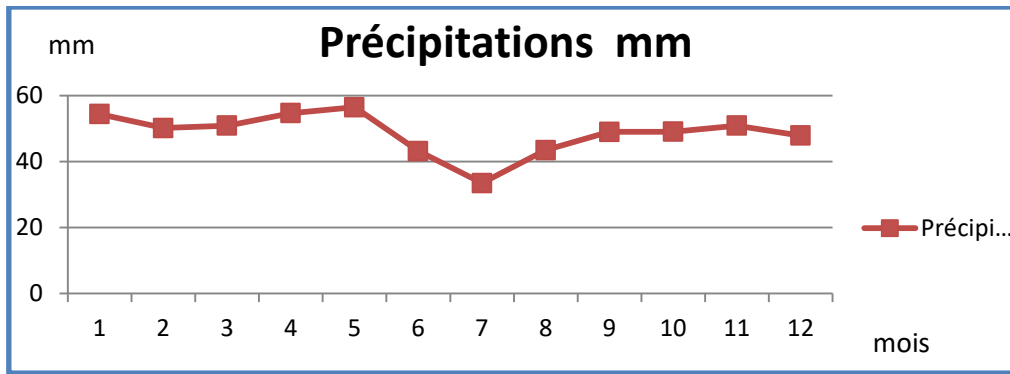


Figure 16 : Moyennes des précipitations annuelles dans la région de Djelfa de 1982 à 2015.

3.3 Vent

Djelfa est parcourue en hiver par des courants de vents glaciaux (vents du Nord) et en été par des courants (Sud) secs et chauds. Ces vents soufflants à plus de 3 m/s (figure17), sont redoutables et risquent de réduire à néant les pousses vertes du printemps. Les vents chauds et secs du Sud augmentent l'évapo-transpiration, desséchant la végétation (exemple des siroccos soufflant pendant 20 à 30 jours/an en moyenne) d'où l'humidité relative de l'air varie sensiblement en fonction des saisons (Annexe 02).

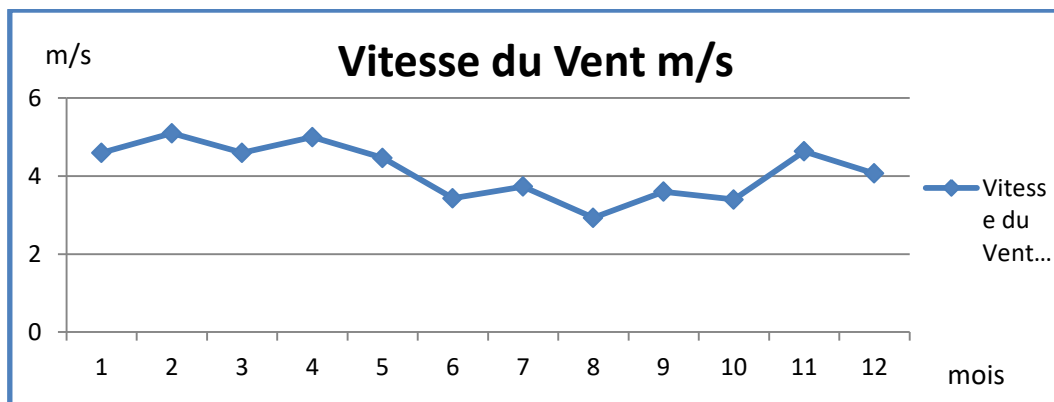


Figure 17 : Moyennes annuelles de la vitesse du vent dans la région de Djelfa de 1982 à 2015

3.4 Climagramme pluviothermique d'Emberger

Afin de situer l'étage bioclimatique auquel appartiennent les trois forêts étudiées (Moudjebara, Djellal, et Toghersane) nous avons projeté le quotient pluviothermique Q3 calculé à partir des données climatiques délivrées par la station météorologique de Djelfa

(voir annexe 01), et enregistrées durant un interval de temps allant de [1982-2015]. La projection du biotope étudié dans ce climatogramme sur la base du quotient pluviothermique est réalisée par la formule suivante : $Q3 = 3,43 \times P / (M - m)$

Q3 : Quotient pluviothermique d'Emberger

P : Moyenne des précipitations annuelles exprimées en mm.

M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud

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

Le quotient pluviothermique évalué pour une période de 33 ans est de $Q3=32,04$ (figure 18). Cette valeur confirme l'appartenance de Djelfa à un étage bioclimatique semi-aride durant une longue période incluant les années de la réalisation de ce présent travail de 2012 à 2015.

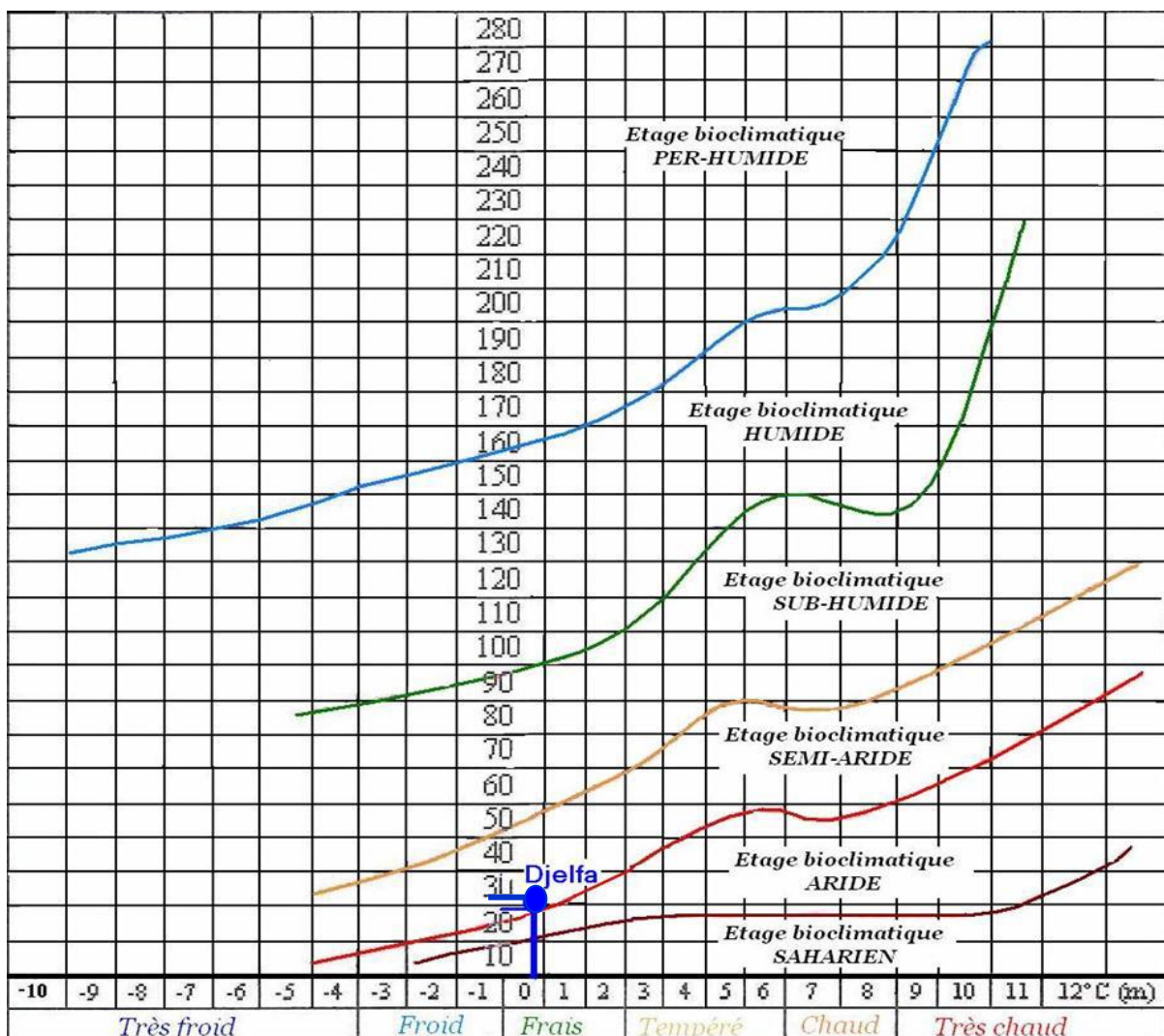


Figure 18 : Projection de la région d'étude dans le climatogramme d'Emberger de 33 ans [1982-2015]

En effet, d'après les données climatiques délivrées par la station météorologique l'ONM de Djelfa (Annexes 01,02,03,04), la région d'étude est caractérisée par des étés chauds et secs et des hivers frais, une amplitude de température moyenne annuelle supérieure à 20°C, une forte évaporation, et des précipitations caractérisées par leur faiblesse en quantité et par leur variabilité d'une année à l'autre. Ces données confirment donc que le climat est marqué par la continentalité.

3.5 Le régime saisonnier

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1955) nous renseigne sur le régime saisonnier du biotope à savoir la durée de la saison chaude et sèche, la saison froide et la saison de croissance.

Après la correction des données climatiques délivrées par l'office national de météorologie de Djelfa selon la formule de Djebaili (1984), nous avons établi un diagramme ombrothermique propre à chaque peuplement étudié car les quatre stations sont perchées sur des altitudes diverses .

Le schéma saisonnier est le calcul des quantités de précipitations par ordre décroissant de pluviosité. On indique chaque saison par sa première lettre : hiver H, été E, printemps P et automne A.

Bagnouls & Gaussen (1953) définissent la saison sèche comme étant l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P = 2T$). Dans notre travail, la lecture est faite directement sur le graphique.

Les diagrammes ombrothermiques tracés (Fig.19) ont permis de distinguer que la zone d'étude bénéficie d'un régime de précipitation de type PHAE à Moudjbara, Djellal et Toghoursane.

La station à *Pinus halepensis* de Moudjbara bénéficie légèrement de moins de précipitations [27,88mm- 50,87mm] et des températures plus ou moins élevées [4,66°C- 25,84°C] du fait que son altitude est différente des autres stations d'étude (1230 m). De même, la station avoisinante à *Cupressus dupreziana* dans la même forêt se trouve à 1258m d'altitude.

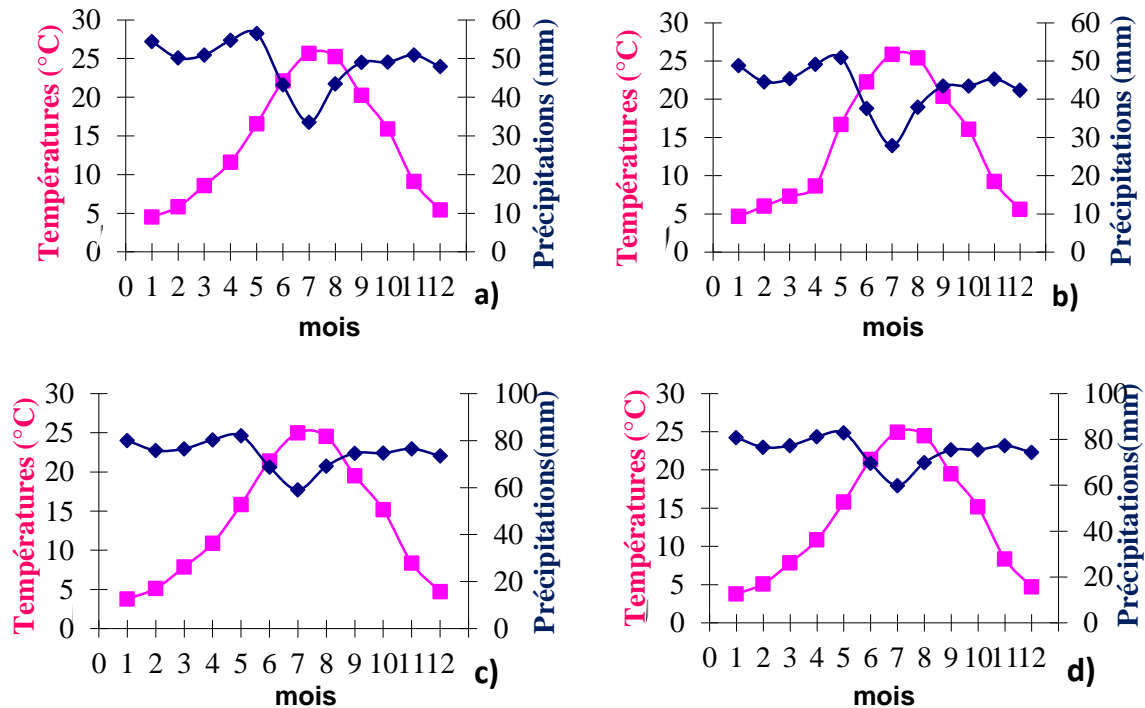


Figure 19 : Diagrammes ombrothermiques des peuplements étudiés (de 1982 à 2015).

a) : peuplement de *Pinus halepensis* à Moudjbara, b) : peuplement de *Cupressus dupreziana* à Moudjbara, c) : Pinède naturelle à Toghersane, d) : pinède naturelle de Djellal.

Bien que ce régime saisonnier soit favorable au développement d'une flore et d'une faune typique, la prospection de la zone d'étude montre la régression de ses formations végétales, se traduisant du point de vue biologique, par une chaméphytisation des espèces épineuses à faible intérêt économique. Ces espèces telles que *Astragalus*, *Atractylis*, *Carduncellus* sont délaissées par le bétail ainsi, elles envahissent les steppes à alfa dégradées. Cette dégradation peut s'observer aussi par une thérophytisation, dont les espèces produisent beaucoup de graines permettant la colonisation rapide des espaces libres.

Certes, ces espèces ne sont pas dépourvues d'intérêt pastoral mais outre leur faible contribution au tapis végétal, elles n'apparaissent qu'en saison favorable en l'occurrence au printemps (fig. 20) et leur cycle est très court.

La dynamique des populations végétales sous l'influence du climat impacte aussi la présence de divers autres êtres vivants dans le milieu. En effet, nous avons remarqué la présence des espèces de différents règnes au printemps, saison favorable ou saison de croissance tels que les lichens (Fig.21), les tortues grecques (Fig.22), et de nombreux insectes

et arthropodes. En effet, ce climat est propice pour le développement de *Thaumetopoea pityocampa*, un lépidoptère très redouté dans la région d'étude. L'insecte s'attaque surtout aux reboisements où ses répercussions sur les arbres sont graves.

Selon Demolin (1987), le climat impacte clairement les gradations de *T. pityocampa* tels que les températures minimales du mois de janvier ou l'insolation annuelle, ayant des seuils thermiques qui affectent directement la survie de ses populations.

Le facteur thermique influence aussi l'émergence des adultes, cette dernière est généralement retardée dans les régions chaudes où les températures mensuelles dépassent 25°C.

En outre, et pour résister pendant l'hiver aux températures très basses (-10°C) les larves doivent être assez avancées dans leur croissance car aidées par l'effet de masse, elles peuvent pondre très tôt.

Récemment, selon Battisti *et al.* (2015), il est admis que sous l'effet du réchauffement climatique ; les populations de *T. pityocampa* sont entrain de migrer vers le nord.

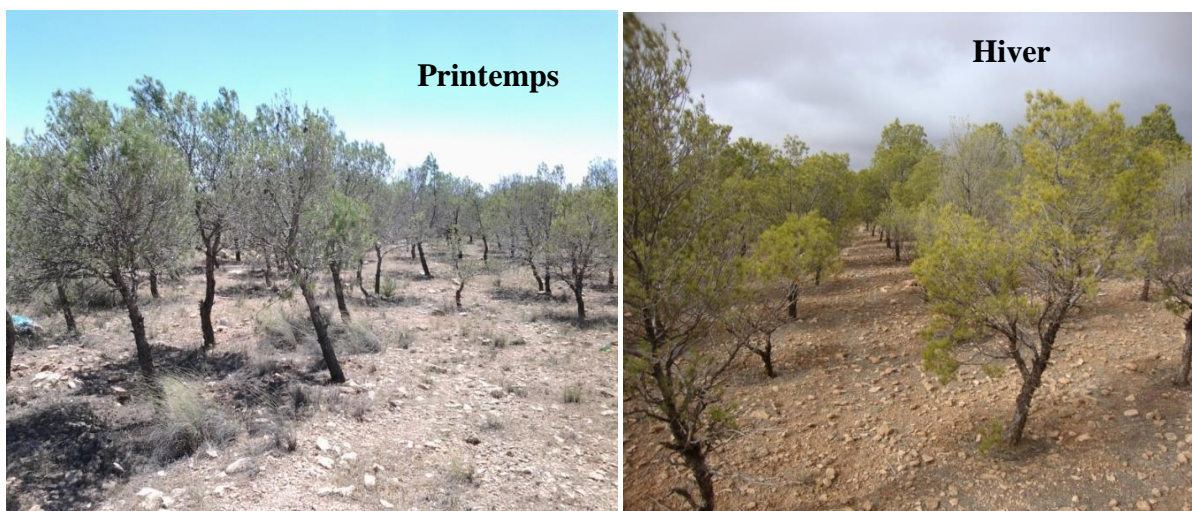


Figure 20 : Couvert végétal du reboisement de Pin (Moudjbara)



Figure 21 : Lichens de la forêt de Djellal au printemps (originale, 2013)



Figure 22 : *Testudo graeca* retrouvés dans la forêt de Djellal au printemps (originale, 2013)

Chapitre III
Matériels et méthodes

1. Analyse du sol

Des échantillons de sol sont prélevés au niveau des différentes stations étudiées (à raison d'un échantillon par station) afin de comprendre l'impact de la qualité du sol sur la répartition des espèces recensés dans les différents peuplements. Des analyses physico-chimiques de sols sont réalisées, à savoir :

- Le pH (mesuré par la méthode « extraction rapport 1/2.5 » (Aubert, 1976);
- La conductivité électrique (mesurée par « extraction rapport 1/5 ») (Aubert, 1976);
- Le calcaire total par la méthode gazométrique in Baize Bernard (1988).
- La matière organique par la méthode Anne (1945);
- La granulométrie (argiles, limons, sables) et la classification de la texture par le diagramme de USDA (Duchaufour, 1997).

2. La phytocénose

2.1 Méthode d'échantillonnage

Pour notre travail, nous avons suivi un échantillonnage mixte regroupant à la fois deux échantillonnages, subjectif et systématique. Pour l'étude qualitative de la végétation dans les forêts naturelles comparativement aux reboisements d'une part, et dans le reboisement de pin d'Alep comparativement au reboisement de *Cupressus dupreziana* d'autre part, nous avons adopté la méthode de l'aire minimale appréciée à 100m² (10m*10m) car en région méditerranéenne, l'aire minimale est de l'ordre de 100 à 400 m² dans les écosystèmes forestiers (Benabid, 1982 ; 1984 ; et 1985).

Effectivement, sur terrain nous avons remarqué qu'au-delà de 100 m² nous avons recensé les mêmes espèces végétales, cette répétition lors de notre estimation aire/espèces marque la limite de l'homogénéité de notre échantillon. Nous avons donc retenu cette aire minimale classique pour une comparaison équitable entre le reboisement de *Pinus halepensis* et le reboisement de *Cupressus dupreziana* qui n'occupe qu'une parcelle réduite abritant 86 arbres seulement répartis sur 4 rangées à Moudjbara.

Selon Gounot (1969) quand l'aire minimale est trop petite l'échantillon demeure incomplet et quand elle est trop grande il y a disproportion ou perte d'efficacité. En outre, Djebaili (1978) mentionne qu'une aire minimale de 100 m² est suffisante pour l'étude de la végétation dans les formations méditerranéennes, dans la steppe, et dans des formations végétales assez homogènes.

2.2 Le spectre biologiques des espèces inventoriées

Afin de connaître le type biologique de la végétation dans toute la zone d'étude, un spectre biologique a été établi (pour toutes les espèces retrouvées) selon la classification de Raunkiaer (1904).

2.3 L'abondance-dominance des espèces floristiques

Afin d'établir une liste des espèces cohabitant avec le pin d'Alep et le Cyprès du Tassili introduit, chaque relevé a été effectué dans une surface floristiquement homogène suivant la méthode de Braun-Blanquet (1952). Il s'agit d'attribuer des coefficients sur une échelle d'abondance-dominance comme suit :

- + : Espèce dont le nombre d'individu est sporadique (recouvrement très faible : 1 à 2 pieds);
- 1 : Espèce peu abondante à taux de recouvrement total faible (recouvrement <5%) ;
- 2 : Espèce à nombre d'individus abondant, couvrant environ 1/5 du relevé (5-25%) ;
- 3 : Nombre d'individus couvrant entre ¼ et la moitié de la surface (25-50%) ;
- 4 : Nombre d'individus couvrant entre la moitié et ¾ de la surface (50-75%) ;
- 5 : Espèce prédominante et occupant plus ¾ de l'espace (75-100%) ;

Comme le reboisement de *Cupressus dupreziana* représente une petite parcelle n'atteignant pas 1 hectare, nous nous sommes contenté de 10 relevés par peuplement forestier (Reboisements et forêts naturelles) effectués au printemps (mois de Avril à Mai) quand la végétation atteint son pic ce qui coïncide avec la période correspondant à la migration des larves de *T.pityocampa* et leurs apparitions accidentelles sur les Cyprès du Tassili dans les site étudié depuis 2011. L'identification des taxons, et leur systématique, a été confirmé à partir des supports suivants :

- La nouvelle flore de l'Algérie de Quezel et Santa (1962);
- La nouvelle flore de l'Algérie de Quezel et Santa (1963);
- La nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales de Quezel et Santa (1962-1963);
- flore de Sahara Ozenda (1977) ;
- Flore de Sahara Ozenda (2004) ;
- La grande flore de France et pays voisins de Bonnier et Douin (1990);

- Herbarium du Laboratoire de botanique de l'école nationale supérieure d'Agronomie « ENSA » d'El-Harrach. Alger.

3. L'entomocénose (recensement des arthropodes)

3.1 Recensement et identification des arthropodes

Des relevés entomologiques saisonniers ont été réalisés de septembre 2013 à septembre 2014 afin d'identifier l'entomofaune régulière cohabitant avec *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) dans le même biotope. Chaque trimestre, et dans les mêmes périmètres où nous avons échantillonné la flore, cinq pièges de type bacs jaunes ont été placés à proximité des arbres.

Des pots de Barber ont été également enfoncés verticalement dans le sol en ayant leur ouverture à sa surface pour que les insectes tombent au cours de leur déplacement. Les pièges type pots de Barber constituent un moyen efficace pour étudier les arthropodes du sol à moyenne et/ou à grande taille car il s'agit d'un outil placé pendant un intervalle de temps déterminé et qui permet la capture de divers arthropodes marcheurs ainsi que ceux emportés par le vent (Maelfait & Baert, 1975 ; Benkhellil, 1992 ; Khellil, 1992).

Quant aux bacs jaunes, ils présentent le même principe, un appât ou une substance toxique est utilisée pour capturer les invertébrés qui y tombent (Khellil, 1995). Nous avons utilisé le formol (le méthanal polymérisé dans l'eau) titré à 4% comme substance toxique. Parallèlement, quelques captures à vue ainsi qu'une nape de batage ont servi à la récolte de quelques individus appartenant à des espèces de divers ordres.

L'identification des arthropodes a été réalisée à l'aide des clés dichotomiques des familles et des genres de : Simon (1875, 1884, et 1937), La clé de Perrier (1927) pour la détermination des arthropodes de divers ordres (isopodes et arachnides), la clé de Perrier (1940) pour la détermination des insectes (hyménoptères), et Perrier (1961_a, 1961_b) pour la détermination de quelques genres de Coléoptères, la clé d'Antoine (1955, 1957, 1961), pour les espèces de Carabidae et la clé Baraud (1977, 1985) pour les Scarabaeidae.

3.2 Utilisation des indices écologiques

L'étude quantitative de la diversité spécifique peut être réalisée selon diverses approches qui sont fondées sur l'usage d'indices de diversité dont la formulation est plus au moins complexe (Ramade, 1989).

Afin de combiner le nombre des espèces ou richesse totale et leur quantité exprimée en abondance, ou en densité d'individus contenus dans le peuplement selon Blondel (1975), nous avons évalué la richesse spécifique totale (**S**), comme indice de Composition.

La richesse totale (**S**) représente un des paramètres fondamentaux caractérisant le peuplement d'un milieu. C'est le nombre totale des espèces que comporte un peuplement considéré dans un écosystème donné (Ramade, 1984).

Parallèlement, nous avons utilisé des indices écologiques de structure tel que l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et l'Equitabilité (**E**).

a) Indice de la diversité de Shannon-Weaver

D'après Ramade (1978), ce paramètre peut être considéré comme un indice de rareté dont l'utilité pratique n'échappera pas au protecteur de la nature. Cet indice est calculé par la formule suivante :

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i$$

H' : Indice de diversité exprimé en unité bits

P_i = n_i/N est l'abondance relative de l'espèce *i* dont :

n_i : Nombre total des individus de l'espèce *i*

N : Nombre total de tous les individus

Log₂ : Logarithme à base de 2

L'indice de Shannon varie directement en fonction du nombre d'espèces. Il convient bien à l'étude comparative de peuplements parce qu'il est relativement indépendant de la taille de l'échantillon (Ramade, 2003).

b) **Equitabilité**

D'après Blondel(1979), L'équitabilité ou l'indice d'équitabilité (E) est le rapport de la diversité observée à la diversité maximale ,elle est donnée par la formule suivante :

$$E=H'/H'\max.$$

$H'\max = \text{Log}2S$ d'où S est la richesse spécifique totale.

La valeur de l'équitabilité E varie de 0 à 1. Lorsque E tend vers 0 cela signifie que les effectifs des espèces récoltés ne sont pas en équilibre entre eux. Dans ce cas une ou deux espèces dominant tout le peuplement par leurs effectifs .Quand E tend vers 1cela signifie que les effectifs des espèces capturées sont en équilibre entre eux .Leurs abondances sont très voisines.

L' équitabilité est le rapport de l'indice de diversité observé H' à la diversité maximale H'max (Blondel,1979).Sa formule est :

$$E=H'/H\max \text{ (Hmax=log}2S)$$

S:est la richesse spécifique totale

H est minimal (=0) si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce, H est également minimal si, dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu. L'indice est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon égale pour toutes les espèces (Frontier, 1983 ; Bouragba, 2007).

4. **Exploitation des résultats par les analyses statistiques**

Le traitement statistique est un outil qui peut nous aider à déterminer quelques facteurs écologiques qui régissent la biodiversité.

Dans le but d'avoir une image représentative de la corrélation entre les variables étudiées au niveau des quatre stations d'étude, et compte tenu des données disponibles, l'analyse statistique qui répond le mieux à notre travail c'est l'analyse factorielle des correspondances AFC.

Les données sur la flore et sur la faune ont été développées dans cette étude par des analyses factorielles (AFC) en fonction des deux variables : espèces retrouvées et peuplements étudiés voire aussi saisons d'échantillonnage pour les arthropodes.

Par ailleurs, une classification hiérarchique ascendante a été conduite pour regrouper par similitude de l'ensemble des espèces végétales recensées. Tous les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide des logiciels statistiques R (Ver. 3.3.3) et XLSTAT. Le calcul des indices écologiques pour les arthropodes a été réalisé par le logiciel PAST

4.1 Analyse factorielle des correspondances

L'analyse multi-dimensionnelle et simple que représente l'analyse factorielle des correspondances (AFC), nous permet d'explorer des tableaux de contingence pour établir des plans factoriels de dispersion dans lequel apparaissent les caractères considérés et les individus observés (Dagnelie, 1975). Elle admet donc un "tableau croisé dynamique" comme sous Excel. Selon Benzecri (1973), l'analyse factorielle des correspondances offre de nombreuses possibilités qui se sont continuellement développées avec le progrès de l'outil informatique, elle remplace un tableau difficile à lire par un autre plus simple, tout en ayant une bonne approximation de celui-ci (Cibois, 2006).

L'AFC permet de regrouper toutes les dépendances entre les lignes et les colonnes du tableau en étudiant l'inertie du nuage de points ayant pour coordonnées les valeurs présentes sur les lignes du tableau de données. La morphologie du nuage et la répartition des points sur chacun de ces axes d'inertie permettent alors, de ressortir l'information lisible contenue dans le tableau.

4.2 Classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode d'analyse qui tend à regrouper par similitude les individus d'un ensemble donné, et obtenir des classes plus ou moins homogènes permettant de former un arbre hiérarchique explicite qu'on peut facilement lire. L'analyse consiste à faire des coupures à des niveaux hiérarchiques significatifs Kâabèche (1995).

L'assemblage d'espèces végétales sur la base des analyses multivariées (Analyse Factorielle des Correspondances) a été reconduite par une classification ascendante hiérarchique utilisant la distance euclidienne comme mesure de distance, ces analyses ont été aussi renforcées par une comparaison des indices écologiques de diversité et de structure calculé directement à l'aide du logiciel PAST vers.2.17 (Hammer *et al.*, 2001).

5. Prospection de l'état sanitaire des arbres étudiés

5.1 Evaluation des taux d'infestations de *Pinus halepensis* par *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff. dans les pineraies étudiées

Selon Rémond *et al.* (1993), un échantillonnage sur vingt arbres est suffisant pour estimer le taux d'infestation par des insectes dans une formation forestière.

Afin de confirmer la réduction des populations de l'insecte en forêt naturelle par rapport au reboisement, voire l'impact des essences forestières sur la processionnaire du pin *T.pityocampa*, nous avons estimé le taux d'infestation des arbres selon la méthode de Dulaurent *et al.*, (2012) dans trois endroits différents de chaque forêt, exprimé par la moyenne des nids d'hiver par arbres dans chaque parcelle. Un barème indiquant les taux d'infestation par *T.pityocampa* est utilisé par l'INRF (Institut national de recherches forestières) soit par des indices reliés aux nombres de pontes ou de prés-nids, soit par le taux de défoliation des arbres (DGF, 2005). Dans notre travail, les moyennes de nids par arbres enregistrées ont été lu sur ce barème pour décrire le niveau d'infestation (Figure. 23).

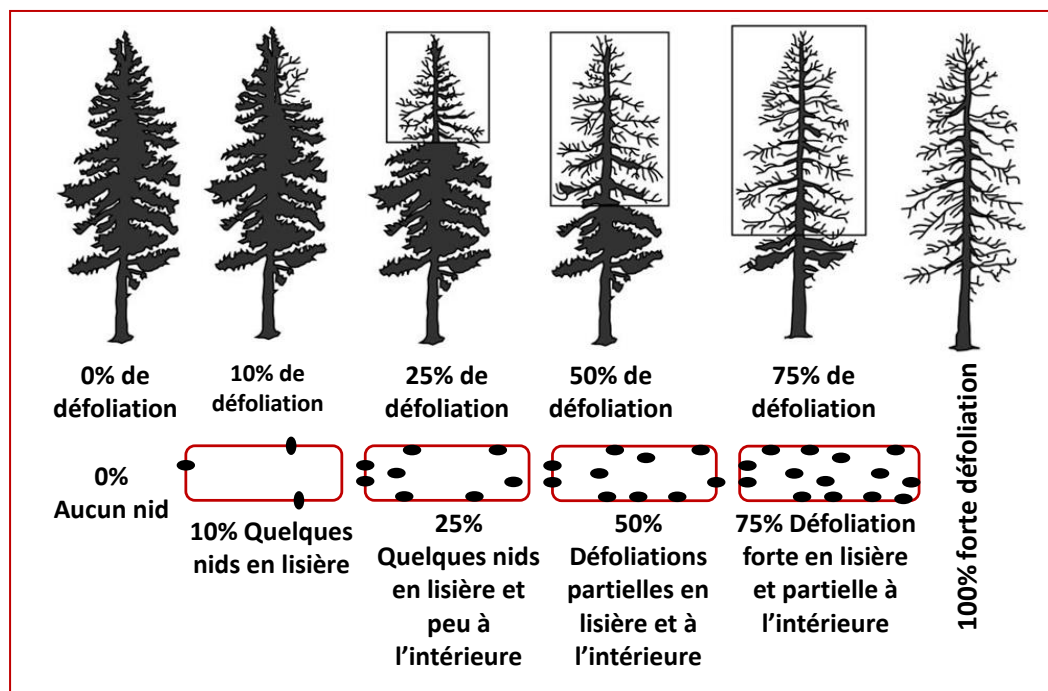


Figure 23 : Méthode d'évaluation de l'infestation par *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff. (DGF, 2005)

Nous avons retenu dix pins d'Alep uniquement dans chaque parcelle (soit 30 arbres par forêt) ; étant donné que la forêt de Djellal est une formation forestière naturelle subsaharienne, la distance entre les pins d'Alep était très importante (jusqu'à 40m) par rapport au reboisement de Moudjbara où elle est mesurée à 2m uniquement. Nous avons procédé ainsi pour avoir des taux d'infestation dans des périmètres comparables contenant le même nombre de sujets recensés. La variation des taux d'infestation entre les deux forêts a été déduite par le test-t réalisé à l'aide du logiciel STATISTICA10 pour évaluer les différences de moyennes entre le nombre de nids par arbre dans les deux forêts et illustrer ainsi la dispersion des nids d'hivers sur les arbres des différentes stations.

A Moudjbara, les larves apparues en 2011 sur l'espèce *C.dupreziana* (Fig.24) ne sont manifestées que durant des périodes proches de celle de la procession des larves, une estimation du nombre de colonies et de larves dans les deux parcelles a été réalisée les trois années (2012-2013-2014) durant les deux mois mars et avril afin de nous aider à mieux comprendre ce phénomène et voir le comportement des larves dans ce cas. Cependant, dans la parcelle (a) de *Cupressus dupreziana*, 30 sujets seulement sont bien portants sur les 86 pieds vivants. A cet effet, nous avons recensé le nombre de colonies de larves dans la parcelle (a) des Cyprès, et le nombre de nids d'hiver dans la parcelle (b) reboisé de pin d'Alep ce, à raison de 20 arbres pris en diagonale afin de négliger l'effet de proximité entre les deux parcelles avoisinantes et s'intéresser à des arbres se situant à différents endroits dans les deux parcelles.



Figure 24 : Colonies de *T.pityocampa* sur *Cupressus dupreziana* dans le reboisement de Moudjbara (Originale, 2013).

6. LES BIO-ESSAIS POUR LUTTER CONTRE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff. (LEPIDOPTERA, NOTODONTIDAE)

6.1. Tests de biocides à *in vitro* à base d'extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* et *Melia azedarach*

6.1.1. Matériel végétal

Pour évaluer l'impact des résineux présents dans les forêts naturelles sur la processionnaire du pin, le matériel végétal utilisé est constitué de : feuilles de *Juniperus oxycedrus* (Fig.25) et de *Juniperus phoenicea* (Fig.26) récoltés en mars 2013 et 2014 dans la forêt naturelle de Djellal (E 00 336 137°/N 34 55 688°/ 1379).

Les fruits de *Melia azedarach* (Fig. 27) ont été également utilisés. Nous avons récolté plus de 5 kg de fruits de *M.azedarach* entre aout et septembre 2014 à travers toute une plantation de cette espèce dans le chef lieu de la wilaya de Djelfa. Ces fruits ont été mis à sécher dans un endroit sec et aéré à l'abri de la lumière et de l'humidité avant d'être broyées et préparées à l'extraction.

Les aiguilles de *Pinus halepensis* qui seront présentées comme appâts aux larves, sont récoltées régulièrement par un échantillonnage systématique effectué sur 30 arbres environ la veille de l'essai (les aiguilles non détachées des branches sont conservées dans de l'eau avant le test biocide pour conserver leur fraîcheur.



Figure 25: Morphologie du feuillage de *Juniperus oxycedrus* de la forêt naturelle de Djellal à Djelfa (originale, 2013)



Figure 26: Allure des organes aériens de *Juiperus phoenicea* de la forêt naturelle de Djelfa (originale, 2013)



Figure 27 : Aspect de *Melia azedarach* (Originale, 2014)

6.1.2. Le matériel entomologique

Les larves de *T.pityocampa* utilisés dans les essais préliminaires ont été récoltés à Moudjbara (E 00 331 738°/ N 34 61 258°/ 1175). Des colonies de larves ont été

échantillonnées en Septembre 2013 (larves L1 issues des pontes) et en Octobre 2013 (des larves au stade L2), puis des nids d'hivers ont été échantillonnés de Novembre jusqu'à la fin du mois de Février 2014 contenant des larves à des stades avancés. Ultérieurement, une sélection des stades L3, L4 et L5 a été réalisée.

Pour le test biocide à base de *Melia azedarach* uniquement, les insectes utilisés ont été récoltés dans la forêt naturelle de Bainem située dans la zone cotière du centre algérois (Algérie). Des nids d'hivers de *Thaumetopoea pityocampa* ont été échantillonnés de Septembre 2014 à Mai 2015 contenant des larves de différents stades (L1, L2, L3, L4 et L5). Dans ce travail, les larves étaient sujettes à un suivi de comportement jusqu'à la nymphose, formation des cocons, puis émergence des papillons.

Pour évaluer la synergie de notre biocide avec des préparations microbiologiques de références nous avons retenu les chenilles du stade L4. Ces dernières ont été récoltées dans la forêt de Bainem en janvier 2017. Un échantillonnage au hasard de 20 nids contenant des colonies de chenilles des stades L 3 et L 4 a été réalisé. Notons que la détermination du stade larvaire a été possible particulièrement grâce à la taille des capsules céphaliques. Notons qu'avant l'application des différents types de traitements, les chenilles ont été préalablement mises en élevage durant 48 heures dans des conditions semi naturelles (dans des chambres froides).

6.1.3. Matériel microbiologique

Le matériel microbiologique utilisé pour ce travail est constitué de la souche HD1 de la sous espèce Kurstaki de *Bacillus thuringiensis* qui nous a été aimablement fourni par le laboratoire des Bio-pesticides du Centre de Biotechnologies de Sfax (Tunisie) en janvier 2017. Les souches de *B. thuringiensis* ont été cultivées dans le milieu LB (LB) à 30°C (Sambrook *et al.*, 1989). A partir de ces souches, nous avons préparé graduellement les doses d'application 20µg/ml, 40µg/ml, 80µg/ml, 150µg/ml et 300µg/ml de δ-endotoxines (les doses retenues ont été choisies graduellement de la plus faible 20µg/ml à la plus concentrée 300µg/ml afin de pouvoir déterminer la CL50 en tenant compte de deux paramètres : le stade de développement des larves traitées (L4) et la solubilisation des extraits méthanoliques de *Melia azedarach* dans le méthanol pour la conception du mélange.

6.1.4. Préparation des extraits méthanoliques

Les extraits ont été préparés selon la méthode de Chaouche (2014) et celle de Bouguendoura (2012). Le végétal est séché à l'ombre à l'abri de la lumière et de l'humidité,

mixé, remué puis broyé en poudre. Une évaporation rotative a servi pour l'obtention de l'extrait méthanolique sec et, cela, après macération de 10 grammes (g) de poudre dans 100 millilitre (ml) de méthanol pur pendant 48 heures et à température ambiante. Le méthanol a été récupéré à sec sous pression réduite à 50°C. Le rendement des extraits méthanoliques obtenus (Rdt) a été estimé par la formule suivante :

$$\text{Rdt \%} = [\text{Poids de l'extrait sec obtenu (g)} / \text{Poids du végétal utilisé (g)}] \times 100$$

Ces extraits ont été conservés à 4°C. La fraction solide a été diluée dans de l'éthanol à 80% afin de garantir une meilleure solubilité des entités ainsi extraites, et à partir de laquelle, nous avons préparé les trois doses d'application de : 5mg, 10mg et 15mg.

6.1.5. Analyse chimique

a) Screening chimique des espèces végétales

Pour déterminer les groupes chimiques majeurs des espèces végétales utilisées comme biocide contre la processionnaire du pin, un screening chimique a été réalisé selon la technique donnée par Solfo (1973) ; Harborne (1998) ; et Sassoui (2016). A partir de l'infusé de la plante, nous pouvons vérifier la présence des tanins, anthocyanes, leuco-anthocyanes et saponosides en utilisant respectivement les réactifs suivants : une solution de chlorure ferrique (FeCl_3), HCl et NH_4OH , et enfin l'alcool chlorhydrique. Quant aux alcaloïdes, flavonoïdes, cardinolides, terpènes et stérols, quinones, amidon et coumarines, leur présence est déterminée à partir de la poudre par l'utilisation du HCl et le réactif de Dragendorff, NH_4OH , solution de CHCl_3 et $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ainsi que le CH_3COOH glacial, éther de pétrole et acide acétique ainsi que H_2SO_4 , d'éther éthylique avec quelques gouttes de NAOH à 1N, liqueur de Fehling, et enfin le NaOH dilué avec un examen sous UV.

- En premier lieu, nous avons préparé l'infusé des organes aériens des différentes plantes. Pour chaque espèce, 10 g de la poudre est mélangé à 100ml d'eau bouillante pendant 15mn, l'infusé est ensuite filtré.

➤ Identification des Tanins

Une goutte de 1ml d'une solution de chlorure ferrique (FeCl_3) à 1% a été rajouté à 5ml de l'infusé. L'apparition d'une coloration verdâtre indique la présence des tanins catéchiques, et bleue noirâtre indique la présence des tanins galliques.

➤ Identification des Anthocyanes

Le changement de la couleur de l'infusé indique la présence des anthocyanes après application de quelques gouttes d'HCl pur suivies de quelques gouttes de NH₄OH.

➤ Identification des Leuco-anthocyanes

Après un chauffage au bain marie à 50°C d'un mélange de 5ml de l'infusé avec 4ml d'alcool chlorhydrique (éthanol /HCL pur 3v/v). L'apparition d'une couleur rouge cerise indique la présence des leuco-anthocyanes.

➤ Identification des Saponosides

Dans un tube à essais, on agite 10 ml de l'infusé pendant 15 secondes puis le tube est laissé reposer pour 15 min. Une hauteur de mousse persistante, supérieure à 1 cm indique la présence des saponosides.

- Par ailleurs, d'autres groupes chimiques sont identifiés dans les espèces de plantes étudiées à partir de la poudre :

■ Identification des alcaloïdes

5g de poudre est mélangée avec 50ml d'Hcl à 1% dans un récipient. Après macération, le mélange est filtré, quelques gouttes de réactif de Dragendorff sont additionnées au filtrat. L'apparition d'un précipité orangé indique la présence des alcaloïdes.

■ Identification des flavonoïdes :

Une quantité de 10g de poudre est macérée dans 150ml d'Hcl à 1% pendant 24h. 10ml du filtrat est ensuite mélangé avec du NH₄OH et mise au repos pendant 3h. L'apparition d'une couleur jaune claire dans la partie supérieure du tube à essais indique la présence des flavonoïdes.

■ Identification des cardénolides

Une quantité de 01g de la poudre est macérée dans 20ml d'eau distillée pendant 3h. Après filtration, 10ml du filtrat est mélangé à une solution de CHCl₃ et C₂H₅OH (10ml). Ensuite, dans un bain de sable à 90C⁰ la phase organique est évaporée. Le précipité est dissous dans 3ml de CH₃COOH glacial, et on ajoute sur les parois du tube quelques gouttes de FeCl₃ et 01 ml d'H₂SO₄

concentré. L'apparition d'une couleur vert-bleue dans la phase acide indique la présence des cardinolides.

■ Identification des terpènes et stérols

Une quantité de 0.5g de la poudre est macérée dans 20 ml d'éther de pétrole. La phase organique est évaporée dans un bain de sable à 90C⁰ après filtration. Le résidu est dissous dans 5 ml d'acide acétique et 01 ml d'H₂SO₄ concentré. Dans la zone de contact entre les deux liquides, il se forme un cercle marron ou violet qui vire au gris. Ce changement de couleur indique la présence des stérols et terpènes.

■ Identification des quinones

Une quantité de 01g de la poudre est macérée dans 30 ml d'éther éthylique pendant 24h. Quelques gouttes de NaOH à 1N sont ajoutées au filtrat. L'apparition d'une couleur rouge dans la phase aqueuse indique la présence des quinones.

■ Identification de l'amidon

Une quantité de 01g de la poudre est macérée dans 30 ml d'eau distillée chaude pendant 01h. Des gouttes de réactif d'amidon (l'eau iodée « ou de lugol ») sont ajoutées à la solution aqueuse après filtration. L'apparition d'une couleur bleue violacé indique la présence de l'amidon.

■ Identification des coumarines

Une quantité de 01g de la poudre est mélangée avec quelques gouttes d'eau dans un tube à essais

le tube est recouvert avec du papier imbibé de NaOH dilué, et est porté à ébullition. les fluorescences jaunes pouvant apraitre après examen sous UV (ultrat violets), indiqueront la présence des coumarines.

a) Analyse phyto-chimique des extraits méthanoliques de *Melia azedarach* (identification par CG-MS)

Pour déterminer la composition chimique de la fraction thermolabile de l'extrait methanolique de *Melia azedarach*, une chromatographie sur phase gazeuse couplée à la spectrometrie de masse a été réalisée (CG-MS).

Après préparation de l'échantillon par silylation (procédé utilisé pour les composés phénoliques et standards, à partir d'un mélange de BSTFA, de l'extrait en question, et de la pyridine [200 µl/200 µl/ et 50 µl] remué et placé dans un bain Marie 80°C pendant 60 min). L'analyse chromatographique a été effectuée selon la méthode donnée par Nasri (2016), sur un système Agilent d'un chromatographe en phase gazeuse modèle 6890 équipé d'une colonne de silice HP-5MS (5% Phenyl; 95% Methyl Siloxane) de longueur 30 cm, de diamètre nominal 250 µm avec un film d'épaisseur 0,25 µm (30m×0.25mm i.d.×0.25_m épaisseur fine). Les températures de l'injecteur et du détecteur sont de l'ordre de 250°C. La température du four a été maintenue à une température initiale de 60°C pendant 1 min, une augmentation de 5 °C /min jusqu'à 260°C, puis maintenue de 280 °C à 10°C /min pendant 1 min. Le gaz utilisé était l'hélium à un débit de 1,0ml/min. Le volume de l'échantillon injecté dans l'appareil est 1 µl. L'identification des composés a été effectuée par comparaison de leurs spectres de masse et de leurs indices de rétention Kovats (IK) avec les données de la littérature notamment après leur confrontation avec les spectres obtenues à partir de Wiley and NIST libraries. La détermination a été donc effectuée en double.

6.1.6. Test biocide des extraits de plantes sur *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.

Le mode d'application utilisé est par ingestion selon la technique adoptée par Breuer et Devkota (1990). Dans chaque boîte, nous avons placé 50g d'aiguilles de *Pinus halepensis*, pulvérisées par la suite de 10ml de chacune des solutions préparées aux doses : 5mg, 10 mg et 15mg. Parallèlement, des insectes nourris à base d'aiguilles de Pin traités avec du Méthanol 80% seulement, constituent le lot témoin positif. Des témoins négatifs où l'aliment mis à la disposition aux insectes n'ayant subi aucun traitement ont été également utilisés.

Pour chaque traitement, nous avons utilisé 10 larves de chaque stade (de L1 jusqu'au L5).à raison de cinq répétitions/ essai (dans les différentes répliques, l'appât est renouvelé tous les trois jours pendant les 14 jours de traitement. Le comptage des sujets morts a été effectué toutes les 48h.

6.1.7. La mortalité corrigée des larves et test de toxicité

Avant de calculer les CL50, le pourcentage de mortalité observée est corrigé selon la formule d'ABBOT (1925) :

$$MC = \frac{M2 - MT}{100 - MT} \times 100$$

MC : taux de mortalité corrigée

MT : taux de mortalité observée chez les témoins

M2 : taux de mortalité observée chez les traités.

6.2 IMPACT de *Melia azedarach* sur l'émergence des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.

Après avoir vérifié l'effet biocide de *Melia azedarach* sur les larves *in vitro*, des traitements *in vivo* sur des *Pinus halepensis* de l'Institut National de Recherches Forestière d'Alger (Bainem), ont été effectués. Les nids retenus pour le traitement étaient des nids de tailles moyennes ayant 7 à 13cm de longueur et 5 à 11cm de largeur (Tableau I). Les extraits de *M. azedarach* ont été pulvérisés sur les aiguilles de *Pinus halepensis* aux environs immédiats des nids échantillonnés de la processionnaire du pin avant les processions de nymphose, au début du printemps 2015. Parallèlement, des nids témoins n'ayant subi aucun traitement ont fait l'objet de notre suivi *in vivo*.

Tableau I : Dimensions des nids sur les arbres traités par *Melia azedarach in vivo*

Dimensions	Nid N°1	Nid N°2	Nid N°3	Nid N°4	Nid N°5
Longueur (cm)	13	10	10	07	13
Largeur (cm)	11	06	05,5	05,5	05

Les pièges ont été placés sur le sol entourant la base des arbres traités afin de capturer les larves lors de leur migration au cours de la procession de nymphose (Figure 28). Un suivi quotidien des sorties de larves et leur dénombrement a été effectué régulièrement. Après chaque sortie, ces mêmes larves ont été enfouies (enterrées dans le sol) afin de vérifier l'impact du biocide sur la nymphose des larves traitées comparativement aux témoins.



Figure 28 : piégeage des larves lors de la procession (Originale, 2015).

Après la nymphose, nous avons procédé en juillet 2015 à l'ouverture des cocons, les chrysalides retrouvées ont été dénombrées, pesées et mesurées à l'aide d'un pied à coulisse numérique. Les Chrysalides mâles et femelles issues de chaque piège ont été maintenus ensemble et placés dans des boîtes remplies de sciure de bois afin de connaître l'impact du biocide sur l'émergence des adultes comparativement aux témoins (Fig.29)



Figure 29 : Dispositif du suivi des chrysalides lors de la diapause (Originale, 2015)

6.3 Effet synergique entre les δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis* Kurstaki HD1 et les extraits méthanoliques de *Melia azedarach* (Meliaceae) sur les larves de *Thaumetopoea pityocampa* Den.&Schiff. (Lepidoptera, Notodontidae)

Dans le but de mettre en évidence l'effet du mélange composé d'extraits méthanoliques de *Melia azedarach* associés aux δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis* sur la processionnaire du pin, nous avons utilisé la technique adoptée par Breuer et Devkota (1990).

En ce qui concerne le dispositif expérimental, nous avons procédé dans un premier temps à l'application des extraits de *M.azedarach* aux doses : 5mg/cm², 10mg/cm², 15mg/cm² sur toutes les aiguilles des branches de l'arbre hôte *P.halepensis*. Les chenilles témoins positifs ont été traitées avec du Méthanol dilué à 80 % (1ml) alors que les témoins négatifs n'ont subi aucun traitement.

En parallèle, nous avons appliqué selon ce même procédé, les doses de 20µg/ml, 40µg/ml, 80µg/ml, 150µg/ml et 300µg/ml de δ -endotoxines de la souche HD1 de *Btk* seul.

Simultanément, nous avons appliqué selon le même procédé, le mélange des deux produits (extraits de *Melia azedarach* et δ -endotoxines de la souche HD1 de *Btk*) par l'application pour chaque dose de *Melia* (5mg/cm², 10mg/cm², 15mg/cm²) toutes celles de δ -endotoxines de *Btk* (20µg/ml, 40µg/ml, 80µg/ml, 150µg/ml et 300µg/ml).

Pour tous les essais, cinq boîtes de Pétri contenant 10 chenilles chacune ont été placées en présence de branches traitées à différentes concentrations des biocides testés. Durant les 15 jours de traitement, un dénombrement quotidien des chenilles mortes a été effectué avant le calcul de la CL50 et CL90 des différents traitements par le biais du logiciel statistique R.

Le test de toxicité (La mortalité attendue) a été calculé de la manière suivante :

$$E = O_a + O_b (1 - O_a/100)$$

Où :

E: Mortalité attendue

O_a: Mortalité observée, *Bti* seul

O_b: Mortalité observée, *M.azedarach* seul

Le test du Khi deux (χ^2) a été utilisé pour déterminer l'effet synergique de chaque mélange.

$$\chi^2 = \frac{(O_m - E)^2}{E}$$

Où :

O_m : Mortalité observée de mélange (%) ;

E : Mortalité théorique de mélange (%) ;

les seuil de Khi deux χ^2 quand $df = 1$ et $p = 0,05$ est égale à 3,84 (selon la table des seuils de Khi deux).

- ✓ Si $\chi^2 > 3,84$ et $O_m > E$ l'effet est synergique.
- ✓ Si $\chi^2 > 3,84$ et $O_m < E$ l'effet est antagoniste.
- ✓ si $\chi^2 < 3,84$ l'effet est additif.

6.4 Effet anti-appétant des extraits de plantes sur l'insecte

Pour évaluer l'effet anti-appétant de tous les traitements utilisés contre la processionnaire du pin, nous avons pesé les larves avant et après traitements ainsi que les crottes rejetées pendant le traitement selon la méthode de Robert (1987) et Breuer et Devkota (1990).

6.5 Effet histopathologique des différents traitements sur l'insecte

Pour vérifier les effets histopathologiques éventuelles liés à l'administration des différents traitements sur *T. pityocampa*, nous avons réalisé des coupes hitologiques au niveau de la partie médiane (Mesetéron) du tube digestif des larves traitées et témoins en suivant les protocoles expérimentaux donnés par Ruiz et al.(2004) et Ben Khedher et al.(2017). Les larves traitées par les extraits de plantes, les δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis*, et par le mélange *Melia* δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis*, ont été fixées dans le formol 10% et conservés à 4°C. Ces échantillons sont ensuite déshydratés par l'éthanol 90% , lavées dans le toluène 100% avant d'être enrobés de paraffine pour l'obtention de fines coupes à l'aide d'un microtome, les coupes sont déparaffinées à l'aide du toluène 100% avec de l'hématoxylineosine. Les coupes ainsi obtenues sont observées et photographiées à l'aide d'un microscope (Olympus optical Co.LTD) avec camera intégrée DP70.

7. Analyse statistique

La comparaison du nombre de colonies (de larves) par arbre et ou du nombre de nids par arbre entre les trois forêts étudiées, a été effectuée par des test-t à l'aide du logiciel statistique STATISTICA 10.

La CL50 des différents biocides testés contre l'insecte, a été calculée par analyse des probits à l'aide du logiciel statistique R.

En outre, une comparaison des moyennes des taux de mortalité causée par les différents essais biocide, est traitée par l'analyse de variance (Dunnet test/ANOVA).

La corrélation entre tous les paramètres confondus (dose, stade larvaire, et type d'extrait de plante utilisé, et durée de traitement), a fait l'objet d'une analyse des composantes principales via le logiciel statistique PAST vers.2.17.

La comparaison des poids de crottes et des larves traitées par rapport à celles des témoins a été effectuée, en utilisant le test de Dunnet et Tukey via le logiciel minitab16.

Chapitre IV
Résultats et Discussion

1. Résultats de l'analyse du sol et conditions édaphiques des milieux étudiés

Les différents résultats obtenus révèlent des différences physico-chimiques entre le sol prélevé dans le barrage vert au pied de *Pinus halepensis* et celui prélevé au pied de *Cupressus dupreziana* (tableau II).

Tableau II : Composition du sol des parcelles reboisées de *Pinus halepensis* et *Cupressus dupreziana* dans la forêt de Moudjbara

Paramètres du Sol	Moudjbara P1 « <i>P.halepensis.</i> »	Moudjbara P2 « <i>C.dupreziana.</i> »
pH	7,98	8,67
Matière organique (%)	1,69	1,90
Calcaire Total (%)	53	12,64
Conductivité électrique ms/cm ²	0,12	0,13
Argile (%)	13	19
Limon F.(%)	22,5	28,04
Limon G. (%)	2,84	4,80
Sable F. (%)	54,93	51
Sable G. (%)	6,73	6,16

P1 : Reboisement de *Pinus halepensis* ; P2 : Reboisement de *Cupressus dupreziana*

En plus d'une légère différence d'altitude, le type d'espèce végétale reboisée est le seul paramètre qui diffère entre ces deux reboisements avoisinants.

Selon le tableau II, le type de végétation pourrait donc avoir un impact sur le sol, car la parcelle neutre (pH=7,98) reboisée de pin se convertit en un sol plus ou moins alcalin en présence de cyprès (pH=8,67). Cette influence peut concerner aussi la diminution du taux de calcaire dans cette dernière qui s'appauvrit de CaCO₃ jusqu'à atteindre 12,64%, et une légère élévation de la teneur en matière organique (1,90%).

Quant à la conductivité électrique, elle décrit un sol sain ($0,12 \leq 2$) d'où on note une teneur considérable en sels minéraux, approximativement égales dans les deux parcelles étudiées.

La qualité du sol révèle aussi des différences entre les échantillons prélevés à partir des deux forêts naturelles Djellal et Toghersane.

D'après le tableau III, nous remarquons un léger écart en matière de pH entre Djellal (pH= 7,85) et Toghersane (pH=8,06).

Le sol de Toghersane est calcaire avec un taux de CaCO₃ de 23% alors que celui de Djellal est fortement calcaire avec 59,50% de CaCO₃.

Le sol de Toghersane est sableux-argileux alors que celui de Djellal est sableux-limoneux (tableau III).

Tableau III : Composition du sol dans les deux Forêts naturelles Djellal et Toghersane

Paramètres du Sol	Djellal	Toghersane
pH	7,85	8,06
Matière organique (%)	2,32	1,97
Calcaire Total (%)	59,50	23,00
Conductivité électrique ms/cm ²	0,16	0,13
Argile (%)	15,50	17
Limon F.(%)	23,50	26
Limon G. (%)	23,50	9,70
Sable F. (%)	31,4	32,57
Sable G. (%)	6,79	14,75

La montée vers le nord des espèces steppiques tels que l'Alfa est la conséquence de la dénudation de la surface du sol. Le manque d'infiltration de l'eau de pluie dû à la texture du sol et à la présence de dalle calcaire par endroit, fait que seulement certaines espèces peuvent évoluer. Dans le cas où, aucune action de conservation n'est entreprise, nous assisterons dans une première phase, de substitution des espèces des matorrals par des espèces steppiques et, dans une seconde phase, à la désertisation (Kadi-Hanifi, 2003).

2. la phytocénose

L'homogénéité apparente de l'écosystème étudié cache une grande diversité dans le détail ; l'analyse de la liste floristique et de leurs caractères biologiques a permis de recenser 73 espèces appartenant à 20 familles botaniques, ce qui représente 15% des familles de la flore

d'Algérie citée par Quezel et Santa : Les *Asteraceae* et les *Poaceae* sont des familles cosmopolites représentant à elles seules un taux de 30.13% de la richesse floristique globale résultant de notre inventaire. Ces familles constituent le premier maillon de la chaîne trophique de plusieurs espèces du règne animal.

Le spectre biologique établi selon la classification de Rankier sur la base de la liste floristique globale, accuse une dominance des thérophytes et des chaméphytes sur les autres formes, avec la prédominance des thérophytes (figure 30).

Cette prédominance est une caractérisation de la végétation dans les régions arides, ce qui a conduit plusieurs auteurs à décrire ce phénomène de « Thérophytie » comme une stratégie adaptative face aux conditions défavorables (Kadi-Hanifi, 2003). La Thérophytie reflète aussi un milieu anthropisé et perturbé (Sba et Benrima, 2016)

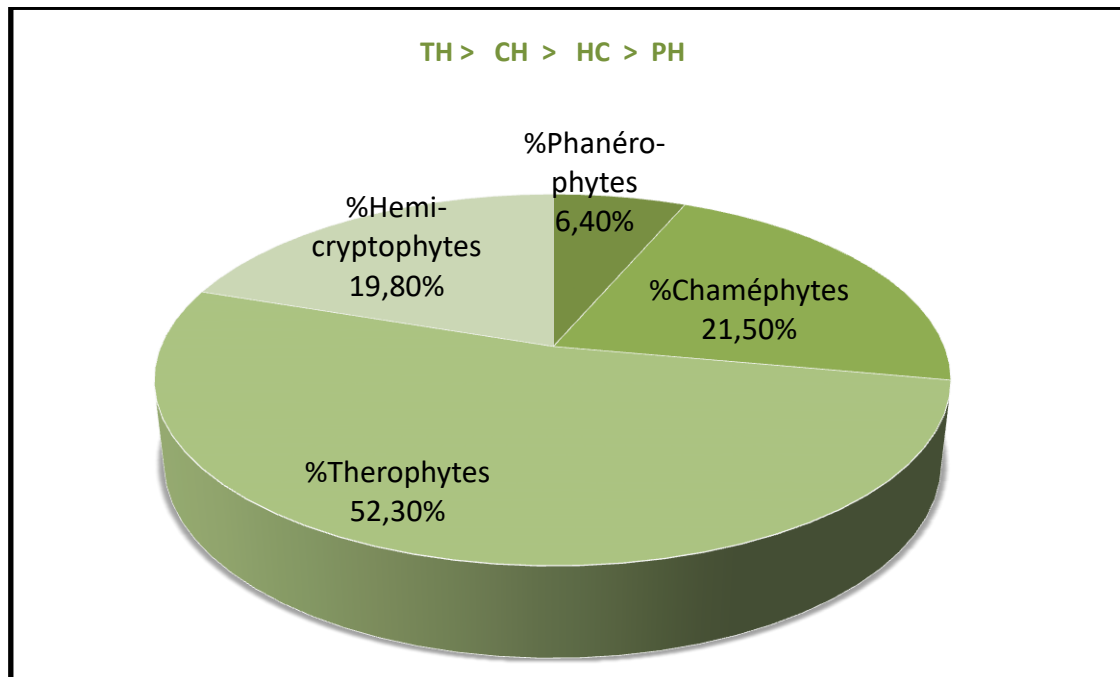


Figure 30: Spectre biologique des espèces végétales inventoriées

2.1 La phytocèneose dans le reboisement de Moudjbara

Nos résultats sur l'étude de la végétation dans le reboisement de Moudjbara (Tabl.IV) ont montré que les deux résineux cohabitent avec 30 espèces végétales de 11 différentes familles : Asteraceae, Pinaceae, Cupressaceae, Papillionaceae, Poaceae, Caryophyllaceae, Lamiaceae, Molluginaceae, Fabaceae, Amaranthaceae et des Résédaceae (figure31). Avec une dominance

des Astéraceae, regroupant 10 espèces soit 33% du nombre total des espèces à Moudjbara (30 espèces végétales dans les deux parcelles).

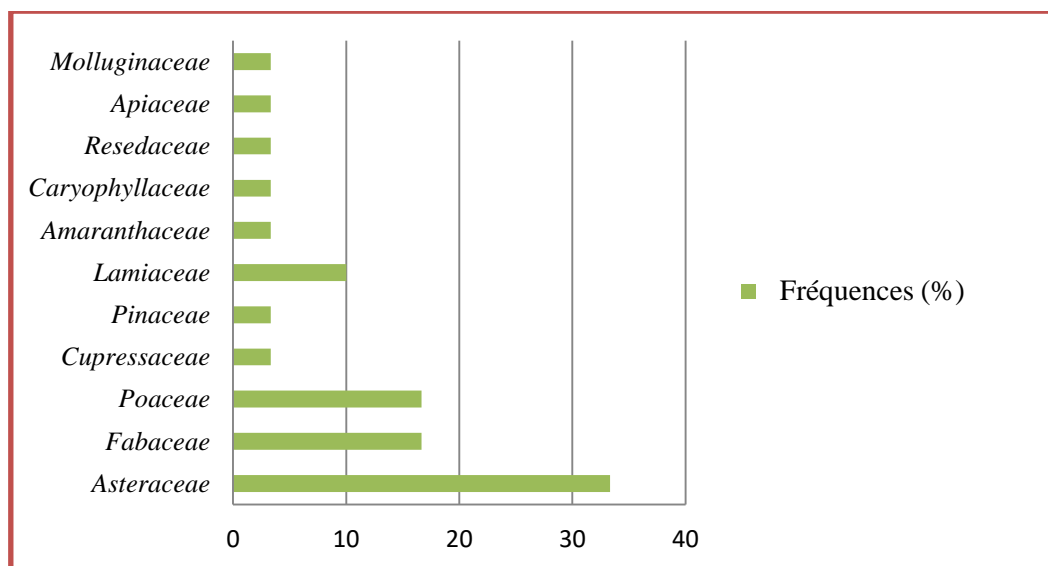


Figure 31: Fréquence des familles botaniques recensées dans le reboisement

Toutes les espèces végétales recensées, et citées dans le tableau IV. sont caractéristiques du cortège floristique du Pin d'Alep. Toutefois, seulement 4 espèces ont été abondantes uniquement dans le reboisement de Cyprès telles que : *Artemisia herba alba*, *Tapsia garganica* L., *Thymus ciliatus* Desf., et *Noaea mucronata* Forssk. L'analyse qualitative des données par le logiciel R, nous a permis de classer les espèces observées en deux principaux groupes (figure 32). La somme des contributions des espèces floristiques est de 62,52%, construites sur deux axes F1 et F2 respectivement 42,97% et 19,55%. Ce classement correspond à :

Le 1^{er} groupe de : *Cupressus dupreziana*, *Artemisia herba alba*, *Tapsia garganica* L., *Thymus ciliatus* Desf., et *Noaea mucronata* Forssk. qui n'étaient présents qu'à proximité du Cyprès

Le 2^{ème} groupe de : *Pinus halpensis* MILL., *Atractylis prolifera* L., *Lygeum spartum*, *Carduncellus pinnatus* Desf., *Leontodon hispanicus* Pient, *Atractylis serratuloides* L., *Sonchus oleracens* L., *Cardunecellus plumosus* Pomel., *Mantsalca salmantica* L., *Ononis natrix*, *Xeranthemum hirtum* L., *Atractylis humilis* L., *Visia sativa* L., *Coronilla scorpioides* Koch., *Medicago arabica* L., *Astragalus hamosus* L., *Stipa parviflora* Desf., *Stipa tenacissima* L., *Lygeum spartum*, *Bromus rubens* L., *Hordeum murinum* L., *Telephium impérati* L., *Paranychia arabica* L., *Sidertis montana* L., *Teucrium poleum* L., *Reseda alba* L.

Ce second groupe est constitué à son tour de deux sous groupes dont la différence est liée à la densité du peuplement. Dans les relevés où le pin est en dégradation (faible densité), l'Alfa, le *Carduncellus* et les espèces indiquées en rouge sur le plan factoriel, représentent des espèces communes. leur présence est très faible dans le reboisement de *Cupressus supreziana*.

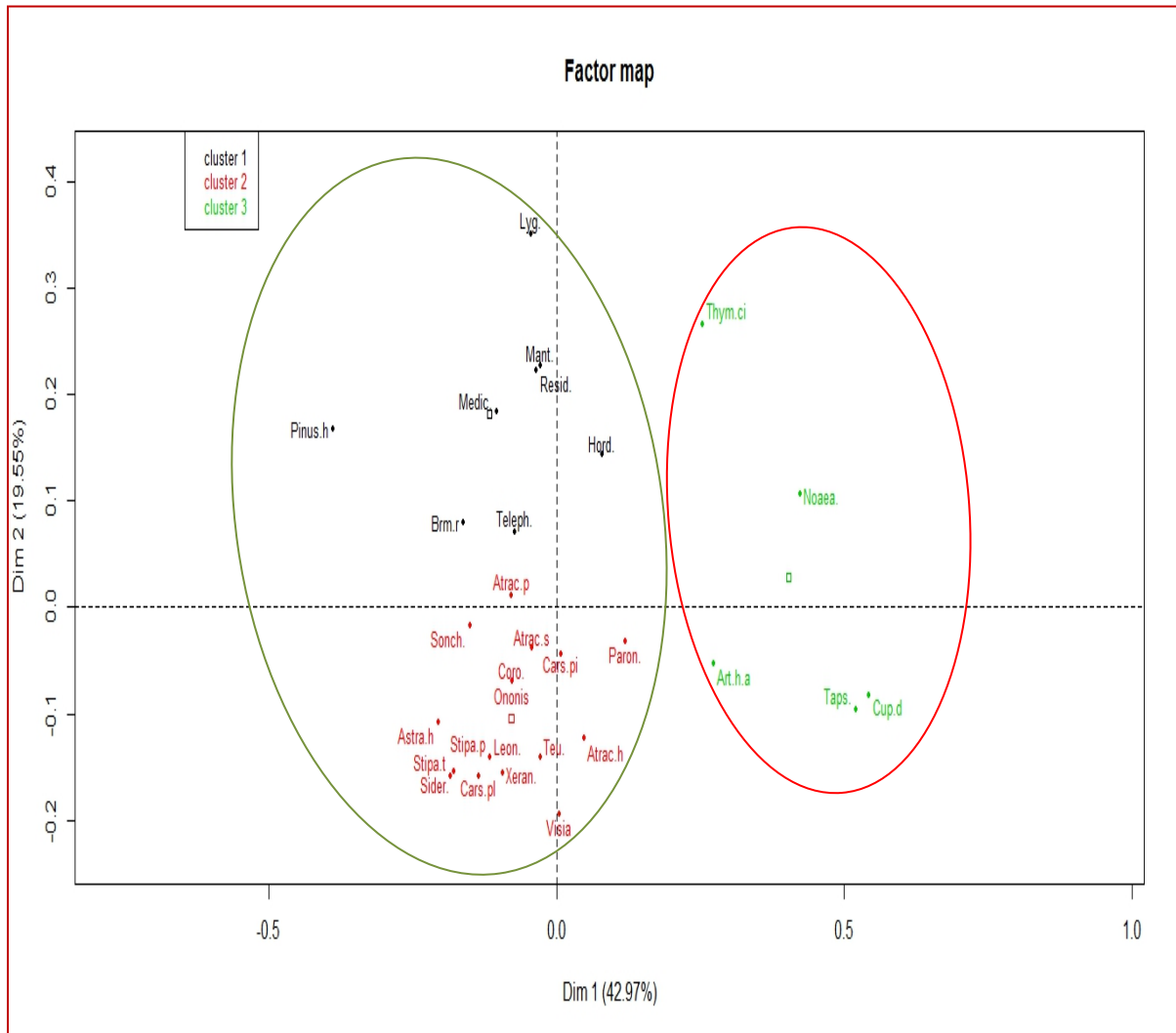


Figure 32 : Plan factoriel de la distribution des espèces végétales dans le reboisement. AFC/R

L'abondance-dominance des espèces végétales inventoriées a permis de les regrouper en deux ensembles principaux sur le plan factoriel de l'AFC (analyse factoriel des correspondances). Ces ensembles sont également représentés sur le plan de la CAH (Classification ascendante hiérarchique) obtenue par le logiciel R (Fig. 33), à savoir : un ensemble listant les espèces cohabitant uniquement avec le *Cupressus dupreziana*, et un deuxième ensemble comportant les espèces végétales les plus abondante à proximité de *Pinus halepensis*. Ce dernier groupe comporte à son tour des espèces dont l'abandonce est plus ou moins égale à proximité des deux arbres.

Tableau IV: liste des espèces végétales recensées à Moudjbara

Famille	Espèce	Type biologique	Type biogéographique	Code espèce	abandonce-dominance										
					Relevés (R) dans le Reboisement de <i>P.halepensis</i>					Relevés (R) dans le Reboisement de <i>C.dupreziana</i>					
					R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	
Amaranthaceae	<i>Noaea mucronata</i> Forssk.	CH	Med-Iran tour	Noaea.	+	1	+		+				+	+	
Apiaceae	<i>Thapsia garganica</i> L.	HC	Med	Taps.	1	+		+	+						
Asteraceae	<i>Artemisia herba alba</i> Asso.	CH	Med	Art.h.a	+		1	+	+	+			+		
	<i>Atractylis humilis</i> L.	CH	Med	Atrac.h	+						+	+	+		
	<i>Atractylis prolifera</i> L.	TH	Med	Atrac.p					+	+		+	+		
	<i>Atractylis serratuloides</i>	CH	Med	Atrac.s						+		+			
	<i>Carduncellus pinnatus</i> Desf.	TH	Med	Card.p						+		1	+		
	<i>Carduncellus plumosus</i> Pomel	CH	Med	Card.pl.							1	+	+		
	<i>Leontodon hispanicus</i> Point	HC	Med.	Leon.							+	+			
	<i>Mantiscalca salmantica</i> L.	HC	Eur-Med	Mant.										+	+
	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	TH	Cosm	Sonch.	+			+		+		+	+		
<i>Xeranthemum hirtum</i> L.	TH	Med	Xeran.						1	+		+			
Fabaceae	<i>Astragalus hamosus</i> L.	TH	Med	Astra.h	+						+				
Caryophyllaceae	<i>Paronychia arabica</i> L.	HC	Med	Paron.	1					1			+		
Cupressaceae	<i>Cupressus dupreziana</i> A. Camus	PH	End N-A	Cup.d	1	+	1	1	1						
Fabaceae	<i>Coronilla scorpioides</i> Koch	TH	Med	Coro.						+	+		+		
	<i>Medicago arabica</i> L.	TH	Med.Sah Sind.	Medic.	+					+		+		1	
	<i>Ononis natrix</i> L.	CH	Med	Ononis										+	
	<i>Vicia sativa</i> L.	TH	Med	Vicia	+		+				+	+			
Lamiaceae	<i>Sideritis montana</i> L.	TH	Med	Sider.						+	1	+			
	<i>Teucrium polium</i> L.	HC	Med	Teu.	+					+	+	+	+		
	<i>Thymus ciliatus</i> Desf.	CH	Med	Thym.ci		+	+		+			+	+	+	

Tableau IV: liste des espèces végétales recensées à Moudjbara (Suite)

Famille	Espèce	Type biologique	Type biogéographique	Code espèce	abandonce-dominance											
					Relevés (R) dans le Reboisement de <i>P.halepensis</i>					Relevés (R) dans le Reboisement de <i>C.dupreziana</i>						
					R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5		
Molluginaceae	<i>Telephium imperati</i> L.	HC	Euras. Af-Sept	Teleph.							+					+
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> MILL.	PH	Med.	Pinus.h							2	1	1	1	2	
Poaceae	<i>Bromus rubens</i> L.	TH	Med.	Brm.r	+						+	+			+	
	<i>Hordeum murinum</i> L.	TH	Cosm.	Hord.	+						+					
	<i>Lygeum spartum</i> L.	CH	Med.	Lyg.		+	+					+	+	+	+	+
	<i>Stipa parviflora</i> Desf.	HC	Med	Stipa.p							+	+	+			+
	<i>Stipa tenacissima</i> L.	CH	Ibéro-Maur	Stipa.t			1					+	+			
Resedaceae	<i>Reseda alba</i> L.	HC	Euras.	Resid.											+	+

TH :Thérophyte ; CH :Chamaephyte ; HC:Hemicryptophyte; PH: Phanérophyte; Med: Méditerranéen; Cosm:cosmopolite; Euras: Eurasiatique ; Ibéro-Maur : Ibéro-Mauritanien ; End N-A : Endémique Nord Africain ; Eur-Med : Euro-méditerranéen ; Euras.Af-Sept : Eurasiatique Africain Septentrional; Med-Iran tour : Méditerranéen Irano-Touranien ; Med.SahSind : Méditerranéen Saharo-Sindien.

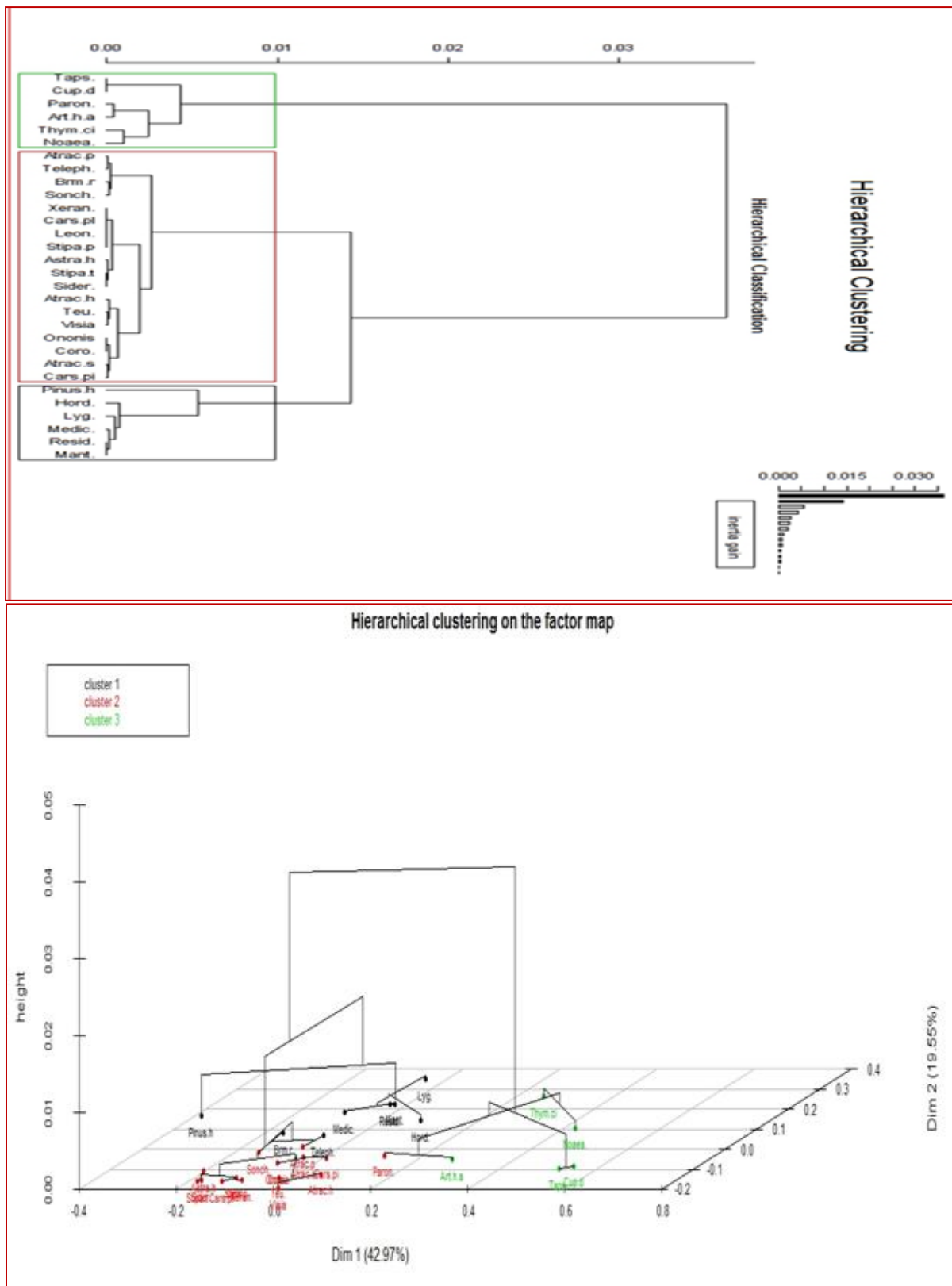


Figure 33: Classification hiérarchique de la végétation dans le reboisement étudié (CAH/ R).

2.2 La phytocèneose dans les forêts naturelles : Djellal et Toghersane

Les résultats de l'étude de la végétation dans les forêts naturelles Djellal et Toghoursane ont montré que le *Pinus halepensis* cohabite avec 50 espèces végétales (tableau V), appartenant à 17 familles botaniques: Asteraceae, Pinaceae, Cupressaceae, Papilionaceae, Caryophyllaceae, Lamiaceae, Fabaceae, Zygophyllaceae, Malvaceae, Fagaceae, Poaceae, Euphorbiaceae, Crassulaceae, Caprifoliaceae, Cistaceae Amaranthaceae et des Résédaceae (figure 34), avec une dominance des Poaceae.

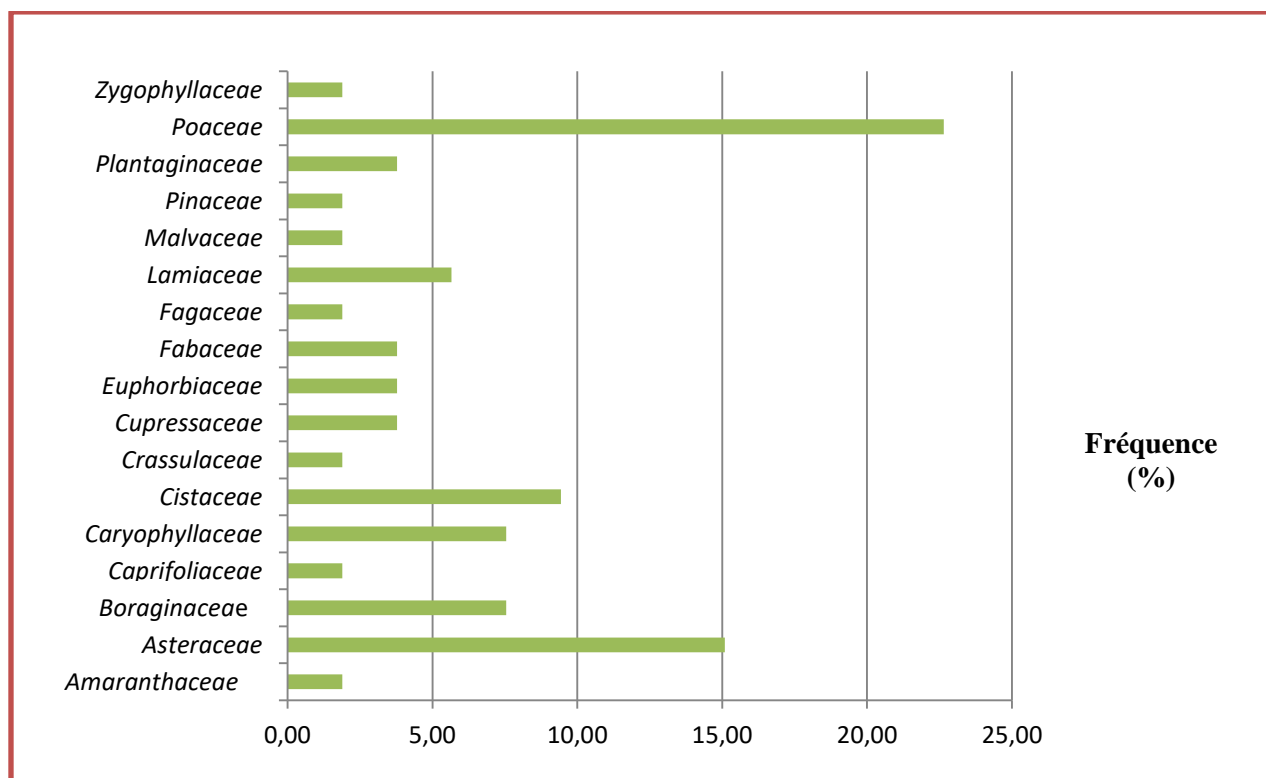


Figure 34: Fréquence des différentes familles botaniques recensées dans les forêts naturelles : Djellal et Toghoursane.

Dans les stations prospectées, il existe une mixité importante de la végétation notamment en ce qui concerne la strate arborée avec prédominance de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* à côté de *Pinus halepensis* et, suivi en faible proportion par *Quercus ilex*. L'abondance dominante de ces différentes espèces est plus importante dans la station de Toghoursane.

Pour les herbacées recensées, on note une similitude dans leur distribution entre Djellal et Toghoursane avec comme seule différence, leur abondance (Tableau V et figure 35).

Sur terrain, même si *Pinus halepensis* n'est pas très abondant à Djellal, les sujets se portaient mieux dans cette forêt, constituant pour la plus part des arbres âgés et de longueur importante (figure 36 et 37). L'ACH nous a permis d'obtenir les mêmes ensembles que l'AFC (Fig.38)



Figure 36 : Aspect des arbres dans la forêt naturelle de Djellal (Originale, 2013)



Figure 37 : Aspect des arbres dans la forêt naturelle de Toghoursane (Originale, 2013)

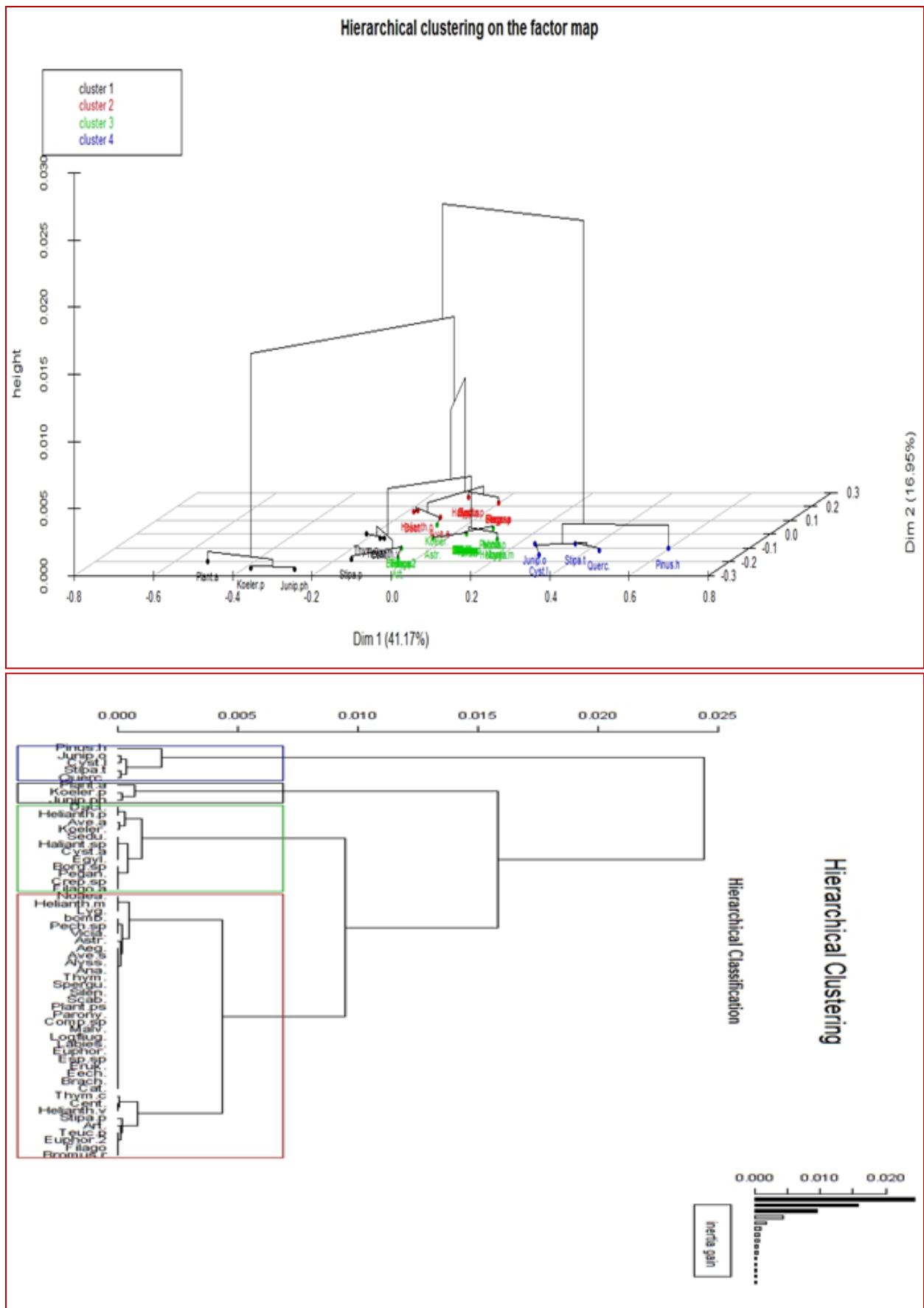


Figure 38: Classification hierarchique de la végétation en forêts naturelles. CAH/Logiciel R

Tableau V : liste des espèces végétales recensées à Djellal (Dj) et Toughoursane (Tgh)

Famille	Nom de l'espèce (Genre/ espèce/ Auteur)	Type biologique	Type biogéographique	Code espèce	abandonce-dominance										
					Relevés (R) dans la forêt naturelle de Djellal					Relevés (R) dans la forêt naturelle de Toughoursane					
					R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	
Amaranthaceae	<i>Noaea mucronata</i> Forssk.	CH	Med-Iran tour	Noaea.		+	+					+		+	+
Asteraceae	<i>Artemisia herba alba</i> Asso.	CH	Med	Art.h.a	1	+						+	+		
	<i>Anacyclus cyrtolepidioides</i> Pomel.	TH	Eur-Med	Ana.				+	+					+	+
	<i>Catananche caerulea</i> L.	HC	Med	Cat.	+	+		+				+	+		
	<i>Centaureum sp.</i>	TH	Med	Cent.	+	+			+					+	
	<i>Filago albicans</i> L.	TH	Med	Filago			+								+
	<i>Fialgo spatulata</i> Presl.	TH	Med	Filago.a			+		1	+				+	
	<i>Launaea nudicaulis</i>	TH	Med.	Asp.sp	+		+						+		
<i>Micropus bombycinus</i> Lag.	TH	Cosm	Bomb.				+			1					
Boraginaceae	<i>Echium vulgare</i> L.	HC	Med	Borg.sp	+							+		+	
Brassicaceae	<i>Alyssum macrocalyx</i> Coss. & Dur.	TH	Med	Alyss.				+			+	+			
	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav. (1802)	TH	Med	Eruk			+			+			+		
Caprifoliaceae	<i>Scabiosa stellata</i> L.	HC	Med	Scab.	+		+					+		+	
Caryophyllaceae	<i>Paronychia argentea</i> Lamk.	HC	Med	Parony.		+	+		+				+	+	
	<i>Loeflingia hispanica</i> L. ssp <i>hispanica</i>	TH	Med	Logfliug.				+		+					
	<i>Silene latifolia</i> Poir.	TH	Euras.	Silen.	+					+					
	<i>Spergularia rubra</i> (L.) D.Dietr.	TH	Cosm.	Spergu.		+						+			
Cistaceae	<i>Cistus salviiifolius</i> L.	PH	Med.	Cyst.a			+	+	1		+		+	+	
	<i>Cistus libanotis</i> L.	CH	Med.	Cyst.l	+	1				1		1	+	+	
	<i>Helianthemum pilosum</i> (L.) Pers.	CH	Med	Helianth.p			+	1	1				+	+	
	<i>Henlianthemum sp.</i>	CH	Med	Heliant.sp	+		+							+	
	<i>Helianthemum virgatum</i> (Desf.) Pers.	CH	Med	Helianth.v	+		1	+			+				
Crassulaceae	<i>Sedum caeruleum</i> L.	CH	Med	Sed.				+	+			+			

Cupressaceae	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	PH	Med	Junip.o	1	+		1	+	1		1	1	1	
	<i>Juniperus phoenicea</i> L.	PH	Med	Junip.ph	+	1	1		1		1	+	+	+	
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia granulata</i> Forssk.	TH	Eur-Med	Euphor.	+					+				+	
	<i>Euphorbia</i> sp.	CH	/	Euphor.2		+					+				
Fabaceae	<i>Astragalus cruciatus</i> Link.	CH	Med	Astr.	+		+					+			
	<i>Vicia sativa</i> L.	TH	Med	Vicia.			+	+		+			+		
Fagaceae	<i>Quercus ilex</i> L.	PH	Med	Querc.						1	1	+			
Lamiaceae	<i>Lamiaceae</i> (genre sp.)	CH	/	Labies.						+			+		
	<i>Teucrium polium</i> L. ssp <i>capitatum</i> (L.) Briq.	CH	Med	Teu.p		+		+						+	
	<i>Thymus capitatus</i> (L.) Hoffm. et Link.	CH	Med	Teu.c		+	1	1				+		+	
Malvaceae	<i>Malva</i> sp.	TH	/	Malv.	+							+	+		
Pinaceae	<i>Pinus halepensis</i> MILL.	PH	Med	Pinus.h	1	1	+	+	1	1	1	2	1	2	
Plantaginaceae	<i>Plantago albicans</i> L.	HC	Med	Plant.a	+		1	+					+		
	<i>Plantago psyllium</i> L.	TH	Med	Plant.ps		+			+	+	+				
Poaceae	<i>Aegilops ovata</i> L.	TH	Med	Aegi.	+			+				+	+		
	<i>Avena alba</i> L.	TH	Cosm.	Ave.a				+							
	<i>Avena sativa</i> L.	TH	Cosm.	Ave.s	+				+				+		
	<i>Brachypodium</i> sp.	TH	/	Brach.		+	+						+		
	<i>Bromus rubens</i> L.	TH	Paléo-Subtrop	Brm.r				+		+				+	
	<i>Dactylis glomerata</i> L.	HC	Eur.	Dact.		1		1	1		+	+			
	<i>Hordeum murinum</i> L.	TH	Cosm.	Hord.	+		+		+			+	+		
	<i>Koeleria phleoides</i> (Ville) Pers.	CH	Med.	Koeler.p	1	+	+	1						1	
	<i>Koelpinia linearis</i> Pallas.	TH	Med.	Koeler.					1						
	<i>Lygeum spartum</i> L.	HC	Med.	Lyg.	+		+	+	+					+	1
	<i>Stipa parviflora</i> Desf.	HC	Med.	Stipa.p	1	+	+	+							+
<i>Stipa tenacissima</i> L.	TH	Ibéro-Maur	Stipa.t	+	+	1				1	1	1			
Zygophyllaceae	<i>Peganum harmala</i> L.	TH	Med	Pegan.					+						

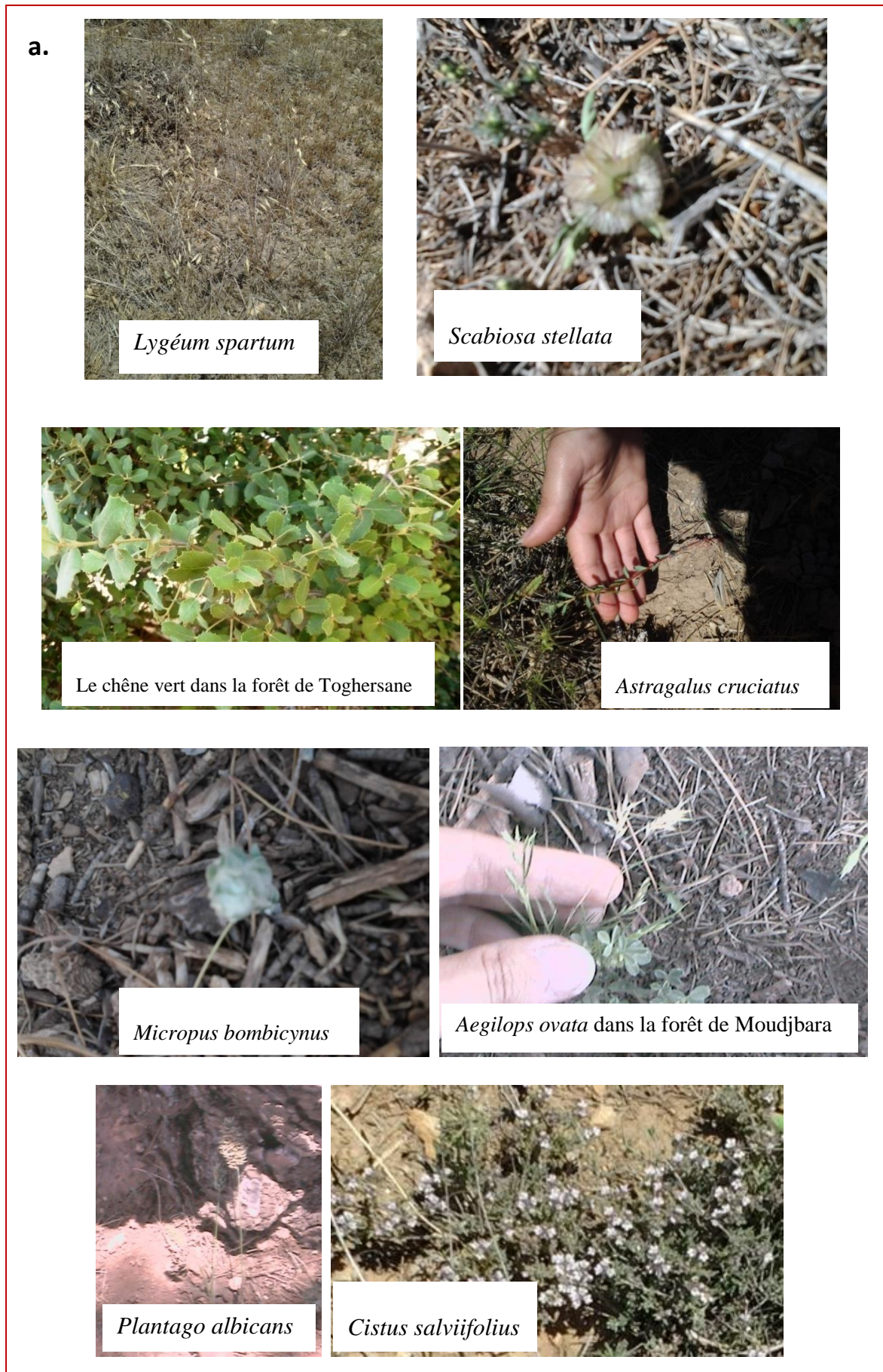


Figure 39 : Planche a. Quelques espèces végétales inventoriées à Djelfa (Originale, 2013)

b.

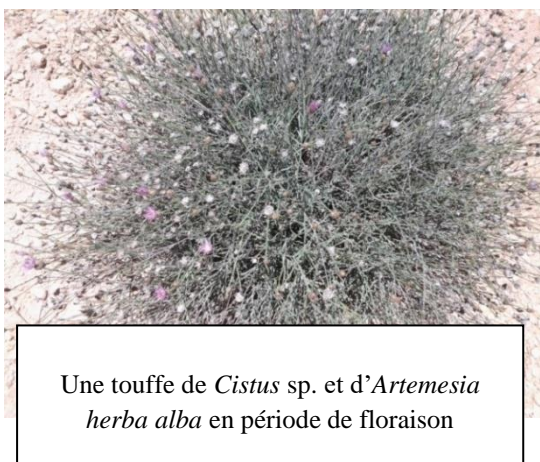


Figure 40: Planche b. Quelques espèces végétales inventoriées à Djelfa (Originale, 2013)



Figure 41 : Forêt naturelle Djellal Chergui vue du sommet de la montagne



Figure 42 : Aspect des formations végétales dans la forêt naturelle de Djellal

(Originale, 2013)

3. Inventaire des arthropodes

3.1 Classification des divers ordres des espèces inventoriées

Les résultats du diagnostic révèlent la présence d'un effectif de **1368** individus d'arthropodes dans tous les relevés confondus, effectués durant une année.

En plus de la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* présente sur les arbres de *Pinus halepensis*, les 1368 individus piégés dans les pots de barber appartiennent à 61 espèces (listées en annexe 05), réparties en cinq classes différentes :

- Classe Arachnida avec 2 ordres : Aranea et Opiliones
- Classe Insecta représenté par 7 ordres : Coleoptera, Hymenoptera, Homoptera, Lepidoptera, Diptera , Dermaptera, Orthoptera
- Classe Myriapoda avec 2 ordres : Diplopoda et Isopoda
- Classe Malacostraca avec 1 seul ordre : Isopoda.
- Classe Clitellata avec 1 seule ordre : Haplotaxida

(Figure 43).

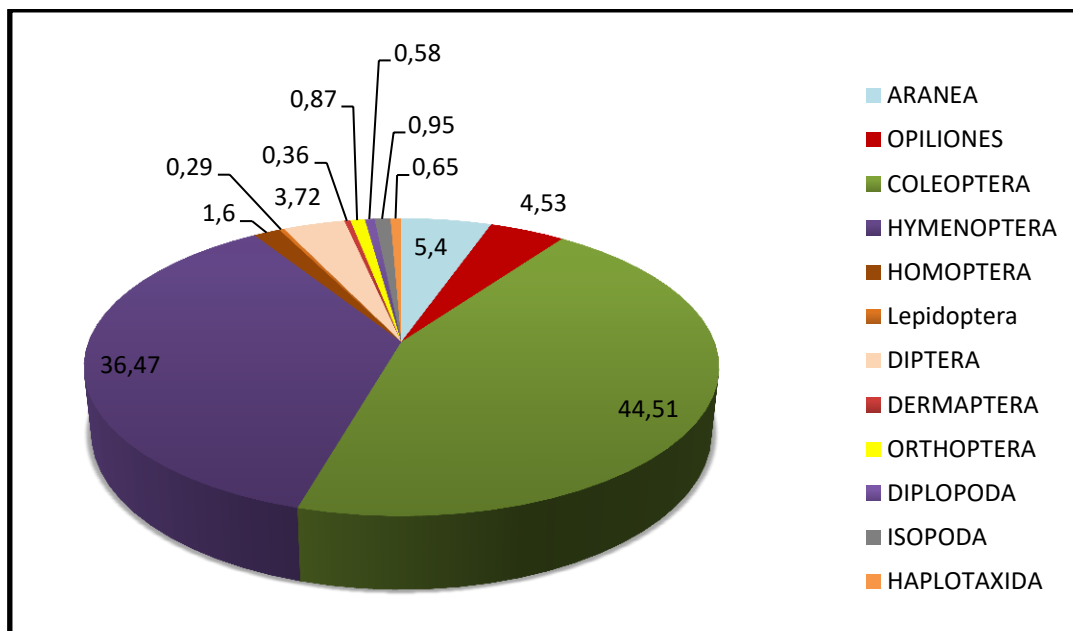


Figure 43 : Effectif des divers ordres d'arthropodes inventoriés à Moudjbara, Djellal et Toghoursane.

La présence de ces arthropodes dans le biotope étudié varie en fonction de la saison et des stations étudiées. Ce sont des insectes cosmopolites, ayant des modes de nutrition et de reproduction différents.

Sur les 1368 individus d'arthropodes recensés (espèces citées en annexe 05), les coléoptères représentent l'ordre de la classe d'insectes le plus abondant avec une prédominance des Ténébrionidés du genre *Pimelia* type : *Pimelia mauritanica* Solier, 1836.

Les coléoptères regroupent les espèces les plus répandues dans toutes les stations (annexe02), suivi par celui des Hymenoptera notamment les fourmis et d'autres Hyménoptères qui sont très présents surtout durant les périodes chaudes et ensoleillées au printemps et en été.

Aussi, la présence des Aranea et des Diptera est remarquable dans les reboisements comme dans les forêts naturelles de pin d'Alep (Figures 46 et 47).

En revanche, les Homoptera, les Haplotaxida et les Diplopoda sont quasiment absents dans les reboisements (Figures 44 et 45), quand les Opiliones sont innexistants à Djellal.

Les lépidoptères (*Hyles euphorbiae* et *Lepidoptera sp.*) enregistrés dans nos résultats (Annexe 5) concernent quelques chenilles repérées à vue d'œil, sur le sol à proximité des pièges installés à Moudjbara et à Djellal.

Ces deux espèces de lépidoptères sont morphologiquement différentes de *Thametopeoa pityocampa* dont les larves présentes en abondance sur les arbres, sont abritées dans des nids en hiver. Ces dernières n'ont pas été piégées par les pots de Barber installés.

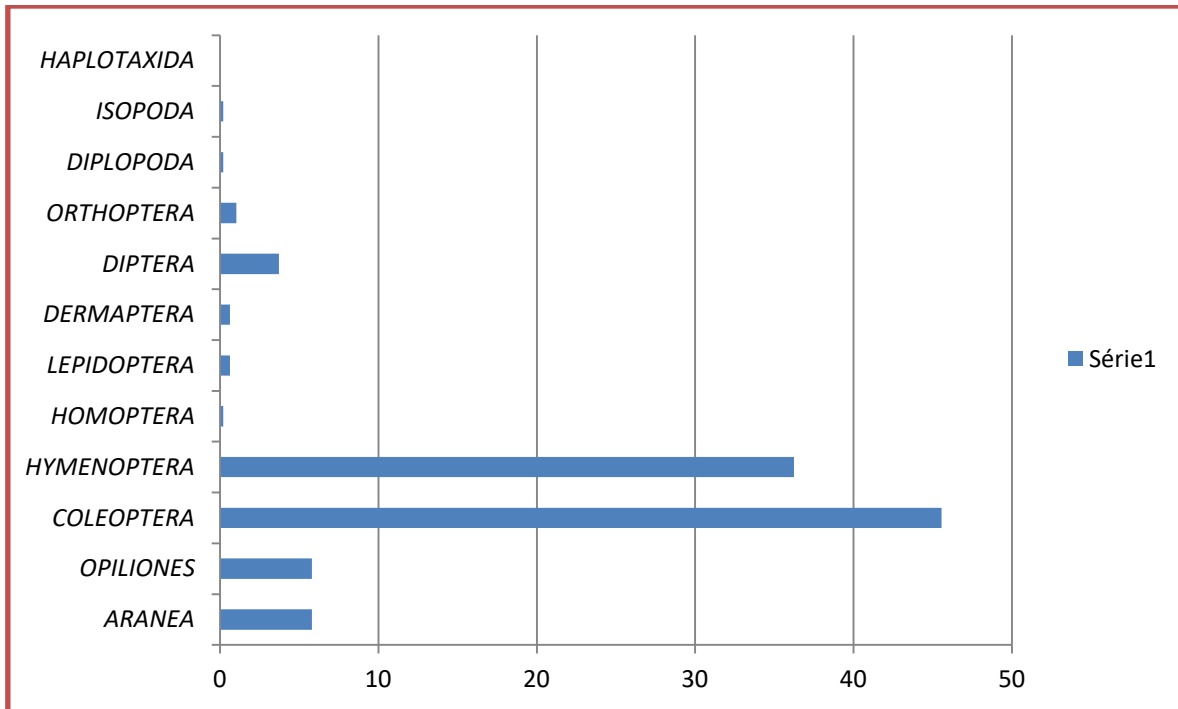


Figure 44 : Proportions des individus de différents groupes entomologiques recensés dans le reboisement de *Pinus halepensis* Mil. à Moudjbara

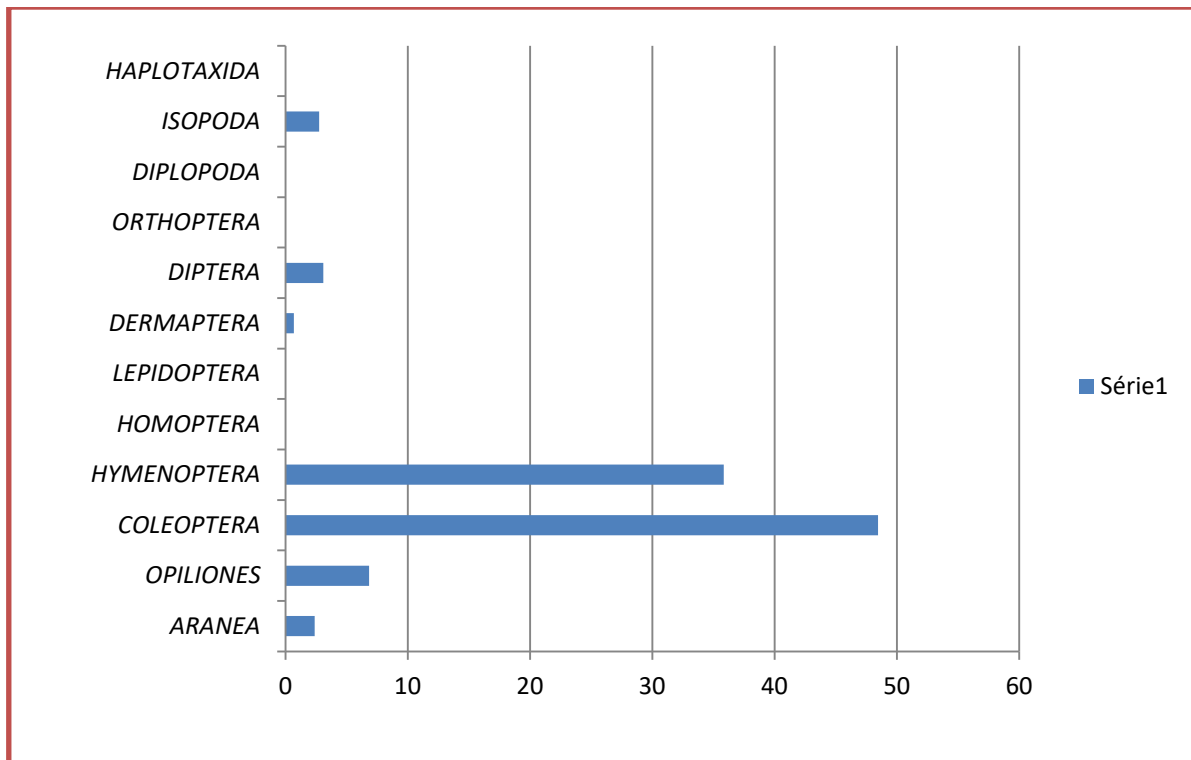


Figure 45 : Effectifs des différents arthropodes recensés dans le reboisement de *Cupressus dupreziana* A. Camus à Moudjbara

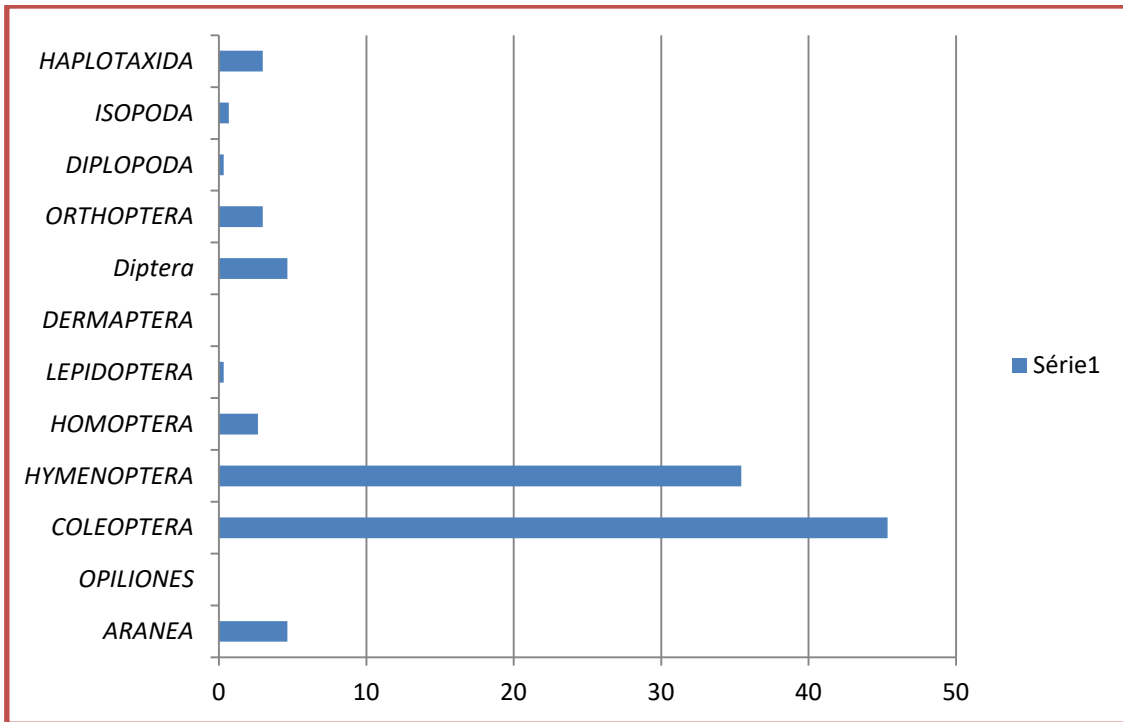


Figure 46 : Effectifs des différents arthropodes recensés recensés dans la pineraie naturelle de Djellal

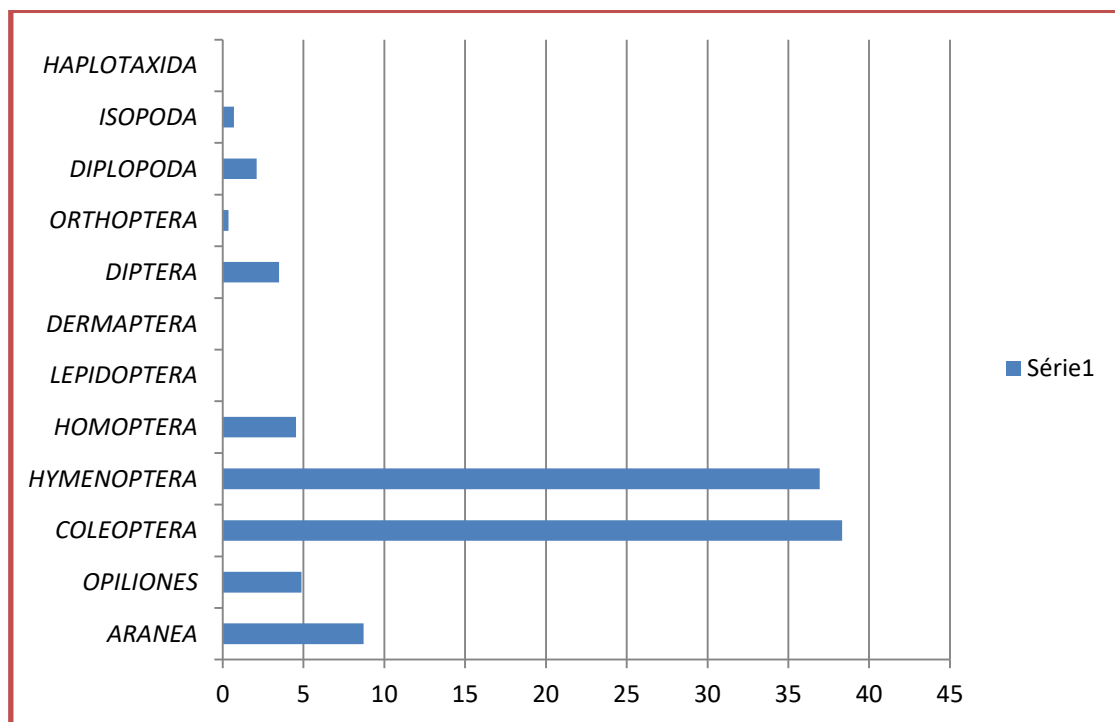


Figure 47 : Effectifs des différents arthropodes recensés recensés dans la pineraie naturelle de Toghoursane

3.2 Résultats de l'analyse factorielle de correspondance en fonction des peuplements forestiers

Le traitement des résultats est réalisé par une analyse factorielle de correspondances A.F.C. des arthropodes inventoriés, cette analyse est effectuée afin d'avoir un maximum d'informations sur l'inventaire des arthropodes et leur répartition dans les différents peuplements du point de vue qualitatif (Fig.48). La contribution des espèces d'arthropodes dans la construction de l'axe F1 est 43,29% alors qu'elle est de 36,71 % pour l'axe F2. La somme des contributions pour la construction des deux axes est de 79,99% (80%). On peut dire que la présentation de l'analyse factorielle des correspondances en deux dimensions est suffisante pour avoir le maximum d'information afin d'interpréter les résultats (corrélation positive).

Le plan factoriel obtenu réparti les espèces recensées de la manière suivante :

- Un groupe d'espèces présentes dans les reboisements de *Pinus halepensis* et *Cupressus dupreziana*, à savoir : *Sphodrus leucophthalmus*, *Camponotus erigens* Forel, 1894, *Oniscus* sp., *Messor medioruber*, *Anisolabis mauritanicus*, *Fannia* sp (Sous ordre : *Brachycera*), *Erodius* sp, *Pimelia* sp, *Salticus* sp, *Licinus* sp., *Blaps* sp, *Odeillus* sp, *Licinus punctatulus* Fabricius, 1792, *Drosophila* sp (Sous ordre: *Brachycera*). Toutes ces espèces sont abondantes dans le reboisement de *Cupressus dupreziana*. Dans le reboisement de *Pinus halepensis*, les espèces les plus abondantes sont : *Acinopus sabulosus*, *Camponotus barbaricus xanthomelas* Emery, 1905, *Calathus* sp.1, *Lepidoptera* 1, *Erigorgus femorator*, *Pimelia mauritanica* Solier, 1836, et *Zelotes oryx*.

- Un groupe d'espèces abondantes dans la forêt naturelle de Djellal, à savoir :

Euophrys frontalis Walckenaer, 1802, *Otiorhynchus* sp. Germar, 1822, *Cymindis leucophthalmus*, *Ichenomeunidae* sp., *Rhizotrogus punicus* Burmeister, 1855, *Calliphora erythrocephala*, *Calathus* sp.1, *Hyles euphorbiae*, *Calliptamus barbarus*, *Pollenia* sp (Sous ordre: *Brachycera*), *Zelotes oryx*, *Jassidae* sp., *Lasioglossum* sp., *Porcelio* sp, *Ophion luteus* (Linnaeus, 1758), *Polydesmus* sp., *Ocyopus olens*, *Pimelia mauritanica* Solier, 1836.

- Un groupe d'espèces abondantes dans la forêt naturelle de Toghoursane :

Pimelia grandis, *Syrphidae* sp. (Sous ordre: *Brachycera*), *Sitona longulus*, *Camponotus thoracicus*, *Pheidole pallidula*, *Iulus* sp., *Ocyopus olens*, *Polydesmus* sp., *Ophion luteus*

(Linnaeus, 1758), *Zelotes oryx*, *Zelotes pluridentatus*. *Atypus affinis* Thorell, 1873, *Jassidae* sp, *Porcelio* sp, et *Pimelia mauritanica* Solier, 1836

Chaque groupe comprend à son tour deux sous groupes en fonction des variations d'effectifs dans les peuplements.

Les espèces à distribution équitable entre les peuplements se trouvent proches de l'axe 1 (43,29%) tels que *Pimelia mauritanica*, un genre de coléoptères très répandu dans les trois forêts (Moudjbara, Djellal et Toghoursane).

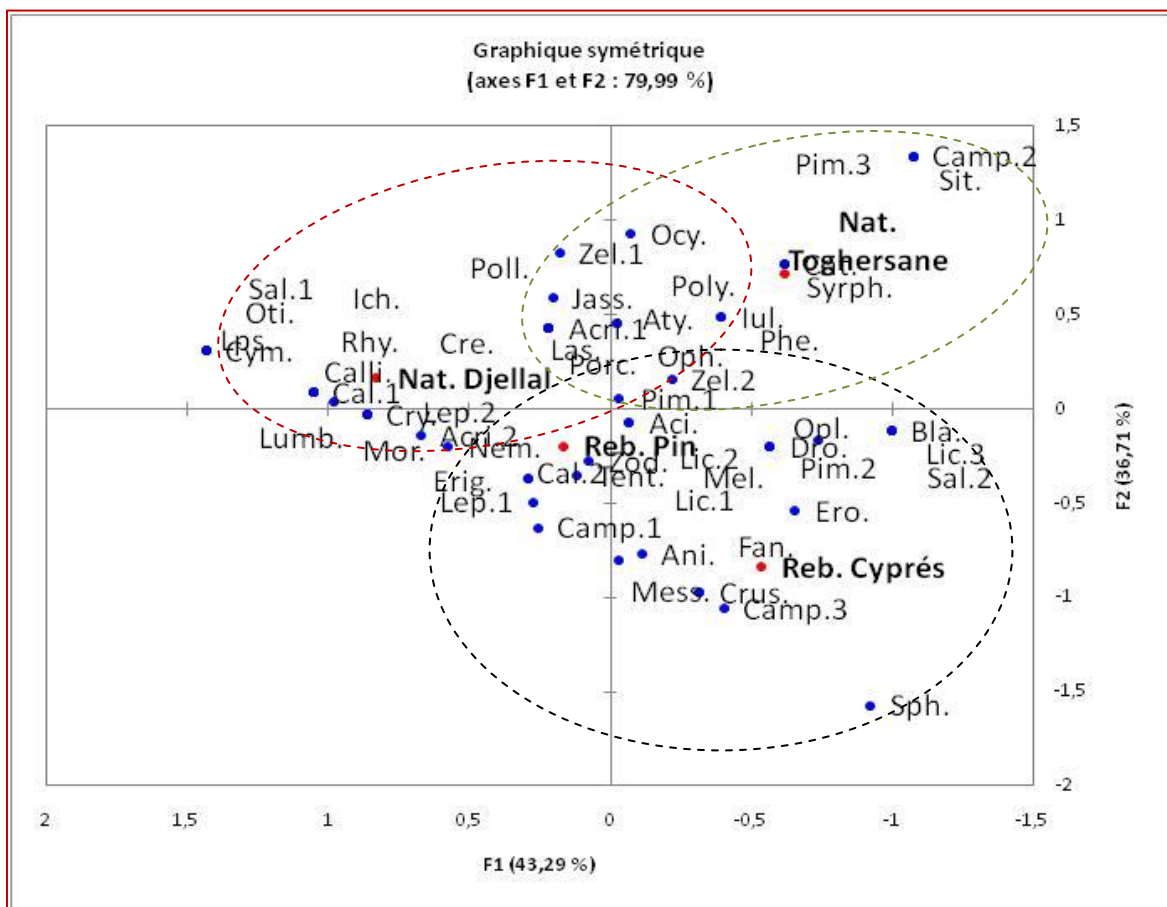


Figure 48 : Plan factoriel de l'AFC montrant la distribution des espèces recensées en fonction des peuplements forestiers (AFC/ XLSTAT).

3.3 Résultats de l'analyse factorielle de correspondance en fonction des saisons

Le traitement des résultats est réalisé par une analyse factorielle de correspondances A.F.C. des arthropodes inventoriés. Cette analyse est effectuée pour mettre en évidence un maximum d'informations sur l'inventaire des arthropodes et leur répartition dans les différents peuplements du point de vue qualitatif (Fig.49). La contribution des espèces d'arthropodes dans la construction de l'axe F1 est 47,01%, elle est de 35,85 % pour l'axe F2. La somme des contributions pour la construction des deux axes est de 82,86%. Ces résultats montrent que la représentation de l'analyse factorielle des correspondances en deux dimensions est suffisante pour avoir le maximum d'information pour mieux interpréter les résultats (corrélation positive).

Le plan factoriel obtenu réparti les espèces recensées en fonction des saisons, de la manière suivante :

- Un groupe d'espèces abondantes au printemps : *Pollenia sp* (Sous orde:Brachycera), *Hyles euphorbiae*, *Ophion luteus* (Linnaeus, 1758), *Porcelio sp*, *Lasioglossum sp.*, *Morellia sp* (Sous orde:Brachycera), *Calliphora erythrocephala*, *Syrphidae sp* (Sous orde:Brachycera), *Erigorgus femorator*, *Calliptamus barbarus*, *Pheidole pallidula*, *Camponotus barbaricus xanthomelas* Emery, 1905, *Zelotes oryx*, *Messor medioruber*, *Drosophila sp* (Sous orde:Brachycera).
- Un groupe d'espèces abondantes en hiver : *Erodium sp*, *Odeillus sp*, *Lumbricus terrestris*, *Lepidoptera 1*, *Jassidae sp*, *Tentyria sp*, *Atypus affinis* Thorell, 1873, *Crematogaster laestrygon*, *Polydesmus sp.*, *Blaps sp*
- Un groupe d'espèces abondantes en été et en automne : Il renferme toutes les autres espèces inventoriées et repérées massivement vers la fin de l'été et au début de l'automne quand les températures varient en moyenne entre 20°C et 15°C.

En automne, on note la présence en abondance de : *Calathus sp.2*, *Ocyposolens*, *Camponotus erigens* Forel, 1894, *Camponotus thoracicus*, *Pimelia mauritanica* Solier, 1836, *Zelotes pluridentatus*. Ces espèces figurent au dessus de l'axe 2 (35,85%) et peuvent faire éventuellement l'objet d'un groupe à part entière (un groupe caractéristique de la saison).

Vers la fin du printemps, nous avons observé un nombre important d'Ichneumonidés. Cette période coïncide avec un développement larvaire de la chenille processionnaire entraînant l'apparition d'*Erigorgus femorator*, parasite de *T.pityocampa*.

L'organisation de la distribution des espèces dans le temps confirme l'existence de diverses relations cénologiques entre les espèces notamment des relations trophiques qui conditionnent leur existence.

➤ Selon Martin *et al.* (2011), la dynamique des populations de *T. pityocampa* est régie par un complexe parasitaire pouvant intervenir en fin de gradation. Parmi eux, un grand nombre d'hyménoptères (Tsankov *et al.*, 1995), de Diptères, et surtout de coléoptères type « Calosome » (Tiberi, 1990).

Cependant, les fréquences relatives de l'ensemble des espèces des différents ordres d'arthropodes recensés indiquent que l'importante de cette diversité dans le reboisement de Moudjbara constitue un écosystème propice à l'installation des relations à la fois trophiques et parasitaires entre espèces.

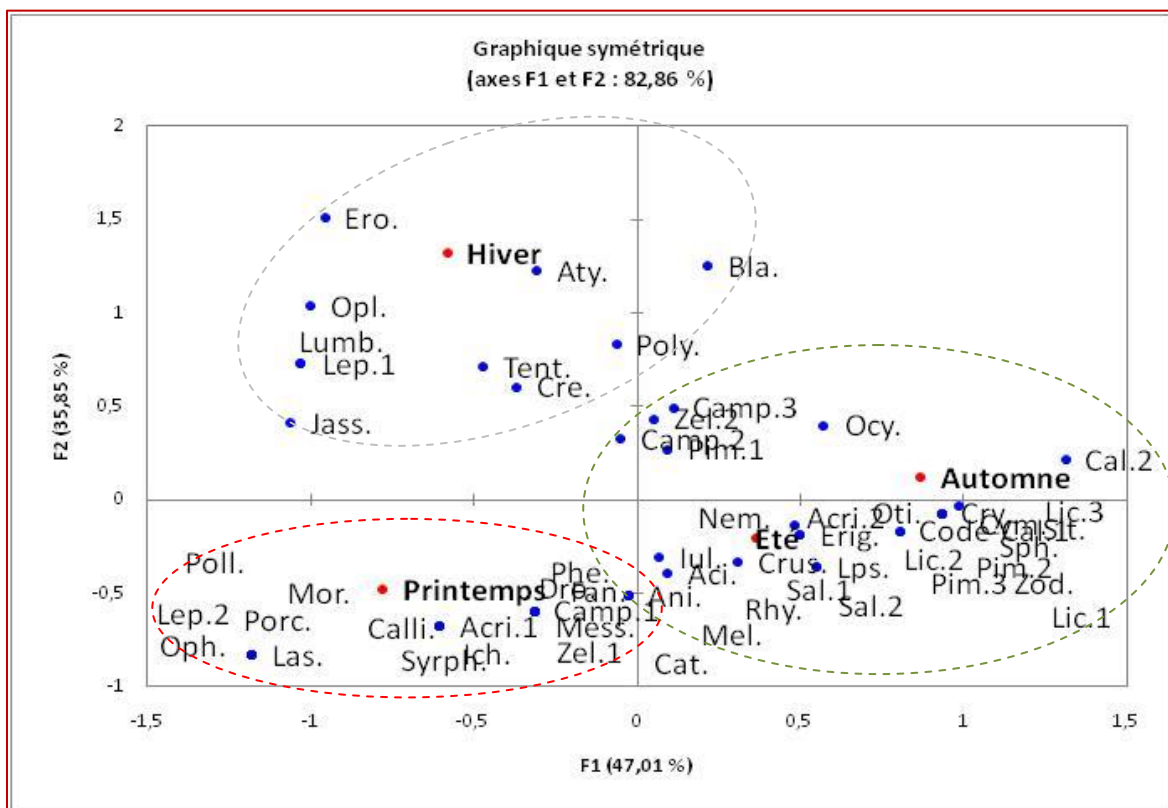


Figure 49 : Plan factoriel de l'AFC montrant la distribution des espèces recensées en fonction des saisons (AFC/ XLSTAT).

3.4 Variation des indices de diversité en fonction des peuplements forestiers

Les résultats de notre échantillonnage indiquent que les arthropodes sont plus abondants dans les biotopes comprenant *Pinus halepensis* comparativement à ceux de du biotope de *Cupressus dupreziana*, atteignant un effectif important dans le reboisement de pin d'Alep (483 Individus), avec une richesse spécifique $S=38$ à Moudjbara.

Cette dernière se situe près de la forêt naturelle de Djellal ($S=35$) où les arthropodes sont plus abondants comparativement à la forêt naturelle de Toghersane ($S=32$).

La composition des différents biotopes est différente en fonction des peuplements forestiers et probablement en fonction des espèces végétales qui constituent ces peuplements.

L'amplitude de la diversité des espèces d'arthropodes selon les stations est très importante vu les valeurs élevées de l'indice de diversité de Shannon qui oscillent entre 2.54 et 2.95 (Tableau VI).

Selon les stations d'étude, l'équitabilité (indice de Pielou) E obtenue dans notre travail varie entre 0,76 et 0,80 (Tableau VI).

Ces valeurs tendent vers 1 ainsi, les espèces capturées montrent des effectifs en équilibre entre eux. Leurs abondances sont très voisines.

Tableau VI : Variations des indices écologiques de diversité en fonction des peuplements forestiers (Moudjbara, Djellal et Toghoursane)

Peuplement Indice	R.P	R.C	N.Dj	N.T
Richesse spécifique totale (S)	38	23	35	32
Indice de diversité de Shannon (H')	2,786	2,542	2,954	2,802
Indice de Pielou (Equitability, E)	0,7659	0,8107	0,8309	0,8084

R.P : Reboisement de *Pinus halepensis*; R.C : Reboisement de *Cupressus dupreziana* (Moudjbara) ;
N.Dj : Forêt naturelle de Djellal ; N.T : Forêt naturelle de Toghoursane

3.5 Variation des indices de diversité en fonction des saisons

La composition des bitopes est différente car elle est en relation avec les saisons en l'occurrence le climat. Notre échantillonnage indique que le nombre d'espèces d'arthropodes est appréciable en été et diminue selon l'échelonnement des saisons, le printemps, puis de l'automne et enfin l'hiver.

La richesse spécifique totale **S** à Moudjbara, DJelal et Toghoursane durant les 4 saisons : été, printemps, automne et hiver est respectivement 78, 67, 49 et 32 (Tableau VII).

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon sont élevées, elles oscillent entre 3.13 et 3.82. Ainsi, on peut éventuellement dire que l'amplitude de la diversité des espèces d'arthropodes est très importante mais diffère en fonction des saisons (Tableau VII).

Selon les saisons, l'équitabilité (indice de Pielou) **E** obtenue varie entre 0,87 et 0,93 (Tableau VII). Ces valeurs tendent vers 1 mettant en exergue un équilibre de l'effectif entre les espèces capturées. Leurs abondances sont très voisines.

Cependant, cet équilibre est moins prononcé en été et au printemps quand la valeur de l'équitabilité **E** est minimale (0,87). Ce résultat (Tableau VII) s'explique par la dominance de quelques espèces de divers ordres durant ces deux saisons. En effet, nous avons pu constater la dominance des : Hyménoptères (en particulier des Fourmicidae), des Aranea et des Coléoptères notamment durant ces deux saisons.

Tableau VII : Variations des indices écologiques de diversité en fonction des saisons

Saison Indice	Printemps	Eté	Automne	Hiver
Richesse spécifique totale (S)	67	78	49	32
Indice de diversité de Shannon (H')	3,696	3,821	3,639	3,134
Indice de Pielou (Equitability, E)	0,879	0,8771	0,9351	0,9042

a.

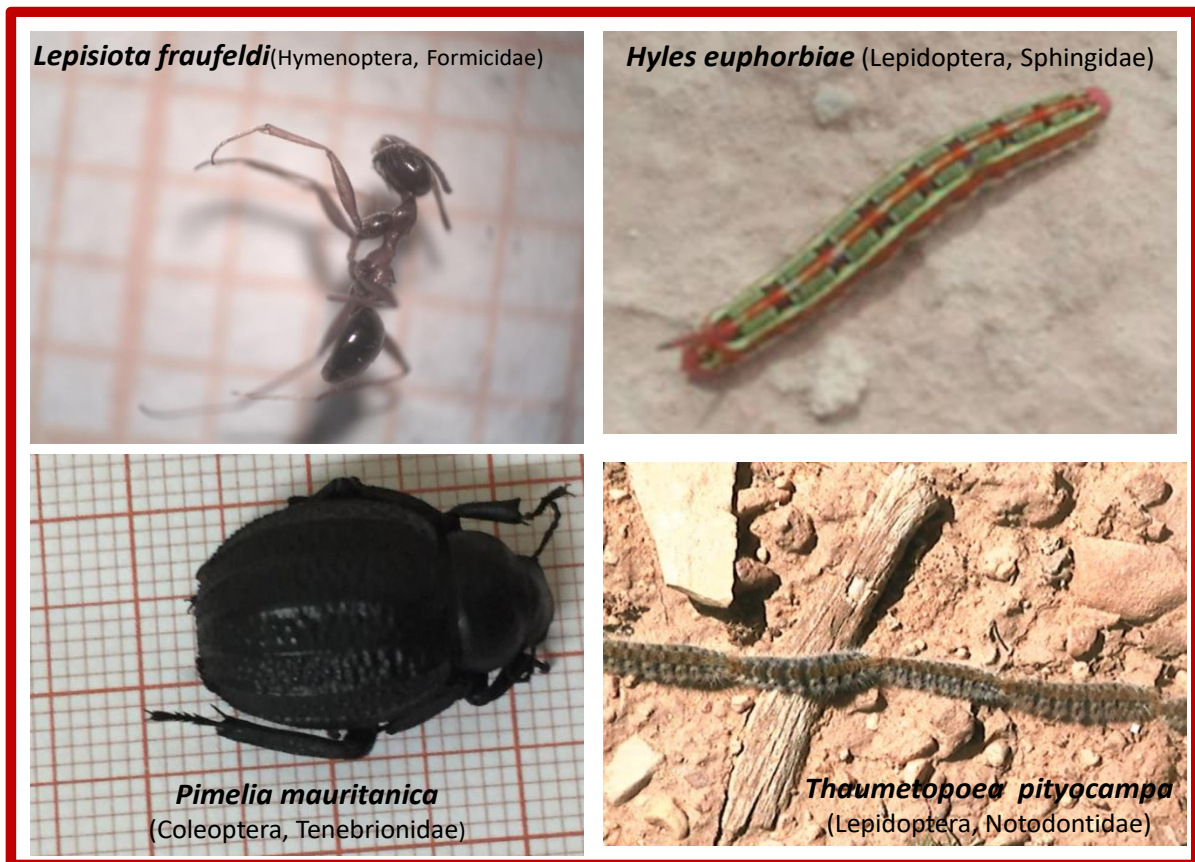
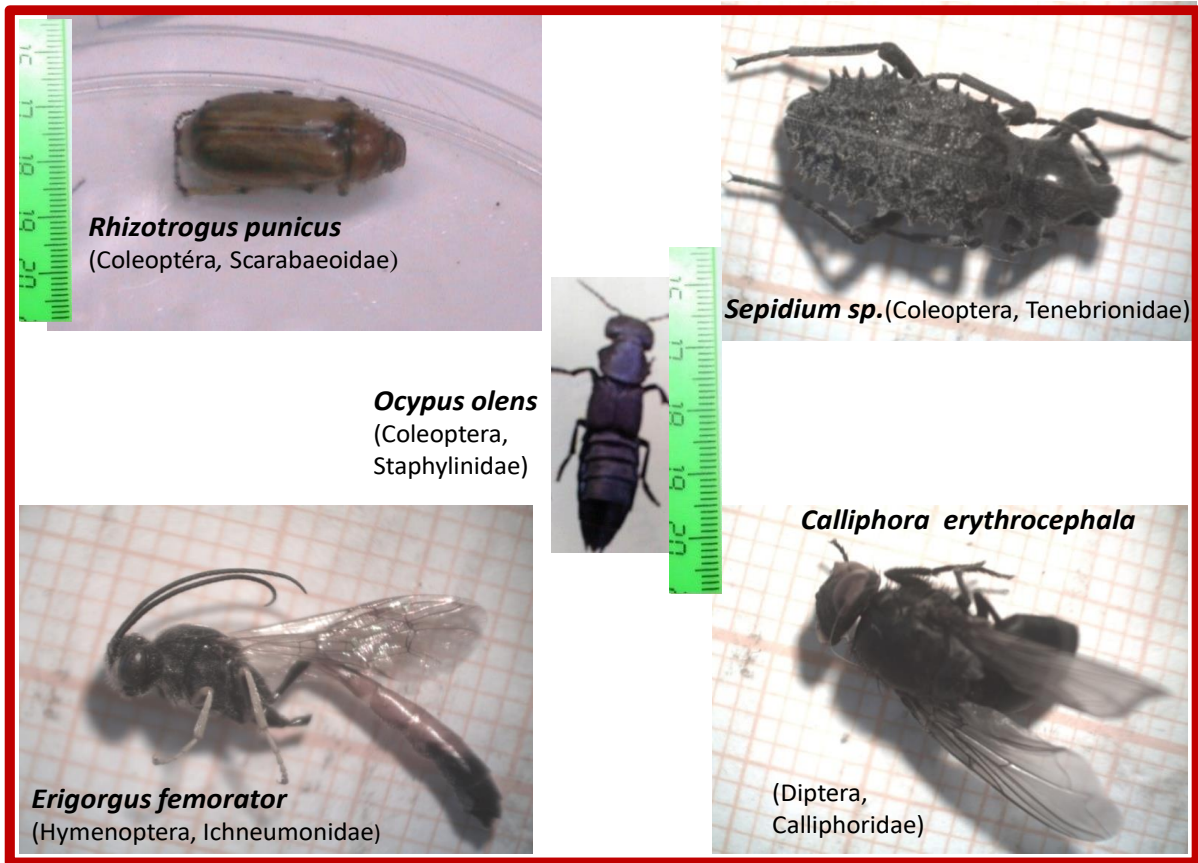


Figure 50 : Planche a. Quelques arthropodes inventoriés dans les forêts étudiées.

b.

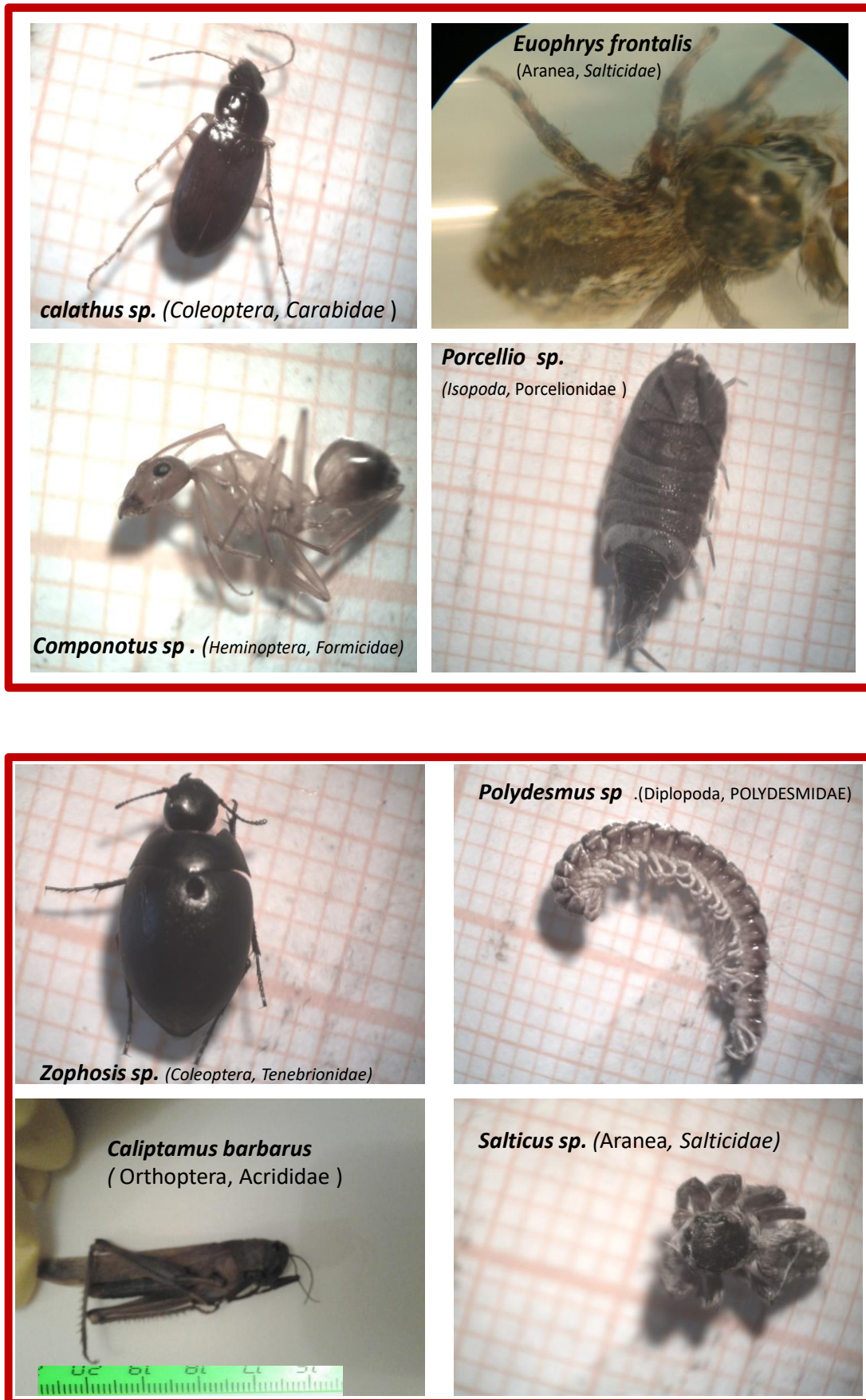


Figure 51 : Planche b. Quelques arthropodes inventoriés dans les forêts étudiées

4. Etat de *Pinus halepensis* Mil. dans les différentes stations

4.1 Paramètres dendrométriques de *Pinus halepensis* Mil.

Les caractères dendrométriques du Pin dans les trois stations montrent que cet arbre évolue mieux dans des zones où il ya moins d'attaques de chenilles. En effet, on a remarqué que la présence d'un mélange d'espèces arbustives et sylvicoles jouait le rôle de barrière à la ponte de la chenille de plus, cet ensemble favorise l'installation d'autres (Tableau VIII)

Tableau VIII : Caractères dendrométriques et quelques aspects de *Pinus halepensis* Mil.

Stations/Alt	Hauteur des Arbres	Circonférence du tronc (cm)	Age Etat phyto-sanitaire	Forme (état) (biomasse foliaire)
Moudjbara (1205m)	70cm-1m	25-30	S/jeunes	Défoliation moyenne 50%
Moudjbara (1193m)	4,5m-5m	43-58	S/âgés	Importante défoliation 75%
Moudjbara (1314m)	1m-1,5m	18-33	S/jeunes	Arbres en Bon état (pas de défoliation)
Djellal (1410m)	Plus de 4m	40-59	S/âgés	Arbres peu attaqués Faible défoliation 10%
Djellal (1354m)	70cm-2,5m	25-41	S/jeunes	Défoliation légère 25%
Djellal (1388m)	Plus de 3m	40-55	S/âgés	Absence de défoliation
Toghorsane (1405m)	2m-3m	35-55	S/jeunes	Pas de Défoliation
Toghorsane (1375m)	1,5m-3m	35-55	S/jeunes	Défoliation faible 10%
Toghorsane (1368m)	2m-3m	35-55	S/jeunes	Défoliation faible 10%

4.2 Etat actuel du cyprès du Tassili dans le reboisement de Moudjbara

4.2.1 Caractères dendrométriques

Le cyprès du Tassili est un arbre à branches courtes, horizontales relevées à l'extrémité. Ses ramules sont disposées en un seul plan ou en plan perpendiculaire. Dans son habitat naturel (Tassili), il peut atteindre une longueur qui dépasse 22m. La circonférence peut être égale à 12m.

Lors de son introduction dans le reboisement du barrage vert de Moudjbara, ce dernier comptait 110 sujets. Toutefois, 86 sujets ont pu survivre aux conditions pédoclimatiques et aux attaques de *Thaumetopoea pityocampa* mais actuellement seulement 30 pieds ont résisté. Les quelques pieds qui ont survécu aux conditions extrêmes du milieu sont marqués par une circonférence très réduite, une défoliation, un dépérissement, et un houppier très différent en comparaison avec le *Cupressus dupreziana* qui évolue dans son milieu naturel (Tableau IX). Ces sujets révèlent une dégradation très importante comparé aux pins d'Alep avoisinants (qui sont très fortement attaqués par *T. pityocampa*). Ainsi et suite à cette dégradation du pin d'Alep, la chenille change de plante hôte en attaquant les cyprès (Fig. 52 ; Fig.53 ; Fig.54)

Tableau IX : Description dendrométriques des arbres

Parcelle/ Espèces	Altitude (m)	Hauteur des Arbres. (m)	Circonférence du Tronc (cm)	Age	Forme (état)
(Parcelle P1)/ <i>P.halepensis</i>	1205m	0,70m-3m	27-33	Sujets jeunes (1969)	123 pieds vivants Défoliation 50% (2à3 nids/arbre)
(Parcelle P2)/ <i>C.dupreziana</i>	1258m	0.53m-2,8m	18- 24,5	Sujets jeunes (1974)	86 pieds vivants mais en très mauvais état.



Figure 52: Aspect de *Pinus halepensis* Mil. dans le reboisement de Moudjbara



Figure 53 : Distance entre les parcelles des deux arbres étudiés dans le reboisement



Figure 54 : Circonférence du tronc de *Cupressus dupreziana* A. Camus.

4.2.2 Fluctuation des infestations par *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff. dans le reboisement

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P=0,000$) au seuil ($\alpha < 0,05$) entre les nombres de nids par arbre entre la parcelle reboisée de *Pinus halepensis* et la parcelle reboisée de *Cupressus dupreziana* à Moudjbara (Tableau X et Figure 55).

Le nombre de larves a régressé en 2013 dans la pineraie avec disparition complète des larves en 2013 dans les cyprès. Puis il a augmenté de nouveau, simultanément dans les deux parcelles en 2014. Ces comptages se basent sur les moyennes des nids ou de colonies de chenilles par arbre. Ces observations sont réalisées durant les mois de mars-avril et mai des trois années consécutives en l'occurrence 2012, 2013 et 2014. L'analyse de cette fluctuation a été réalisée après observation des chenilles sur les cyprès lors des derniers stades avant la procession de nymphose. Préalablement, ni ponte ni prés-nid ou nids d'hiver n'ont été observés sur les arbres durant les trois années.

Tableau X : Comparaison des nombres de nids par arbres dans le reboisement (test-t au seuil ($\alpha < 0,05$) réalisé par STATISTICA 10)

Forêts	Echantillons	Moy ± ET ; Min-Max (CV)
		Nbr. De Nids
Reboisement <i>P.alepensis</i> (a)	P(a).2012	2.60 ±0.51 2-3 (19,84)
	P(a).2013	0.60±0.96 0-1 (161)
	P(a).2014	2.20±1.13 1-2 (51.59)
Reboisement de <i>C.dupreziana</i> (b)	P(b).2012	0.50±0.70 0-1 (141,4)
	P(b).2013	0.0±0.0 0-0 (0)
	P(b).1014	0.7±0.82 0-1 (117,57)
Moyenne (test t)		1,1***±0.78 0-3 (70,90)

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; CV, Coefficient de variation (%) ; Seuil de signification statistique *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; *, $p < 0,001$.**

4.2.3 Comparaison du nombre de nids par arbre entre forêt naturelle et reboisement

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre le nombre de nids par arbre au niveau des deux forêts Moudjbara et Djellal ($P < 0,001$) (Tableau XI).

Néanmoins, les taux d'infestation entre les arbres de chaque placette forestière sont similaires. La variabilité intergroupes est supérieure à la variabilité intra-groupes, notamment au niveau du reboisement de Moudjbara, avec des écarts qui varient de 1,07 à 1,4, supérieurs à l'écart typé regroupé d'une valeur de 0,93. Hors qu'à Djellal ces écarts varient de 0,32 à 0,7 (inférieurs à l'écart type regroupé). Dans cette dernière, le nombre de nids est réduit, surtout dans la parcelle Dj2 où nous n'avons dénombré qu'un seul nid sur 10 arbres, soit une moyenne de 0,1 nid/arbre alors qu'au niveau de la parcelle Dj3, les taux d'infestations enregistrés sont plus importants et s'élèvent jusqu'à deux nids par arbre, pour une moyenne allant de 0,3 à 0,5 par arbre.

Quant à la pineraie artificielle et mono-spécifique, le taux d'infestation par *T.pityocampa* observé était le plus élevé. En effet, soit les larves ne s'installent pas sur l'arbre, soit elles tissent jusqu'à quatre nids sur un seul arbre hôte souvent un sujet jeune, à aiguilles vertes, et bien exposé au soleil (Conditions favorables). La distance entre les arbres dans cette forêt est mesurée à 2m uniquement.

A Djellal, les pins d'Alep examinés sont très distants (20-40 m) d'où le nombre d'arbres est réduit. Précisant que dans cette parcelle, il a existé plusieurs sujets de genévriers *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* (avec un taux de recouvrement de 30%) notant aussi la présence de quelques arbustes de chêne vert. On parle donc d'une gamme d'essences forestière assez diversifiée dans cette forêt mixte.

Tableau XI : Comparaison des nombres de nids par arbres dans les Forêts naturelles comparativement au Reboisement (test-t au seuil ($\alpha < 0,05$) réalisé par STATISTICA 10).

Forêts	Parcelles	Moy \pm ET ; Min-Max (CV)
		Nbr. De Nids
Reboisement Moudjbara (M)	M1	1.40 \pm 1.07 0-3 (76.78)
	M2	1.40 \pm 1.35 0-4 (96.42)
	M3	1.50 \pm 1.43 0-4 (95.58)
Forêt naturelle Djellal (Dj)	Dj1	0.40 \pm 0.52 0-1 (129.10)
	Dj2	0.1 \pm 0.32 0-1 (316.23)
	Dj3	0.6 \pm 0.7 0-2 (116.53)
Moyenne (test t)		0.9*** \pm 1.10 0-4 (122.23)
Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; CV, Coefficient de variation (%) ; Seuil de signification statistique *, p < 0,05 ; **, p < 0,01 ; ***, p < 0,001.		



Figure 55 : Etat de dégradation des arbres de *Cupressus dupreziana* A. Camus reboisés.

5. DES BIO-ESSAIS POUR LUTTER CONTRE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN :

5.1 Rendement des extraits méthanoliques de plantes

Les feuilles des différentes espèces végétales utilisées, à savoir : *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* ; présentent en moyenne de meilleurs rendements en extraits méthanoliques (MeOH) que ceux des fruits de *Melia azedarach*.

Les différents rendements obtenus ainsi que les couleurs et les aspects des différents extraits sont présentés dans le Tableau XII.

Tableau XII : Couleurs, aspects, et rendements des extraits méthanoliques (MeOH) obtenus.

Espèce	Partie de plante	Aspect	Couleur	Rendement en MeOH (%)
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Feuilles	Visqueux	Vert	21,2
<i>Juniperus phoenicea</i>	Feuilles	Visqueux	Vert	18,01
<i>Melia azedarach</i>	Fruits	Visqueux	Jaune	8,65

5.2. Analyse chimique

5.2.1 Screening chimique qualitatif des espèces végétales

Les résultats du screening chimique qualitatif indiquent des similitudes entre les familles chimiques composant les espèces : *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* (Tableau XIII). En effet, on peut distinguer la présence des tanins, des leuco-anthocyanes, des flavonoïdes, des quinones, des terpènes et stérols dans les deux plantes. Seul *Juniperus oxycedrus* contient des alcaloïdes non retrouvés dans le genévrier rouge qui, en revanche, présente des saponosides (Tableau XIII). L'espèce *Melia azedarach* quant à elle, elle contient des alcaloïdes, saponosides, tanins et flavonides.

Tableau XIII : Screening chimique qualitatives des espèces utilisées comme biocide

Composés	<i>J. oxycedrus</i>	<i>J. phoenicea</i>	<i>M.azedarach</i>
Tannins	+	+	+
Anthocyanes	-	-	-
Leuco-anthocyanes	+	+	-
Saponosides	-	+	+
Alcaloïdes	+	-	+
Flavonoïdes	+	+	+
Cardinolides	-	-	-
Terpènes et Stérols	+	+	+
Quinones	+	+	-
Amidon	-	-	-
Coumarines	-	-	-

+ Présence – Absence

5.2.2 Analyse phyto-chimique des extraits de *Melia azedarach* (GC–MS identification)

La CG-MS nous a permis de déterminer 72,74% des composés chimiques présents dans l'extrait méthanolique de *Melia azedarach* soit 35 substances chimiques dissoutes dans le méthanol. Cet extrait contient diverses métabolites secondaires et organiques : des acides gras, des monoterpènes, des acides carboxyliques aromatiques, des phénols, des acides phénoliques et des hétérosides. Dont, les composés majoritaires sont des acides gras saturés : l'acide oléique, l'acide stéarique, et l'acide palmitique, représentant respectivement 25,69%, 17,83% et 17,83% du total des substances identifiées (Figure 58 et Tableau XIV).

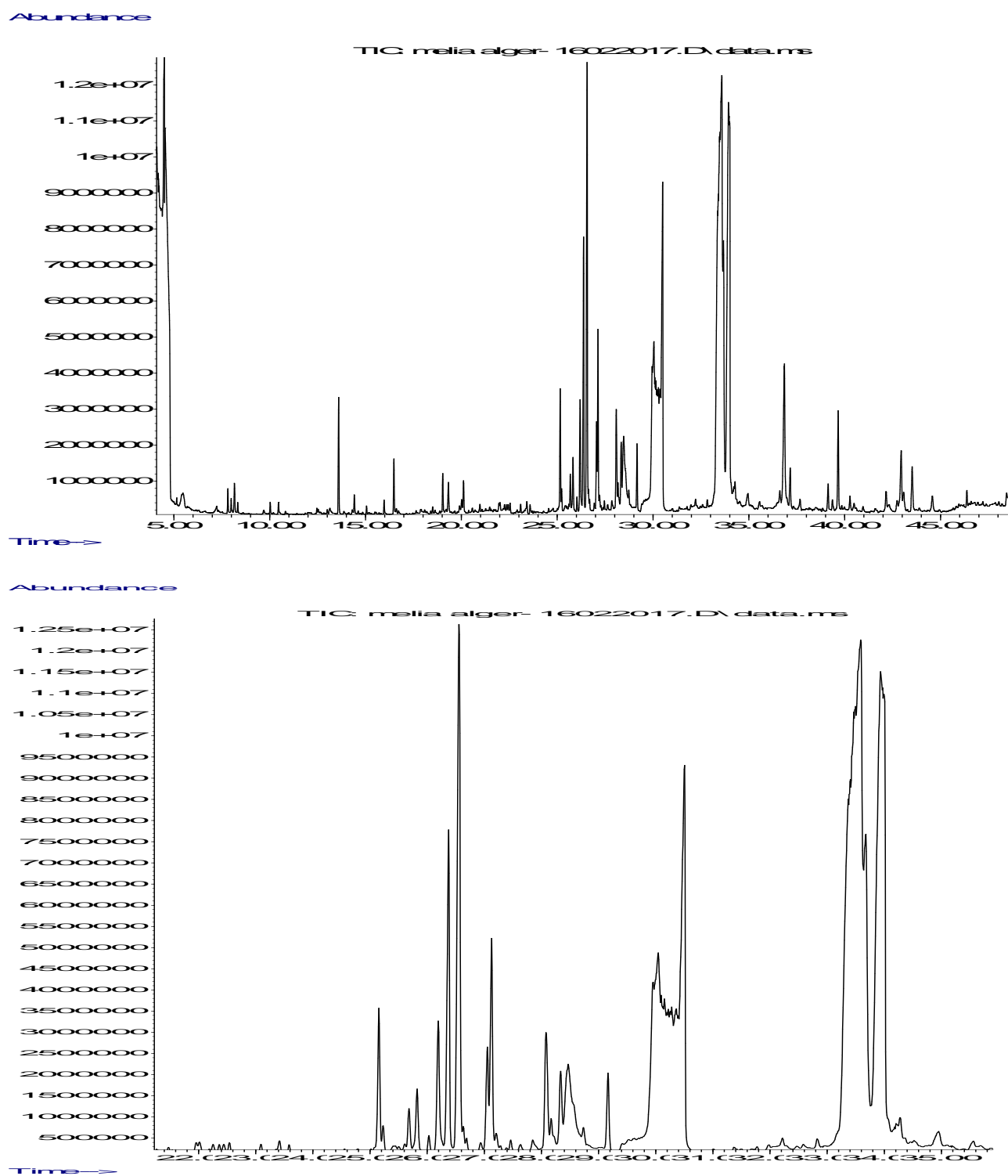


Figure 56: Séquences du chromatogramme de l'analyse par GC-MS des extraits méthanoliques de *Melia azedarach* ..

Tableau XIV. Résultats de la CG-MS sur les extraits méthanoliques de *M. azedarach*

Composés	Tr (min)	Area in %
1,8-Cineole	7.237	0.09
Caproic acid C₆H₁₂O₂	8.163	0.29
Propanedioic acid C ₃ H ₄ O ₄	8.337	0.09
Propanoic acid C ₃ H ₆ O ₂	10.025	0.14
Butanoic acid C ₄ H ₈ O ₂	10.462	0.12
Benzoic acid	12.534	0.04
Octanoic acid C ₈ H ₁₆ O ₂	13.009	0.04
glycerol	13.596	0.85
Hydroquinone	16.611	0.06
Butanedioic acid C ₄ H ₆ O ₄	19.029	0.31
Pyrogallol C ₆ H ₆ O ₃	20.114	0.32
m-Hydroxybenzoic acid	20.574	0.05
p-Hydroxybenzoic acid	21.961	0.13
D-Arabinonic acid	22.368	0.09
Dodecanoic acid C ₁₂ H ₂₄ O ₂	22.443	0.10
Phloroglucinol	22.541	0.10
3,4,5-Trihydroxypentanoic acid	23.098	0.10
Nonanedioic acid C ₉ H ₁₆ O ₄	23.422	0.19
(Azélaïc acid)		
Octanedioic acid C ₈ H ₁₄ O ₄	23.588	0.07
(Suberic acid)		
Cinnamic acid	25.510	0.06
Glucopyranose	27.055	0.76
beta-D-Galactofuranose	27.213	0.16
Glucopyranose	28.336	0.74
3, 4, 5-trihydroxybenzoic acid/ Gallic acid	28.471	3.41
Palmitoleic acid C₁₆H₃₀O₂	30.046-	17.83
	30.362	
Methyl cis-9-octadecenoate	31.372	0.04
Heptadecanoic acid C ₁₇ H ₃₄ O ₂	31.983	0.086
Stearic acid C₁₈H₃₆O₂	33.942	17.83
Oleic acid C₁₈H₃₄O₂	33.588	25.69
9,12-Octadecadienoic acid	34.951	0.45
Nonadecanoic acid C ₁₉ H ₃₈ O ₂	35.562	0.13
Eicosanoic acid C ₂₀ H ₄₀ O ₂	37.159	0.54
2-Monopalmitin	39.141	0.30
Docosanoic acid (Acide béhénique) C ₂₂ H ₄₄ O ₂	40.279	0.17
1-Monooleoylglycerol	42.946	1.43

5.3 Tests biocides contre *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.

5.3.1 Effet insecticide de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* L.

Les extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* (EJO) et *Juniperus phoenicea* (EJP) ont provoqué des mortalités des chenilles des différents stades qui ont débuté 7^{ème} jour après traitement avec des taux qui varient de 39,5% et 57,81% (Figure 57).

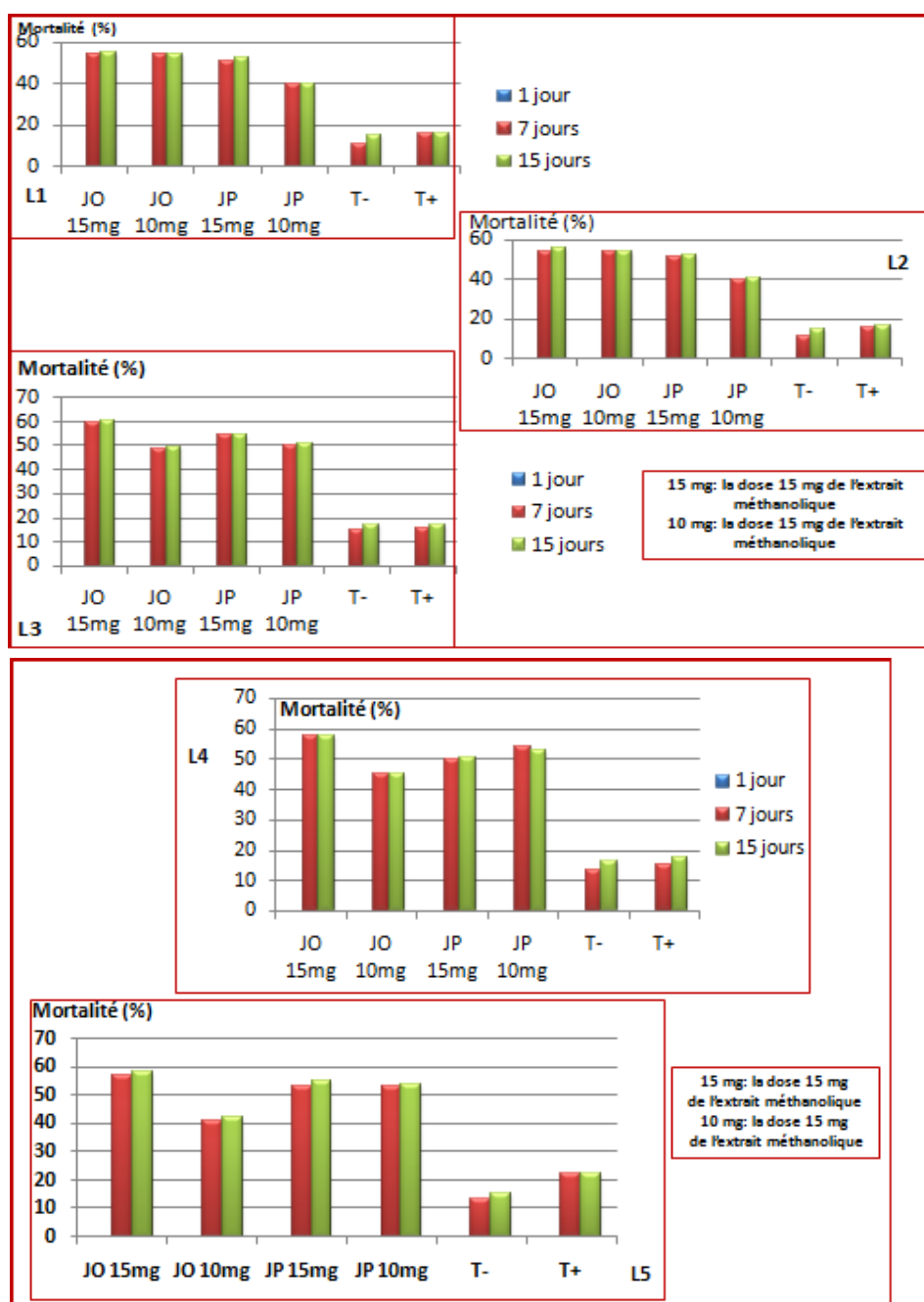


Figure 57 : Cinétique de l'effet insecticide de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* sur *T. pityocampa* des différents stades larvaires. [JO :*Juniperus oxycedrus*; JP : *Juniperus phoenicea* ; T+ : témoins positif avec solvant; T- : Témoins négatif sans solvant]

Ces résultats ont atteint après 15 jours de traitement une moyenne de $56,2 \pm 0,38$ % de mortalité de chenilles traitées par les extraits méthanoliques de *J. oxycedrus* et $54,4 \pm 0,62$ % de mortalité de celles traitées par l'extrait méthanolique de *J. phoenicea*. L'analyse statistique a montré que ces taux considérables présentent une différence très hautement significative ($P < 0,001$) au seuil ($\alpha < 0,05$) par rapport aux témoins positifs et négatifs [$23,2 \pm 0,11$ % et $15,6 \pm 0,47$ %] respectivement (Figure.58).

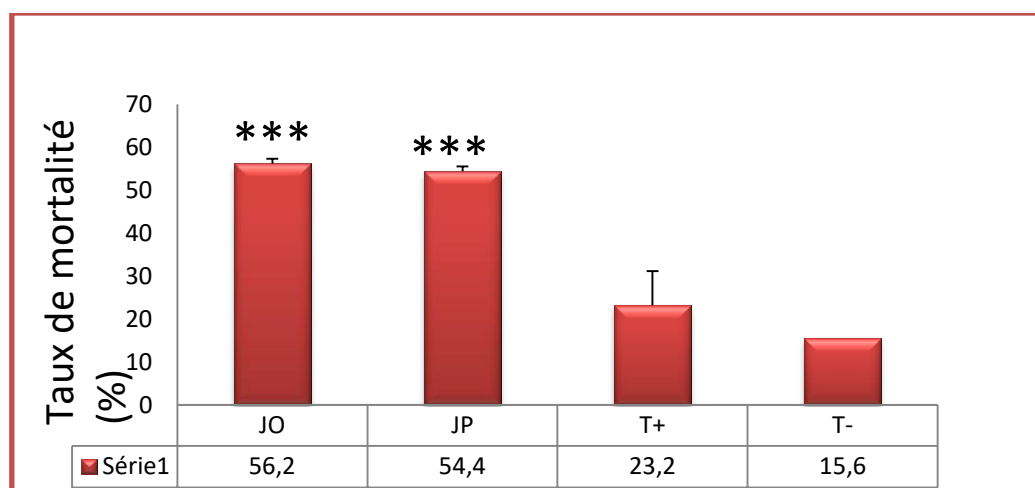


Figure 58 : Moyennes des taux de mortalité des larves de la CPP durant 15 jours d'exposition ($P < 0,001$) (JO : larves traitées par *Juniperus oxycedrus*, JP : larves traitées par *Juniperus phoenicea*, T+ : Témoins traités par le méthanol, T- : Témoins non traités).

L'analyse des probits a permis d'évaluer la CL50 à $13,427 \pm 3,456$ mg/cm² et $13,659 \pm 3,059$ mg/cm² pour l'extrait méthanolique de *J. oxycedrus* et *J. phoenicea* respectivement. Ces doses sont proches de la plus forte dose utilisée pour les extraits à savoir 15mg/cm² (Tableau XV).

Tableau XV : Résultat de la toxicité des extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* évaluée par le logiciel de statistiques R

Doses Létales	EJO (mg/cm ²)	EJP (mg/cm ²)
CL50	13,472(±3,456)	13,659(±3,059)
CL90	28,327(±10,195)	26,521(±8,216)

EJO : Extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* ;

EJP : Extraits méthanoliques de *Juniperus phoenicea*.

L'analyse des composantes principales (Figure 59) a permis de distinguer deux groupes

- Le premier groupe concerne les mortalités de larves aux stades avancés L3, L4 et L5 corrélées aux effets des doses de 15mg des deux espèces *J. oxycedrus* et *J. phoenicea* L. et de 10mg de *J. phoenicea* L. qui ont tous donné les meilleurs résultats avec des taux de mortalité qui s'élevent en moyenne jusqu'à $56,2 \pm 0,38$ %
- Le second groupe est attribué à l'effet des extraits de *Juniperus oxycedrus* ayant présenté une faible efficacité (voir comparable aux témoins non traités ou traités par du méthanol pur) uniquement contre les jeunes larves L1 et L2.

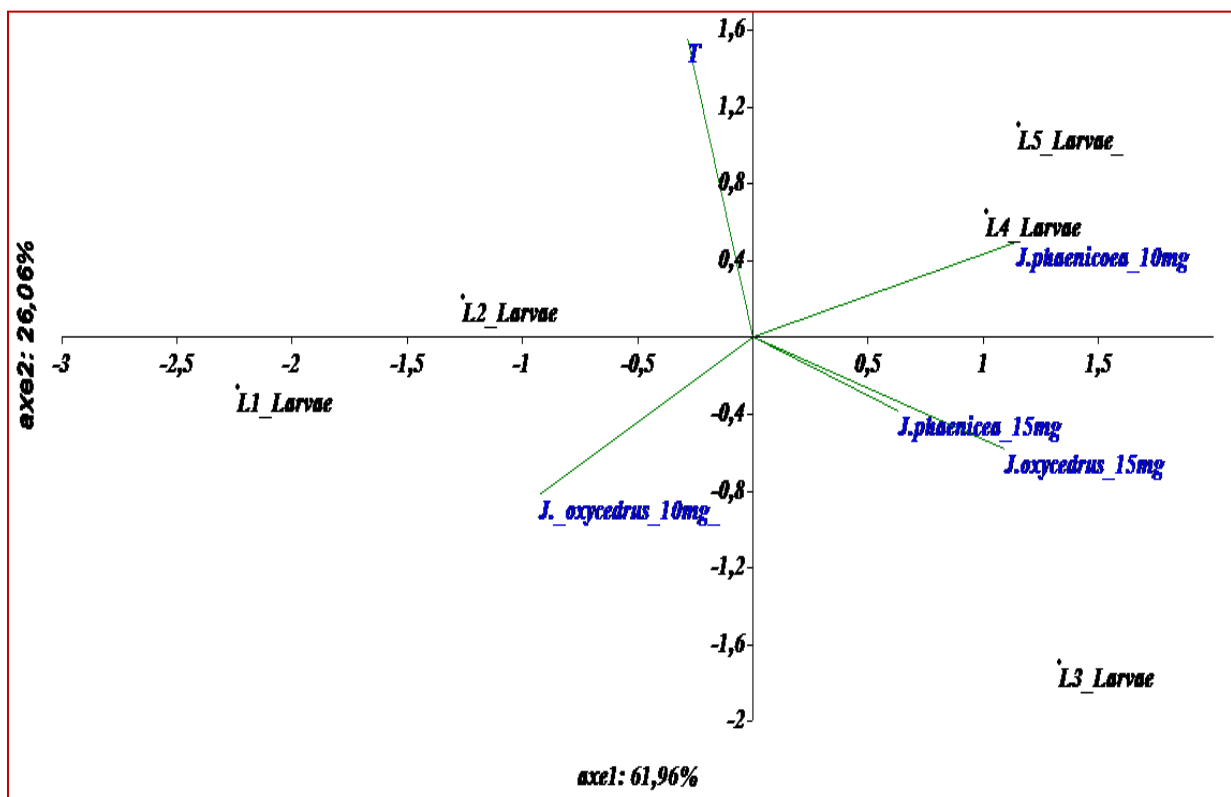


Figure 59: Analyse en composantes principales de l'effet des différents extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* sur les mortalités larvaires de *T. pityocampa* (ACP/PAST).

5.3.2 Effet insecticide de *Melia azedarach*

Les premières mortalités des chenilles des différents stades traitée par les extraits méthanoliques de *Melia azedarach* à la dose de 5mg, ont commencé le 2^{ème} jour suivant le traitement avec des taux allant de 43,5% et 100% (Figure 60). Ces extraits ont permis

une meilleure efficacité sur les chenilles du stade L4 avec 100% de mortalités enregistrées après 4 jours de traitement seulement. Nous n'avons pas tracé la cinétique de l'effet insecticides de *Melia azedarach* aux doses 10mg/cm² et 15 mg/cm² car ces dernières ont provoqué une mortalité de 100% dans les 48h qui ont suivi le traitement.

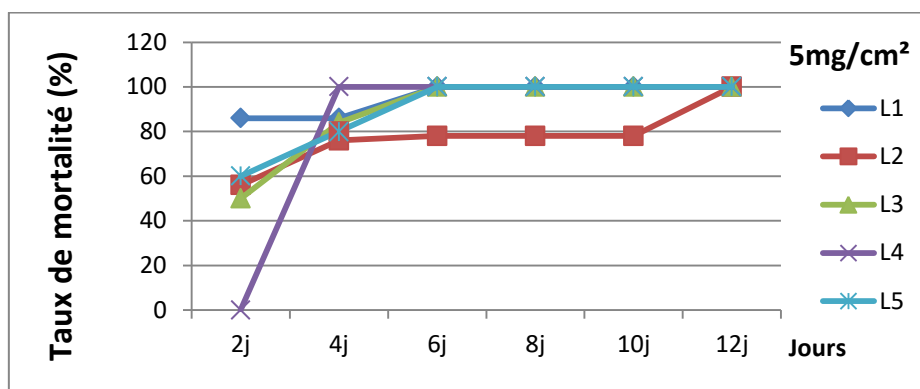


Figure 60 : Cinétique de l'effet insecticide de *Melia azedarach* sur les différents stades larvaires de *T.pityocampa* De. & Schiff. à la dose de 5 mg/cm²

Aucune mortalité n'a été observée dans les lots témoins négatifs. Par contre, pour les témoins positifs : une seule mortalité sur 10 a été observée soit 2% du nombre larves dans les lots T+.

Les LC50 et LC90 du *Melia* (Tab.XVI) sont relativement réduites, après 24h de traitement, un effet insecticide intéressant a été enregistré pour *M. azedarach* [LC50 = 4,58 ± 0,34 mg/cm² ; CL90=5,62±1,34 mg/cm²].

Tableau XVI : Résultats de la toxicité des traitements à base de *Melia azedarach* (calculé par le logiciel de statistiques R).

Jours/LC	LC50 <i>Melia</i> (mg/cm ²)	LC90 <i>Melia</i> (mg/cm ²)
24h	4,58 (±0,34)	5,62 (±1,34)
48h	5,79 (±0,81)	9,38 (±1,38)

1. Effet insecticide de *Bacillus thuringiensis* contre *T.pityocampa* Den. & Schiff.

Les δ -endotoxines de la souche HD1 de *Btk* ont permis d'enregistrer des mortalités sur les chenilles du stade L4 qui évoluent en fonction de la dose. Après 48h, ces taux ont pu atteindre

en moyenne 70,7% à 96% . Le 100% de mortalité a été enregistré après 72h de traitement (Annexe 08).

L'analyse des probits par le logiciel R a permis d'estimer la CL50 des δ -endotoxines de la souche HD1 de *Btk* à 141,24 \pm 43,51 μ g/ml (Tableau XVII).

Tableau XVII : Résultats de la toxicité des traitements à base de δ -endotoxines de la souche HD1 de *Btk*(δ -HD1) (calculé par le logiciel de statistiques R).

Jours/LC	LC50 δ -HD1 (μ g/ml)	LC90 δ -HD1 (μ g/ml)
24h	141,24 (\pm 43,51)	434,13 (\pm 143,37)
48h	77,10 (\pm 45,22)	377,37 (\pm 131,21)

Les importants effets létaux enregistrés par utilisation du *Melia* et des δ -endotoxines de *Bt* nous ont incité à vérifier l'effet combiné du mélange des deux traitements dans le cadre d'une lutte intégrée alternative pouvant accélérer le rendement du biocide en temps et en quantité.

5.3.3 Effet insecticide du mélange (extraits méthanoliques de *Melia azedarach* et les δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis* Kurstaki HD1)

La mortalité causée par le mélange des deux préparations a atteint un taux de 100% et la mortalité attendue (E) varie entre 14,54 et 17,61%. A une dose inférieure à la CL 50 du mélange nous avons un effet additif sur les larves (K_{hi} deux = 2.04 ; ddl=1 ; $p < 0.05$). Par contre à des doses supérieures ($\chi^2 = 4,12$; ddl = 1 ; $p > 0.05$) ou égales à la CL50 ($\chi^2 = 3,89$; ddl = 1 ; $p > 0.05$), le mélange présente un effet synergique (Figure 61).

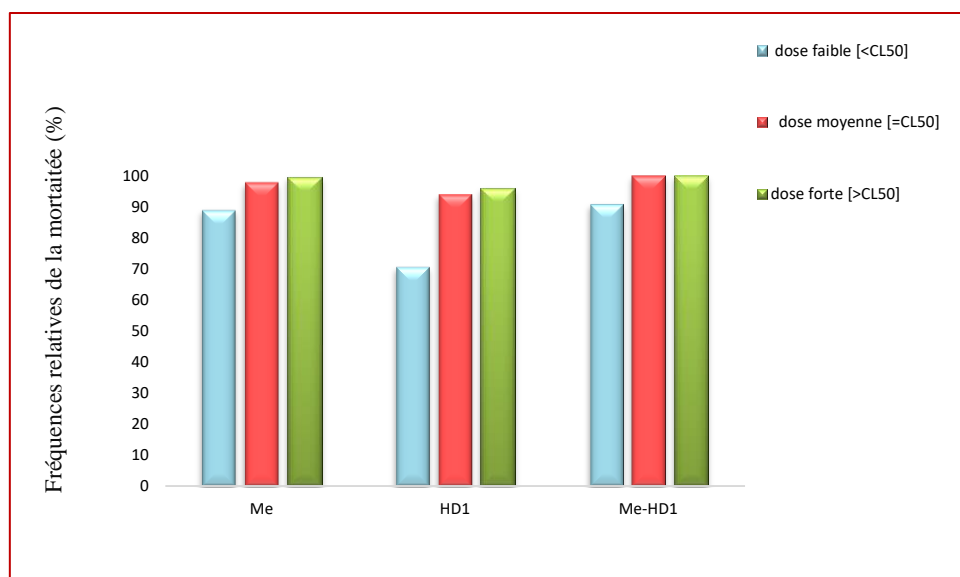


Figure 61: fréquences relatives des mortalités causées par les différents traitements (Me: larves traitées par les extraits de *Melia azedaracht*, HD1: larves traitées par les δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis* BtK HD1, Me-HD1: larves traitées par le mélange Me et HD1).

6 Autres observations engendrées par les différents traitements sur *T.pityocampa*

6.1 Evolution des traitements sur la consommation des aiguilles de *Pinus halepensis* par les larves

6.1.1 Effet de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* L.

le poids des crottes des chenilles a varié dans les lots traités par rapport aux témoins selon le test de Tukey et Dunet ($P < 0,05$) (fig.62).

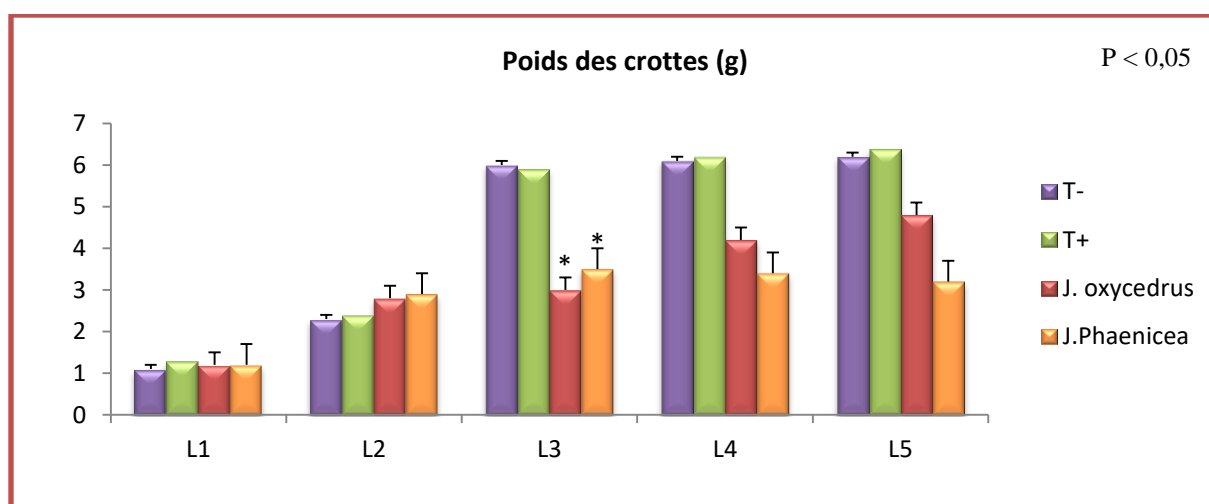


Figure 62 : Poids (g) des crottes excrétées par les larves de *T.pityocampa* après ingestion des aiguilles traitées par les extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedris* et *Juniperus phoenicea*

Les larves témoins (Témoins positifs et négatifs) s'alimentent mieux sur les aiguilles, rejetant ainsi des crottes vertes avec un poids allant jusqu'à $5,901 \pm 0,062$ g/boite de 10 larves. En revanche, les traitements ont provoqué une diminution des poids de crottes présentant une coloration jaunâtre, plus prononcé chez les larves L4 ($0,797 \pm 0,051$ g /boite de 10 larves), (figure 64).

6.1.2 Effet des traitements à base de *Melia azedarach*, le Bt et le mélange Me-Bt sur l'évolution pondérale des larves et de leurs crottes

La variation pondérale des chenilles et des crottes durant la période de l'essai a été très différente dans les lots traités par rapport aux témoins selon le test de Tukey et Dunet ($P < 0,001$) (Figure 71). Dans les lots traités, la densité des crottes était faible avec diminution de leurs poids jusqu'à $0,532 \pm 0,051$ g/boite de 10 chenilles (Figure 65). La différence de poids de crottes entre les témoins et les traités est très hautement significative ($P = 0,000$).

Les poids corporels de ces chenilles sont faibles [$0,43$ g - 2 g] comparativement à ceux des témoins ($6,471 \pm 0,062$ g/boite de 10 chenilles) (figure 64).

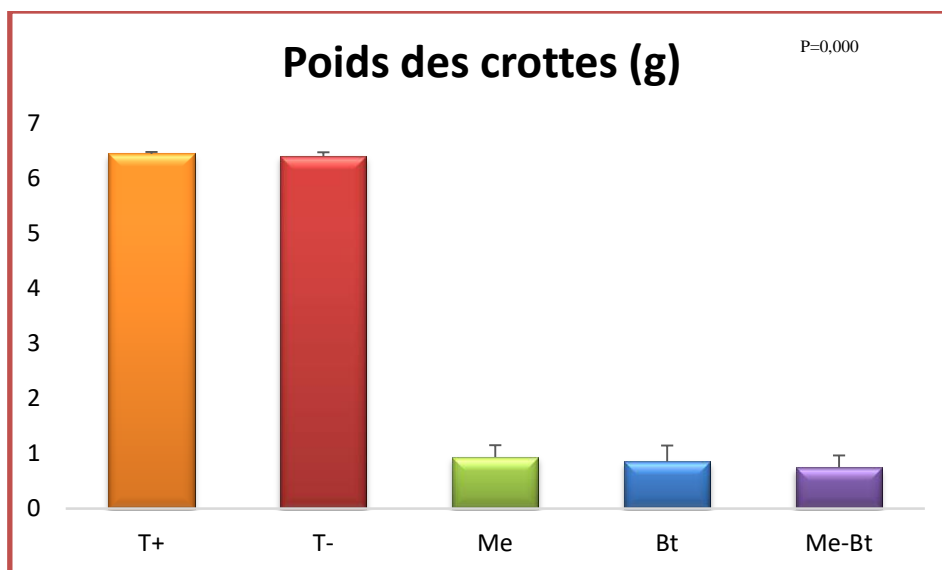


Figure 63: Poids des crottes reejetéess par les larves traitées et témoins (g). [T+: témoin positif, T-: témoin négatif, Me: extraits de *M.azedarach*, Bt: endotoxines de *Bacillus*, Me-Bt: le mélange Melia et Bt).

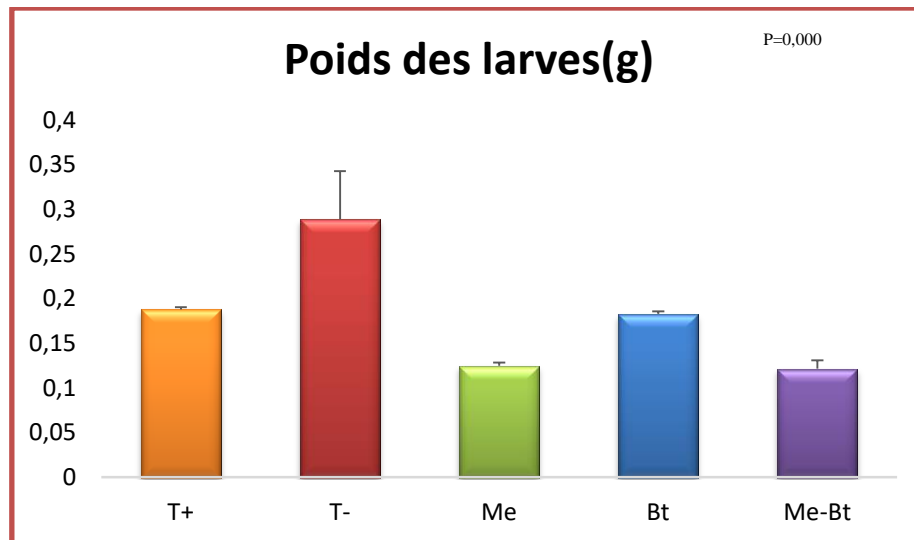


Figure 64: Poids des larves (g). [T+: témoin positif, T-: témoin négatif, Me: extraits de *M.azedarach*, Bt: endotoxines de *Bacillus*, Me-Bt: le mélange Me et Bt).

6.2 Effet histopathologique des différents traitements (à base de : *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*, *Melia azedarach*, δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis*, et de leur mélange) sur l'intestin moyen des larves L4 de *T.pityocampa* Den. & Schiff.

Les coupes histologiques réalisées au niveau du mésenteron du tube digestif des larves traitées montrent que les différents traitements (*Juniperus*, *Melia azedarach*, δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis*, et de leur mélange) provoquent des anomalies histologiques présentant un élargissement des cellules épithéliales, une vacuolisation du cytoplasme et l'apparition de vésicules dans la partie apicale du lumen des cellules intestinales avec une destruction de la membrane péritrophique (Figure 65). Chez les témoins, la structure est normale, régulière, et organisée avec un bon développement des bordures. Le cytoplasme entouré d'une membrane adhésive basale normale.

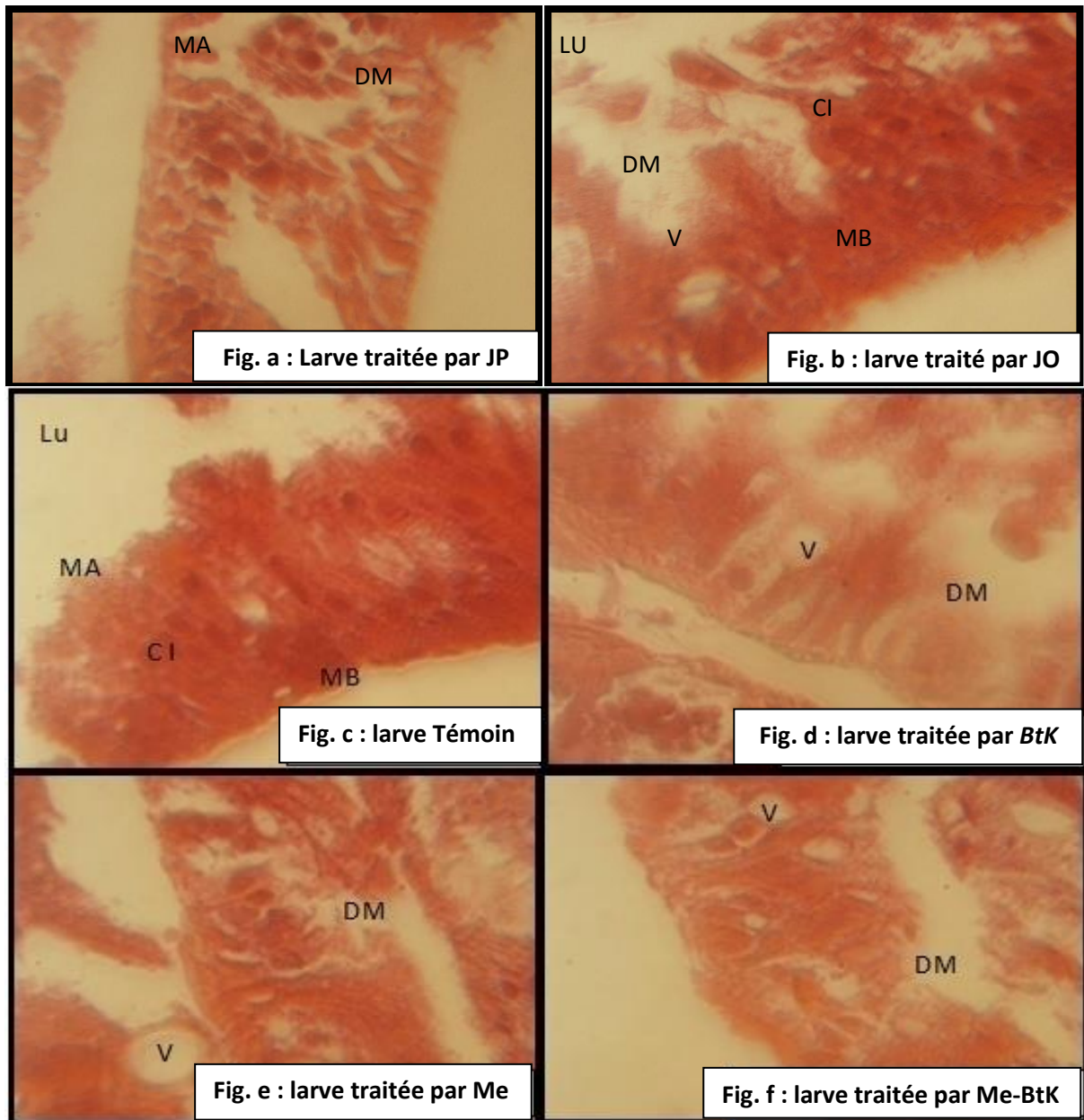


Figure 65. L'effet histologique des différents traitements sur les larves L4 de *T.pityocampa*. [LU : Lumen. MA : Membrane apicale. MB : Membrane basale. CI : Cellules intestinales. V : Vacuolisation du cytoplasme. DM : Destruction de la membrane. [JP : extrait méthanolique de *Juniperus phoenicea* ; JO : extrait méthanolique de *Juniperus oxycedrus* ; Me : extraits méthanolique de *Melia azedarach* ; Btk : endotoxines de Bt ; Me-BtK : Le mélange Melia-Bt]

6.3 Incidences des traitements à base de *Melia azedarach* sur l'émergence des adultes

Après piégeage des larves L5 lors des processions et après un enfouissement provoqué, les résultats ont montré un taux d'émergence élevé des papillons [P 1: 34,61% ; P2 :45,16%] ce, à partir des chrysalides traitées préalablement par le Melia (Tableau XVIII). Chez les témoins, une réduction de l'émergence des papillons jusqu'à 10,41% de papillons seulement. En parallèles, des taux élevés de chrysalides saines (en diapause) sont enregistrés chez les témoins [T1 :53,62% ; T2 :66,66%] alors que pour les chrysalides traitées, les taux de ces diapause oscillent entre 0% et 9,67%.

Ces résultats s'accompagnent de l'apparition d'un champignon et de parasites diptères à des taux plus élevés sur les chrysalides traitées par Melia [P1 :34,61% ; P2 :41,93%] comparativement aux témoins [T1 : 18,84% ; 18,75%] (Tableau XVIII). Nous suggérons que l'extrait méthanolique de *Melia azedarach* pourrait être à l'origine de la diminution de la diapause, et du développement de mycoses sur les chrysalides traitées (Fig.66).

Tableau XVIII : Impact de l'extrait méthanolique du Melia sur l'émergence des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff

Nombre/ Traitements	N, Papillons	C,mycosés	Chrysalides S	Total N,E	Parasites	Total C
T2	5	9	32	41	2	48
%	10,41	18,75	66,66	85,41	4,166	100
T1	15	13	37	50	4	69
%	21,73	18,84	53,62	72,46	5,79	100
P1 (Tr)	9	9	0	9	8	26
%	34,61	34,61	0	34,61	30,76	100
P2(Tr)	14	10	3	13	4	31
%	45,16	32,25	9,67	41,93	12,90	100

[T1 et T2: Lots témoins ; P1 et P2 : Chrysalides issues des pièges après traitement ; Total N,E : Total non émergés (Diapause) ; Total C : Total Chrysalides ; Chrysalides S : Chrysalides saines ; Papillons : fréquence des adultes émergés ; mycosés : fréquence des chrysalides mycosées]

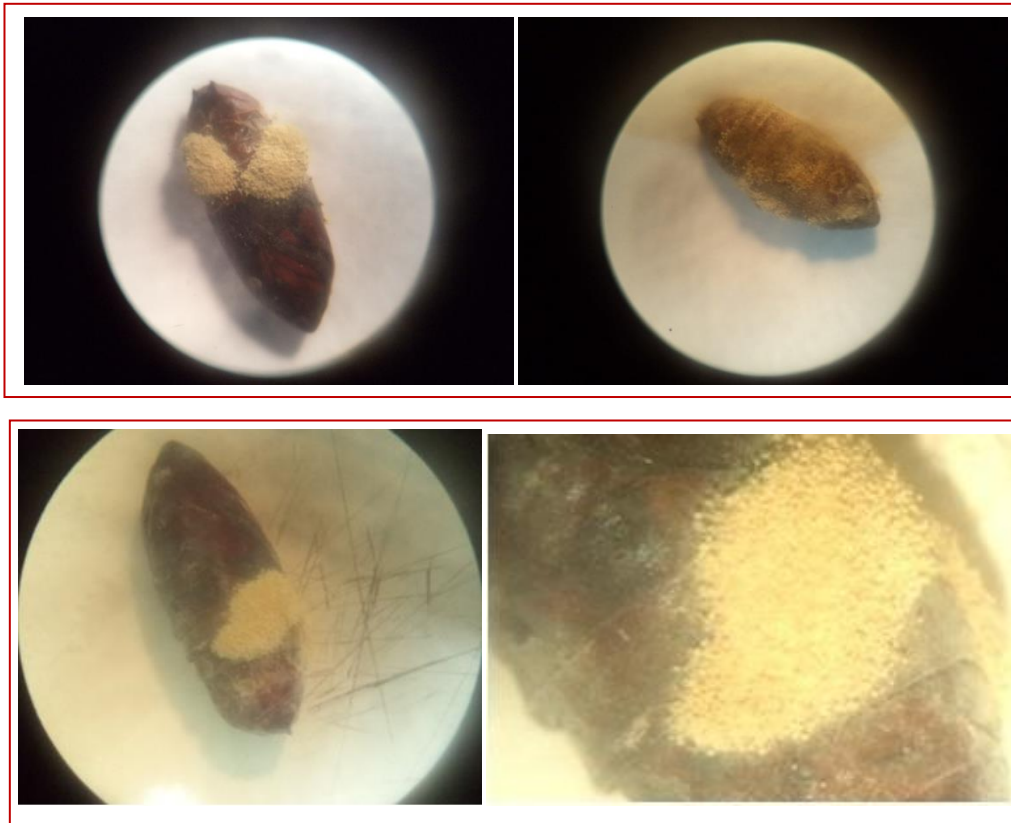


Figure 66 : Aspect macroscopique des chrysalides mycosées (Originale, 2015)

les chrysalides mycosées présentent sur le plan macroscopique un aspect duveteux, poudreux, de couleur blanche puis jaune à jaune-vert. Sur le plan microscopique, une tête aspergillaire est radiée, un conidiophore à paroi épaisse, incolore et long (2,5mm). Les conidies sont globuleuse, échinulées, et de couleur vert pâle, présentant des vésicules sphériques (Fig.67) . Ces caractéristiques sont rapportées par plusieurs auteurs (Henri et al., 2000 ; Samson et al., 2004 ; Rodrigues et al., 2007 ; Muna et al., 2017) à savoir l'aspect du mycelium et les spores de ce champignon. Après comparaison avec la littérature ; il ressort que ce microparasite présente les mêmes caractéristiques morphologiques que *Aspergillus flavus*

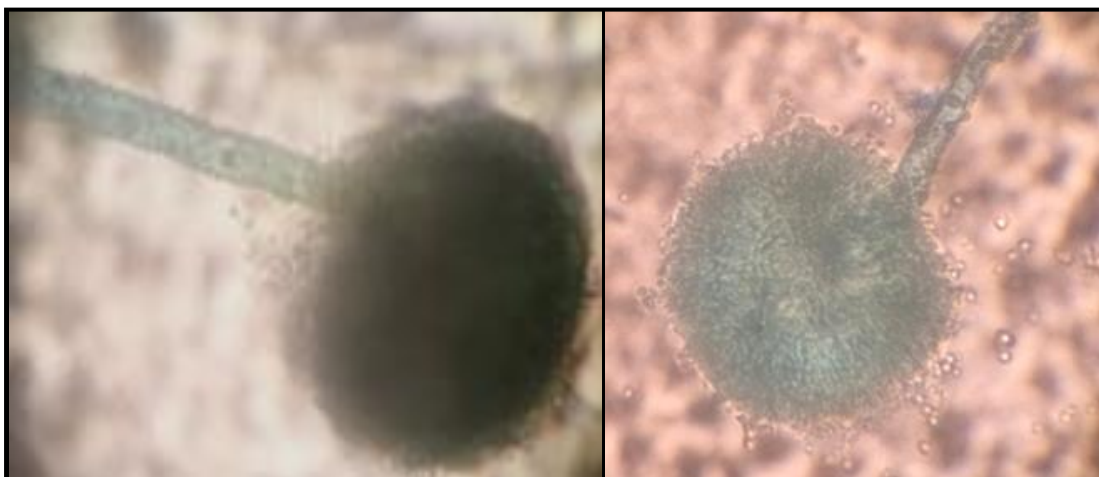


Figure 67 : Aspect du conidiophore du champignon *Aspergillus flavus*

DISCUSSION

I. Biocénose de *Cupressus dureziana* et *Pinus halepensis* dans les forêts de Djelfa et présence de *Thaumatococcus panyocampa* Den. & Schiff. sur ces deux espèces

La phytocénose dans les trois Forêts (Djellal, Moudjbara et Toghoursane) est caractéristique de l'étage bioclimatique semi aride car elle est dominée par la présence des Astéracées, Poacées et Fabacées (Kadik, 2011).

Sur les 73 espèces végétales inventoriées on note l'abondance des types biologiques de Thérophytes et des Chaméphytes qui représentent respectivement 52,30% et 21,50% de notre échantillonnage dans les trois stations d'étude.

Selon Kadi-Hanifi (2003) la thérophytisation est liée à l'existence d'espèces produisant beaucoup de graines colonisant rapidement les espaces libres. Ce phénomène s'accroît sous l'effet de la croissance de l'aridité.

Aussi, de nombreux auteurs admettent que la chaméphytisation est synonyme d'une anthropisation accentuée, ce phénomène est lié à la présence d'espèces épineuses, d'aucun intérêt économique, et qui se développent au détriment des espèces médicinales et fourragères. (Kadi-Hanifi, 2003 ; Kadik, 2011 ; Guit, 2015 ; Sba et Benrima, 2016).

Les deux pineraies Naturelles Djellal et Toghersane se trouvent à des altitudes différentes ce qui explique les différences d'abondances des végétaux malgré les similitudes entre les types d'espèces végétales présentes dans chacune de ces deux stations. Le pin d'Alep s'accompagne d'un important cortège floristique typique et caractéristique de son biotope ; tels que les espèces du genre *Thymus* ou *Rosmarinus* (Kadik, 1984 ; Bentouati, 2006 ; Kadik, 2011). L'inventaire dressé dans les différentes pineraies a permis de lister dans l'ensemble, les mêmes espèces végétales, très répandues dans la région de Djelfa comme en Algérie.

De nombreuses espèces inventoriées dans notre enquête telles que les espèces du genre *Bromus* ou *Centaurea* représentent selon Kadik (1983) des espèces de matoral. D'autres sont pour le Houerou (1969) des indicateurs de forêts et matorals semi-aride supérieur tels que les espèces du genre *Alyssum*, *Launaea*, *Silene*, ou *Loefflingia* car ils se rattachent à la strate arborée (Kadik, 2011).

Le groupement de *Cupressus dureziana* se rattache aux unités supérieures des *Lavanduletea antineae* (Quezel 1965). L'analyse de la position du cyprès du Tassili au sein du groupement lui confère le statut d'espèce compagne. La complexité de ce groupement est illustrée à travers un cortège floristique varié où les espèces à écologie différente se côtoient.

Les strates arbustives et arborescentes sont surtout représentées par : *Myrtus nivellei*, *Olea europea ssp. laperrini*, *Periploca laevigata* et *Rhus tripartitum* (Benhouhou *et al.*, 2005). Dans notre étude, 73 espèces végétales ont été identifiées dont 30 repérées dans les reboisements proches de *C.dupreziana* où 6 espèces n'étaient abondantes qu'à proximité de ce dernier. Ramade (2003), souligne aussi que la composition de la faune d'une région donnée est influencée par la nature des espèces végétales présentes dans ces régions.

Sur le plan faunistique, la fréquence des arthropodes dans les trois stations (Djellal, Moudjbara et Toghoursane) donne une idée sur la biocénose de ces écosystèmes, notant une différence significative entre les proportions des arachnides, des insectes à savoir les coléoptères, diptères, hyménoptères et autres arthropodes recensés en relation avec le régime alimentaire et ou aux exigences climatiques et édaphiques de chaque macro-parasite et prédateur. Les espèces de l'ordre des Coleoptera sont les plus abndantes dans notre station d'étude, avec prédominance de *Pimelia mauritanica*.

Les coléoptères constituent selon Dajoz (2002) des prédateurs en milieux forestiers par excellence. Ce même auteur mentionne que ces espèces vivent pour la plupart dans le sol, et occupent dans une plus faible mesure la strate arborée.

Les Tenebrionidae (tels que *Pimelia mauritanica*) se nourrissent essentiellement de Scolytes, d'Hyménoptères, de déjections, et de mycelium des champignons (Brendell, 1978 ; Parker et Davis, 1971). Ceci dit, la forte présence d'Hyménoptères enregistrée conjointement à celle des Coléoptères, permet à ces derniers de mieux envahir les différents milieux. Quant aux scolytes, et même s'ils ne figurent pas dans notre inventaire, des trous d'entrée ont été observés dans les forêts naturelles (Djellal et Toghoursane) uniquement, et qui peuvent correspondre aux galeries de ces derniers.

Dans l'ensemble, les espèces d'arthropodes recensés Moudjbara ne sont pas très différentes de celles citées dans le travail de Sba et Benrima (2016) dans la même forêt, avec comme différence les fréquences de certains individus ce, peut être du à la durée de l'échantillonnage. Dans notre inventaire, la récupération des pièges se faisait une semaine après leur installation en forêts.

Sur le plan édaphique, la texture du sol est plus ou moins similaire entre les deux pineraies naturelles : Djellal et Toghoursane avec de légers écarts en taux de calcaire et de matière organique. Quant à la forêt de Moudjbara, une importante différence des parameètres

physicochimiques du sol indique que ce dernier est aussi impacté par la nature de l'essence végétale reboisée dans cet espace car il s'agit de monoculture.

Durant la période de notre étude, aucune ponte de *Thaumetopoea pityocampa* n'a été observée sur les Cyprès du Tassili *Cupressus dupreziana*. Cette observation est logique car après l'accouplement, la femelle de *T.pityocampa* pond sur les aiguilles, les rameaux et parfois les cônes des arbres les plus proches voir même les arbres de d'autres territoires (Dumerle, 1988 ; Zamoum, 1998). Elle ne dépose ses œufs sur d'autres essences que le pin qu'en ultime recours (Demolin, 1969). Le premier critères de ponte pour la femelle réside dans le diamètre des aiguilles avec une préférence pour les aiguilles émettant des substances volatiles tels que le limonène (Tiberi *et al.*, 1999).

Seules les larves du 4^{ème} et 5^{ème} stades ont été regroupées en colonies sur *C.dupreziana*, Ce gréganisme est indispensable à leur survie.

Pendant les premiers stades, les larves ne s'alimentent qu'à partir de la sève et changent fréquemment d'emplacement à la recherche de la nourriture (Demolin, 1969). Les larves du dernier stade retrouvées sur le cyprès ont développé leur appareil buccal, et sont capables de consommer les feuilles de cyprès sans se contenter de la sève.

Les chenilles des derniers stades (L4 et L5) passent une période dans le nid d'hiver, durant ce temps la colonie reste à un emplacement fixe jusqu'à la maturité des chenilles (Dajoz, 1998). Le nid d'hiver tissé sur la partie la plus ensoleillée de l'arbre leur confère de la chaleur pour les derniers stades. Pendant les mues larvaires, les chenilles cessent de s'alimenter (Demolin, 1969). Dans ce cas, les larves ayant migré du pin d'Alep vers le *Cupressus dupreziana*, peuvent être en pleine procession de nymphose, et dans une plus faible mesure (concernant les L4) au cours d'une procession alimentaire.

Les forêts où les basses températures peuvent causer des perturbations physiologiques chez les larves de l'insecte jusqu'à l'arrêt de son alimentation nocturne, sont exposées habituellement à une série de températures journalières supérieures à 9°C dans les nids et à 0°C dans l'air (Demolin, 1987).

Durant le développement des larves dans les nids d'hiver, l'insolation favorise l'évolution des larves, en compensant les basses températures surtout celle des périodes les plus froides. Ce paramètre, aide les chenilles à supporter les températures très basses. La durée des stades larvaires dépend du climat car plus la période hivernale est longue, moins la

vitesse de croissance des larves est accélérée (Demolin, 1971). Dans notre cas, la saison hivernale était très courte ce qui implique une croissance rapide des larves.

Les processions de nymphose, apparaissent entre les mois de février et de mai. Les chenilles peuvent se déplacer jusqu'à 40m (Demolin, 1971). La colonie se dirige vers une zone éclairée à la recherche d'un endroit où le sol est à la fois ensoleillé et meuble pour se regrouper et s'enfouir dans des profondeurs variants de 5 à 20cm. Cet enfouissement n'est pas toujours définitif (Dajoz, 1980). En période de processions, le sol adéquat exigé est d'une température comprise entre 10°C et 22°C (Demolin, 1987). Après l'enfouissement, les chenilles peuvent ressortir pour chercher une zone plus propice si toutefois les conditions d'espace et de température ne sont pas réunies (Zamoum, 1998 ; Sebti, 2015).

En plus des conditions climatiques et édaphiques, un autre paramètre peut conditionner la présence ou l'absence des larves sur le cyprès du Tassili, s'ajouteront les relations biocénotiques entre les espèces floristiques et faunistiques.

Concernant la végétation, les nymphes de l'insecte peuvent être transportées avec les végétaux dans leur milieu de croissance, infesté par des nymphes enterrées. Toute plante cultivée à proximité d'arbres infestés peut porter la nymphe dans son système racinaire. Chaque chenille tisse un cocon individuel qui serait le lieu de la transformation en chrysalide puis en papillon. Le développement s'interrompt alors pour une durée variable, lors d'une diapause, qui durera jusqu'à un mois avant la date localement favorable pour la sortie des adultes. En cas de températures trop basses ou trop élevées au moment de la morphogenèse, la diapause peut durer plusieurs années (2 à 4 ans) (Demolin, 1987).

Dans notre enquête, les 6 espèces végétales retrouvées en abondance qu'à proximité de *Cupressus dupreziana*, elles présentent un système racinaire volumineux tels que « *Thapsia garganica* ». Selon Dulaurant (2010), certaines espèces végétales portent des nymphes de *T.pityocampa* dans leurs racines (au cours de la nymphose). Cette hypothèse, pourrait expliquer la présence des larves sur l'arbre en question dans une période qui succombe avec les processions des nymphoses si les espèces végétales inventoriées peuvent se transformer en plantes porteuses de nymphes.

A Moudjbara, les insectes retrouvés peuvent contrairement aux végétaux, défavoriser la présence des larves à ce stade car parmi les ennemis naturels de la processionnaire du pin, quatre types sont signalés selon leur niche écologique : œufs, chenilles, chrysalides ou

papillons (Zamoum, 1998). Parmi les prédateurs naturels on compte un bon nombre d'Hyménoptères, et de Diptères parasites (Dajoz, 1998). Le principal prédateur des chenilles est le grand calosome, un Coléoptère vivant ordinairement sur le sol. C'est la larve de calosome, qui en fait la plus grosse consommation. Elle monte parfois aux arbres pour chasser ses proies. La Mésange bleue, (*Parus caeruleus*), est considérée aussi comme grande consommatrice de chenilles (Biliotti, 1958 ; Biliotti *et al.*, 1965; Cadahia *et al.*., 1967 ; Demolin, 1969 ; Dumerle, 1969).

L'état des lieux sur le *Cupressus dupreziana* à Moudjbara rejoint les conclusions de Dalichaouch selon Sahli (2007) qui mentionne que la croissance des arbres est faible et que les potentialités de l'espèce ne se sont pas exprimées, en raison d'un pâturage intensif. Ce dernier signale :

- Un taux de mortalité de 43 %,
- Un accroissement annuel moyen en hauteur de 9,36 cm/an,
- près de 30 % des arbres vivants sont rabougris, les traces de broutage y sont visibles.

A cet effet, la compréhension du comportement de *T.pityocampa* et sa présence sur les cyprès du Tassili ne s'inscrit pas dans le cadre de la découverte d'une nouvelle hôte, encore moins dans le cadre de la réduction des dégâts de cette espèce introduite déjà en dégradation, mais cette démarche se veut une meilleure connaissance de l'insecte en question dans le cadre de la contribution au contrôle des populations de ce ravageur.

II. Niveaux d'infestation entre forêts naturelles et reboisements

La forêt de Moudjbara constitue une partie du barrage vert en Algérie, ce dernier est d'une importance économique et stratégique au pays mais demeure la limite Sud de l'extension de *Thaumetopoea pityocampa* (Martin *et al.*, 2009). Ce redoutable ravageur peut engendrer à lui seul 20 à 80% de défoliations (Barrento *et al.*, 2008). Et même si Le réchauffement climatique a permis une extension de son aire de répartition vers des latitudes et altitudes plus élevées, cet insecte continu à causer des incidences graves sur les reboisements (Battisti *et al.*, 2005 ; Robinet *et al.*, 2007 ; Toffolo, 2008, Roque, 2014)

Dans notre travail, l'influence des conditions climatiques ne peut pas être impliquée dans la variation des infestations entre les deux forêts Djellal et Moudjbara car ce sont deux pinèdes rapprochées dans l'espace et exposées aux mêmes conditions climatiques, situées selon le climatogramme d'Emberger dans l'étage bioclimatique semi-aride. Cependant, il

serait intéressant de connaître l'impact de la qualité du sol sur la pullulation de l'insecte dans les deux forêts.

L'existence d'une barrière physique à *T.pityocampa* ou à la reconnaissance olfactive de son hôte peut être supposée, vu l'écart enregistré entre les taux d'infestation des arbres hôtes dans les deux forêts étudiées. Cette hypothèse peut être retenue vu la différence des niveaux d'infestation détectée entre les pins situés à proximité ou loin des plantes non hôtes.

Plusieurs études se sont penchées sur l'effet de la végétation environnante sur les niveaux d'infestation de jeunes plants d'arbres. Les niveaux d'infestation de *Rhyacionia frustrana* sur des jeunes plants de pin Taeda (*Pinus taeda*) sont notamment limités par la présence de végétation haute et dense (Sun *et al*, 1998), de même que les infestations de *Pissodes strobi* sur pin gris (*Pinus banksiana*) (Bellocq *et al*, 1995).

Aussi, la distance entre les arbres, leur âge, la gamme d'essences forestières composant la forêt mixte, la diversité ou encore la variation du volume des arbres dans cette dernière peuvent impacter les taux d'infestation par l'insecte. En effet, une étude de Jactel *et al*. (2011) a démontré l'existence et l'efficacité de ce type de mécanisme (biocénotique) pour limiter les niveaux d'infestation de la processionnaire. Selon Sun *et al*. (1998); Floater *et al*.(2000), La présence de relations biocénotiques au sein d'une végétation massive autour de l'arbre hôte se traduit par une réduction de ses niveaux d'infestation.

Certains composés émis par des essences feuillues non hôtes sont connus pour avoir des effets répulsifs sur différentes espèces de coléoptères saproxyliques (Schlyter *et al*, 2000) Une réduction des infestations de rondins de pin par *Ipssex dentatusa* notamment a été démontrée quand ces piles étaient entourées de branches de bouleau (Sun *et al*, 1998).

Aujourd'hui, l'attention semble se porter sur l'usage des biopesticides comme alternative plus viable aux pesticides chimiques. Ce vocable désigne les pesticides d'origine biologique ou tout produit de protection des plantes qui n'est pas issue de la chimie. C'est-à-dire, des organismes vivants ou substances d'origine naturelle synthétisées par ces derniers.

III. Perspectives d'utilisation des Biopesticides à base de micro-organismes et extraits de plantes contre *T.pityocampa* Den. & Schiff.

III.1 Effet des δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis* Kurstaki HD1

Le *Btk* à Gram-positive, est une bactérie capable de produire des toxines insecticides au cours de sa sporulation. L'ingestion de toxines à la surface du feuillage de pin d'Alep conduit à la mort des chenilles. Selon Cabral (2005), les DL50 du *Bacillus thuringiensis* sont plus élevées à la fin des phases larvaires quand le poids des larves devient plus important. En forêt, le *Btk* est utilisé en traitement aérien (Demolin, 1987 ;Zamoumet *al.*, 1997 ; Martin et Mazet, 2001 ; Martin, 2006 ; Martin et Frerot, 2006 ; Martin et al., 2012 ; Zamoum et al., 2016 ;).

Les toxines produites par le *Btk* présentent une forte toxicité contre de nombreux lepidoptères à l'instar de la toxine Cry1B de *Btk* qui est hautement active contre les larves du premier stade de *T. pityocampa*, avec une CL50 de 1 830 pg/ μ l (Rausell *et al.* 1999). Les toxines insecticides (Cry toxins) de Bt, souvent appelées δ -endotoxines sont associées au fragment lipo-polysaccharide du complexe antigénique, un facteur important dans leur capacité à agir contre les insectes (Ibrahim *et al.*, 2010). Dans notre travail, les δ -endotoxines de la souche HD1 de *Btk* utilisés contre les larves de *T.pityocampa* ont permis d'enregistrer des taux de mortalité élevés allant de 70,7% à 96%. avec des doses létales élevées (LC50 = 141,24 \pm 43,51 μ g/ml). Hernandez *et al.* (2010) signalent une CL50 du *Btk* de 2,4 μ g/ml contre *Tuta absoluta* Meyrik, . Ceci peut être expliqué par la différence de poids entre ces deux espèces de lepidoptères. De même, Cabral (1976) ajoute que les DL50 du *Btk* doivent être plus élevées pour atteindre les larves des derniers stades quand leurs poids devient plus important.

En méditerranée, notamment en région littorale (sur terrain ou au laboratoire); de nombreuses recherches sont menées impliquant le control des larves de la Chenille processionnaire du pin *T.pityocampa*. Ces travaux s'orientent vers d'autres alternatives biologiques au *BtK* à qui on dénote une résistance des larves (Dutton *et al.*, 2005; Martin et Frerot, 2006 ; Bergamasco, *et al.*, 2013 ; Carisse, *et al.*, 2016 ; Zamoum *et al.*, 2016). Les solutions s'ouvrent actuellement sur les ennemis naturels à la chenille processionnaire du pin *T.pityocampa*, les micro-organismes entomophages ou les extraits de plantes aromatiques et médicinales (Ben Khedher, 2017 ; Breuer et Devkota, 1990).

III.2. Effet des extraits des plantes

a. Effet des extraits méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* L.

Les extraits méthanoliques des deux espèces de genévrier, *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* utilisés contre la processionnaire du pin, ont révélé un effet biocide sur l'insecte comparativement aux témoins. La mortalité observée chez les témoins négatifs (aucun traitement), une mortalité naturelle de 15,6% . Selon Biliotti (1958), un cortège parasitaire de *T.pityocampa* peut engendrer une mortalité naturelle importante (plus de 30%). Dans notre cas, le taux de mortalité des témoins peut être négligeable car il ne dépasse pas 19%.

Quant aux témoins positifs, le méthanol a augmenté le taux de mortalité jusqu'à 23,2%. Le méthanol présente donc une faible toxicité maintenant un écart important avec les préparations à base de plantes qui ont provoqué des taux de mortalité beaucoup plus élevés. L'effet des substances extraites par le méthanol à partir des deux espèces était important après le développement des larves à un stade avancé en L4.

Nos deux traitements à base de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* ont présenté une efficacité comparable au *Bt* utilisé par Martin et Mazet (2001), contre les stades avancés où l'insecte devient plus robuste.

Dans cette approche, peu de plantes ont été testées sur ce type de lépidoptères. Depuis 1990, Breuer et Devkota Breuer et Devkota (1990) travaillent en Grèce sur les extraits de *Melia azedarach* (Méliacées) testés sur la chenille processionnaire du pin *T.pityocampa*. Cependant, aucune plante de la famille des Cupressacées n'a fait l'objet auparavant d'un test biocide contre ce ravageur. Selon Breuer et Devkota, les métabolites secondaires issus des plantes et dissous dans le méthanol peuvent être à l'origine d'une anti-appétence ayant dissuadé les larves de la chenille et décliner sa consommation durant les 15 jours du traitement .

D'après Chaouch *et al.* (2015), l'analyse par HPLC-MS des extraits méthanoliques des du genre *Juniperus* contiennent essentiellement dans l'écorce des racines $76.1 \pm 2,8$ mg GAE/gDW de composés phénoliques, $39,1 \pm 2,5$ mg CE/gDW de flavonoïdes et $31.3 \pm 2,1$ mg CE/gDW de tannins, avec une légère différence phytochimique intra-spécifique qui, selon les résultats de notre screening, réside dans la teneur en alcaloïdes chez le genévrier oxycèdre, et

dans la contenance en saponosides chez le genévrier rouge *Juniperus phoenicea*. Bouzouita *et al.*, (2008) mentionnent que le mono terpène issu de *Juniperus phoeniceas* ont à l'origine de l'effet létal enregistré contre l'insecte *Tribolium confusum*.

Ces résultats, particulièrement l'effet biocide et anti-appétant de ces deux espèces, peuvent déboucher sur un contrôle sylvicole contre la Chenille processionnaire du processionnaire du pin *T.pityocampa*. par des plantations mixtes de ces deux espèces dans les reboisements artificiels. Les peuplements forestiers de ce type subissent généralement moins de dommages d'herbivores que dans les peuplements purs. Cette diversification réduit généralement la colonisation par la chenille processionnaire du pin et par son cortège parasitaire (Martin, 2005).

b. Effet des extraits méthanoliques de *Melia azedarach*

La toxicité de *M. azedarach* CL90 ($5,786 \pm 0,81$ mg/cm²), une dose inférieure à 10% était plus élevée sur les larves du stade L4 de *T.pityocampa* que celle des extraits méthanoliques de *M. azedarach* testés par Breuer et Devkota (1990) contre la même chenille. Ces derniers ont enregistré 100% de mortalité aux doses 1%, 10% et 100% respectivement chez les larves L1, L4 et L5 après plus d'une semaine de traitement.

Notons que le méthanol qui a été utilisé comme solvant a eu une incidence négligeable dans les temoins positifs tout comme dans les résultats de Breuer et Devkta (1990).

M. azedarach a révélé des particularités sur le comportement des larves traitées comparativement aux témoins dans les 15 jours suivant le traitement. Ces dernières se sont rassemblées en colonie pour mener une activité séricigène et tisser de petits filaments en soie. Cette période est selon Aribi *et al.* (1988), une durée suffisante pour canaliser l'énergie de l'insecte et poursuivre son développement larvaire dans les nids. L'absence de cette activité séricigène chez les larves traitées peut témoigner de l'impact du *Melia azedarach* sur les chenilles.

Dans notre travail l'incidence de cette même plante sur les même chenilles a permit d'obtenir un 100% de mortalité après 24h de traitement. En effet, cette plante a une propriété à la fois insecticide et anti-appétante sur de nombreux Lepidoptères (Jacobson, 1986).

A différentes doses, les moyennes de taux de mortalité enregistrées oscillent entre 70,7% et 96%. Ces valeurs sont proches de celles obtenues par Breuer et Devkotta (1990) est supérieur

de celles obtenues par Juan et al. (2000) contre les larves du stade L2 du Lepidoptère : *Sesamia nonagrioides* qui varient entre [13% et 27]

Les incidences de cette plante sur *T.pityocampa* peuvent être liées aux composés chimiques présents dans les extraits méthanoliques utilisés. En effet, l'étude phyto-chimique nous a permis d'identifier 72,74% des molécules présentes dans l'extrait méthanolique de *M. azedarach* à savoir : des acides gras, des monoterpènes, des acides carboxyliques aromatiques, des phénols, des acides phénoliques et des hétérosides. Les acides gras saturés dominent avec comme composés majoritaires : l'acide oleique, l'acide stearique, et l'acide palmitique représentant respectivement 25,69%, 17,83% et 17,83% du total des substances identifiées. Copping (2004), mentionne que l'acide oleique et ses dérivés sont utilisés comme insecticides. En effet, les huiles végétales possèdent des propriétés physico-chimiques appréciées en formulation comme adjuvant ou excipient (Regnault *et al.*, 2008).

Par ailleurs, d'autres composés connus par leur forte toxicité ont été aussi retrouvés dans l'extrait méthanolique de *M. azedarach* tels que les monoterpènes, notamment le 1,8 cineole avec 0,09% signalés préalablement par Ndomo *et al.* (2009).

Un fractionnement bio-guidé réalisé par Mark Lee *et al.* (1991) sur les extraits du fruit de la même plante, a indiqué la présence de 25 composés volatils aussi toxiques que l'azedarachtine connue comme un insecticide naturel classique. Parmi ces substances : le propyl disulfide, 1-cinnamoylmélianolone et le 1-cinnamoyl-3,11-dihydroxyméliacarpin.

Les limonoïdes contenus dans les fruits de *M. azedarach* sont connus par leur potentiel insecticide et anti-appétant, agissent en inhibant l'appétance des larves de *Epilachna paenulata* Germ. (Coleoptera : Coccinellidae) (Carpinella *et al.*, 2003).

c. Effet combiné de *Melia azedarach* et δ -endotoxines de *Bacillus thuringiensis* Kurstaki HD1

L'effet conjugué de *M. azedarach* combinée au δ -endotoxines de *Btk* s'est avéré synergique à des doses supérieures ou égales à la CL50 du mélange et additif à des doses inférieures à la CL50 de ce mélange (Me-Bt) contre la chenille processionnaire du pin. Ce résultat met en évidence pour la première fois la toxicité du mélange contre les larves de *T. pityocampa*. En effet, l'utilisation du mélange *M. azedarach* et les δ -endotoxines de *BtK* HD1 a donné 100%

de mortalité des larves après 24h de l'application. Selon Essaid (1991), l'effet nocif des substances végétales sur les phytophages est aussi dû à une autre catégorie de métabolites qui ne sont pas à prime abord nocifs. Cependant, lorsque ces composés sont associés à d'autres substances toxiques, la toxicité du mélange est supérieure à ces derniers pris séparément. L'industrie chimique fait donc usage de ces molécules dites synergiques pour augmenter l'efficacité des pesticides contre les phytophages résistants.

Les variations pondérales des crottes qui sont plus importantes chez les larves traitées par rapport à celles des témoins nous permettent de penser que la régression de l'activité nutritive est due probablement aux propriétés antiappétentes de nos extraits. Ce phénomène a été rapporté par Breuer & Devkota (1990) et Carpinella *et al.* (2003) pour d'autres lépidoptères.

III.3. Effet des différents traitements sur l'histologie de l'intestin moyen de *T. pityocampa* Den. & Schiff.

Les effets des traitements à base d'extraits méthanoliques de plantes testées, au BtK et à leur mélange pourrait être reliés aux anomalies détectées dans les tissus des larves traitées comparativement aux témoins sur le plan histologique. Ces anomalies sont similaires à celles causées par *Btk* sur *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera) selon Ben Khedher *et al.* (2017).

L'étude histologique au niveau de l'intestin moyen du tube digestif nous a permis de détecter des anomalies sur le tissu épithélial des larves traitées comparativement aux témoins. Dans notre travail, les anomalies observées se résument en une vacuolisation importante du cytoplasme des cellules intestinales accompagnée de destruction membranaire de quelques cellules épithéliales.

Vago (2006), signale que l'histologie d'une chenille processionnaire saine ne doit présenter aucun changement dans l'aspect du tube digestif, elle ne présente donc pas d'hypertrophie du cytoplasme de l'épithélium, pas de vacuolisation ou de lyse des parois cellulaires. Dans notre travail, des cellules régulières de la section intestinale n'ont été observées que chez les témoins. Martin (2006) ; et Loudhaief (2016) parlent d'une destruction du tube digestif des chenilles de *T. pityocampa* après ingestion des toxines Cry de *Bacillus thuringiensis* mais sans évoquer la vacuolisation et la lyse des parois cellulaires au niveau intestinale, et sans la situer dans le mésentéron. D'après ces auteurs, l'impact du *Bt* sur le tube digestif est en rapport avec l'acidité.

L'incidence histopathologique des différents traitements utilisés contre *T.pityocampa* ne peuvent que confirmer l'existence d'un effet biocide contre l'insecte. Il serait donc intéressant d'effectuer un fractionnement bioguidé de ces produits pour séparer leurs substances bio-actives et les utiliser dans le cadre de la formulation d'un biocide contre les chenilles processionnaires du pin.

Conclusion

Le constat après confrontation des données sur la biocénose indique que les deux résineux *Pinus halepensis* Mil. et *Cupressus dureziana* A. Camus évoluent dans des peuplements forestiers clairs et peu denses. Ces milieux sont anthropisés à Moudjbara, Djellal, et Toghoursane. Ce constat est confirmé par la chaméphytisation du cortège floristique de ces arbres d'une part, et par la diversité des arthropodes d'autre part. Les taux d'infestation de *Pinus halepensis*, plante hôte de *T. pityocampa*, montrent que ces arbres se portent beaucoup mieux dans les forêts naturelles, contrairement aux reboisements sensés faire reculer le sable mais qui ont assistés en parallèle à des modifications entravant la montée des biocénoses tels que la menace de la processionnaire du pin suivie par son cortège parasitaire déséquilibrant cet écosystème.

Le mélange des espèces sylvicoles contribue d'avantage à diminuer la pullulation de ce ravageur dans les forêts naturelles comparativement aux monocultures reboisées (Moudjbara).

Les substances naturelles synthétisées par certaines plantes issues des forêts naturelles, peuvent impacter le développement de l'insecte cas du genévrier oxycède, et le genévrier rouge dont les extraits méthanoliques purs ou dilués à 10% ont révélé un effet biocide considérable sur ce déprédateur après 15 jours de traitements. En effet, les principes actifs contenus dans les extraits de *J.oxycedrus* et *J.phoenicea* à savoir : les composés phénoliques, les flavonoïdes, les alcaloïdes, et les saponosides peuvent être à l'origine de cette réponse à la fois anti-appétante et insecticide.

Les testes biocides à base de *Melia azedarach* ont donné d'excellents résultats contre la chenille processionnaire du pin en terme de lutte alternative aux utilisations de *Bacillus thuringiensis* BtK. Les extraits méthanoliques de cette plante ont donné une meilleure réponse anti-appétante et histopathologique, vérifiées par la lyse des parois au niveau des cellules intestinales des larves et en l'occurrence leur vacuolisation.

L'effet conjugué de *M. azedarach* combinée aux δ -endotoxines de *Btk* s'est avéré synergique à des doses supérieures ou égales à la CL50 et additif à des doses inférieures à la CL50. Ce résultat met en évidence pour la première fois la toxicité du mélange dans le cas de larves de *T. pityocampa*. Les effets létaux intéressants obtenus pour le mélange *M. azedarach* et δ -endotoxines de *Btk* sur les larves de *T. pityocampa* nous permet de préconiser une étude

de fractionnement bio-guidée des extraits méthanoliques de *M. azedarach*. Cette perspective aura comme objectif l'identification des métabolites secondaires synergistes de ces extraits.

Après une première identification des arthropodes vivants dans le sol à proximité des arbres étudiés (*P.halepensis* et *C.dupreziana*), il serait intéressant de recenser les arthropodes vivants sur les arbres et qui coexistent avec *T.pityocampa* voire, maintenir les relevés floristiques et faunistiques sur plusieurs années pour vérifier l'évolution des biocénoses avec le temps.

Par ailleurs, il serait également intéressant de vérifier l'incidence du mélange (Melia-BtK) sur les premiers stades larvaires (fragiles) afin d'optimiser l'usage des biocides dans les reboisements.

Les effets létaux intéressants obtenus pour le mélange *M. azedarach*/ δ -endotoxines de *Btk* sur les larves de *T. pityocampa* nous permet de préconiser une étude de fractionnement bio-guidée des extraits méthanoliques de *M. azedarach* pour identifier les métabolites secondaires synergistes de ces extraits.

Cependant, il serait question de conduire les bio-essais menés *in vitro* par d'autres *in vivo* afin d'étudier l'aspect pratique de ce genre de biocides en terme d'alternatifs en lutte biologique.

Les résultats satisfaisants de *Juniperus oxycedrus* et *Juniperus phoenicea* contre *T.pityocampa* peuvent faire l'objet d'une proposition de reboisement à partir de ce genre d'espèces végétales dans les monocultures reboisées.

De ce fait, l'évolution d'arthropodes admis autant que parasites de *Thaumetopoea pityocampa* dans la région de Djelfa peut s'ouvrir sur l'utilisation de ce cortège parasitaire de l'insecte au détriment du développement de ses populations.

L'impact de *Melia azedarach* sur la diapause de l'insecte est encore sujet de vérification. Notamment son rapport avec l'apparition des mycoses sur chrysalides et donc sur le développement de *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.

Et enfin nous proposons aussi d'étudier l'effet du mélange *Melia azedarach* et *Aspergillus flavus* sur l'insecte afin de comprendre l'interaction des deux préparations.

Références bibliographiques

A

1. **Abbassi K.**, Atay-Kadiri Z., Mergaoui L., Stambouli A., 2003 : Activité biologique de l'extrait de graines (alcaloïdes) de *Peganum harmala* sur le criquet pèlerin (*Schistocera gregaria* Forskal 1977). *Journal of Orthoptera research* (12) : 71-78.
2. **Abbot W.S.**, 1925 : "A method of computing the effectiveness of an insecticide". *J. Econ. Ent.*, (18): 265-267.
3. **Abdoun F.**, Jull A. J. T., Guibal F., Thinon M., 2005 : Radial growth of the Sahara's oldest trees: *Cupressus dupreziana* A. Camus. *Trees* 19, (6): 661-670.
4. **Abdoun F.**, M. Beddiaf., 2002 : *Cupressus dupreziana* A. Camus, répartition, dépérissement et régénération au Tassili n'Ajjer, Sahara Central. *Comptes-rendus biologie* (325) : 617-627.
5. **Agenjo R.**, 1941 : Monographia de la familia *Thaumetopoeidae* (Lepidoptera, *Thaumetopoeidae*). *Eos, Rev. Esp. Ent.* XVII. pp : 69-130.
6. **Aidoud A.**, 1989 : Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques, Factures de Fonctionnement, évaluation et évolution des ressources végétales. Ed. Alger. 33p.
7. **Allemand P.**, 1979 : Espèces exotiques utilisables pour la reconstitution du couvert végétal en région méditerranéenne. *Bilan des arboretums forestiers d'élimination*.
8. **Antoine M.**, 1955 : Coléoptères Carabiques du Maroc – 2ème partie. *Mém.Soc.sci.nat. Phys. Maroc*, (N. S), *Zool.* (1) : 1 - 179.
9. **Antoine M.**, 1957 : Coléoptères Carabiques du Maroc – 3ème partie. *Mém.Soc.sci.nat. Phys. Maroc*, (N. S), *Zool.* (3) : 180 - 314.
10. **Antoine M.**, 1961 : Coléoptères Carabiques du Maroc – 4ème partie. *Mém.Soc.sci.nat. Phys. Maroc*, (N. S), *Zool.* (8) : 467 - 537.
11. **Antoine M.**, 1962 : Coléoptères Carabiques du Maroc - 5ème partie. *Mém. Soc. sci. nat. Phys. Maroc*, (N. S), *Zool.* (9) : 535 - 692.
12. **Aribi N.**, Rizk G., Soltani N., 1988 : Etude de *Thaumetopoea pityocampa* (Den. And Schiff.) et effet de *Bacillus thuringiensis* Berliner on *Thaumetopoea pityocampa* (Den. And Schiff.) in Algeria, *Annales-société entomologique de France*, 24 (4) : 476-477.

13. **Aubert G.**, 1976 : Les Ericacées en provence, répartition, édaphologie, phytosociologie, croissance et floraison. Thèse d'Etat, Univ. D'Aix-Marseille, fascicule 4, 286 p.
14. **Avtzis N.**, 1986 : Development of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.(Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in relation to food consumption, Forest ecology and management, 15(1): 65-68

B

15. **Bagnoul S.F., Gausson H.**, 1953 : saison sèche et indice xéothermique Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse : 193-239.
16. **Baize D.**, 1988 : Guide des analyses courantes en pédologie : choix expression présentation, présentation et interprétation. éditions INRA, Paris (France), 172 p
17. **Balachowsky A. S.**, 1955 : Une relique rarissime du Sahara Central : le cyprès de Duprez. La Nature ; 3237: 20-24.
18. **Baraud J.**, 1977 : Coléoptères Scarabaeoidea Faune de l'Europe occidentale. Ed. Le chevalier. 352 p.
19. **Baraud J.**, 1985 : Coléoptères Scarabaeoidea, Faune du nord de l'Afrique du Maroc au Sinai Ed. Lechevalier 650 p.
20. **Barrento MJ., Santos H., Branco M., Paiva MR.**, 2008: Monitorização da processionária do pinheiro, *Thaumetopoea pityocampa*. In Pragas e doenças em Pinhale Eucaliptal - desafios para a sua gestão integrada (M. Branco, C. Valente & M.R. Paiva, eds), ISAPress, Lisboa, 55-64.
21. **Barry JP., Dubost D., Faurel L., Hethener P.**, 1970 : Essai de monographie du *Cupressus dupreziana* A. Camus. Cyprès endémique du Tassili des Ajjer (Sahara Central). Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord. 61 : 95-178.
22. **Battisti A.**, 1986: host-plant relationship and population dynamics of pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.. J. Appl. Entomology. (105) : 393-402.
23. **Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., Larsson S.**, 2005: Expansion of geographic range in the pine Processionary moth caused by increased winter temperatures. Ecological Applications (15): 2084- 2096.

Références bibliographiques

24. **Becker M.**, 1985 : Avantages et limites de l'étude de la végétation spontanée pour la typologie des stations forestières. Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France, vol. 72(10) : 875-882.
25. **Bedel J.**, 1986 : Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. Options méditerranéennes. Série Étude CIHEAM 86/1 : 127-156.
26. **Bellocq M. I., Smith S. M.**, 1995: Influence of reforestation technique, slash, competing vegetation, and duff depth on the overwintering mortality of *Pissodes strobe* (Coleoptera: Curculionidae), the white pine weevil. Forest Ecology and Management, (78): 1-10.
27. **Benjamâa M.L.**, 2007 : *Relation Scolitynae-champignons- pin d'Alep Pinus Halpensis Mill. dans quelques régions forestières de la Tunisie*. Thèse de Doctorat en science Agronomiques. Unive 7 nov. Cartage .Tunisie. 175p.
28. **Ben Khedher S., Boukedi H., Dammak M., Kilani-Feki O., Sellami-Boudawara T., Abdelkefi-Mesrati L., Tounsi S.**, 2017 : Combinatorial effect of *Bacillus amyloliquefaciens* AG1 biosurfactant and *Bacillus thuringiensis* Vip3Aa16 toxin on *Spodoptera littoralis* larvae. Journal of Invertebrate Pathology, (144):11-17.
29. **Ben khellil M.**, 1992 : Les techniques de récoltes et de piégeages utilisées en Entomologie terrestre. 1; O.P.U. Alger; pp 31-32.
30. **Benabid A.**, 1982: Etudes phytoécologique, biogéographique, dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Aix-Marseille, 199 p.
31. **Benabid A.**, 1984 : Etude phytosociologique et phytodynamique et leurs utilités. *Ann. Rech. Forest. Maroc.*, 3-35.
32. **Benabid A.**, 1985: Les Ecosystèmes forestiers Marocains : Diversité, biogéographie et dégradation. Forêt méditerranéenne, Marseille, T.7, na 1, 1985, pp 53-64.
33. **Benhouhou, S., N. Boucheneb, F. Sahli, I.A. Yahou.**, 2005 : Le cyprès du Tassili : caractérisation floristique et écologique. *Rev. Sécheresse*, vol. 1(16) : 61-66.
34. **Ben-jemaa M.L, Belhaj S.**, 2006: Forest Fire in Tunisia: importance and prevention, INRGREF & DGF – Tunisia, 61p.

35. **Bentouati A.**, 2006 : Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du massif de Ouled Yaagoub (Khenchela-Aurès), Thèse Doctorat, 116 p.
36. **Benzecri J.P.**, 1973 : L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances. Vol. 620 « L'analyse des correspondances », Ed. Dunod, Bordas, Paris, Bruxelles, Montréal 619p.
37. **Bergamasco V., Mendes D., Fernandes O., Desidério J. and Lemos M.**, 2013 : *Bacillus thuringiensis* CryIIa10 and Vip3Aa protein interactions and their toxicity in *Spodoptera* spp. (Lepidoptera). *J. Invertebr. Pathol.*, (112): 152-58.
38. **Bernard F.**, 1968 : Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) d'Europe occidentale et septentrionale. Ed. Masson et Cie, Paris coll., faune d'Europe et du bassin méditerranéen, Paris, 411 p. (Araneae, Linyphiidae). *Bull. Inst. R. Sci. Nat. Belge* 60: 19-37.
39. **Biliotti E.**, 1958 : Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera). *Entomophaga*. 3(1) : 23-34.
40. **Biliotti E., G. Demolin, P. Du Merle.**, 1964 : Parasitisme de la processionnaire du pin par *Villa quinquefasciata* Wied. apud Meig. (Diptère, Bombyliidae). Importance du comportement de ponte du parasite. *Annales des Epiphyties* 16, 279-288.
41. **Blondel J.**, 1975 : L'analyse des peuplements d'oiseaux – élément d'un diagnostic écologique : la méthode des échantillonnages fréquents progressifs (E.F.P.). *Rev. écol. (Terre et vie)*, Vol. 29, (4) : 533 – 589.
42. **Blondel J.**, 1979 : Biogéographie et écologie. Ed. Masson, Paris, 173p.
43. **Bonamonte D., Foti C., Vestita M., Angelini G.**, 2013: Skin reaction to pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. , *The scientific world journal*, Ed. Hindawi, 2013:1-6.
44. **Bonnier G., Douin R.**, 1990 : La grande flore en couleurs. Ed. Belin. Paris. Belin 4, 892p.
45. **Bouchon J., Thot J.**, 1971 : Etude préliminaire sur les pertes de production des pinédes soumises aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., *Ann. Sc. Forest.* 28 (3) : 323-340
46. **Bouchou L.**, 2015 : Les parasitoides embryonnaires de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. et leur importance dans quelques peuplements de pin et

Références bibliographiques

- de cèdre du nord de l'Algérie, Thèse de doctorat, 2^{cole} nationale supérieure d'agronomie. ENSA, Alger. 131p.
47. **Boudy P.**, 1950 : Economie forestière Nord Africaine. Paris, Larose 2, (II), 777 - 818.
48. **Bouguendoura N., Bendimerad N.**, 2012 : Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanoliques de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq., Algérie, Nature & technologie, 9 :14-19
49. **Bouhot-deluc L., et Levy A.**, 1994 : rôle de la chenille processionnaire du pin dans le dépérissement du pin maritime landais , Revue forestière Française, (5) , 431-436 .
50. **Bouzouita N., Kachouri F., Benhalima M., Chabouni M.**, 2008: Chemical composition and antioxidizing, antimicrobial and insecticide activity of *Juniperus phoenicea* essential oil. The Journal of the Chemical Society of Tunisia, (10): 119-125.
51. **Brague-Bouragba N.**, 2007 : Systématique et écologie de quelques groupes d'Arthropodes associés à diverses formations végétales en zone semi-arides. Thèse doctorat d'état en Science de la nature U.S.T.H.B. 180 p.
52. **Brague-Bouragba N., Bencherif K., Zamoum M.**, 2006 : Quelques données sur la pédofaune dans les dunes de sable à El-Mesrane (Djelfa). Ann. Rech. For. Algérie.1-8
53. **Braun-Blanquet, J.** 1952 : Phytosociologie appliquée Comm. S.I.G.M.A.N° 116.
54. **Bravo A., Likitvivatanavong S., Gill S., Soberón M.**, 2011: *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. Insect Biochem. Mol. Biol., (41): 423-31.
55. **Brendel M.J.D.**, 1978: Cleoptera Tenebrionidae, Handbook for the identification of British Fauna, Vol V: 10-21.
56. **Breuer M., Devkota B.**, 1990: Control of *Thaumetopoea pityocampa*(Den. And Schiff.) By extracts of *Melia azedarach* L. (Meliaceae). Journal of Applied Entomology,(110): 128-135

C

57. **Cabral D.**, 2005: A feasibility study for alternatives for the commercial utilization of pecan wood waste from pruning New Mexico orchards (The New Mexico Manufacturing Extension Partnership, Albuquerque, NM)
58. **Cabral M.T.C.**, 1976: Microbiological fight against the "*Thaumetopoea pityocampa* Schiff". Insects of pine trees: 2. Choosing the period when the larvae are most sensitive to treatment with *B. thurengiensis* Berliner [*injurious insects*, *Ministerio da Agricultura e Pescas*, Lisbon (Portugal). 13pp.

59. Cadahia D., A. Insua., 1970: Estimate of the damage caused by *Thaumetopoea pityocampa* in replantings of *Pinus radiata* D. Don. First meeting of the Working Party on Integrated Control in Mediterranean Pine Forests, (13): 159-171.
60. Cadahia D., Demolin G., Biliotti E., 1967 : *Meteorus versicolor* var. *decoloratus*, nouveau parasite de *Thaumetopoea pityocampa*, *Entomophaga* (2) :355-361.
61. Cadahia D., L. Enriquez, A. Sanchez., 1975 : Attraction sexuelle chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Boletín del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica* (1) : 1-11.
62. Calas J., 1897 : La processionnaire du pin. *Distribution Maps of Pests, Series A No. 366*. CAB International, Wallingford, Royaume-Uni. *Revue Eaux et Forêts* 1897 : 705-723
63. Camus A., 1926 : *Cupressus dupreziana* A. Camus, Cyprès nouveau du Tassili. *Bull. Soc. Dendrol. Fr.* pp 39-44.
64. Carisse O., Boyetchko S., 2016 : L'applicabilité de la lutte biologique dans un contexte d'agriculture intensive en Amérique du Nord, la lutte biologique: regards transatlantiques académie d'Agriculture de France, 1-9.
65. Carpinella M.C., Defago, M.T., Valladares, G. and Palacios, S.M., 2003 : Antifeedant and insecticide properties of a limonoid from *Melia azedarach* (Meliaceae) with potential use for pest management, *J. Agric. Food Chem.*, 51: 369-74.
66. Chakali G., 2006 : Biologie et écologie de l'Hylésine des Pins, *Tomicus destruens* Wollaston, 1865 (Coleoptera- Scolytidae) dans la forêt de Senalba Chergui (Djelfa – Algérie). Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique El-Harrach, Alger, 139 p.
67. Chakali G., 2007 : Stratégie d'attaque de l'hylésine *Tomicus destruens* Wollaston, 1865 Coleoptera: Scolytidae sur le pin d'Alep en zone semi-aride Djelfa-Algérie. *Ann. soc. entomol. France*, 43(2) : 129-137.
68. Chaouche T.M ., 2014: Contribution à l'étude des activités antioxydantes, et antimicrobiennes des extraits de quelques plantes médicinales, Thèse de doctorat en biologie, Université Abou-Bakr-Belkaid, Tlemcen, 122p.
69. Chaouche T.M ., Hadouchi F., Atik-Bekara F., Ksouri R., Azzi R., Boucherit Z., Choukri T., Larbat R., 2015: Antioxidant, haemolytic activities and HPLC-DAD-ESI-MS characterization of

Références bibliographiques

- phenolic compounds from root bark of *Juniperus oxycedrus* subsp *oxycedrus*. *Industrial Crops and Products* 64: 182-187.
70. Chudeau R., 1906 : Etude sur le Sahara et le Soudan, *Annales de géographie*, N°91 :34-55.
71. Cibois P., 2006 : Principe de l'analyse factorielle, – St-Quentin Version novembre 2006, Versailles, 34p.
72. Claude F., 2011 : *Ecologie, Approche scientifique et pratique*. Lavoisier. Paris. 450 p
73. Copping L., 2004: *The Manual of Biocontrol Agents: A World Compendium: A World Compendium [formerly! The Biopesticide Manual]*, British Crop Protection Council, 752 p.

D

74. Dagnelie P., 1975 : analyse statistique `a plusieurs variables. Gembloux, presses agronomiques de gembloux, 362 p.
75. Dajoz R., 1975 : Précis d'écologie ed. Douod, paris, 549p.
76. Dajoz R., 1980 : *écologie des insectes forestiers*. Gauthier villard . 200p.
77. Dajoz R.,1982 - les peuplements des coléoptères terricoles de tunisie. *Cahiers des naturaliste* (32): 33-67
78. Dajoz, R., 1998 : *les insectes et la forêt*. Ed. Lavoisier tec&doc, Paris, 594 p.
79. Dajoz R., 2002 - *les coléoptères carabidés et ténébrionidés*. Ed. Tec & doc. 521p.
80. David L. Hawkswor A., T. Bull., 2006: *Arthropod diversity and conservation*. Ed; spinger : 2-4.
85. Demolin G., 1963 : Les miroirs urticants de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Revue de zoologie agricole et appliquée*, (4) : 107-114.
86. Demolin G., 1969a : Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Ann. Sci. Forest.* 26 (1) : 81-102
87. Demolin G., 1969b : Bioécologia de la processionnaire del pino, *Thaumetopoea pityocamp*, Incidencia de los factores climaticos, *Bol.Serv. Plagas Forest* (23) :9-24.
88. Demolin G., 1971 : Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (*Lepidoptera*) pendant la période des processions de nymphose - Répercussions sur l'efficacité des parasites. *Ann. Zool. – Écol. Anim. Hors série* : 33-56.

89. **Demolin G.**, 1987 : La processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au monts-Ventoux. *Etudes Vauclusiennes*, n°spécial, (3) :157-173.
90. **Demolin G., Delmas., J.**, 1967 : Les éphippigères (Orthoptères Tettigonidae) prédateurs occasionnels, mais importants de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Entomophaga* (12) : 399-401.
91. **Demolin G., Frerot B. Chambon J.P., Martin J.C.**, 1994 : Réflexions bio systématiques sur toutes les processionnaires du genre *Thaumetopoea* Lep. Considérés comme ravageurs importants. *Ann. Rech. For. Maroc*, (1994), T(27), 593-611
92. **Derouèche H.**, 2015 : Télédétection et analyse des dépérissements des forêts Naturelles en zone semi-aride (Djelfa), Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, Ecole national supérieur d'agronomie, El Harrach. Alger 183p.
93. **Devkota B; Schmidt G.H.**, 1990: larval developpement of *T.pityocampa* from Greece influenced by different host plants under laboratory conditions, *Journal of applied entomology*, 109:321-330.
94. **D.G.F.** (Direction générale des forêts), 2004 : la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification. Rapport national, 33p.
95. **D.G.F.** (Direction générale des forêts), 2005 : Technique de suivi de la biologie de la chenille processionnaire du pin avant et après le traitement insecticide prévu pour la campagne 2005, 19p.
96. **D.G.F.** (Direction Générale des forets), 2009 : Synthèse sur le reboisement de Moudjbara.8 p.
97. **D.G.F.** (Direction Générale des forets), 2012 : Analyse de la politique du secteur forestier et des secteurs connexes en Algérie. pp 81.
98. **D.G.F.** (Direction Générale des forets), 2014 : Direction générale des forêts, BILAN DE lutte contre la chenille processionnaire du pin campagne 2013/2014. Ministère de l'agriculture et du developpement rural, Algérie, 22p.
99. **D.G.F.** (Direction Générale des forets), 2015 : Direction générale des forêts, Campagne de lutte contre la chenille processionnaire du pin : 2015, Etat des superficies infestées, Conservation des Forêts de Djelfa, 1p.

Références bibliographiques

100. **Djebaili S.**, 1978 : recherche phytoécologiques et phytosociologies sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'atlas saharien algérien. Thèse de doctorat d'état, université des sciences et de technologie languedoc, montpellier, 229 p.
 101. **Djebaili, S.** 1984 : Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'atlas sahariens algériens. Office des publications universitaires, alger. I 77p.
 102. **Drouineau G.**, 1942 : *Dosage rapide du calcaire actif des sols*. Ann.Agro., 441-450.
 103. **Duchaufour P.**, 1997 : Pédologie_sol, végétation et environnement. Abrégés de Pédologie. Masson 5ème édition, 291 p.
 104. **Dulaurant A.M.**, 2010 : effet de la diversité des essences forestières sur les niveau de population de *Thaumetopoea pityocampa* à différentes échelles spatiales, dans la forêts des landes de Gascogne, Thèse de doctorat, université de Bordeaux I, 164p.
 105. **Dulaurent A.M.**, Porte A.J., Van Halder I., Vetillard F., Menassieu P., Jactel H., 2012: Hide and seek in forests: colonization by the pine processionary moth is impeded by the presence of nonhost trees. *Agricultural and Forest Entomology* (14), 19–27.
 110. **Du-Merle P.**, 1969 : Le complexe parasitaire hypogé de *Thaumetopoea pityocampa*Schiff. (Lepidoptera). *Boletín del Servicio de Plagas Forestales* 13 : 131-132.
 111. **Du-merle P.**, 1988 : Quelques problèmes de diagnostic posés par les insectes défoliateursforestiers.*Rev.Forest.Française*, n°spécial, (40) :118-123.
 112. **Dutton A.**, Romeis J., Bigler F., 2005: Effects of Bt maize expressing Cry1Ab and Bt spray on *Spodoptera littoralis*. *Entomol. Exp. Appl.*, (114) :161-69.
 113. **Dutuit P.**, Gorenflot R., 2016 : Unité du monde vivant et développement durable, Edition Educadgri, France, 311p.
 114. **Duveyrier, H.** 1864 : Les Touareg du Nord, Challamel édit. Paris. 499 p.
- E**
115. **ElYousfi M.**, 1989 : *Thaumetopoea bonjeani* (POWEL.): La Processionnaire du cèdre. Polycopié Min. Agr. Réf. Ecologie, 14 p.
 116. **Emberger L.**, 1955 : Une classification biogéographique des climats. *Rev. Tra. Tab.Geol. Fac. Sci. Montpellier* (7): 1-43.

Références bibliographiques

117. **Essaid A.**, 1991 : La lutte antiacridienne, *Colloque international sur les perspectives de recherche biologique et chimique dans le cadre de la lutte anti-acridienne de Rabat* (Maroc) 1989, Edition John Libbey Eurtext, France, 313 p.

F

118. **Farjon A.K.**, 1996: Biodiversity of Pinus (Pinaceae) in Mexico : Speciation and palaeoendemism. *Bot. J. Linn. Soc. (London)* 121(4) : 365-384.
119. **Faurier, C., C. Feraa, P. Medori**, 1977 : *Ecologie*. Ed. J. B. Bailliér, Paris, 1968p.
120. **Fei yang ; David Kerns ; Fangneng Huang**, 2015 : Refuge in the bag Strategy for managing insect resistance to Bt Maize, *Outlooks on Pest Management*, 26 (5) : 226-228.
121. **Finney D.J.**, 1971: *Probit analysis*. 3th Ed. Cambridge University Press. IBSN 0521080421X, 1971, 333 p
122. **Floater G. J., Zalucki M. P.**, 2000: Habitat structure and egg distributions in the processionary caterpillar *Ochrogaster lunifer*: lessons for conservation and pest management. *Journal of Applied Ecology*, (37): 87-99.
123. **Fralval A.**, 2007 : Les processionnaires 1^{er} partie –La processionnaire du pin. *Insectes* n°147 : 35-39
124. **Frontier S.**, 1983 : *Stratégies d'échantillonnage en écologie*. Ed. Masson, Paris, 494p.

G

125. **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.
126. **Gahan L., Pauchet Y., Vogel H., Heckel D.**, 2010: An ABC transporter mutation is correlated with insect resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin. *PLoS Genet.*, (11) 6: 1-11.
127. **Gauss R.**, 1960 : Ist Xylosandrus germanus Blandf, ein Primarchandling, *Anzeiger fur schandlingskunde*, (33): 168-172.
128. **Gausson H.**, 1960 : A propos du Cyprés des NAJJER- Con interret forestier, *Cupressus dupreziana* spontané, *Revue Forestière Française*, (2) : 98-102.

Références bibliographiques

129. **Gaussen H., Ozenda P., 1982** : Précis de botanique 2, Végétaux supérieurs, Ed. Masson, Paris, 579p.
130. **Gaussen S., Bagnouls H., 1955** : Saison sèche et indice xéothermique, document pour les cartes de production végétale. *série généralité cartographique de l'unité écologique*. Ed. Edward Privat, Toulouse. 239 p.
131. **Geri C., 1980** : Application des méthodes d'études démécologiques aux insectes défoliateurs forestiers. Cas de Diprion pini L. (hym., Diprionidae), Dynamique des populations de la processionnaire du pin dans l'île de Corse. Thèse de doctorat d'état, Orsay, Université Paris Sud, 260p.
132. **Glaubrecht M., Bartsch P., Ohl M., 2008**: Zoosystematics and evolution, an evolving journal. *Zoosystematics and Evolution* 84(1) : 5–8.
133. **Gounot M., 1969** : Méthode d'étude quantitative de la végétation. Ed. Masson et Cie. Paris. 314 p.
134. **Gousard F., Saintonge F.X., Geri C., Auger Rozenberg M. A., Pasquier B.F., Rousselet J., 1998** : Increasing risk of damage by the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* Den.&Schiff. In the central region following climatic change. Actes de la 4ème conférence internationale francophone d'entomologie, Saint Malo, France, du 5 au 9 juillet 1998 (35): 341-343.
135. **Grasso V., Ponchet J., 1979** : Historique, distribution géographique et hôtes du *Coryneum cardinale* Wag. *Il Ciproso* " 119-126.
136. **Grim S., 1992** : Inventaire des cyprès du Tassili. Notes de I à XII. Notices Forestières Brèves. De Janvier à Décembre 1992. Mise en valeur des sols par l'arbre forestier Notes personnelles.
137. **Guerrero A., Camps F., Coll J., Riba M., Einhorn J., Descoins C., Lallemand J.Y., 1981** : Identification of a potential sex pheromone of the processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera notodontidae) T. *Letters* (22):2013-2016.
138. **Guignard J.L., 1986** : Abrégé de botanique, Edition Masson, 247p.
139. **Guit B., 2015** : Croissance et état sanitaire des peuplements de pin d'alep (*Pinus halepensis* mill.) Dans le massif forestier de Senalba (région de djelfa), Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Ecole nationale supérieure d'Agronomie, Alger, 107p.

H

Références bibliographiques

140. **H**ammer O., Harper R., R Yan P.D., 2001: Past palaeontological statistics software package for education and data analysis Palaeont Electr on: <http://palaeoelectronica.org/> /1 2001/ Past issue – .01 htm.
141. **H**amon S., 2001: Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes, Editions IRD, Paris, 189p.
142. **H**arborne J.B., 1998: Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis. Chapman et Hall Thomson Science (U K) ; 3ème ed. : 203-234
143. **H**enri T., Peter C., Iwen S., Hinrichs H., 2000: Identification Of *Aspergillus* Species Using Internal Transcribed Spacer Regions 1 And 2, Journal Of Clinical Microbiology, Vol. 38, No. 4: 1510–1515
144. **H**ernandez F.J., Ramirez, L.N., Ramirez, L.S. and Fuentes, J., 2010: Molecular and biological characterization of native *Bacillus thuringiensis* strains for controlling tomato leafminer *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) in Colombia, World J. Microbiol. Biotechnol., 27: 579-90.
145. **H**erve B., 2006 : Asie centrale, la route de la soie, Kazakhstan, Turkmistan, Edition Marcus, France, 96p.
146. **H**ethener P., 1967 : Activité microbiologique des sols à Cupressus dupreziana sur Cupressus sempervirens A. Camus Tassili N'Ajjer, Sahara centrale, Bull. Soc. Hist. Nat.58 (1/2) :39-100.
147. **H**odar 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.
148. **H**ubner J., 1822 :. Systematisch-alphabetisches Verzeichniss aller bisher bey den Fürbildungen zur Sammlung europäischer Schmetterlinge angegebenen Gattungsbenennungen: mit Vormerkung auch augsburgischer Gattungen. der Verfasser, Augsburg. 1-81.
149. **H**uchon H., Demolin G., 1970: La bioécologie de la processionnaire du pin, Dispersion potentielle- Dispersion actuelle. Rev. Forest. Franç., N° spéciale (la lutte biologique en forêt): 220-234.

Références bibliographiques

150. **Ibrahim M.**, Griko, N., Junker, M. and Lee, A., 2010: *Bacillus thuringiensis*, A genomics and proteomics perspective, *Bioengineered Bugs*, 1: 31-50.
151. **Imber C.E.**, 2012: Expansion d'un ravageur forestier sous l'effet du réchauffement climatique: la processionnaire du pin affecte-t-elle la biodiversité entomologique dans les zones nouvellement colonisées ? Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 196p.

J

152. **Jacobson M.**, 1986: The Neem Tree: Natural Resistance Par Excellence. In: Natural Resistance of Plants to Pests - Roles of Allelochemicals. Ed by Greenm, B. and Hedinp, A. ACS Symp. Ser. No. 296, American Chemical SOC., Washington.
153. **Jactel H.**, Birgersson G., Andersson S., Schlyter F., 2011: Non-host volatiles mediate associational resistance to the pine processionary moth. *Oecologia*, (166):703–711.
154. **Jactel H.**, Brockerhoff E.G., 2007: Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters*, 10, 835-848.

K

155. **Kaabèche M.**, 1995 : Flore et végétation dans le Chott El-Hodna (Algérie). Doc. Phytosoc., N.S., Camerino ,Vol. XV : 393-402.
156. **Kâabèche M.**, 1996 : Les relations climat-végétation dans le bassin du Hodna. (Algérie). *Acta bot. Gallica* 1: 85-94.
157. **Kadi-Hanifi H.**, 2003 : Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. *Revue sécheresse*, 14, 169-179.
158. **Kadik B.**, 1983 : Contribution à l'étude du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie. Ecologie, dendrométrie, morphologie. Thèse de doctorat d'état es sciences Naturelles. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 261p.
159. **Kadik B.**, 1987 : Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie : Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Office des publications universitaires (Alger). 585p.
160. **Kadik L.**, 1984 : Phyto-écologie des formations à pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du Senalba Chergui et Gharbi Thèse Doct.3^{ème} P cycle. Univ. H. Boumédiène Sciences. Bab Ezzouar. 281p.
161. **Kadik L.**, 2011 : Phytosociologie Et Phytoecologie Des Forêts a Pin D"Alep, Editio Universitaire Europeenne, 439p.

Références bibliographiques

162. **Kerdelhué C.**, Zane L., Simonato M., Salvato P., Rousselet J., Roques A., Battisti A., 2009: Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC. Evolutionary Biology* (9) 220-226.
163. **Kerris T.**, Djebili Y., Amoura S., Bouguerra S., Rouibah M., 2008: Biological striking use tests of oleander *Nerium oleander* L. against *Lymantariadispar*. 2nd International conference on the biodiversity of invertebrates in agricultural and forest environment, National institute of Agronomy, Algeria: 1-6
164. **Khellil A.**, 1992 : Abrégé d'Entomologie. 1, Ed. OPU, Alger, 80p.
165. **Khellil A.**, 1995 : Le peuplement entomologique des steppes à alfa *Stipa tenacissima*. Ed. O.P.U. 76 p.

L

170. **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.
171. **Lavauden L.**, 1926 : Sur la présence d'un cyprès dans les montagnes du Tassili des Azdjers. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* (182): 541–543.
172. **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 Forestières*, 34, 205-214.
173. **Lieutier F.**, 1984 : les perturbations induites par parasitorhabditis *Ipsophila* (Nematoda : Rhabditidae) dans le tube digestif d'*Ips sexdentatus* (Insecta : Scolytidae), *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 1984, t. 59, n° 6, pp. 597-605.
174. **Loisel R.**, 1976 : Place et rôle des espèces du genre *Pinus* dans la végétation du sud-est
175. **Loudhaief R.**, 2018 : Effets des bio-insecticides à base de *Bacillus thuringiensis* sur la physiologie intestinale de la Drosophile, Thèse de doctorat, de l'Université Nice Sophia Antipolis, France, 209p.
176. **Louni Dj.**, 1994 : les forêts Algériennes, Forêt Méditerranéenne t. x. n° 7, janvier 1994, P :59-63.

M

177. **Maelfait J.P.**, Baert L., 1975: Contribution to the knowledge of the Arachno and Entomofauna of different wood habitats, part I. Sampled habitats, the orical study of the pitfall method, survey of the captured taxa. *Biol. Jb. Dodonaea*, 43: 179-196.

Références bibliographiques

178. **Mark Lee L.**, James A., Klocke, Mark A., Barnby, Bryan, Yamasaki R., Manuel F., Balandrin : 1991: Insecticidal constituents of *Azedarachta indica* and *Melia azedarach* (Meliaceae). National product sciences, INC, University of Utah research park, ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, 293-304.
179. **Markalas S.**, 1989: Influence of soil moisture on the mortality, fecondity and diapause of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.), Journal of applied entomology (107): 211-215.
180. **Martin J.C.**, Mazet R., 2001: Winter control of pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Phytoma*, (540): 32-35.
181. **Martin J.C.**, 2005 : la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Biologie et protection des forets. INRA 61p.
182. **Martin J.C.**, 2006 : *Bacillus thuringiensis*, 30 ans de lutte contre les chenilles défoliatrices en forêt. *Phytoma* 590, 4-7.
183. **Martin J.C.**, Frerot B., 2006 : Evolution de la lutte contre la processionnaire du pin: vers l'utilisation de la phéromone de synthèse. *Cahiers du DSF* (1), 29-31.
184. **Martin J.C.**, Leblond A, Brinquin AS, Decoin M., 2012 : Processionnaire du pin, revue des méthodes alternatives. *Phytoma La Santé des Végétaux*, (657) : 13-21.
185. **Mc-Guinness C.A.**, 2001: The Conservation Requirements of New Zealand's Nationally Threatened Invertebrates. Threatened Species Occasional Publication 20. Department of Conservation, Wellington, New Zealand. Méditerranéen français. *Ecologia Mediterranea*, 2 : 131-152.
186. **Mehenni M. T.**, 1993 : Recherche écologiques et biologiques sur les Coléoptères des Cédraies Algériennes. Thèse doctorat. es. sci. nat. U.S.T.H.B, 320 p.
187. **Mezali M.**, 2003 : Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3ème session du forum des Nations Unis sur les forêts. 9 p.
188. **M'Hirit O.**, 1982 : Étude écologique et forestière des cédraies du rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle, de la phytoécologie et de la production du Cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti.). Thèse de Doctorat. Université de Marseille, 499 p.
189. **Montoya R.**, 1984: Description de un nuevo modelo de trampa para la captura de machos de processionaria de pino, *Boletin de la estacion central de ecologia*, vol 13 (26) : 99-103.

Références bibliographiques

190. **Moore R.**, Francis B.J., 1991: Herbivory by insects on oak trees in pure stands compared with paired mixtures. *Journal of Applied Ecology*, (28): 290-304.
191. **Muna A.**, Alrawi, Halima Z., Hussein, 2017: molecular identification of fungi *aspergillus flavus* which producing toxin (afb1) in Iraq , *Pak. J. Biotechnol.* 14 (4) : 673-675.

N

192. **Nahal I.**, 1962 : Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Extr. *Annales Ecole Nationale Eaux et Forêts*, Nancy 19, (4) : 533-627.
193. **Nahal I.**, 1986 : Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. *CIHEAM-Options Méditerranéennes*. N° 1 : 1-9.
194. **Nasri I.**, 2016 : Etude phytochimique et activités biologiques de *Diplotaxis* sp. Application à l'étude des cellules souches coliques pathologiques. Thèse de Doctorat, Université Toulouse III Paul Sabatier, France, 145 p.
195. **Ndomo A.**, Tapondjou A., Tendonkeng F., Mbiopo T., 2009 : Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae). *Tropicicultura*, (27): 137-43.
196. **Nedjahi A.**, Zamoum M., 2005 : Valuing Mediterranean Forests- Towards Total Economic Value. *CABI Publishing*, Wallingford United Kingdom, 89-103.

O

197. **Ozenda P.**, 1977 : Flore du Sahara. 2^{ème} édition (revue et complétée). Ed. C.N.R.S., Paris. 622p.
198. **Ozenda P.**, 2004 : Flore et végétation du Sahara. Ed. C.N.R.S, Paris. 662 p.

P

199. **Parker D.L.**, Davis D.W., 1971: Feeding habits of *Corticus substriatus* (Coleoptera, Tenebrionidae) associated with mountain Pine beetles in lodgepole Pine, *Ann. Soc. Ent. Am.*, 64-293.
200. **Pedel L.**, 2011 : Description et cartographie des biocénoses benthiques rencontrées au cours de la campagne MEDSEACAN (Aamp/Comex), Rapport final Convention 11/1219231/NF, LER/PAC, 75p.

Références bibliographiques

201. **Perrier R.**, 1927 : La Faune de la France Coléoptères (première partie). Ed. Delagrave, Paris, fasc.5, 192p.
202. **Perrier R.**, 1940 : La Faune de la France Hyménoptères. Ed. Delagrave, Paris, T.7, 211p.
203. **Perrier R.**, 1961(a) : La Faune de la France Coléoptères. Ed. Delagrave, Paris, 192p.
204. **Perrier R.**, 1961(b) : La Faune de la France, Coléoptères. Ed. Delagrave, Paris, 229p.
205. **Pesson P.**, Chararas C., 1969 : Les scolytides, insectes ravageurs mondiaux des forêts des conifères. L'année biol. (8): 683-733.
206. **Pesson.**, 1974 : Ecologie Forestière ; la forêt son climat, son sol, ses arbres, sa faune. Ed Gauthier villard. Pp 193-218.
207. **Pichot C.**, El Maataoui M., 2000 : Anomalies de la reproduction et ressources génétiques chez *Cupressus dupreziana* A. Camus. Rec. Sem. Inter.: « Redécouvrir et réinventer une sylviculture en zones arides ». INRF – CRSTRA Djanet 2000, 90-97.
208. **Pouget M.**, 1980 : Les relations sol- végétation dans les steppes Sud algéroises. Thèse Doct, état. Ed. O.R.S.T.O.M. Paris. 555 p.
209. **Prokopy R.J.**, Owens E.D., 1983: Visual detection of plants by herbivorous insects. Annual Review of Entomology, (28): 337-364.

Q

210. **Quezel P.**, 1957 : Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Paris, Ed. Lechevalier, Paris , 464 p
211. **Quezel P.**, 1965 : La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie. Edition Gustav Fisher. Verlag, Stuttgart, 333p.
212. **Quezel P.**, 1976 : les frêts du pourtour méditerranéen. Notes techniques, MAB2 UNESCO, Paris Pp9-34.
213. **Quezel P.**, 1980 : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Actualités d'écologie forestière (ed : Pesson). Edition Gauthier-Villars. Paris : 205-256.
214. **Quezel P.**, 1986 : Les Pins du groupe «halepensis»: Écologie, Végétation, Écophysologie. *Options Méditerranéennes*. Série Étude CIHEAM 86/1 : 11-24.
215. **Quezel P.**, S. Santa (1962- 1963) : Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. Paris C.N.R.S., 2 volumes. 1170p.
216. **Quezel P.**, Santa S., 1962 : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I. Ed. CNRS, Paris. 564 p.

217. **Quezel P., Santa S., 1963** : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II. Ed. CNRS, Paris. 586 p.

R

218. **Ramade F., 1984** : Eléments d'Ecologie: Ecologie fondamentale. Me Graw-Hill, 397 p.
219. **Ramade F., 1989**: Eléments d'écologie: Ecologie appliquée. Ed. Mac.Graw Hill.397p.
220. **Ramade F., 2003** : Eléments d'écologie : écologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 690 p.
221. **Ramade F.,1978** : Elements d'écologie appliquée, Action de l'homme sur la biosphère, Ediscience, MacGraw Hill, 576p.
222. **Rathgeber C., Misson L., Nicault A., Guiot J., 2005**: Bioclimatic model of tree radial growth: application to French Mediterranean Aleppo pine forests. *Trees*, (19): 162-176.
223. **Raunkiaer C., 1904**: *Om biologiske Typer, med Hensyn til Planternes Tilpasning til at overleve ugunstige Aarstider*. Bot. Tidsskrift, 26, 1904 ;
224. **Rausell C., Martí, A., Garcí, I. and Real, D. 1999**: The toxicity and physiological effects of *Bacillus thuringiensis* toxins and formulations on *Thaumetopoea pityocampa*, the pine processionary caterpillar. *Pestic Biochem Physiol.*, 65: 44-54.
225. **Regnault-Roger C., Philogene B.J.R., Vincent Ch., 2008** : Biopesticides d'origine végétale 2ème édition. Techniques & Documents, Paris, 547 p.
226. **Remond F., Cilas C., Vega Rosales M.I, Gonzalez M.O., 1993** : Méthodologie d'échantillonnage pour estimer les attaques des baies du caféier par les scolytes (*Hypothenemus hampei* Ferr.) = Sampling procedures for the evaluation of coffee berry attacks by the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferr.) Café, Cacao, Thé, 37 (1): 35-52.
227. **Risch S. J., 1981**: Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: and experimental test of two hypotheses. *Ecology* (62): 1325-1340.
228. **Rivera-Nava J. L., 2008** : Stratégie Mère Porteuse chez *Cupressus dupreziana* A. Camus (cyprès du Tassili) – Analyse conséquence et perspectives. Thèse de doctorat, Biologie de populations, Ecologie. Université Paul Cézanne – Aix Marseille III. 129p.
229. **Riviere J., 2011** : les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale, Thèse de doctorat, école nationale de vétérinaires d'Alfort, France, 197P.

Références bibliographiques

230. **Robert P.**, Blaisinger P., Bouchery Y., Simonis M., Kienlen J., Muckensturm B., Riss B., Pieger D., 1987 : Influence of bisabolangelone, an antifeedant sesquiterpenoid, on the development of *Mythimna (Pseudaletia) unipuncta* Haw. (*Lepidoptera, Noctuidae*). *Agro-nomie* (3) :167-174.
231. **Robinet, C.**, Baier, P., Pennerstorfer, J., Schopf, A. and Roques, A. 2007: Modelling the effects of climate change on the potential feeding activity of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Notodontidae) in France. *Global Ecology and Biogeography* 16: 460-471.
232. **Rodrigues P.**, Soares C., Kozakiewicz Z., Paterson R.R.M., Lima N., VenâncioA., 2007: Identification and characterization of *Aspergillus flavus* and aflatoxins. *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology* A. Mendez Vilas (ED) Pp. 527-534.
233. **Roques A.**, 2014: Natural history of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.): New insights in relation to climate change (Ed) *Processionary moths and climate change: An Update*, CIRAD, INRA. Springer Quae, France. 15-79, 427p .
234. **Rossi M.**, 2013: *Le jardin des plantes à Mponpelier, De la médecine à la botanique*, Ed Quae, France, 165p.
235. **Ruiz L.M.**, Segura C., Trujillo J., Orduz S., 2004: In vivo binding of the Cry11Bb toxin of *Bacillus thuringiensis* subsp. medellin to the midgut of mosquito larvae(Diptera: Culicidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* (99) :73–79.
236. **Rushforth K.**, Adams R. P., Zhong M., Ma X. Q., Pandley R. N., 2003: Variation among *Cupressus* species from the eastern hemisphere based on Random Amplified Polymorphic dans (RAPDs). *Biochemical Systematics and Ecology* (31): 17-24.

S

237. **Sahli F.**, 2007: *Le cyprès du Tassili, conservation in situ*, INRF Alger, 1-14.
238. **Sambrook J.**, Frisch, E. and Maniatis, T., 1989: *Molecular Cloning: A Laboratory Manual* (2nd Ed.), Cold Spring Harbor Laboratory, 1-34.
239. **Samson R.A.**, Houbraken J.Q.M.P., Kuijpers A.F.A., Frank J.M, Frisvad, J.C., 2004: New ochratoxin A or sclerotium producing species in *Aspergillus* section *Nigri*. *Studies in Mycology*, 45-61.

Références bibliographiques

240. **Sassoui D.**, 2016 : Etude ethnobotanique, phytochimique, histologique et activité antidépressive de *Portulaca oleracea* L. et *Peganum harmala* L., Université Baji Mokhtar Annaba, Algérie, Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba, 134p.
241. **Sbaa B., Benrima A.**, 2017 : Biodiversité acridienne et floristique en milieux stépiques naturels et reboisés dans la région de moudjbara-djelfa (algérie) , Algérie, *Agrobiologia* 7(1): 321-333
242. **Schlyter F., Zhang Q., Anderson P., Byers J. A., Wadhams L. J., Lofqvist J., Birgersson G.**, 2000: Electrophysiological and behavioural responses of *Tomicus piniperda* and *Tomicus minor* (Coleoptera: Scolytidae) to non-host leaf and bark volatiles. *Canadian Entomologist*,(132): 965-981.
243. **Schmitz O.J.**, 1999: Direct and indirect effects of predation and predation risk in old fielderaction webs, *Am. Nat.* (151): 327-342.
244. **Sebti S.**, 2015 : Recherche écologique et répartition spatio-temporelle de la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* Denis et *Schiffermüller* dans la région de l'Atlas blidéen. Thèse de doctorat en sciences Agronomiques, l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 108p.
245. **Seigue A.**, 1985 : La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Maison neuve et Larose. Édition. Paris. 502 p.
246. **Sellami S.**, 2003: Evaluation of nematicide activity of some plants against the nématode of stalks: *Ditylenchus dipsaci* (Nematoda:Anguinidae), Seen again by the National institute of Agronomy, Algeria, 52-58.
247. **Senthil-Nathan S., Savitha G., Dency K. G., Alagirisamy N., Laxmanan S., Chung P.G.**, 2006: Effects of *Melia azedarach* on nutritional physiology and enzyme activities of the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guene'e) (Lepidoptera: Pyralidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 84: 98-108.
248. **Silvy C.**, 1992 : Quantification... le phytosanitaire, courrier de la cellule environnement de l'INRA, France, 18 : 29-44.
249. **Simon E.**, 1875 : Les Arachnides de France. Les familles des Urocteidae, Agelenidae, Thomisidae et Sparassidae Ed. Paris. Tome II : 1-350.
250. **Simon E.**, 1884 : Arachnides nouveaux de l'Algérie, Bulletin de la Société Zoologique de France, 9 : 321-327.

Références bibliographiques

251. Simon E., 1937 : Les Arachnides de France. Synopsis général et catalogue des espèces françaises de l'ordre des Araneae ; 5ième et dernière partie. Edition Paris. *Tome VI*: 879-1296.
252. Solfo R.R., 1973 : Etude d'une Plante Médicinale Malgache *Buxus madagascariensis* Bail et ses variétés. Edition: O.R.S.T.O.M.
253. Stewart P., 1976 : *Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique*. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, (59). 23-36.
254. Sun J., Kulhavy D. L., Yan S.-C., 1998: Prediction models of Nantucket pine tip moth, *Rhyacionia frustrana* (Comstock) (Lep., Tortricidae) infestation using soil and tree factors. *Journal of Applied Entomology*, (122): 1-3.

T

255. Tiberi R., 1999: Egg parasitoids of the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lep., Thaumetopoeidae), *Redia*, LXIII, 307-321.
256. Tibéri R., Niccoli A., Curini M., Epifano F., Marcotullio M.C., Rosati O., 1999: The role of mono-terpenecomposition in *Pinus* ssp. needles, in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica*. 27(4) : 263-72.
257. Toffolo E.D., 2008: Climate change and pine processionary moth : Role of the host plant. Ph.D. Thesis, University of Padova, Italy.
258. Touffet J., 1982 : Dictionnaire essentiel d'écologie. Ed. Ouest France, Rennes, 108p.
259. Tristram H.B., 1860: The great Sahara. Wanderings south of the Atlas mountains. Murray. Edit. London p 236.
260. Tsankov G., Douma-Petridou E., Merchev P., Georgie G., Koutsaftikis A., 1999: Spectrum of egg parasitoids and rate of parasitism of egg batches of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller in the northern peloponnes/ Greece. *Journal of entomological society research* 1(2), p:1-8.
261. Tsankov G., Schmidt G.H., Mirchev P., 1995: Impact of parasitoids in egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) in Algeria, *Boll. Zool. Agr. Bachic. Ser.* 11,27 (1): 53-60.

V

262. Vago C., 2006 : Virose intestinale chez la processionnaire du Pin *Thaumetopoea pityocampa*, *Entomophaga* (3) :35-37.

Références bibliographiques

263. Van-hook R.I., 1971: Energy and nutriment dynamics of spider and orthopteran populations in a grassland ecosystem. *Ecol. Monogr.* 41: 1-26.
264. Venables W.N., Smith D.M., 2004: The R. development core team. An introduction to R. version 1.9.1. <<http://www.r-project.org/>>.
265. Visser J. H., 1986: Host odor perception in phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, (31): 121-144.

W

266. Watt A., 1992: Insect pest population dynamics: Effects of tree species diversity. *The ecology of mixed-species stands of trees* (ed. by Cannell, M.G.R., Malcolm, D.C. & Robertson, P.A.), Blackwell, Oxford, p. 267-275. .
267. Way M.J., Paiva M.R., 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
268. Wiens J.A., 1976 : Population responses to patchy environments. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 7: 81-120.
269. Wolda H., 1980: Seasonality of tropical insects. I. Leafhoppers (Homoptera) in Las Cumbres, Panama. *J. Anim. Ecol.* (49): 277 -290.

Z

270. Zamoum M., 1998 : Données sur la bio écologie, les facteurs de mortalité et la dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller (Lep., Thaumetopoeidae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa (Algérie). Thèse de Doctorat, Univ des sciences de Rennes I, France, 247 p.
271. Zamoum M., 2002 : Quelques éléments pour la préservation de la santé des forêts en Algérie. *Revue de la forêt algérienne*, n° 4, juil. 2002, 46 pp.
272. 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.
273. Zamoum M., Demolin G., Martin J.C., 1997: Efficiency of a microbiological insecticide (Foray 48B) tests on the stages L3 and L4 of the pine processionary *Thaumetopoea pityocampa* (Den. And Schiff.) In the reforestations of Moudjebara (Djelfa, Algeria). *Annals of the Forest Research in Algeria*, (1): 3-41.

Références bibliographiques

274. **Zamoum M.**, Martin J., Bensidi A., Bahmane R., 2016: Immediate and delayed mortality of the pine processionary moth treated by *Bacillus thuringiensis* var. kurstaki 3a, 3b in the sub-Saharan pine reforestations. Turkish J. Forest. (17): 76-79.
275. **Zhang Q.**, LIU G.T., Schlyter F., Birgersson G., Anderson P., Valeur P., 2001: Olfactory response of *Ips duplicatus* to non-host leaf and bark beetles. Volatiles in inner Magnolia, China, Journal of Chemical ecology, 27: 955- 1009.
276. **Zhang Q.-H.**, Schlyter F., 2004: Olfactory recognition and behavioural avoidance of angiosperm non host volatiles by conifer-inhabiting bark beetles. Agricultural and Forest Entomology, (6): 1-20.
277. **Zhang S.**, Cheng H., Gao Y., Wang G., Liang G., Wu K., 2009: Mutation of an aminopeptidase N gene is associated with *Helicoverpa armigera* resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin. Insect Biochem. Mol. Biol. 39, 421–429.

Annexe 01 : Les températures minimales à Djelfa de 1982-2015 selon les données climatiques délivrées par l'ONM

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1982	1,3	2,4	2,1	5,4	10,4	16,4	17,4	18,1	14,5	8,4	4,1	-3,6
1983	-3	1,1	2,4	6,9	10,5	14,4	18,4	18,3	13,8	8,7	7	3,9
1984	5,29	1,7	1,6	7,7	7,4	15,5	18	17,7	13,5	7,4	3,1	1,1
1985	0,4	3,5	1,8	6,5	9,1	17,3	19,2	17,8	12,9	8,2	6,9	1,5
1986	0,9	2,7	2,8	4,9	11,9	14	15,6	18,3	13,1	9,6	3,3	-1,2
1987	-0,6	2,2	3,5	7,2	9,8	15,7	19,4	19,5	15,1	11,1	3,9	3,3
1988	1,9	1,5	2,8	7,1	11,2	15,3	18,8	18,6	11,8	9,3	5,9	-0,3
1989	-1,1	0,7	3,6	5,5	10,4	14,5	18,5	19	15,2	10	6,4	4,5
1990	1,9	1,5	3,9	5,9	11,7	16,9	17,8	16,9	17,3	10,1	4,9	5,4
1991	-0,7	0,8	4,5	4,9	7,5	14,7	18,4	16,5	15	9,3	3,1	4,5
1992	-1,6	-1,5	2,4	4,9	9,3	11,4	16,3	16,8	13,6	8,2	7,4	1,6
1993	-2,7	5,1	3	4,5	10,8	17,2	19,4	18,2	12,4	10,6	5,4	1,1
1994	1,6	2,6	4,3	4,7	12,1	16	12,9	19,4	14,3	10,5	5,1	0,9
1995	1	2,2	2,9	4,1	11,4	15,7	19,3	17,8	13,9	9,5	5,4	4,7
1996	3,2	1	3,6	5,7	8,5	12,3	16,4	18,3	11,4	6,4	4,2	2,8
1997	1,8	1,5	1	6	11,1	15,1	18,6	17,2	13,6	9,6	5,1	2,3
1998	0,9	1,2	1,8	5,9	9,6	15,3	18,1	17,9	16	6,5	3,9	-1
1999	0,8	2,8	3,4	5,9	12,7	17,4	18,4	20,9	15,5	11,9	3,7	1,1
2000	-3,5	-0,3	3,3	6,3	11,8	14,1	19,6	16,5	13,8	8,4	4,8	1,8
2001	1	0,2	6,2	5	9,6	16,2	19,6	19,3	15,4	12,7	4	1,1
2002	0,7	0,5	4	6,4	10,8	16,1	18,3	17,9	13,2	9,3	5,7	3,2
2003	0,9	0,7	4,1	6,8	10,5	16,9	20,1	18,9	14,1	11,7	5	1,1
2004	1,1	1,6	4	5,4	8	14,9	18	19,1	13,9	11,5	2,8	1,4
2005	-3,2	-2,1	4,6	6,5	12,5	16,1	20,9	18,5	14	10,7	4,3	0,8
2006	-0,8	5	3,9	9	13,3	16,4	18,8	17,8	13,2	11,5	5,1	3
2007	0,7	4,2	2,1	7,4	10	16	18,7	18,9	15,6	10,2	3,4	0,4
2008	-0,2	1,4	3,4	6,4	11,3	14,7	20	18,7	15,6	10,2	3,2	0,6
2009	1,2	0,2	3,3	3,6	10,3	15,6	19,6	19,3	13,3	8,4	4,9	3,3
2010	2,7	3,3	4,8	7,4	9,2	14,7	19,6	19,3	14,8	9,5	5,6	2,3
2011	1,4	0,3	3,5	8,4	10,4	14,7	18,7	18,7	15,9	8,3	5	1,1
2012	-0,6	-2,7	3,2	6,3	10,8	18,2	20,5	19,4	15,3	10,6	6,2	1,8
2013	1,7	0,1	4,8	6,4	9,5	13,9	19,1	16,8	15	13,6	4	0,05
2014	2	02.6	02.5	07.1	11.0	14.9	19.0	19.6	17.4	110	07.3	01.3
2015	0	00.3	03.3	08.7	12.0	14.0	18.5	19.1	15.4	10.7	04.2	00.6

Annexe 02 : Les températures maximales à Djelfa de 1982-2015 selon les données climatiques délivrées par l'ONM

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1982	11,4	11,8	14,9	16,2	22,8	31,3	34,4	33,1	27,8	19,4	12,7	8,2
1983	12,2	11,5	15,8	20,6	22,5	29,9	34	33,2	27,9	22,4	16,8	11,5
1984	9,94	9,9	13,3	19,6	20,4	29,6	34,6	32,1	27,3	18,1	15,9	9,4
1985	8,1	16	12,3	20,6	21,7	32	34,9	32,9	27,7	20,8	15,9	10,4
1986	8,7	11,4	12,6	17	27,2	28,6	31,3	34	27,4	20,3	12,9	9
1987	9,3	10,7	15,5	22,5	23,5	30,4	33	34,1	30	23,3	13,4	13
1988	10,8	11,6	15,4	19,9	24,3	27,9	34,5	33,8	26,7	22,8	15,4	9,2
1989	9	12,8	17,3	16,8	24,2	27,5	32,7	33	28,3	22	17,4	14,1
1990	8,1	17,2	16,4	17,1	22,6	31,5	32,6	31,9	30,7	23,1	14,8	8,7
1991	9	12,1	12,3	16,4	21,9	25,6	31,1	33,5	29,5	21,4	15,8	11,2
1992	11,2	9	14,6	17,6	23,6	31,4	34,5	33,4	25,6	22,1	13,8	11,9
1993	9,5	13,3	17,6	16,9	28,6	31,9	35,7	35,7	27,6	19,6	16,3	12
1994	9,7	15,4	13,9	17,7	26,3	29,3	34,2	32,3	26	21,1	16,5	12,7
1995	10,7	8,2	13,4	16,5	21,4	26	31,9	32,8	24,5	20,3	15,4	12
1996	9,7	14,2	16,1	16,6	24,3	30,8	33,8	31,2	25,2	21	14,1	10,9
1997	10	12,9	15,7	19,2	20,8	29,8	34,9	32,9	28,6	18,9	14,8	9,8
1998	8,8	8	13,5	2,5	27,3	32,5	34,2	36,1	28	23,8	12,4	9,1
1999	9,1	14	17,6	20,2	25,1	29,7	34,5	32,8	27,5	18,5	15,1	12,8
2000	10,2	11,6	19,2	19,1	23,3	32,6	35,4	33,9	28,1	25,6	14,2	10,9
2001	10,7	14,6	16,8	18,6	24	31,4	33,1	31,1	26,7	22,8	14,3	12,1
2002	8,2	9	15,7	18,9	24,7	31,3	35,5	33	27,7	21,9	13,9	8,4
2003	10,4	14,7	16,3	17,2	18,9	29,3	32,9	33,9	26,9	23,7	13	8,9
2004	8,9	8	16,1	20	28,1	30,5	36,2	33,1	26,2	21,8	14,2	8,8
2005	6,3	9,1	16,7	22,1	26	30,6	34,2	33	25,5	24,7	16,2	9
2006	6,3	9,1	16,7	22,1	26	30,6	34,2	33	25,5	24,7	16,2	9
2007	12,7	12,5	12,5	16,7	23,3	31,2	34,4	33,5	28,2	20,3	14,1	9,6
2008	12,2	13,4	15,4	21	23,5	28,6	35,3	33,8	26,4	18,7	11,8	8,1
2009	11,1	13	15,8	20	21,6	29,6	35,1	34	27,2	21,2	14	13,1
2010	11,8	10,1	13	21,3	22,6	27,8	33,5	34	29,8	20,1	14	9,9
2011	9,6	6,6	14,6	17,3	25,9	33	35,8	35,3	27,6	21,6	15,2	10,7
2012	9,6	6,6	14,6	17,3	25,9	33	35,8	35,3	27,6	21,6	15,2	10,7
2013	9,7	9,3	14,5	19,5	22	29	33,8	32,3	27,8	26,1	12,6	9,6
2014	10,3	12,5	12,1	21	25,2	28	33,9	34	29	24,3	15,7	8,6
2015	09.5	06.9	14.8	22.3	27.1	28.8	34.5	34.3	27.2	21.1	15.3	13.4

Annexe 03 : Les précipitations à Djelfa de 1982-2015 selon les données climatiques délivrées par l'ONM

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1982	44,9	42,1	20,3	72,7	48	17,3	4,6	7	10,5	60,1	75,1	31,8
1983	NT	15,5	15,2	19,6	25,6	15,5	8,6	45,7	0,7	2	17,6	11,3
1984	30,3	5	38	0,6	8,7	19	0,9	4,2	4,2	66,3	29,7	36,7
1985	3,8	9,3	6,8	13,7	15,5	24,9	27,6	25,9	20,1	14,5	11,1	5,6
1986	23,3	46,9	75,1	12,8	36,3	12,6	5,5	11,8	18,9	34,9	80,5	34,7
1987	58,5	34,4	13,6	22,7	12,4	21,8	41,4	3,1	3,7	8,6	55,1	23,4
1988	18,3	38	13,8	32,4	62,2	54,8	1,4	21,5	25,6	8,6	19,5	37,4
1989	13,6	8	9,1	36,1	50,4	52,6	6,5	72,4	10,6	17,5	41,2	18,1
1990	11,7	0,3	30	65,4	84,4	61	12,6	10,3	14,2	4	13,6	34,6
1991	23,5	51,7	74,2	38,8	34,5	15,7	9,4	13,1	32,5	117	19,5	21,6
1992	59,5	10,6	56,7	48,6	122	5,6	10,6	1,1	18,7	1,4	23,8	21,4
1993	8	71,1	40,2	13,5	39	12	16	27,6	25	5	19	15
1994	50	52	20	7	10	1	4	17	96	78	28	8
1995	46	13	50	11	6	46	N,T	13	13,2	49	3,9	30
1996	91,8	74	58	57	51	27	5	28	16	3	1	27
1997	39	5	1	87	43	9	2	45	77	11	55	17
1998	7	26	5	35	38	2	N,T	19	28	5	3	9
1999	61	24	25	9	3,4	13	3	17	25	9	26	69
2000	N,T	N,T	1	10	27	3,2	0,4	1,5	63	8	15	23,1
2001	60	12	2	3,7	3	N,T	0,4	22,8	78	28	12	17
2002	11	5,3	2	38,2	4,9	5,9	13	35,6	7,6	15,3	37,9	36,1
2003	53,3	45,3	13	17,8	14,8	2,8	5	0,3	6,3	41,4	41,3	54
2004	6	0,5	29,2	33	97,4	3,7	7,3	51,4	38,1	28	39,4	42
2005	49	19	26	64	0	12	35	1	7	13	21	2
2006	49,6	43,4	3,1	47,3	36,5	1,1	19,2	9,9	17,3	0,7	18,9	41
2007	4,8	26,6	72,6	28,8	31	16,3	12,8	18,2	32,2	38,3	70	3,5
2008	6,1	3,4	5,3	0,4	33,8	33,4	24,1	77,8	44,8	74,4	9,8	24
2009	72,2	44	47,6	54,5	12,3	10,7	15,3	0,9	68,7	4,5	27,4	29,8
2010	16,2	60,6	18,6	34,6	44,8	28,8	5,3	19,3	10	52,5	11,4	9,1
2011	12,3	37,2	32,8	56,3	32,1	26,9	30,2	19,9	10,1	29,7	21,9	19,2
2012	0,8	9	37	48,8	8,2	30,8	1,7	24,6	16,2	24,3	27,8	6,8
2013	26,7	23,5	12,5	32,8	30,7	Nt	13,2	4,7	15	11	20,1	49
2014	22,3	18,7	73,5	0,02	44,4	45,4	0	11,3	11,2	2,5	30,8	20,1
2015	08.4	48.9	11.7	0.04	5.4	20.4	0	45.3	86.0	46.7	04.7	NT

Annexe 04 : Autres données climatiques délivrées par l'ONM Djelfa

2010	Jan	fev	Ma	Av	My	Jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Evaporation m/m	61	74	97	105	135	217	259	251	157	112	65	78
Humidité %	74	75	66	66	58	49	36	42	56	60	73	64
Précipitation m/m	16.2	60.6	18.6	34.6	44.8	28.8	5.3	19.3	10.0	52.5	11.4	9.1
Nj de Neige	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Nj de Gelée	8	3	5	2	0	0	0	0	0	0	1	12
Nj de Grêle	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Nj de Pluie	7	11	5	7	6	8	3	4	6	8	8	8
Moy. Vit. Vent m/s	6.4	6.3	4.6	3.8	4.7	4.4	2.6	3.5	4.1	4.0	5.4	5.2
Direction Domin.	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2011	Jan	fev	Ma	Av	My	Jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Evaporation m/m	55	47	83	119	131	161	245	245	183	77	52	30
Humidité %	72	73	69	58	57	51	37	41	46	66	77	86
Précipitation m/m	12.3	37.2	32.8	56.3	32.1	26.9	30.2	19.9	10.1	29.7	21.9	19.2
Nj de Neige	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Nj de Gelée	8	15	6	0	0	0	0	0	0	0	4	14
Nj de Grêle	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Nj de Pluie	6	10	10	9	6	6	6	10	07	7	10	8
Moy. Vit. Vent m/s	3.6	5.9	6.3	4.3	4.7	3.0	4.3	3.5	3.2	2.8	4.9	3.2
Direction Domin.	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	SW	N
2012	Jan	fev	Ma	Av	My	Jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Evaporation m/m	51	36	98	97	182	242	302	281	186	111	0.43	39
Humidité %	75	77	68	71	45	39	35	32	48	64	82	81
Précipitation m/m	0.8	9.0	37.0	48.8	8.2	30.8	1.7	24.6	16.2	24.3	27.8	6.8
Nj de Neige	1	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Nj de Gelée	22	20	5	0	0	0	0	0	0	1	3	11
Nj de Grêle	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Nj de Pluie	02	9	10	12	5	6	2	2	7	12	5	6
Moy. Vit. Vent m/s	3.8	3.1	2.9	6.9	4.0	2.9	4.3	1.8	3.5	3.4	3.6	3.8
Direction Domin.	N	N	N	N	N	N	N	N	N	SW	SW	N
2013	Jan	fev	Ma	Av	My	Jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Evaporation m/m	48	50	98	11.8	13.2	21.4	24.8	22.3	16.1	15.9	05.1	030
Humidité %	77	74	64	55	58	38	40	39	57	54	77	85
Précipitation m/m	26.7	23.5	12.5	32.8	30.7	00	13.2	4.7	15.0	11.0	20.1	49.0
Nj de Neige	00	04	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Nj de Gelée	11	19	03	01	00	00	00	00	00	00	04	00
Nj de Grêle	00	00	00	00	01	00	00	00	00	00	00	00
Nj de Pluie	12	10	09	08	07	00	00	04	02	04	10	10
Moy. Vit. Vent m/s	06.1	06.1	07.6	04.2	04.6	04.4	03.6	3.0	//	//	//	//
Direction Domin.	N	N	NN W	NW	NW	N	N	N SW	//	//	//	//
2014	Jan	fev	Ma	Av	My	Jun	Juil	Ao	Sep	Oct	No	De
Evaporation m/m	43	61	60	13.6	15.9	19.9	26.9	24.5	17.4	14.7	075	025
Humidité %	64	72	74	53	51	49	32	34	54	71	76	85
Précipitation m/m	22.3	18.7	73.5	0.02	44.4	45.4	000	11.3	11.2	02.5	30.8	20.1
Nj de Neige	01	01	01	00	00	00	00	00	00	00	00	02
Nj de Gelée	06	06	08	00	00	00	00	00	00	00	00	12
Nj de Grêle	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Nj de Pluie	11	12	15	01	05	05	00	05	05	02	00	07
Moy. Vit. Vent m/s	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	051
Direction Domin.	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	N

Annexe 05 : Liste des arthropodes retrouvés à Djellal, Moudjbara et Toghoursane.

CLASSE	ORDRE	FAMILLE	<i>Espece</i>	<i>Code</i>	<i>N</i>
ARACHNIDA	ARANEA	ATYPIDAE	<i>Atypus affinis</i> Thorell, 1873	<i>Aty.</i>	9
		GNAPHOSIDAE	<i>Zelotes oryx</i> Simon, 1880	<i>Zel.1</i>	7
			<i>Zelotes pluridentatus</i> Marinaro, 1967	<i>Zel.2</i>	45
		SALTICIDAE	<i>Euophrys frontalis</i> Walckeneer, 1802	<i>Sal.1</i>	3
	<i>Salticus sp</i>		<i>Sal.2</i>	3	
	ZODARIIDAE	<i>Zodarion elegans</i> Simon, 1873	<i>Zod.</i>	7	
	OPILIONES	Opilions Fam. ind.	<i>Odeillus sp</i>	<i>Opl.</i>	62
INSECTA	COLEOPTERA	CARABOIDAE	<i>Acinopus sabulosus</i> Fabricus, 1792	<i>Aci.</i>	11
			<i>Licinus punctatulus</i> Fabricus, 1792	<i>Lic.1</i>	60
			<i>Licinus silphoides</i> Rossi, 1790	<i>Lic.2</i>	48
			<i>Licinus sp</i>	<i>Lic.3</i>	17
			<i>Calathus sp.1</i>	<i>Cal.1</i>	4
			<i>Calathus sp.2</i>	<i>Cal.2</i>	2
			<i>Cymindis leucophthalmus</i> Linnaeus, 1758	<i>Cym.</i>	7
		<i>Sphodrus leucophthalmus</i> Linnaeus, 1758	<i>Sph.</i>	6	
		SCARABAEOIDAE	<i>Rhizotrogus punicus</i> Burmeirter, 1855	<i>Rhy.</i>	21
			<i>Geotrogus araneipes</i> Fairmaire, 1860	<i>Geo.1</i>	1
			<i>Geotrogus sp</i>	<i>Geo.2</i>	1
		STAPHYLINIDAE	<i>Ocypus olens</i> O.F.Muller, 1764	<i>Ocy.</i>	14
		TENEBRIONIDAE	<i>Pimelia mauritanica</i> Solier, 1836	<i>Pim.1</i>	238
			<i>Pimelia sp</i>	<i>Pim.2</i>	8
	<i>Pimelia grandis</i> Klug, 1830		<i>Pim.3</i>	4	
	<i>Sepidium sp</i>		<i>Sep.</i>	2	

Annexes

			<i>Blaps sp</i>	Bla.	4
			<i>Tentyria sp</i>	Tent.	96
			<i>Erodius sp</i>	Ero.	9
			<i>sp. ind.(Zophosis sp.)</i>	Ten.	1
		CURCULIONIDAE	<i>Cryptorhynchus obliquus</i> Say, 1831	Cry.	21
			<i>Otiorhynchus sp.</i> Germar, 1822	Oti.	14
			<i>Sitona longulus</i> Gyllenhal, 1834	Sit.	16
		MELOIDAE	<i>Meloe majalis</i> Linnaeus, 1758	Mel.	4
	HYMENOPTERA	FORMICIDAE	<i>Lepisiota frauenfeldi atlantis</i> Sanstchi, 1917	Lps.	5
			<i>Camponotus barbaricus xanthomelas</i> Emery, 1905	Camp.1	46
			<i>Cataglyphis sp</i>	Cat.	24
			<i>Camponotus thoracicus</i> Fabricius, 1804	Camp.2	55
			<i>Camponotus erigens</i> Forel, 1894	Camp.3	89
			<i>Crematogaster laestrygon</i> Emery, 1869	Cre.	134
			<i>Pheidole pallidula</i> Nylander, 1849	Phe.	56
			<i>Messor medioruber</i> Sanstchi, 1910	Mess.	46
		ICHNEUMONIDAE	<i>Ophion luteus</i> Linnaeus, 1758	Oph.	15
			<i>Erigorgus femorator</i> Aubert, 1960	Erig.	11
			<i>Ichenomeunidae sp.</i>	Ich.	9
		HALICTIDAE	<i>Lasioglossum sp.</i>	Las.	9
	HOMOPTERA	JASSIDAE	<i>sp. ind.1</i>	Jass.	22
	LEPIDOPTERA	LEPIDOPTERA FAM. IND.	<i>sp. ind.1</i>	Lep.1	3
		LEPIDOPTERA FAM. IND.	<i>sp. ind.2</i>	Lep.2	1

Annexes

	DERMAPTERA	ANISOLABIDAE	<i>Anisolabis mauritanicus</i> Lucas, 1846	Ani.	5
	DIPTERA	ANTHOMYIIDAE	<i>Fannia sp</i> (Sous ordre:Brachycera)	Fan.	15
		CALLIPHORIDAE	<i>Calliphora erythrocephala</i> Macquart, 1834	Calli.	9
		CALLIPHORIDAE	<i>Pollenia sp</i> (Sous ordre:Brachycera)	Poll.	6
		Drosophilidae	<i>Drosophila sp</i> (Sous ordre:Brachycera)	Dro.	9
		Tachinidae	<i>Morellia sp</i> (Sous ordre:Brachycera)	Mor.	4
		SYRPHIDAE	sp. ind(Sous ordre:Brachycera)	Syrph.	3
		DIPTERA FAM. IND	<i>Nematocera sp.</i> (Sous ordre: Nematocera)	Nem.	5
		ORTHOPTERA	Acrididae	<i>Calliptamus barbarus</i> O.G. Costa, 1836	Acri.1
	<i>Dociostaurus jagoi jagoi</i> Soltani, 1978.			Acri.2	8
MYRIAPODA	DIPLOPODA	IULIDAE	<i>Iulus sp.</i>	Iul.	3
		POLYDESMIDAE	<i>Polydesmus sp.</i>	Poly.	5
Autres arthropodes (MALACOSTRACA)	ISOPODA	CRUSTACEA	<i>Oniscus sp.</i>	Crus.	9
		PORCELIONIDAE	<i>Porcelio sp</i>	Porc.	4
Autres arthropodes (CLITELLATA)	HAPLOTAXIDA	LUMBRICIDAE	<i>Lumbricus terrestris</i> Linnaeus, 1758	Lumb.	9
Effectif Total					1368

Annexe 06 : Résultat de l'effet synergique de BtK et Melia sur les larves de *Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.

Traitements	premier jour		Deuxieme jour		Troisieme jour	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
HD1 20µg/ml	2	2	4	6	9	9
HD1 40µg/ml	4	3	4	3	10	10
HD1 80µg/ml	5	5	5	6	10	10
HD1 150µg/ml	7	6	7	7	10	10
HD1 300µg/ml	7	7	8	7	10	10
Melia 5mg/cm ²	5	6	5	6	7	8
Melia 10mg/cm ²	8	10	9	10	10	10
Melia 15mg/cm ²	10	10	10	10	10	10
Me5-Bt20	4	4	4	4	9	7
Me10-Bt20	7	8	8	10	10	10
Me15-Bt20	10	10	10	10	10	10
Me5-Bt40	5	5	7	6	10	10
Me10-Bt40	9	10	10	10	10	10
Me15-Bt40	10	10	10	10	10	10
Me5-Bt80	10	10	10	10	10	10
Me10-Bt80	10	10	10	10	10	10
Me15-Bt80	10	10	10	10	10	10
Me5-Bt150	10	10	10	10	10	10
Me10-Bt150	10	10	10	10	10	10
Me15-Bt150	10	10	10	10	10	10
Me5-Bt300	10	10	10	10	10	10
Me10-Bt300	10	10	10	10	10	10
Me15-Bt300	10	10	10	10	10	10
Temoins	0	0	0	0	2	1

Annexe 07 : Résultats du calcul de χ^2

Doses	<math>[<CL50]</math>	$[=CL50]$	$[>CL50]$
	Dose faible	dose Moyenne	Dose forte
χ^2	2,04	3,89	4,12

Annexe 08 : Effet anti-appétant du mélange BtK-Melia

a) Poids des crottes (g)

T+	T-	Me	Bt	Me-Bt
6,471	6,468	0,98	1,12	0,532
6,42	6,391	1,236	1,098	0,728
6,398	6,465	0,791	0,906	0,549
6,463	6,301	1,002	0,431	0,936
6,469	6,405	0,668	0,719	1,001

[T+ : larve témoins positif ; T- : larve Témoins négatif ; Me : larve traité par extrait méthanolique du Melia ; Bt : larve traité par Bt ; Me-Bt : larve traité par le mélange Melia-Bt]

b) Poids des larves (g)

T+	T-	Me	Bt	Me-Bt
0,1849	0,2345	0,1246	0,1826	0,1352
0,19	0,24	0,125	0,1819	0,1096
0,1858	0,3621	0,1203	0,1875	0,1193
0,1891	0,3175	0,1239	0,1792	0,1211
0,1902	0,291	0,1301	0,1833	0,1234

[T+ : larve témoins positif ; T- : larve Témoins négatif ; Me : larve traité par extrait méthanolique du Melia ; Bt : larve traitée par Bt ; Me-Br : larve traité par le mélange Melia-Bt]

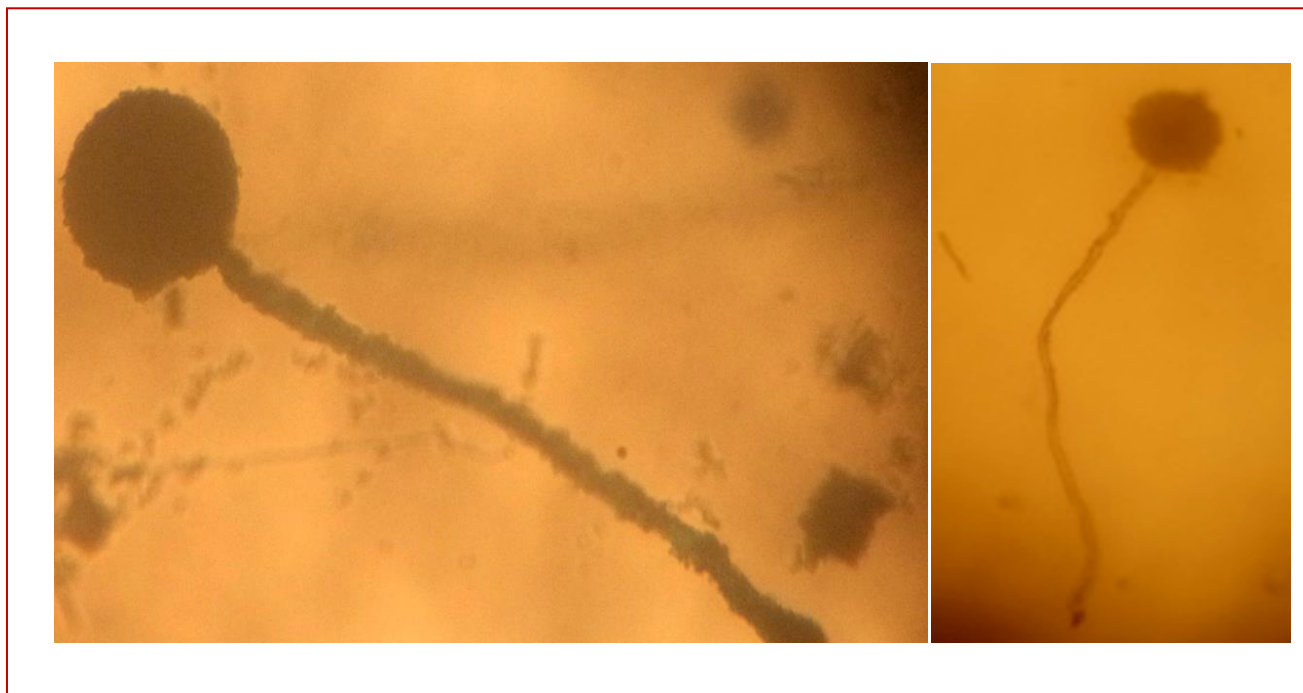


Figure Annexe 09 : Aspect du mycelium du champignon retrouvé sur les chrysalides.