

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	

Partie I. bibliographique

N°	Introduction générale.....	01
1.	Données botaniques sur Pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i>)	03
1.1.	Origine.....	03
1.2.	Systématique.....	03
1.3.	Répartition géographique du pin d'Alep.....	05
1.4.	Caractères botaniques et dendrologiques.....	08
1.5.	Exigences écologiques du pin d'Alep.....	09
1.6.	L'accroissement du pin d'Alep.....	10
2.	Aperçu sur la processionnaire du pin d'Alep <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff	12
2.1.	Systématique.....	12
2.2.	Biologie de la processionnaire.....	12
2.2.1.	La ponte.....	13
2.2.2.	Les stades larvaires.....	13
2.2.3.	Les processions de nymphoses.....	14
2.2.4.	Chrysalides et vie souterraine.....	14
2.2.5.	La vie de l'adulte.....	15
2.3.	Cycle de vie de la chenille processionnaire.....	16
2.4.	La vie sociale de la chenille processionnaire.....	17
2.5.	Aire de distribution.....	18
2.6.	Symptômes et dégâts occasionnés.....	19
3.	Réponses de la plante face aux bioagresseurs	21
3.1.	Défenses chimiques des plantes.....	21
3.2.	Métabolites secondaires.....	23
3.2.1.	Les polyphénols.....	23
3.2.2.	Les flavonoides.....	23
4.	Les biomarqueurs	25
4.1.	Les différents types des biomarqueurs.....	25
4.1.1.	Les biomarqueurs d'exposition.....	25
4.1.2.	Les biomarqueurs d'effet.....	26
4.1.3.	Les biomarqueurs de sensibilité.....	26
4.2.	Intérêt des biomarqueurs.....	26

4.3.	Les réserves énergétiques en tant que biomarqueurs.....	27
------	---	----

Partie expérimentale

1.	Matériel et méthodes	28
1.1.	Description des zones d'études.....	28
1.2.	Dispositif expérimental dans la parcelle étudiée.....	30
1.2.1.	Présentation du dispositif expérimental de la parcelle étudiée.....	30
1.2.1.1.	Echantillonnage sur le terrain.....	30
1.2.2.	Méthode d'étude au laboratoire.....	31
1.2.2.1.	Matériel végétal.....	31
1.2.2.2.	Matériel biologique.....	31
1.2.3.	Le dosage phytochimique de la plante hôte.....	32
1.2.3.1.	Extraction et dosage des polyphénols.....	32
1.2.3.2.	Extraction et dosage des flavonoïdes.....	33
1.2.4.	Dosage des biomarqueurs énergétiques.....	33
1.2.4.1.	Dosage des protéines.....	33
1.2.4.2.	Dosage des lipides.....	35
1.2.4.3.	Dosage des glucides.....	36
1.3.	Analyse statistique des données.....	36
2.	Interprétation des résultats	38
2.1.	Effet de l'altitude et les directions cardinales sur le taux d'infestation de <i>T. pityocampa</i> Schiff.....	38
2.1.1.	Effet de l'altitude sur les nids d'hiver de la chenille processionnaire.....	38
2.1.2.	Tendance du nombre et positionnement des nids d'hiver selon les directions cardinales.....	39
2.2.	Evaluation des teneurs en composés phytochimiques des aiguilles de <i>Pinus halepensis</i> Mill. des arbres sains et infestés.....	40
2.2.1.	Quantification phytochimique des aiguilles de <i>Pinus halepensis</i> Mill.	40
2.2.2.	Analyse quantitative de la biochimie foliaire comparée en fonction de l'état phytosanitaire et les sites d'étude.....	40
2.2.2.1.	Cas des polyphénols.....	40
2.2.2.2.	Cas des flavonoïdes.....	41
2.2.3.	Etude comparée de la distribution des constituants biochimiques de <i>P halepensis</i> Mill. en fonction de l'état phytosanitaire des arbres.....	43
2.3.	Evaluation des réserves énergétiques des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff. Sélectionnées au moment de la procession.....	44
2.3.1.	Analyse comparée des biomarqueurs énergétiques chez les larves de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff, en phase de procession en fonction de la sélection.....	44
2.3.2.	Analyse quantitative de la teneur en biomarqueurs énergétiques (lipides, glucides et protéines) chez les trois larves sélectionnées.....	45
3.	Discussions générales	46
3.1.	Effet de l'altitude et les directions cardinales sur le taux d'infestation de la processionnaire.....	46
3.1.1.	Effet de l'altitude sur le nombre des nids d'hiver <i>T. pityocampa</i>	46
3.1.2.	Tendance du nombre du nombre et positionnement des nids d'hiver selon les directions cardinales.....	47

3.2.	Evaluation des teneurs des composés biochimiques foliaires.....	48
3.3.	Evaluation de l'allocation des réserves énergétiques de <i>T.pityocampa</i> Shiff.	49
	Conclusion et perspectives.....	52

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Remerciements

Au terme de ce mémoire, nous tenons à exprimer nos remerciements

tout d'abord à ALLAH le tout puissant qui nous a donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

Tous nos infinis remerciements à notre encadrant

Mme: Ziouche S

pour son aide, sa disponibilité et ses conseils qui nous ont permis de réaliser ce travail.

A Mlle Baali F pour son inestimable soutien dans nos travaux expérimentaux,

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements aux techniciens des laboratoires de phytopathologie, biochimie, chimie, zoologie et microbiologie pour leur aide et leur accueil sympathique.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jurys Mr Allili D, Mr Mouatassef D, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

J'exprime ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à tout le personnel de la conservation des forêts de Bordj Bou Arréridj, Ras el Oued, Mansoura, El-Hamadia et Medjana pour ses précieuses aides et conseils en particulier Mr Amara O, Mr Bendjeddou F, Mr Harkati, Mlle Bentata, Mr Benmabrouk Y, Mr Rouane M, Mr Kahoul Y et Mr Bououne

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin

à l'élaboration de ce modeste travail, trouvez ici l'expression de

notre profonde gratitude et profonds respects.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; mes enfants SAMI ABDEERAHIM et INES.

Toutes les personnes dont j'ai bien aimé leur présence dans ce jour, à ma femme, mon frère MOUSSA et mes sœurs surtout CHERIFA.

Mes collègues ABDELHALIM et Med CHERIF qui m'ont toujours aidé et encouragé, et qui m'ont accompagnaient durant cette étude.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis MERCI.

Fateh

DEDICACES

Je dédis le fruit de mes 18 bougies d'études aux plus précieux des trésors :

Mes parents : ma tendre maman et mon cher papa

Qui m'ont appris tout ce que je sais

Qui m'ont guidé vers le tunnel éclairé du savoir

Qui m'ont nourri d'amour, enveloppé de confort

À tous ceux qui me sont proches et chers

Ma grand-mère : Que Dieu la garde

Mes frères, mes tantes et mes oncles

Pour leur amour et leur soutien toujours renouvelé

*À tous les collègues de toute ma promotion plus particulièrement Fatah et
CHERIF, pour leur aide, leur soutien, leur bonne humeur et leurs
encouragements, sans oublier mes amis d'enfance.*

À Mme Ziouche

*Qui nous a apporté une aide indispensable dans nos travaux je vous remercie de
nous avoir poussé dans la bonne voie, celle du travail et de la patience, et
consacrant un peu de votre temps précieux pour corriger nos articles.*

*Et à toutes les personnes qui ont participé à cette réalisation et auxquelles
j'exprime ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements.*

HALIM

Dédicace

C'est avec des sentiments de joie et de fierté que j'ai achevé ce travail de patience et de longue haleine, un mémoire qui vient couronner mes cinq années d'étude universitaire

*Je profite cette occasion qui marquera à jamais mon cursus universitaire pour dédier ce mémoire à tous ceux qui m'ont apporté aide et soutien en particulier **ma très chère mère, mes frères Makhlouf, Samir et Dahmane, mes chères sœurs, sans oublier mon défunt père dont le souvenir restera gravé dans ma mémoire***

*et à quelqu'un qui me tient à cœur, **Ikram** pour tout ce que nous avons vécu de beaux et de pire et pour que tout ce qui nous reste à vivre en bonheur.*

*Et bien sûr à tous mes amis et collègues **SANS** exception, et spécialement **Fateh, Halim, Mohamed, Yazid et Hassane***

Aussi, Je tiens à exprimer ma sincère gratitude ainsi que mes vifs remerciements à mon encadreur

***Mme: Ziouch Sihem**, dont les conseils et les orientations m'ont été bénéfiques et qui m'ont permis d'achever avec brio et succès cette thèse modeste mais valeureuse.*

Med. Cherif

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i> Mill) : (a) jeune sujet, (b) vieux sujet et (c) écorce	04
Figure 2	Pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i> Mill) : (a) Chatons males, (b) Chatons femelles, (c) aiguilles, (d) cône (e) graine ailée.	05
Figure 3	Aire de répartition du pin d'Alep et du pin <i>Brutia</i>	06
Figure 4	Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie	08
Figure 5	Manchons de ponte de la processionnaire du pin	13
Figure 6	Les stades larvaires de la processionnaire du pin	13
Figure 7	La procession de nymphose de la processionnaire du pin (a) Procession de chenilles processionnaires du pin ; (b) Chenilles processionnaires du pin cherchant à s'enfouir	14
Figure 8	Chrysalide mâle et chrysalide femelle de la processionnaire extraites de leur cocon	14
Figure 9	Papillon mâle (a) et femelle (b) de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff	15
Figure 10	Cycle de vie de la processionnaire du pin	16
Figure 11	Dégâts occasionnés par la processionnaire sur le pin d'Alep	19
Figure 12	Troubles cutanés occasionnés par la processionnaire du pin sur l'homme	20
Figure 13	Les métabolites secondaires produits par la plante suite à des agressions biotiques et/ou abiotiques	22
Figure 14	Vue satellitaire de la forêt de sidi Makhelouf-Mansoura	28
Figure 15	Vue satellitaire de la forêt de Boumergued-Djehaifa, BBA	29
Figure 16	Vue satellitaire de la forêt de Kraim Essaid Ras El Oued	29
Figure 17	La procession pour la nymphose de <i>T. pityocampa</i> Schiff	31
Figure 18	Etat des chenilles après le retrait de la chenille en tête pendant la procession	32
Figure 19	Extraction et dosage des protéines	34
Figure 20	Extraction et dosages des lipides	35
Figure 21	Extraction et dosage de glucides	36
Figure 22	Nombre de nids de la chenille processionnaire chez <i>P. halepensis</i> dans les trois sites étudiés	38
Figure 23	Projection du nombre des nids d'hiver selon les directions cardinaux sur les deux axes de l'ACP	39
Figure 24	Variation quantitative des teneurs des polyphénols et des flavonoïdes de <i>Pinus halepensis</i> Mill. des arbres sains et infestés dans les trois sites étudiés	40
Figure 25	Quantité des polyphénols des aiguilles de <i>Pinus halepensis</i> Mill. en fonction des sites étudiés et de l'état phytosanitaires des arbres	41
Figure 26	Quantité des flavonoïdes des aiguilles de <i>Pinus halepensis</i> Mill. en fonction de l'état phytosanitaire des arbres et des sites étudiés.	42

Figure 27	Effet comparé des quantités des polyphénols et des flavonoïdes des aiguilles de <i>Pinus halepensis</i> Mill. en fonction de l'état phytosanitaire des arbres.	43
Figure 28	Variations comparée des biomarqueurs énergétiques chez les larves de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff, en phase de procession en fonction de la sélection.	44
Figure 29	Variations comparée de chaque biomarqueur énergétique étudié chez les larves de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff, en phase de procession.	45

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I	Répartition du pin d'Alep dans quelques pays du monde	07
Tableau II	G.L.M appliqué aux essais de l'accumulation des polyphénols des aiguilles des arbres de <i>Pinus halepensis</i> Mill.	41
Tableau III	G.L.M appliqué aux essais de l'accumulation des flavonoïdes des aiguilles de <i>Pinus halpensis</i> Mill.	42
Tableau IV	G.L.M appliqué aux essais de dosage constituants biochimiques (polyphénols et flavonoides) des aiguilles de <i>Pinus halepensis</i> Mill.	43
Tableau V	G.L.M appliqué aux essais d'évaluation des réserves énergétiques des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff. Sélectionnées pour être en tête de file de procession	44
Tableau VI	G.L.M appliqué aux essais d'évaluation des réserves énergétiques des chenilles de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> Schiff. Sélectionnées (F1, F2 et F3).	45

Liste des abréviations

>: Supérieur de

%: Pourcentage

λ : Onde d'absorbance

ACP: Analyse en composantes principales

ADN: Acide désoxyribonucléique

AlCl₃: Trichlorure d'aluminium

ANOVA: Analysis of variance

BSA: Sérum albumine bovine

C°: Celsius

cm: Centimètre

D.O: Densité optique

EROD: Ethoxyrésorufine O-déséthylase

Fem: Femelle

FNUF: Forum des Nations Unis sur les Forêts

g: Gramme

g/l: Gramme par litre

G250 : Bleu de Coomassie

G.L.M : Modèle général linéaire

GST: Activité de la glutathion-S-transférase

H: Heure

ha: Hectare

Has: Hasard

HCL : Acide chlorhydrique

Kg/dm³ : Kilogramme par décimètre cube

Km : Kilomètre

m: Mètre

mg/mL: Milligramme par millilitre

mg EQ/gMS : milligramme d'équivalent de Quercétine par gramme de matière sèche

µg: Microgramme

µl: Microlitre

min: Minute

ml: Millilitre

mm: Millimètre

Na₂CO₃: Carbonate de sodium

nm: Nanomètre

P: Probabilité

Rem: Remplaçante

R²: Coefficient de détermination

Introduction générale

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) constitue l'essence principale des formations forestière Algérienne, elle occupe plus de 35% de la superficie forestière globale du pays couvrant plus de 850.000 hectares .De part sa plasticité et de ses faibles exigences, le pin d'Alep reste l'espèce la plus utilisée dans les reboisements et dans la reconstitution des zones dégradées. Son rôle se manifeste par la fixation du sol par les racines d'une part et d'autre part par la formation d'un couvert végétal assez large protégeant ce sol contre les pluies torrentielles. Il s'accommode à tous les sols, lorsque les conditions climatiques lui sont favorables (**Seigue, 1985 ; Bentouati et al, 2006**). Cette espèce est présente dans tous les étages bioclimatiques, depuis le littoral jusqu'à l'Atlas saharien, trouve son optimum de croissance essentiellement en zone semi-aride. (**Mezali, 2003**).

Comme toute forêt du bassin méditerranéen, celle de Pin d'Alep a subit depuis des siècles d'intenses pressions humaines (défrichements, coupes illicites, incendies, pâturages) causant ainsi la déforestation et la régression du couvert végétal (**Nahal, 1986 et Quezel, 1986**).A cela s'ajoutent divers problèmes sanitaires d'origine abiotique ou biotique (**Boutte et al., 2012**).

La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.est l'un des plus grands défoliateurs des forêts résineux dans le sud de l'Europe et le Nord de l'Afrique, en termes de répartition temporelle et géographique ainsi que l'impact socioéconomique (**Robinet, 2006; Hódar et al., 2012**). Les larves se nourrissent des aiguilles de pin pendant l'automne et l'hiver. Cela diminue considérablement la croissance des arbres à court terme, même à faibles niveau de défoliation (**Demolin et Rive, 1968 ; Laurent-Hervouet, 1986 et Jacquet et al., 2012, 2013**).

Auparavant cantonnée à quelques pays méditerranéens et aux zones rurales et forestières, elle étend progressivement son aire de répartition depuis les années 1980 en altitude et latitude et colonise peu à peu les zones périurbaines et urbaines, où elle constitue actuellement une nouvelle menace sanitaire (**Rivière, 2011**). Plusieurs études ont démontré que pas mal de facteurs tels que le réchauffement climatique, agissant sur la densité et l'exposition de la *Thaumetopoea pityocampa* Schiff tout au long de son cycle biologique et qui dominent largement en automne et en hiver (**Lindner et al., 2008**). Selon (**Battisti et al, 2006**), un changement rapide et récent de la distribution de la *Thaumetopoea Pityocampa* à

des altitudes plus élevées. Les chenilles sont capables de s'adapter afin de compenser d'éventuelles variations climatiques, comme l'illustre la construction et l'orientation du nid d'hiver, permettant d'allier l'effet de masse (atténuation de fortes variations de température par regroupement de nombreux individus) et insolation maximale (**Hoch et al., 2009**).

L'objectif général de notre travail est d'enrichir nos connaissances sur les nouvelles interactions résultantes d'une modification de l'aire de répartition d'une espèce en prenant comme exemple un insecte en pleine expansion géographique sur notre territoire : *Thaumetopoea pityocampa* – La processionnaire du pin. Cette espèce a montré dans les dernières décennies une progression rapide en latitude et en altitude directement liée au changement climatique. L'étude s'est portée sur l'évaluation de quelques aspects bioécologiques de la chenille processionnaire afin de faire en sorte une stratégie de biosurveillance et de mesures prophylactiques avant l'installation des reboisements et même l'utilisation d'une méthode de lutte efficace en se basant sur :

- Effet de l'altitude sur le nombre des nids d'hiver de la processionnaire, et la tendance du nombre et positionnement des nids d'hiver selon les directions cardinales.
- Evaluer la composition phytochimique de la plante hôte.
- Contrôler le comportement de la population de *T pityocampa* au cours de la procession par l'identification et les dosages des réserves énergétiques.

Chapitre 1. Données botaniques sur Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.)

1.1. Origine

Le pin d'Alep est connu depuis le miocène, on le trouve à l'état spontané tout autour du bassin méditerranéen. Cependant, il est loin d'être identique à lui-même dans l'étendue de son vaste habitat méditerranéen ; des recherches botaniques et génétiques ont permis de définir des origines et des variétés de meilleures formes et de plus de productivité, par exemple le pin de Tunisie et des Aurès ne ressemble pas à celui de l'oranaï et celui du Maroc forme une race à part (**Girardet, 1985**).

A la fin de l'ère tertiaire, le pin d'Alep n'avait probablement qu'une aire restreinte au nord de la méditerranée orientale et occidentale. Les refroidissements survinrent, réduisirent son extension au profit du pin *Brutia*, lui permirent de coloniser le sud de la méditerranée. Avec le temps, le pin d'Alep s'étendit à nouveau à la faveur des défrichements et de grands incendies. Mais ceux-ci sont devenus si nombreux que de nos jours ou l'aire du pin d'Alep est morcelée (**Girardet, 1985**)

1.2. Systématique

Le pin d'Alep qui appartient au groupe des *halpensis*, ce dernier renferme cinq espèces, toutes méditerranéennes (**Nahel, 1962**). Nous résumons sa classification en :

Règne : Plantae
Sous-règne : Tracheobionta
Embranchement : Gymnospermes
Classe : Pinopsida
Ordre : Coniférales
Sous-ordre : Abietales
Famille : Pinacées
Genre : Pinus
Sous-genre : Eupinus
Espèce : *Pinus halepensis* Mill.
Nom vernaculaire : Pin d'Alep
En arabe : El-Sanaoubar El-Halabi
En berbère : Thayda

Le Pin d'Alep est un arbre toujours vert (Figure 1), vivace (150 ans avec une moyenne de 120 ans) (Bouguenna, 2011), de 20 m de hauteur, au tronc généralement tortueux, à écorce d'abord lisse et grise, puis épaisse et crevassé tournant au rouge-brun avec l'âge. Les arbres jeunes sont de forme assez régulière, les plus âgés dégarnis à la base, ont un houppier plus dispersé, une cime irrégulière peu dense (Seigue, 1985).

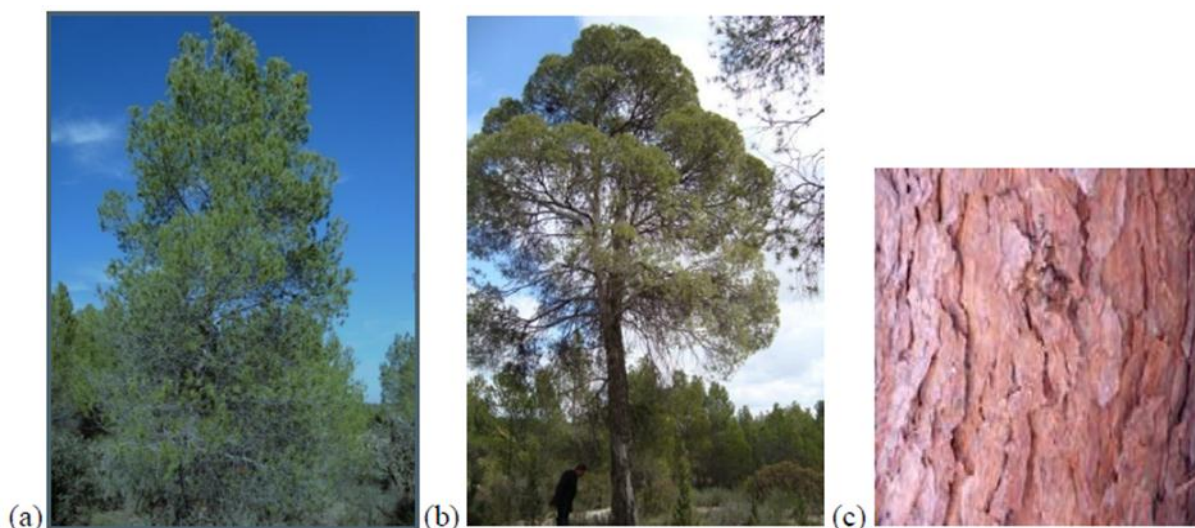


Figure 1. Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) (Bouguenna, 2011).

(a) jeune sujet, (b) vieux sujet et (c) écorce

Les aiguilles fines et souples, et réunies par deux, mesurent 5 à 10 cm de long, de couleur vert jaunâtre. Le pin d'Alep est une plante à fleurs mâles et femelles séparées (monoïque) situées sur le même individu (Figure 2) ; elles sont groupées en épis. La floraison, au printemps (avril-mai) unisexuée sur les pousses de l'année, les femelles bourgeons écailleux ovoïdes à l'extrémité des rameaux et les mâles formant des petits chatons chargés de pollen (Seigue, 1985 ; Kadik 1987).

Les fruits sont des cônes verticillés apparaissent à l'automne sur les arbres adultes. Les écailles s'écartent à maturité, libérant des graines (7mm), mates, munies d'une aile 4 fois plus longue qu'elles, persistante qui permet leur dissémination rapide (Seigue, 1985).

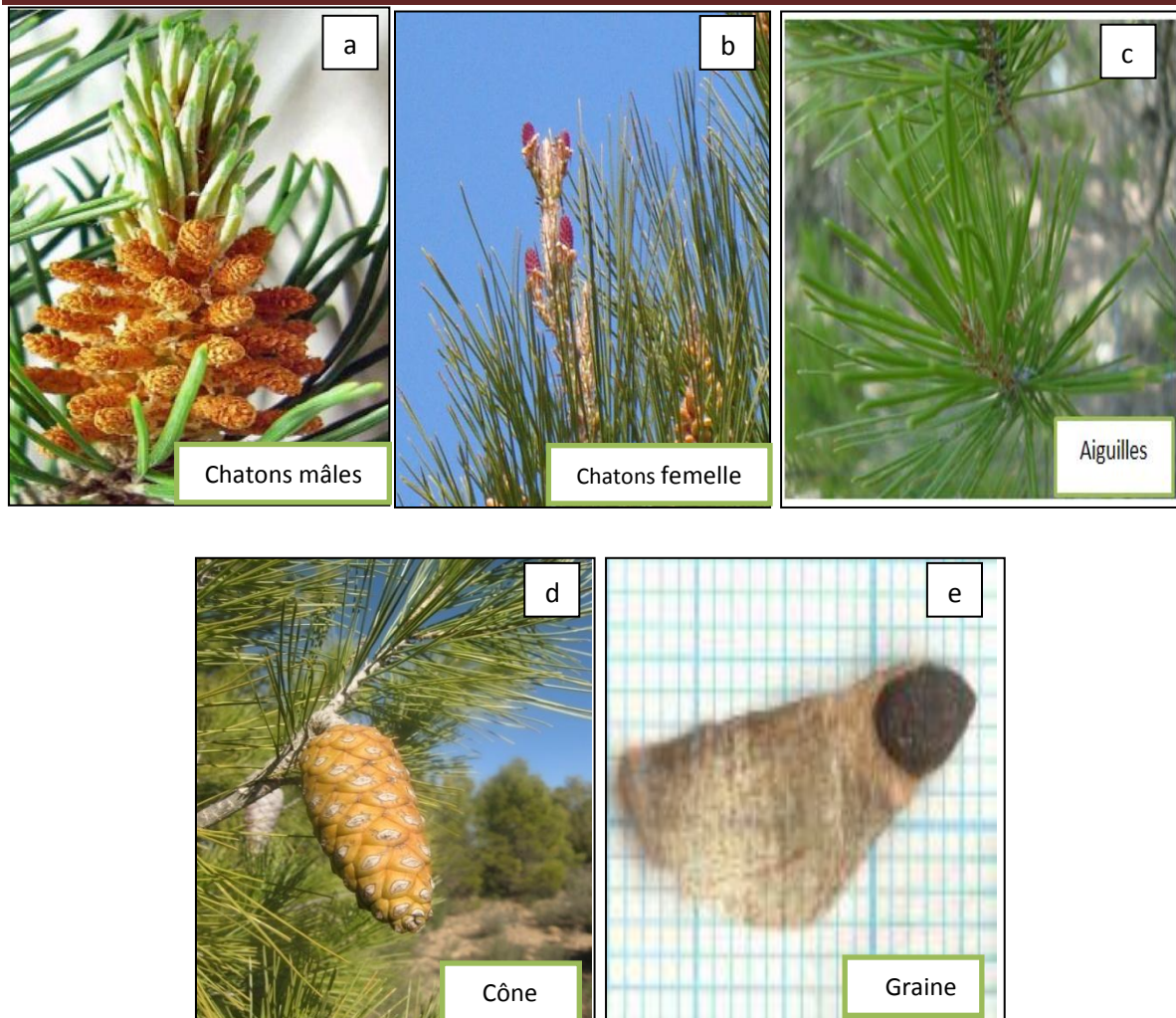


Figure 2. Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) (Bouguenna, 2011).

(a) Chatons mâles, (b) Chatons femelles, (c) aiguilles, (d) cône (Baali, 2015) et (e) graine ailée.

1.3. Répartition géographique du pin d'Alep

Le pin d'Alep est l'essence la plus largement utilisée dans les reboisements pour la protection des sols. C'est une essence qui résiste à la sécheresse et peu tolérante aux autres facteurs à savoir les sols peu fertiles, climat aride, etc. (Simon et Navarrete, 1990). Il colonise pratiquement la plupart des zones subhumides et semi-arides, il est cependant largement utilisé dans les stations les plus diverses, la surface qui lui est consacrée en Algérie dans les reboisements dépasse 850.000 hectares, soit environ de 40000000 de plants mis en terre (Kadik, 1987). L'aire de répartition du pin d'Alep est limitée au bassin méditerranéen (Figure 3) et occupe plus de 3,5 millions d'hectares (Quezel, 1980 et 1986).

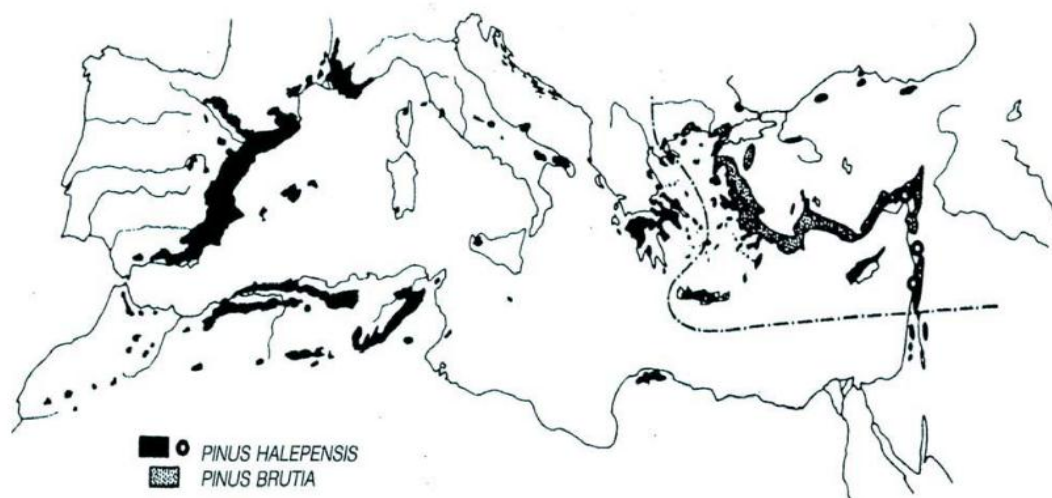


Figure 3. Aire de répartition du pin d'Alep et du pin *Brutia* (Quezel, 1986).

Cette espèce est surtout cantonnée dans les pays du Maghreb et en Espagne où elle trouve son optimum de croissance et de développement (Parde, 1957; Quezel et al, 1992). Au Maroc, le pin d'Alep est peu fréquent à l'état spontané, il occupe une superficie de 65.000 hectares répartis en peuplements disloqués occupant la façade littorale méditerranéenne au niveau du Rif, du moyen et du Haut Atlas (Quezel, 1986). En Tunisie, les forêts naturelles de pin d'Alep couvrent 170.000 hectares, occupant ainsi tous les étages bioclimatiques depuis la mer jusqu'à l'étage méditerranéen semi- aride (SOULERES, 1969 ; Chakroun, 1986). Cependant, (Ammari et al 2001) avance le chiffre de 370.000 hectares, soit environ 56% de la couverture forestière du pays. En France, le pin d'Alep est beaucoup plus fréquent en Provence, prolongeant dans le Nord la vallée du Rhône. (Couhert et Duplat 1993) avancent le chiffre de 202.000 hectares. En Italie, le pin d'Alep est peu présent. Il ne représente que 20.000 hectares cantonnés essentiellement dans le sud, en Sicile et en Sardaigne. Par contre, en Grèce, les peuplements de pin d'Alep représentent une superficie importante de 330.000 hectares. Il existe aussi à l'état spontané mais d'une façon très restreinte en Turquie, en Albanie et en Yougoslavie et très peu au proche orient, Palestine, Jordanie, Syrie et le Liban (Seigue, 1985).

Tableau I. Répartition du pin d'Alep dans quelques pays du monde (Cherak, 2010).

Pays	Superficie (ha)	Source
Algérie	852.000	Mezali (2003)
Tunisie	170.000 à 370.000	Chakroun (1986), Ammari (2001)
France	202.000	Couhert et Duplat (1993)
Espagne	1.046.978	Montero (2001)
Italie	20.000	Seigue (1985)
Grèce	330.000	Seigue (1985)

En Algérie, le pin d'Alep est présent dans toutes les variantes bioclimatiques avec une prédominance dans l'étage semi-aride. Sa plasticité et sa rusticité lui ont conféré un tempérament d'essence possédant un grand pouvoir d'expansion formant ainsi de vastes massifs forestiers. Le pin d'Alep avec ses 35% de couverture reste bien l'espèce qui occupe la première place de la surface boisée de l'Algérie. (Boudy, 1952), rapporte que le pin d'Alep occupe une surface de 852.000 hectares, (Mezali ,2003) dans un rapport sur le Forum des Nations Unis sur les Forêts (FNUF) avance un chiffre de 800.000 hectares, alors que (Seigue, 1985), donne une surface de 855.000 hectares. Il est présent partout, d'Est en Ouest allant du niveau de la mer aux grands massifs montagneux du Tell littoral et de L'Atlas Saharien (Figure 4).

Son optimum de croissance et de développement se situe au niveau des versants Nord de l'Atlas saharien où il constitue des forêts importantes et l'on peut citer à l'Est, les grands massifs de Tébessa avec leurs 90.000 hectares, celui des Aurès à plus de 100.000 hectares constitués principalement par les pinèdes des Béni-Imlou (72.000 ha), des Ouled Yagoub et celle des Béni - Oudjana. Selon (Kadik ,1987), Ce sont les plus beaux peuplements du pin d'Alep en Algérie qui sont situés entre 1000 et 1400 m d'altitude. Au centre du pays, nous pouvons signaler les forêts de Médéa- Boghar et Theniet El Had qui totalisent respectivement 52.000 et 47.000 hectares et les vieilles futaies des Monts des Ouled Nail dans la région de Djelfa. A l'ouest du pays, en Oranie, nous pouvons trouver de vastes massifs concentrés dans les régions de Bel Abbés, de Saida et de l'Ouarsenis.

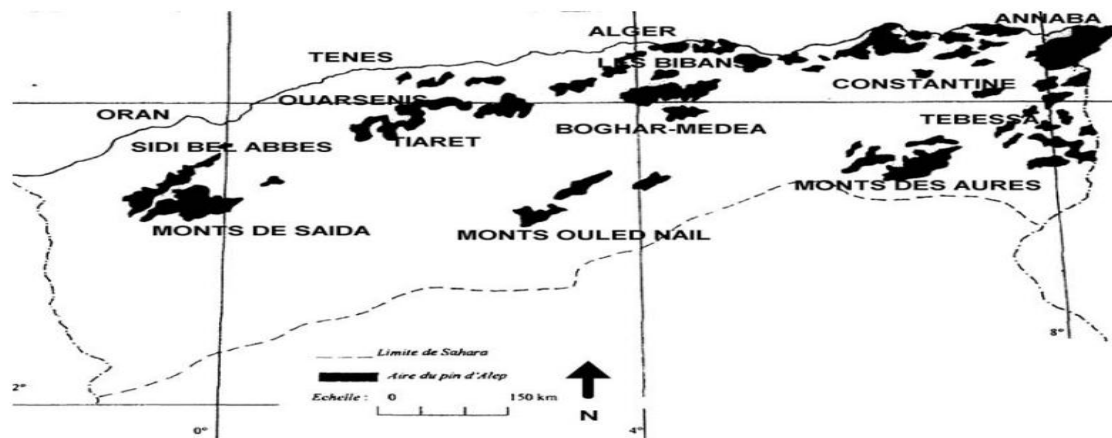


Figure 4. Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati, 2006).

1.4. Caractères botaniques et dendrologiques

Selon (Boudy, 1952) et (Kadik, 1987)_a, la longévité du pin d'Alep est estimée à 150 ans, avec une moyenne de 100 à 120 ans et qui peut atteindre 130 ans par (Boudy, 1952). Alors que selon (Nahal, 1962), elle est relativement réduite et généralement ne dépasse pas les 150 ans.

Le pin est un arbre de taille moyenne qui ne dépasse pas les 30 m de hauteur dans les stations les plus favorables ; en général dans les stations à une fertilité moyenne, il peut atteindre les 15 à 18 m (Kadik, 1987)_a. En Algérie, sa hauteur avoisine les 20 m, il existe quelques sujets pouvant dépasser les 25 m dans les Aurès et les montagnes d'Ouled-Nail où nous trouvons de belles futaies du pin d'Alep au fut élancé et droit (Lautrech, 1982).

Le tronc est ordinairement flexueux sur le littoral et droit dans les montagnes (Maire, 1962). Selon (Kadik, 1987)_a, nous trouvons de beaux peuplements à futs élancés, droits et peu branchues dans les massifs des Aurès et l'Atlas saharien. L'écorce est grise argentée, puis à rhytidome brun rouge, fissuré, écailleux. Les jeunes pousses sont glauques (Maire, 1962). (Nahal, 1962), rapporte que les jeunes sujets ont une écorce lisse grise argentée, avec le temps l'écorce devient fortement crevassée et s'épaissit avec une couleur rougeâtre. En effet, le pin d'Alep de l'Atlas saharien et des Aurès présente une écorce très épaisse dépassant de 25 fois l'épaisseur totale. C'est une adaptation aux conditions du milieu. L'écorce du pin d'Alep contient une grande quantité de tannin très utilisée par les populations pour le tannage des peaux (Kadik, 1987)_a.

Le pin d'Alep est une espèce monoïque à deux parties, la partie mâle se présente sous forme de chaton rougeâtre à la base des rameaux de l'année, quant à la partie femelle, elle se

présente sous forme de petits cônes violacés, qui après fécondation croit en volume, devient brunâtre et acquiert une consistance très ligneuse (**Makhloufi et al, 2002**). Selon (**Nahal, 1962**) et (**Kadik, 1987**), le Pin d'Alep fructifie vers 10 à 12 ans, les graines ne sont suffisamment abondantes qu'à partir de l'âge de 18 à 20 ans.

Le cône mûrit au cours des deuxièmes années et laisse souvent échapper ses graines au cours de la troisième année, une fois le cône récolté, il s'ouvre par simple réchauffement au soleil pendant 4 à 5 jours (**Boudy, 1950**).

Les feuilles sont groupées par deux, elles sont persistantes durant deux ans, elles sont courtes et minces, souples et d'un vert clair. Elles présentent des marges finement denticulées, à sommet brusquement atténué en une courte pointe rigide. Sur les feuilles, on observe des lignes stomatiques, sur les deux faces (**Maire, 1962**), la longueur des aiguilles du pin d'Alep varie entre 45 et 80 mm (**Kadik, 1987**)_a.

Le système racinaire et sa nature dépendent de la nature du sol et de sa fertilité, il est pivotant dans les sols profonds, alors qu'il est superficiel sur les sols squelettiques (**Kadik, 1987**)_a.

Le bois du pin d'Alep est composé d'un aubier blanc-jaunâtre et d'un cœur brun rougeâtre clair (**Nahal, 1962**) et (**Kadik, 1987**). Le pin d'Alep a un bois de qualité ordinaire, sa texture est régulière, sa densité varie de 0.5 à 0.8 Kg/dm³ (**Jaquot, 1955**).

1.5. Exigences écologiques du pin d'Alep

Le pin d'Alep est reconnu par son tempérament robuste, très plastique, car il s'adapte aux différentes conditions écologiques (**Boudy, 1952**) et (**Kadik, 1987**). C'est une espèce à la fois héliophile (espèce de lumière) et thermophile car elle se développe dans les limites de températures moyennes annuelles comprises entre 13°C et 35°C (**Brochiero et al, 1999**).

Les pins de groupes «halepensis» comme d'ailleurs les autres essences ont tendance à occuper certaines ceintures altitudinales correspondant à des étapes de végétations et bien entendu à des ensembles climatiques qui se trouvent surtout dans le pourtour de la méditerranée (**Quezel, 1986**). Entre 0 et 300-600 m en méditerranée septentrionale ; entre 0 et 1200-1400 m en méditerranée méridionale (**Makhloufi et al, 2002**).

1.5.1. Climat

Selon **Kadik (1987)_b**, la distribution du pin d'Alep en Algérie est principalement basée par la pluviométrie, la sécheresse estivale et la moyenne des minima des mois les plus froids. Concernant la pluviométrie, l'aire optimale de développement du pin d'Alep se situe dans la zone où la pluviosité est comprise entre 300 et 700 mm par an (**Kadik, 1987**)_b. Le développement du pin d'Alep est favorable par un minimum de pluviométrie mensuelle de 4 à 10 mm.

Le pin d'Alep étant thermophile, il peut supporter une forte amplitude thermique très élevée et supérieure à 32° C (**Medour, 1982**). La température moyenne optimale pour la croissance du pin d'Alep est de 14° C. Selon (**Perrin, 1985**), il est exigeant en lumière et en chaleur, il est sensible au gel et supporte rarement les températures variant entre 2,8 et 7,7° C pour mois le plus froid. La saison sèche s'étale de 4 à 5 mois, elle se repartie entre le mois de Juin et le mois d'Octobre, mais quand le mois de Mai est sec, le pin d'Alep rencontre des difficultés de développement (**Makhloufi et al, 2002**).

C'est une essence très tolérante de point de vue édaphique, elle s'accommode aussi à des sols calcaires qu'à des sols acides (**Boudy, 1950**).

Quezel (1986) rapporte que le pin d'Alep puisse aussi végéter sur les substrats suivants :

- Substrats marneux calcano-marneux (calcaire en plaquettes) où il trouve en particulier les sols profonds facilement accessibles à son système racinaire.
- Substrat calcaire compact (littoral oranais).
- Substrat non calcaire (schistes, mica-calcaire).
- Limono-sableuse à taux d'argile ne dépassant pas les 10% (**Kadik, 1987**)_b.

Le pH du sol est généralement basique. De point de vue géologique, on le rencontre en Algérie sur les terrains calcaires et marno-calcaires et sur les formations de calcaire dolomitique (**Makhloufi et al, 2002**).

1.6. Accroissement du pin d'Alep

La croissance des plantes s'effectuent par un processus de division cellulaire, elle s'accompagne avec une augmentation du volume du végétal et de sa masse (**Maziliak, 1982**).

La croissance a deux formes à savoir : une croissance en longueur (primaire : la cellule s'allonge et atteint une longueur précise) et une croissance en épaisseur (secondaire : elle s'effectue en diamètre et en hauteur) (**Makhloufi et al, 2002**).

Ainsi la croissance résultant de l'influence simultanée des facteurs très divers au fil des saisons et des années, elle sont soumises à des variations considérables selon la combinaison d'une multitude de facteurs, c'est le cas du pin d'Alep qui emploie tous les mécanismes en vue de combler tous les déficits en pluie et en température par ces feuilles persistantes et en aiguilles réduisant ainsi la transpiration, et un enracinement lui permettant de puiser les eaux des nappes souterraines (**Quezel, 1986**).

Le pin d'Alep, a un accroissement qui s'effectue en diamètre et en hauteur de la cerne du cœur de l'arbre vers l'écorce. A partir d'un âge précis (30 à 40 ans) propre à chaque station, l'accroissement ne s'effectue que peu en hauteur, mais c'est spécialement en diamètre qu'il y a une bonne croissance de l'arbre, et ce, jusqu'à l'âge de 60 ans, après 70 ans, nous remarquons une chute du niveau de l'accroissement (**Makhloufi et al, 2002**).

Chapitre 2 : Aperçu sur la processionnaire du pin d'Alep *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiff.

2.1. Systématique

La processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) appartient à l'ordre des lépidoptères ces insectes diurnes et nocturnes constituent l'unité systématique vaste, comprenant plus de 100 000 espèces (Chinery, 1982)

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1775. En latin, *pityocampa* signifie « chenille du pin » (*camp* = chenille, *pityo* = pin) et *Thaumetopoea* signifie « qui vénère la verdure » (*thaumeto* = vénérer, *poea* = herbe).

Règne: Animalia.

Embranchement: Arthropoda.

Classe : Insecta.

Super-ordre: Endopterygota.

Ordre: Lepidoptera.

Famille: Notodontidae.

Sous-famille: Thaumetopoeinae.

Genre : Thaumetopoea.

Nom binominal : *Thaumetopoea pityocampa*. (Denis & schiffermüller; 1775).

2.2. Biologie de la processionnaire

T. pityocampa est une chenille à métamorphose complète qui comprend : le stade d'œuf, le stade larvaire, le stade de pupe (chrysalide) et le stade adulte.

2.2.1. La ponte

Les œufs sont blancs, sphériques suivant une disposition hélicoïdale qui résulte du mouvement tournant de la femelle au cours du dépôt (Makhloufi, 2002). La ponte s'effectue sur l'extrémité des rameaux dès le jour qui suit la sortie des femelles du sol où elles se sont nymphosées. Les œufs sont groupés en manchons de 4 à 5 cm de long (Figure 5) et recouverts par des écailles beiges claires qui les camouflent. La ponte peut compter de 70 à 300 œufs par femelle (Dajoz, 1998).



Figure 5. Manchons de ponte de la processionnaire du pin (Lequet, 2010)

2.2.2. Les stades larvaires

Les larves de types chenilles qui mesurent à l'éclosion 1,5 mm atteignant de 40 à 50 mm avant la procession de nymphose.

La vie larvaire : Les chenilles éclosent de 30 à 45 jours après l'apparition des adultes. Il existe 5 stades larvaires au cours desquels les chenilles se déplacent au fur et à mesure que les aiguilles du pin sont dévorées. Les jeunes chenilles tissent de légers fils de soies qui forment des pré-nids abandonnés à chaque déplacement. En pleine, la durée moyenne des divers stades L₁ à L₅ (Figure 6), est la suivante : L₁ : 12 jours ; L₂ : 14 jours ; L₃ : 30 jours ; L₄ et L₅ : 30 à 60 jours pour chacun (Dajoz, 1998).



Figure 6. Les stades larvaires de la processionnaire du pin (Demolin *in* Martin, 2005)

Le nid d'hiver est une bourse de soie volumineuse atteignant 20 cm où les chenilles passent la mauvaise saison. C'est un abri qui assure la cohésion du groupe et aussi un accumulateur de chaleur dont la température peut s'élever de 1.5 °C par rapport à l'air ambiant en une heure d'insolation.

2.2.3. Les processions de nymphose

Elles ont lieu à la fin de la vie larvaire de février à mai. La procession est guidée par une chenille (Figure 7.a), le plus souvent une femelle qui se dirige dans la zone la plus éclairée et la plus chaude du voisinage. Les processions n'ont lieu que lorsque la température du sol est comprise entre 10 et 22 °C (Dajoz, 1998).

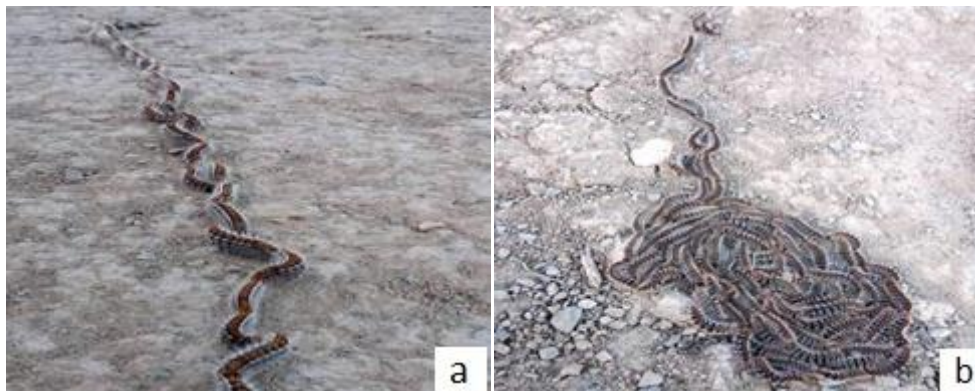


Figure 7. La procession de nymphose de la processionnaire du pin.

(a) Procession de chenilles processionnaires du pin (Originale, 2017), (b) Chenilles processionnaires du pin cherchant à s'enfouir (Originale, 2017)

2.2.4. Chrysalides et vie souterraine

La chenille pénètre de 5 à 25 cm dans le sol, c'est alors que l'activité de tissage du cocon de coloration brune commence. Ce cocon mesure 18 à 25 mm de long et 7 à 8 mm de diamètre (Figure 8). Quelques jours après la formation du cocon, la chenille se chrysalide, c'est la diapause (Schmidit, 1990). Après leur enfouissement de 2 à 20 cm sous sol, les chenilles se tissent un cocon de nymphose. Une diapause plus ou moins longue selon les conditions climatiques correspond à un arrêt total de développement. Celui-ci reprend seulement un mois avant la date de sortie des adultes (Dajoz, 1998).



Figure 8. Chrysalide mâle (à gauche) et chrysalide femelle (à droite) extraites de leur cocon (Martin, 2007)

2.2.5. La vie de l'adulte

Les adultes appelés également papillons qui sont typiquement nocturnes ; ils ne peuvent survivre plus de 48 heures. Les papillons mâles (Figure 9.a) de 30 à 40 mm d'envergure sont de coloration grisâtre. Les ailes antérieures sont grises et présentent trois lignes transversales noires par contre les ailes postérieures sont blanchâtres. La tête et le thorax sont de couleur grise foncée, l'abdomen est gris brunâtre, les antennes sont bipectinées et longues de 5 mm environ. Les femelles (Figure 9.b) sont de coloration plus claire et de taille plus grande, leurs antennes sont filiformes, l'abdomen est pseudo-cylindrique avec une touffe d'écaïlles anales de couleur blonde de plus ou moins foncée. Les yeux composés sont volumineux et comportent un grand nombre d'ommatidies (Demolin, 1962).

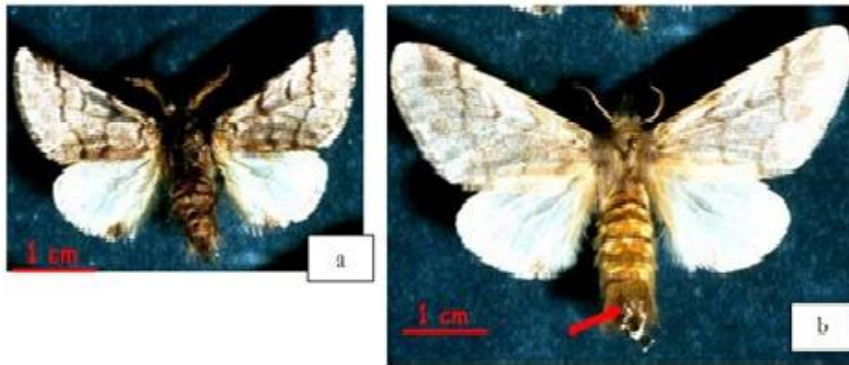


Figure 9. Papillon mâle (a) et femelle (b) de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Demolin In Martin, 2005)

Les femelles sortent de terre peu de temps avant le coucher de soleil en s'aidant des crêtes sclérifiées qu'elles ont sur la tête. Elles s'installent en un endroit surélevé où elles restent immobiles, déploient leurs ailes puis, au bout de 2 à 4 heures d'inactivité, dévaginent leur armures génitales et deviennent attractives pour les mâles. L'accouplement dure près d'une heure. La femelle dépose ensuite ses œufs en commençant par la base des aiguilles du pin, chaque œuf étant recouvert d'un petit paquet d'écaïlles que la pondeuse possède en abondance à l'extrémité de l'abdomen. La femelle fécondée ne s'arrête pour pondre que si elle rencontre un pin, seul végétal qui satisfait à ses besoins tactiles qui sont : un diamètre des aiguilles compris entre 1.5 et 2 mm, et une structure rugueuse permettant la fixation des griffes qui terminent les pattes. En absence de pins, les femelles peuvent effectuer des déplacements de plus de 2 km pour rechercher un lieu de ponte, ce qui explique que des

pinèdes intactes puissent être rapidement envahies. Les papillons adultes ne vivent guère plus de 24 h (**Dajoz, 1998**).

2.3. Cycle de vie de la chenille processionnaire

Le cycle biologique de la processionnaire du pin comprend les quatre principales étapes du développement caractéristique pour les Lépidoptères, insectes à métamorphose complète : le stade d'œuf, stade larvaire, stade de pupe (chrysalide) et stade adulte (Figure 10). Une profonde métamorphose est due au stade chrysalide (**Beaumont et Cassier, 1983**).

Les œufs groupés sont déposés vers le milieu de l'été sous forme de manchons qui entourent deux ou plusieurs aiguilles du pin, leur éclosion se produit 3 à 40 jours plus tard (**Makhloufi et al, 2002**).

Les chenilles groupées en colonies s'alimentent et poursuivent leur développement pendant l'automne et l'hiver; au cours de l'automne, elles tissent en commun un nid soyeux et blanc à la fin de l'hiver ou au début du printemps. Au terme de leur développement, elles quittent les nids en procession et peuvent s'en fuir dans le sol à une profondeur de 5 à 20 cm selon le type du sol et la température. Chaque chenille tisse alors un cocon dans lequel elle se transforme en chrysalide (**Makhloufi et al, 2002**).

Les papillons émergent au crépuscule pendant les mois de Juillet et Août. Leur activité est nocturne et leur vie est très brève (**Makhloufi et al, 2002**). Les études du cycle biologique de *Taumatopoea pityocampa* Schiff dans les populations Algériennes ont été l'objet de recherche de **Brahmi (1976)**, **Aberkane (1977)** et **Bertella (1980)**.

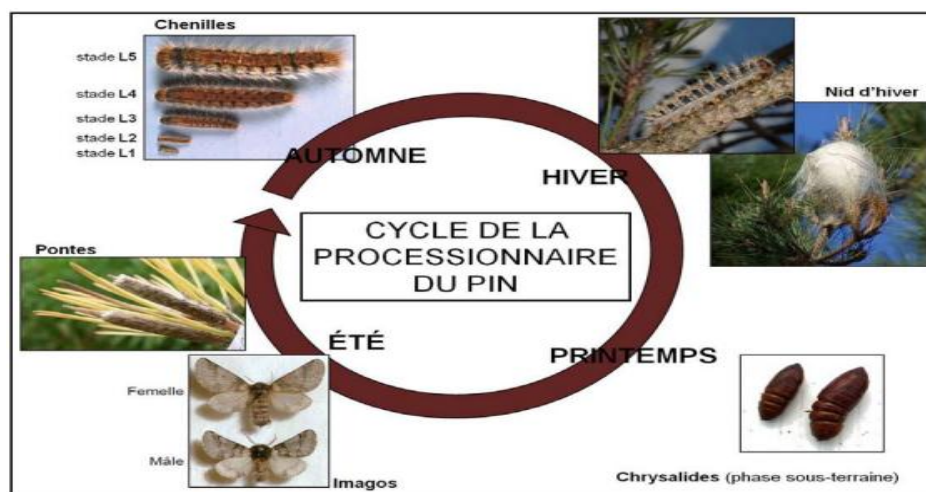


Figure 10. Cycle de vie de la processionnaire du pin (*Taumatopoea pityocampa* Schiff).
(**Dulaurent, 2010**)

2.4. La vie sociale des chenilles et les processions

Les chenilles processionnaires ainsi que quelques autres espèces de Lépidoptères appartenant aux familles des Lymantrides (genres : Euproctis et Porthesia) ou des Lasiocampides (genres : Malacosoma et Eriogaster) vivent en groupe contrairement à la plupart des Lépidoptères. Ces groupes ont été qualifiés de groupements organisés ou des sociétés inférieures. Ils sont caractérisés par la coordination des activités individuelles en une activité collective qui se manifeste par la construction d'un nid. En outre, les chenilles tissent des pistes de soie servant au guidage des individus, se déplacent collectivement et se nourrissent en commun, ce qui provoque des modifications importantes des métabolismes.

Cette vie collective n'existe que chez la larve et elle disparaît chez l'adulte contrairement à ce qui se passe chez d'autres insectes comme les criquets dont les bandes constituent aussi des groupements organisés (**Dajoz, 1998**).

La conséquence du grégarisme est l'apparition d'un effet de groupe avec une augmentation du métabolisme et de la vitesse de croissance. Des expériences effectuées sur des chenilles de la processionnaire du pin isolées ou groupées par 20, ont montré que l'augmentation de poids soit de 2.5 à 3.8 fois plus rapide que les chenilles groupées et que la consommation d'aliment est plus importante. L'intensité respiratoire est également stimulée par le groupement. Cependant, une activité collective telle que le tissage du nid n'est pas indispensable pour la survie des chenilles. Celles-ci peuvent aussi se construire un nid individuel (**Dajoz, 1998**).

L'aspect spectaculaire de la vie des chenilles attire l'attention, l'attraction entre chenilles se manifeste dès l'éclosion. Les chenilles se dispersent pour se nourrir mais elles restent en contact par un réseau lâche de fils de soie. La colonie doit descendre au sol pour rechercher un lieu de nymphose favorable. Une mise en condition préalable est nécessaire avant le départ. Les chenilles réunies en pelote se frottent lentement les unes les autres. L'individu qui, grâce à cet exercice, a acquis "la mémoire sociale" la plus élevée et le plus souvent une femelle qui prend la tête de procession. La deuxième chenille vient de se glisser entre les soies qui terminent l'extrémité abdominale de la première en appuyant la tête sur son écusson anal. Une troisième chenille vient se placer derrière la deuxième et ainsi de suite. Lorsqu'une chenille perd le contact, celle qui la précède s'arrête puis recule ; toutes les chenilles en font autant de proche en proche jusqu'à la première, ce qui permet de récupérer la retardataire (**Dajoz, 1998**).

Au troisième stade, les chenilles acquièrent des structures cuticulaires appelées "miroirs" qui sont garnies de poils urticants. Ceux-ci peuvent se rompre et être entraînés par le vent tout autour de la colonie. Ils peuvent provoquer chez l'homme des démangeaisons, des troubles oculaires et respiratoires ainsi que des accès de fièvre. Ces réactions peuvent rendre inhabitable les territoires envahies, même pour les oiseaux et les petits mammifères, ce qui permet de penser que les poils urticants jouent un rôle de défense contre les prédateurs (**Dajoz, 1998**).

2.5. Aire de distribution

La processionnaire du pin s'étend sur tout le bassin méditerranéen, à l'exception de l'Égypte et de la Lybie (**Demolin et Millet, 1981**). Elle s'attaque à toutes les espèces de pin et de cèdre sans exception.

Par son nid d'hiver qui constitue un capteur de l'énergie solaire, l'insecte peut exister dans les zones à températures relativement basses, mais à insolation élevée d'où un microclimat favorable à son évolution larvaire.

Cette adaptation biologique explique pourquoi cet insecte à développement larvaire hivernal, peut lorsque l'insolation est élevée, gagner les zones de plus hautes altitudes ou de latitudes plus nordiques (1800 heures) d'insolation annuelle doivent être considérées comme la limite minimale en dessous de laquelle la survie est impossible (**Demolin, 1975**).

Les attaques causées par la chenille processionnaire du pin au niveau national sont plus de 293 000 ha infestés dont 113 893 ha fortement attaqués.

La moitié des superficies attaquées environ 139 475 ha se trouvent dans les régions accidentées tandis que l'autre moitié (133 749 ha) se trouve dans la région non accidentée.

Les wilayets ayant les superficies attaquées les plus importantes sont :

Chlef (45 293 ha), Bouira (41 164 ha), Sétif (30 374 ha), Sidi-Bel-Abbès (26 237 ha), Guelma (19 463 ha) et Mostaganem (16 757 ha) (**Husseiny, 1980**).

Selon les services de protection de la conservation des forêts, la superficie totale attaquée par la processionnaire du pin dans la wilaya de Bordj Bou Arréridj en 2016 est de 6572 ha.

2.6. Symptômes et dégâts occasionnés

Lorsque les chenilles sont abondantes, les aiguilles peuvent être broutées presque totalement. Si ces attaques durent 2 à 3 années (ce qui est le cas dans de jeunes peuplements de moins d'une dizaine d'années), il pourra y avoir une mortalité élevée des arbres.

Les arbres âgés résistent mieux mais leur croissance est ralentie et la perte de production est importante (**Dajoz, 1980**). Dans le cas des jeunes plantations, nous assistons entre la 6^{ème} année et la 10^{ème} année qui suivent la mise en place des plants à des attaques brutales et bien souvent catastrophiques (**Huchon et Demolin, 1970**).

Ces infestations qui aboutissent à une défoliation totale quelle que soit l'espèce du pin concerné, durant parfois deux à trois ans (Figure 11).



Figure 11. Dégâts occasionnés par la processionnaire sur le pin d'Alep (**Originale, 2017**)

Les chenilles de la processionnaire du pin peuvent causer des accidents médicaux chez l'homme qui est au contact avec les colonies soit directement pour les ingénieurs et les ouvriers forestiers, soit indirectement pour les personnes victimes de leurs curiosités et les touristes. Ces accidents résultent de la présence des poils urticants présents sur la surface du corps de la chenille (Figure 12).

Les accidents chez l'homme se manifestent par :

- Des attaques dermiques.
- Des atteintes oculaires.
- Des atteintes respiratoires.



Figure 12. Troubles cutanés occasionnés par la processionnaire du pin sur l'homme.

(Vega *et al.*, 2011)

Chapitre 3. Réponses de la plante face aux bioagresseurs

La réponse des plantes ou la résistance de celles-ci à la pression des insectes phytophages est définie par leur capacité à éviter ou à réduire les dommages causés par ces bioagresseurs (**Kogan, 1975**).

Painter (1951), a défini trois catégories de résistance. L'antixénose ou la non-préférence définit une résistance induite par le rejet de la plante comme hôte de l'insecte. Elle peut être due à la présence de caractères morphologiques ou chimiques repoussant l'insecte, ou par l'absence de composés stimulant son alimentation ou son oviposition. Si l'insecte est touché dans sa physiologie par la plante, c'est l'antibiose pour laquelle les caractères physiques et chimiques peuvent aussi être impliqués, entraînant une inhibition de croissance, une moindre fécondité, voire la mort de l'insecte. La résistance de la plante peut être enfin caractérisée par une tolérance ou la capacité de la plante à supporter ou se rétablir des dégâts causés par l'herbivore. La résistance des plantes aux bioagresseurs varie dans le temps, le tissu considéré et les conditions environnementales. Elle est basée sur des caractères physiques, chimiques et développementaux.

3.1. Défenses chimiques des plantes

Les composés secondaires sont souvent considérés comme étant un moyen de défense de la plante productrice contre divers organismes comme les pathogènes et les ravageurs (**Fraenkel, 1959**).

Ces substances représentent probablement le facteur le plus important contrôlant le comportement des insectes dans la nature et sont tributaires du cycle phénologique et des attaques dues aux ravageurs (**Schultz, 1988**).

Elles se rencontrent sous forme de composés allélochimiques et/ou certaines inhibiteurs de protéases (**Auger et al., 2002**) et déclenchent chez l'insecte des réponses comportementales. Elles peuvent être attractives, répulsives (anti-appétantes) ou toxiques (**Kennedy, 1965**) (Figure 13).

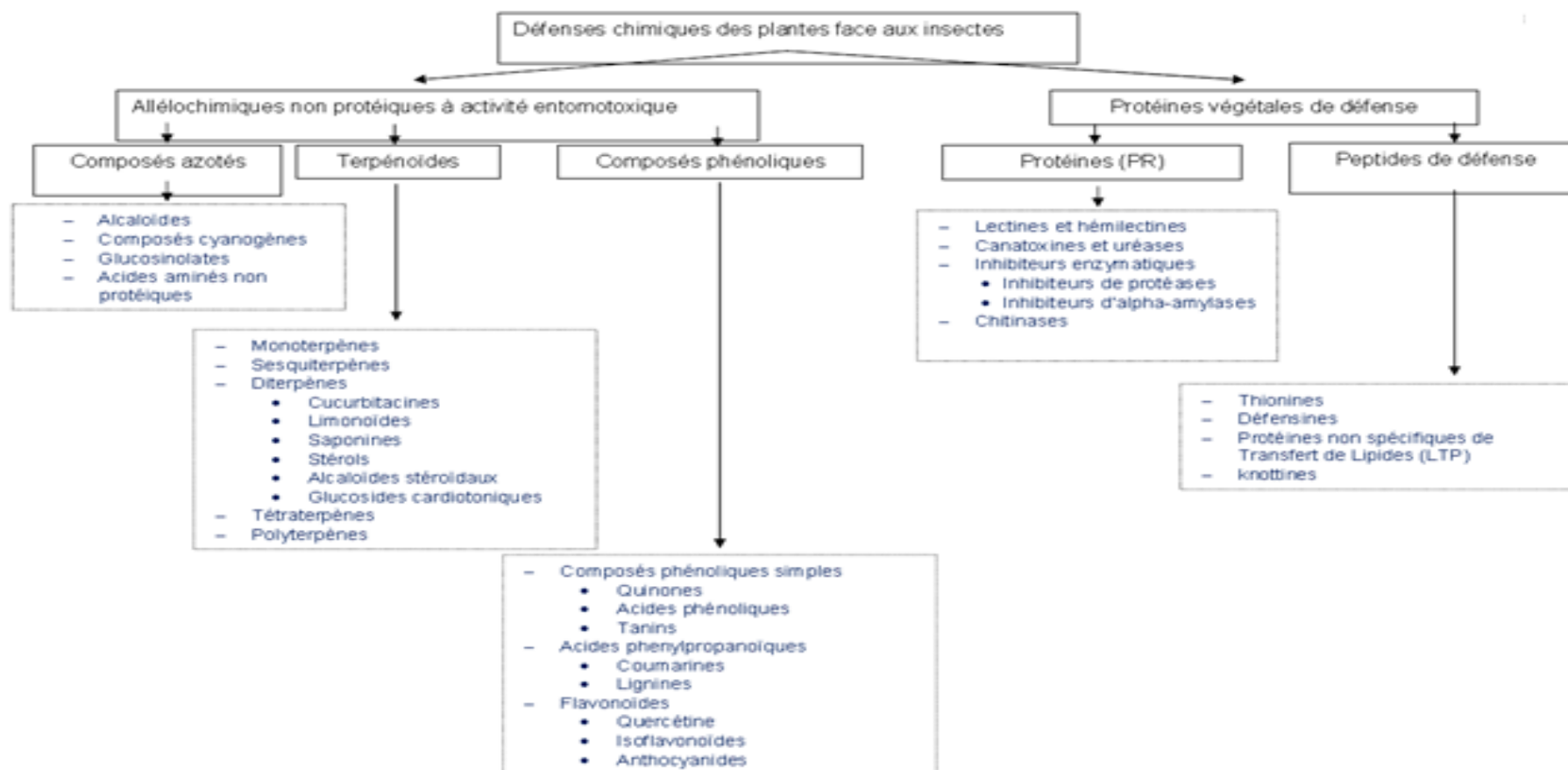


Figure 13. Les métabolites secondaires produits par la plante suite à des agressions biotique et/ou abiotiques (Louis, 2004).

3.2. Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées par les plantes autotrophes (**Boudjouref, 2011**). Ce sont caractérisées généralement par une faible concentration dans les tissus végétaux (généralement quelques pourcents du carbone total, si nous excluons la lignine de cette catégorie) (**Newman et Cragg, 2012**). Aussi n'exercent pas de fonction directe au niveau des activités fondamentales de la plante (**Guignard, 1996**). D'après leur biosynthèse, les métabolites secondaires peuvent être divisées en quatre classes: Polyphénols; terpénoïdes; stéroïdes et alcaloïdes (**Hennebelle et al., 2004**).

Biosynthétisées à partir de métabolites primaires et jouent un rôle majeur dans les interactions de la plante avec son environnement, contribuant ainsi à la survie de l'organisme dans son écosystème (**Peeking et al., 1987**). En 1987, plus de 8500 métabolites secondaires sont déjà connues.

Ces composés secondaires sont souvent considérés comme étant un moyen de défense de la plante productrice contre divers organismes comme les pathogènes et les ravageurs.

3.2.1. Les polyphénols

Les polyphénols sont des produits du métabolisme secondaire des végétaux, caractérisés par la présence d'au moins d'un noyau benzénique, auquel est directement lié au moins un groupement hydroxyle libre, ou engagé dans une autre fonction tels que : éther, ester, hétéroside...etc (**Bruneton, 1999**). La grande majorité de composés phénoliques dérivent de l'acide cinnamique formé par la voie du shikimate (**Gorham, 1977**). Sont solubles dans la solution de carbonate de sodium. Chimiquement, ils sont réactifs et donnent souvent lieu à des liaisons hydrogènes, ou chélater des métaux pour les O-dihydroxyphénols (catéchol); Enfin, ils sont sensibles à l'oxydation (**Gorham, 1977**).

La classification de ces substances a été proposée par **Harborne (1980)**. On peut distinguer les différentes classes des polyphénols en se basant d'une part, sur le nombre d'atomes constitutifs et d'autre part, sur la structure de squelette de base (**Macheix et al., 2006**).

3.2.2. Les flavonoïdes

C'est le groupe le plus représentatif des composés phénoliques, ces molécules ont des structures chimiques variées et des caractéristiques propres (**Benhammou, 2011**). En 2003, environ 4000 composés flavoniques sont connus (**Edenharder et Grünhage, 2003**). Certains sont des pigments quasi-universels des végétaux, ces composés existent sous forme libre dite aglycone ou sous forme d'hétérosides, c'est à dire liées à des oses et autres substances (**Heller et Forkmann, 1993**). Ils ont un squelette de base formé par deux cycles en C6 reliés entre eux par une chaîne en C3 qui peut évoluer en un autre hétérocycle (**Akroum, 2011**).

La nature chimique des flavonoïdes dépend de leur classe structurale, de degré d'hydroxylation et de méthylation, de degré de polymérisation, des substitutions et des conjugaisons sur le cycle C c'est-à-dire la présence : de double liaison C2-C3, du groupe 3-O et la fonction 4-oxo (**Yao et al., 2004**).

Chapitre 4. Les biomarqueurs

Un Biomarqueur est défini comme un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui révèle l'expression présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant (**Doly, 2007**). L'approche « biomarqueur » peut être illustrée par une relation entre l'état de santé d'un organisme et sa réponse à des concentrations croissantes de contaminants dans son environnement (**Timbrell et al., 1994; Lagadic et al., 1997; Van der Oost et al., 2003**).

Les biomarqueurs constituent un moyen pour détecter les symptômes et maladies par une mise en évidence précoce avant qu'il y ait altération des organismes ou perturbation sur la population et sur l'écosystème. Il exprime un état pathologique ou une réponse à une contamination ou empoisonnement (**Eurasanté, 2005**).

4.1. Les différents types des biomarqueurs

4.1.1. Trois catégories de biomarqueurs sont classiquement décrites à savoir : Les biomarqueurs d'exposition, les biomarqueurs d'effet et les biomarqueurs de sensibilité (**Lagadic et al., 1997 ; Van der Oost et al., 2003**).

Néanmoins, tous les auteurs ne catégorisent pas les biomarqueurs de la même manière. La division proposée par **De La fontaine et al. (2000)** semble plus adaptée. Elle divise les biomarqueurs en deux catégories : (biomarqueurs de défense, biomarqueurs de dommage).

Les biomarqueurs de défense regroupent les biomarqueurs qui indiquent la mise en place de mécanismes de régulation. Les biomarqueurs de dommage, quant à eux, regroupent les biomarqueurs qui indiquent une atteinte biologique. Ces atteintes peuvent éventuellement conduire à une altération des fonctions biologiques, comme par exemple la fonction de reproduction, voire de la survie (**Amiard-Triquet et Amiard, 2008**).

4.1.2. Les biomarqueurs d'exposition

Ce sont les biomarqueurs qui permettent de détecter et de mesurer une interaction entre une molécule chimique et des molécules (ou cellules) cibles comme l'ADN ou les protéines. Ils peuvent être utilisés pour confirmer et évaluer l'exposition des individus à un contaminant

particulier. Par exemple, l'activité de l'acétylcholinestérase et les adduits d'ADN sont intégrés à cette catégorie (**Lagadic et al., 1997 ; Van der Oost et al., 2003**).

4.1.3. Les biomarqueurs d'effet

Les biomarqueurs d'effet permettent de mesurer les altérations biochimiques, physiologiques ou autres. Ils se mesurent dans les tissus ou fluides corporels d'un organisme et ils peuvent être associés à des perturbations de la santé des organismes ou à des maladies. Par exemple, les biomarqueurs liés à la peroxydation lipidique et à la stabilité des membranes lysosomales font partie de cette catégorie. (**Lagadic et al., 1997 ; Van der Oost et al., 2003**).

4.1.4. Les biomarqueurs de sensibilité :

Cette catégorie regroupe les biomarqueurs qui indiquent la capacité inhérente ou acquise d'un organisme à répondre au challenge de l'exposition à un xénobiotique. Par exemple l'activité de l'éthoxyrésorufine O-déséthylase (EROD), l'activité de la glutathion-S-transférase (GST) et les métallothionéines sont intégrés à cette catégorie. (**Lagadic et al., 1997 ; Van der Oost et al., 2003**).

4.2. Intérêt des biomarqueurs

Lors du contact entre un organisme et un contaminant, les premiers événements mesurables ont lieu au niveau moléculaire par l'interaction du xénobiotique avec des molécules endogènes (**Lagadic et al., 1997a**). Les biomarqueurs, peuvent fournir des informations sur les stratégies et/ou les mécanismes moléculaires et cellulaires qu'un organisme développe pour faire face aux effets néfastes de cette interaction. Cet aspect préventif leur permet donc de diagnostiquer de façon précoce des dysfonctionnements physiologiques de l'individu, c'est-à-dire avant que des dommages tissulaires ou des effets néfastes sur les principales fonctions biologiques ne soient détectables (**Van der Oost et al., 2003**). Les espèces supports sélectionnées pour l'étude de la réponse des biomarqueurs peuvent en fonction de leur habitat et de leur position dans le réseau trophique, fournir des informations sur la façon dont se comportent les polluants dans les écosystèmes (**Lagadic et al., 1997a ; Stegeman et al., 1992**).

Les biomarqueurs présentent donc un caractère intégrateur important qui leur confère un indéniable avantage par rapport aux méthodes chimiques ou aux méthodes biologiques basées sur la bioindication classiquement mises en œuvre pour la surveillance des écosystèmes. Ils

permettent une évaluation géographique et temporelle de la contamination des milieux et des effets associés.

4.3. Les réserves énergétiques en tant que biomarqueurs

L'exposition des organismes vivants à des cocktails de polluants est susceptible d'engendrer une perturbation de leur métabolisme énergétique. En effet, les mécanismes de défense vis-à-vis des facteurs de stress environnementaux sont considérés comme métaboliquement coûteux (Calow, 1991), impliquent une diminution de l'énergie disponible en faveur d'autre processus : le métabolisme basal, la croissance et la reproduction (Holloway et al., 1990). Parmi les biomarqueurs du métabolisme énergétique couramment utilisés (Le Gal et al., 1997 ; Mayer et al., 2002 ; Durou, 2006 ; Mouneyrac et Amiard-triquet, *in press*), nous pouvons citer les réserves énergétiques (Protéines, lipides et sucres).

Il existe trois types de réserves énergétiques : les glucides, les lipides et les protéines. La première source d'énergie, et immédiate, utilisée lors d'un stress correspond généralement aux glucides, et plus particulièrement au glycogène (Umminger, 1977).

Les lipides sont la seconde source d'énergie utilisé lors d'un stress (Sujatha et al., 1996 ; Bhavan et Geraldine, 1997). Les lipides peuvent aussi être mobilisés en premier lorsque la nourriture devient rare (Sargent et al., 1989 ; Hashemi et al., 2008). Une diminution des concentrations en lipides est généralement observée quand la concentration en glucides devient faible ou quand la demande énergétique est trop forte (Blem, 1992).

Les protéines sont la dernière source d'énergie utilisée lors d'un stress. Face à un stress, les organismes ont besoin de beaucoup d'énergie pour lutter et se maintenir, et cette énergie peut être stimulée par le catabolisme des protéines (Ribeiro et al., 2001). Une diminution de la concentration en protéines peut être due à la formation de lipoprotéines utilisées pour réparer les dommages causés aux organites des cellules et des tissus (Rambabu et Rao, 1994 ; Sancho et al., 1998) ou peut être attribuée à une diminution de l'activité métabolique générale (Baudrimont et al., 1997 ; Geret, et al., 2003). Cette diminution indique donc une protéolyse qui permet la production d'acides aminés libres. Ces acides aminés vont pouvoir être utilisés par le cycle de Krebs pour fournir de l'énergie ou par la gluconéogenèse pour fournir du glucose. Les lipides et les protéines sont considérés comme de bons indicateurs de l'état nutritionnel et reflètent l'état physiologique des organismes (Guisande et al., 1991 ; Printes et Callaghen, 2003).

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

1.1. Description des zones d'étude

La forêt de Bordj Bou Arreridj occupant une superficie de 80 799 ha, situés à l'Est de l'Algérie. Le climat fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride. La moyenne annuelle de la gamme d'amplitude thermique est de 21,3 °C. La moyenne de précipitation est < 400 mm/an. Les essences principales qui composent le fond forestier sont le Pin d'Alep et le Chêne vert (Anonyme., 2016).

Pour la réalisation de notre étude, nous avons retenu trois sites qui présentent de fortes attaques de la chenille processionnaire du pin et qui se localisent à différentes altitudes correspondant à:

- **Site de Mansoura (forêt de sidi Makhelouf-Mansoura):** Elle fait partie de la grande forêt domaniale de Bibans (7518 ha), exactement dans le canton de Mansoura à l'extrême ouest de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, ce canton occupe une superficie de 912,5 ha, son altitude est de 791 m, il est caractérisé par une couverture végétale dominée par 80% de pin d'Alep et autre espèces comme le genévrier, le chêne, etc... (Figure14).



Figure 14. Vue satellitaire de la forêt de sidi Makhelouf-Mansoura (Google earth,2017)

- **Site de Bordj Bou Arreridj (forêt de Boumergued-Djehaifa):** Cette forêt se situe à la sortie Est de la commune de Bordj Bou Arreridj, elle est caractérisée par une formation végétative estimée à 98% de pin d'Alep, et d'une hauteur qui varie de 1 à plus de 12m. Notre travail est réalisé sur la parcelle appelé Djehaifa, qui occupe environ de 279 ha sur la commune de Bordj Bou Arreridj et 127 ha sur la commune d'El Annasser (406 ha au total) et qui se trouve à une hauteur de 930m d'altitude. (Figure 15).



Figure 15. Vue satellitaire de la forêt de Boumergued-Djehaifa, BBA (Google earth, 2017)

- **Site de Ras El Oued (forêt de Kraim Essaid) :** Elle se situe à l'Est de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, environ de 5 km de la ville de Ras El-Oued, occupe une superficie de 53 ha, son altitude est de 1123 m, recouvert quasi totalement par le pin d'Alep (Figure 16).



Figure 16. Vue satellitaire de la forêt de Kraim Essaid_Ras El Oued (Google earth, 2017)

1.2. Dispositif expérimental dans la parcelle étudiée

Le présent travail a pour objectif d'évaluer l'effet de différents facteurs stationnels (Altitude, hauteur des arbres et orientation cardinale des nids d'hiver), sur le choix de la localisation des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin d'Alep *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. et aussi par rapport à la variation phytochimique de sa plante hôte (*Pinus halepensis*).

Egalement, nous avons procédé par le suivi de la procession de la chenille afin de connaître quels sont les critères de choix de la chenille en tête de procession, et cela par le dosage des biomarqueurs énergétiques des chenilles qui sont sélectionnés par la population pour être en tête de file.

1.2.1. Présentation du dispositif expérimental de la parcelle étudiée

1.2.1.1. Echantillonnage sur le terrain

Les observations et les comptages des nids d'hiver, la mesure de la hauteur des arbres, la prise de l'orientation cardinale des nids sur chaque arbre et la collecte des aiguilles du pin pour les dosages phytochimiques ont été effectués dans chaque site.

L'échantillonnage a été mené selon la méthode des transects proposé par **Frontier (1983)** dans les trois sites considérés. Nos parcelles d'étude sont situées au milieu de chaque site, de sorte à éviter les effets de bordure et des agglomérations. Nous avons retenu 3 transects dont chacun contient 10 arbres sains et 10 arbres infestés. Nous avons opté à l'échantillonnage des arbres de taille moyenne (entre 1.50m et 3m), ce qui nous facilite la mesure des tailles d'arbres et aussi le comptage et l'observation des nids.

Des mesures de la hauteur individuelle des arbres ont été effectuées dans chaque site à l'aide d'un mètre-ruban, Le comptage des nids de la chenille processionnaire a été réalisé systématiquement sur les trente (10) arbres sélectionnés dans les trois sites étudiés, tout en prenant en considération le positionnement des nids par rapport à la direction cardinale.

Nous avons aussi prélevé la première chenille en tête de la procession, ensuite la deuxième chenille re-sélectionnée par la population et enfin une troisième chenille prélevée au hasard depuis la population en phase de procession.

1.2.2. Méthode d'étude au laboratoire

1.2.2.1. Matériel végétal

La récolte du matériel végétal a été effectuée dans les trois sites, des quantités d'aiguilles du pin d'Alep ont été récoltées à partir de chaque arbre sélectionné, sains et infestés, des différentes stations (06 échantillons en tout).

Le matériel végétal (aiguilles du pin d'Alep) recueilli sur le terrain, séché à l'air libre, à l'abri de lumière et d'humidité et à une température ambiante du laboratoire, broyé à l'aide d'un mortier jusqu'à l'obtention d'une poudre ensuite conservé pour les extractions et les dosages phytochimiques.

1.2.2.2. Matériel biologique

Les chenilles *Thaumetopoea pityocampa* Schiff ont été prélevées durant le départ en procession pour la nymphose (Figure 17) qui se fait au printemps, tous les individus appartenant à une même colonie ont abandonné l'arbre nourrissant et se tiennent les unes les autres et se déplacent en file unique



Figure 17. La procession pour la nymphose de *T. pityocampa* Schiff. (Originale, 2017)

Avant que le chef de file, qui est généralement une chenille femelle, dirige la procession vers le sol, cette dernière F1 a été prélevée et ensuite mise, au moyen d'une pincette, dans un flacon étiqueté dont le bouchon est perforé, peu après, le reste du groupe s'éparille en formant des anneaux (Figure 18a). Cinq à dix minutes plus tard, les chenilles se

sont arrangées de nouveau après avoir élu un chef en tête F2 (Figure 18b), qui a été retenu et mis dans un flacon perforé à son tour.

La même tâche a été faite pour le choix de la troisième chenille au hasard F3. Pas si loin du premier endroit où nous avons pris les trois chenilles F1, F2 et F3.

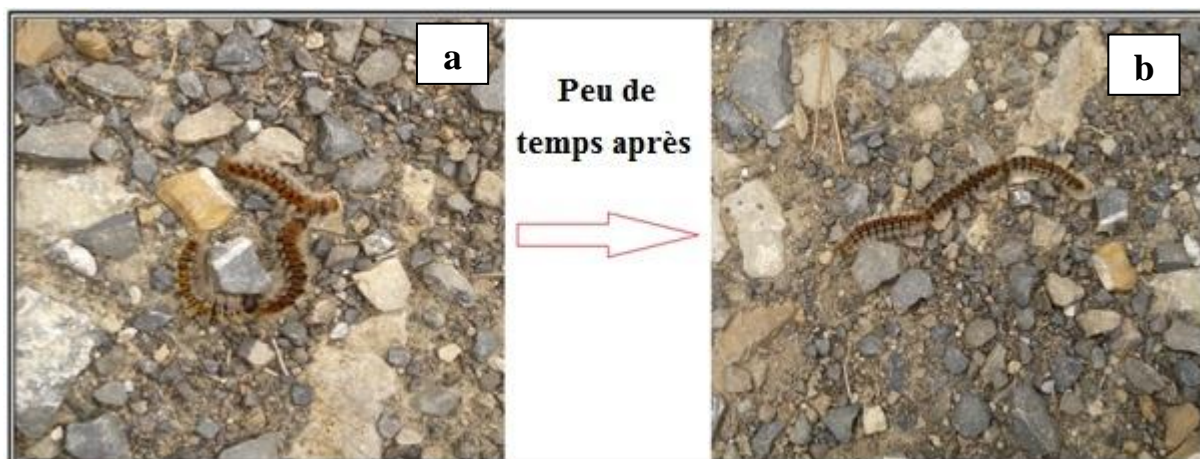


Figure 18. Etat des chenilles après le retrait de la chenille en tête pendant la procession
(Originale, 2017)

1.2.3. Le dosage phytochimique de la plante hôte

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires synthétisés par la plante quand elle est en état de stress participant dans les mécanismes de défense.

Dans cette partie, nous avons réalisé le dosage de trois métabolites secondaires à savoir : les polyphénols, flavonoïdes et les sucre totaux, pour comparer leurs concentrations chez les plantes sains et infestés.

1.2.3.1. Extraction et dosage des polyphénols

Pour extraire les polyphénols par macération, nous avons opté pour le protocole décrit par (Romani et al, 2006). 30 g de la poudre végétale, macérée à température ambiante pendant deux heures et demie avec 100 ml de méthanol à 70 % v/v. Après filtration sur un tissu mousseline, les filtrats sont centrifugés pendant 20 min à 4000 t/min à température ambiante, filtrés sur papier filtre N° 1 et conservés à 4 °C jusqu'à utilisation.

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon la méthode de Folin-Ciocalteu (FC) (Boizot et Charpentier, 2006), l'extrait de macération est mélangé avec 500 µl du réactif FC et 400 µl de Na²CO³ à 7,5 % (m/v). Le mélange est agité et incubé à l'obscurité et à

température ambiante pendant 10 min et l'absorbance est mesurée à 760 nm par un spectrophotomètre UV (Perkin Elmer). Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique/g de matière végétale sèche en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (Annexe 01).

1.2.3.2. Extraction et dosage des flavonoïdes

Les flavonoïdes, constituent le groupe le plus représentatif des composés phénoliques, l'estimation quantitative des flavonoïdes contenus dans les extraits du pin d'alep, est réalisée suivant une méthode colorimétrique du trichlorure d'aluminium $AlCl_3$ (Kosalec *et al.*, 2004) en y apportant des modification légères, on met 1 ml d'extrait méthanolique préparé et on ajoute 1 ml d' $AlCl_3$ à 10%, puis le mélange est vigoureusement agité, l'ensemble est incubé à l'ombre à la température ambiante pendant 10 minutes, l'absorbance est lue à 430 nm en utilisant un spectrophotomètre UV (Perkin Elmer).

La quantification des flavonoïdes se fait en fonction d'une courbe d'étalonnage réalisée par un flavonoïde standard: Quercétine (Annexe 02). La teneur en flavonoïde est exprimée en milligramme d'équivalent de Quercétine par gramme de matière sèche (mg EQ/gMS).

1.2.4. Dosage des biomarqueurs énergétiques

De nombreux stress pouvant entraîner la mobilisation des réserves énergétiques, il est intéressant de pouvoir doser les lipides totaux et le glycogène. En effet, lorsque l'assimilation d'énergie est supérieure à la demande, elle se trouve stockée sous forme de lipides et/ou de glucides. Ce sont ces deux types de réserves qui seront utilisées en premier par l'organisme, les protéines ne servant de sources d'énergie qu'en cas de stress grave (Amiard & Amiard-Triquet, 2008).

1.2.4.1. Dosage des protéines

La méthode de Bradford (1976) est une méthode d'analyse spectroscopique utilisée pour mesurer la concentration des protéines en solution (Figure 19).

C'est un dosage colorimétrique basé sur le changement d'absorbance (la mesure se fait à 595 nm), se manifestant par le changement de la couleur du bleu de Coomassie après liaison (complexification) avec les acides aminés basiques (arginine, histidine, lysine) et les résidus hydrophobes des acides aminés présents dans les protéines. Dans un premier temps, une

courbe d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de sérum albumine bovine (BSA) à 1mg/mL.

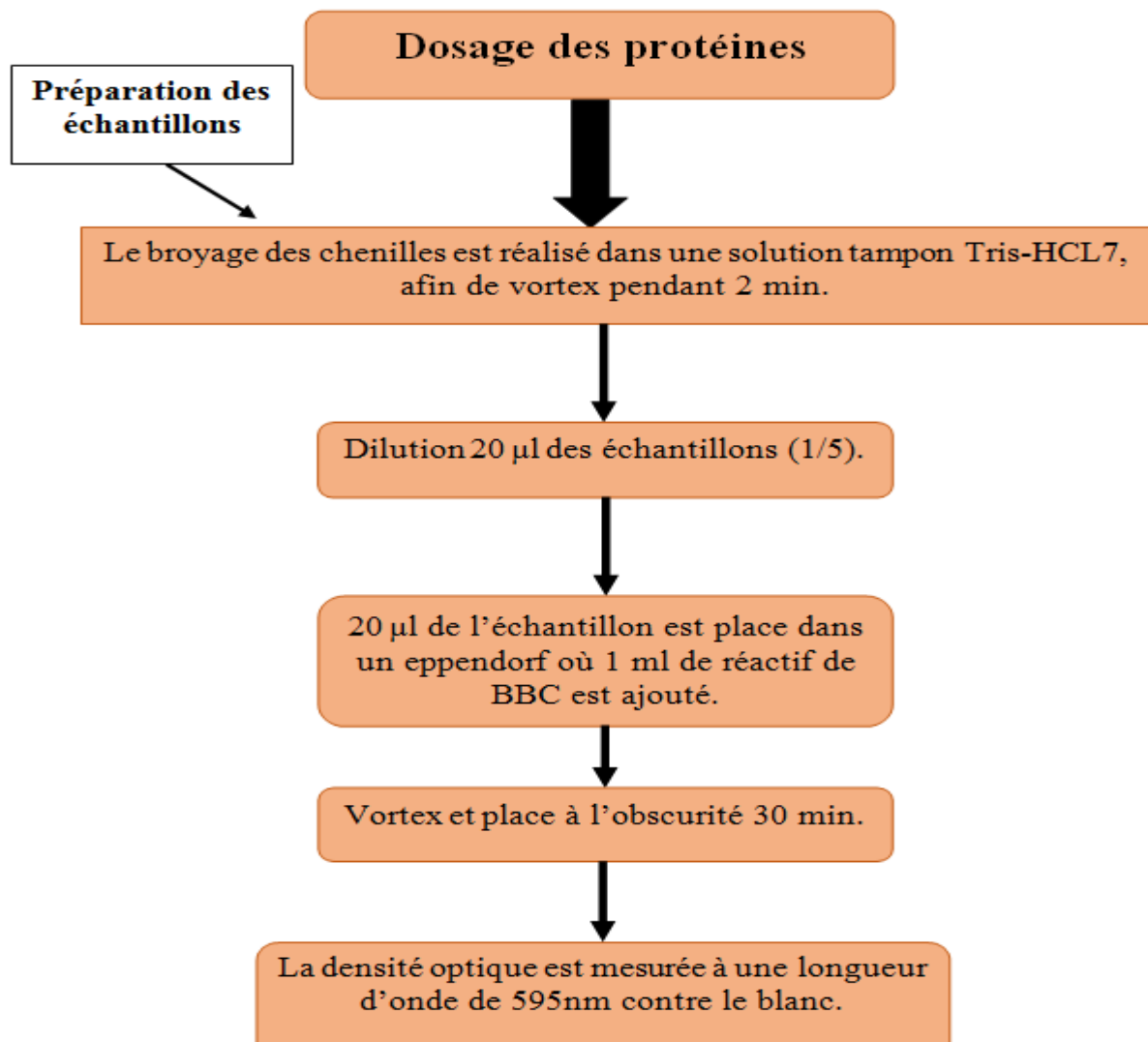


Figure 19. Extraction et dosage des protéines (Bradford, 1976).

1.2.4.2. Dosage des lipides

Au cours de ces dosages, la quantité de lipides, de glycogène et de sucres libres est déterminée de façon individuelle, le dosage est basé sur les protocoles suivants qui sont une adaptation des méthodes de **Van Handel (1985a, b)** et **Plaistow et al. (2003)**.

Le broyage des chenilles est réalisé dans 800 μl de méthanol pour 2 minutes. Chaque échantillon ainsi homogénéisé est divisé en deux volumes identiques (A et B) consacrés respectivement au dosage des lipides et à celui des sucres libres et du glycogène.

Une gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de lipides (2.5mg/ml) comme standard. Pour les glucides, une gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de glucose (1g/l) comme standard. Les protocoles d'extraction et de dosage des lipides et glucides sont illustrés respectivement sur la figure 20

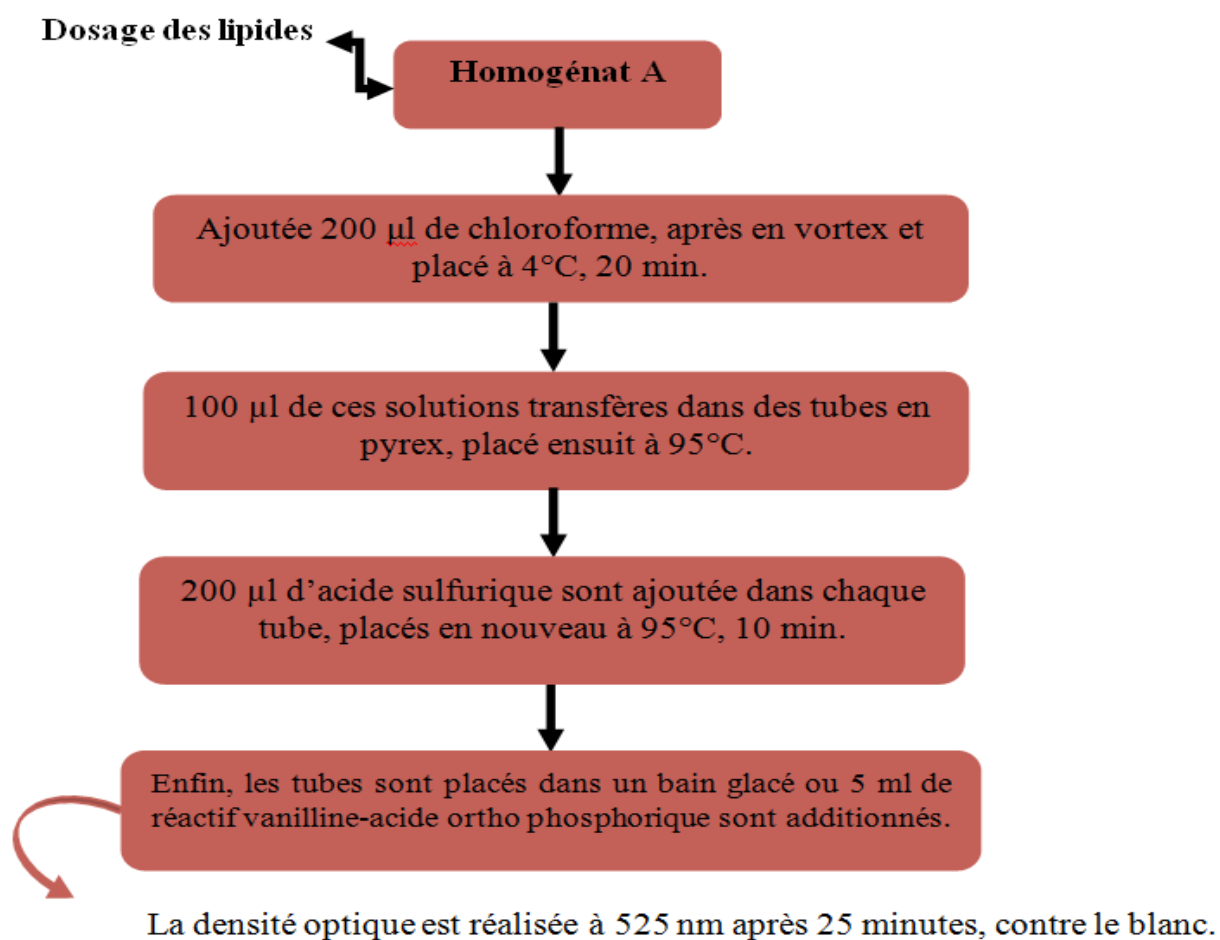


Figure 20. Extraction et dosages des lipides (Van Handel, 1985a, b).

1.2.4.3. Dosage des glucides

Le dosage des glucides est réalisé d'après le protocole proposé par **plaistow (2003)**:

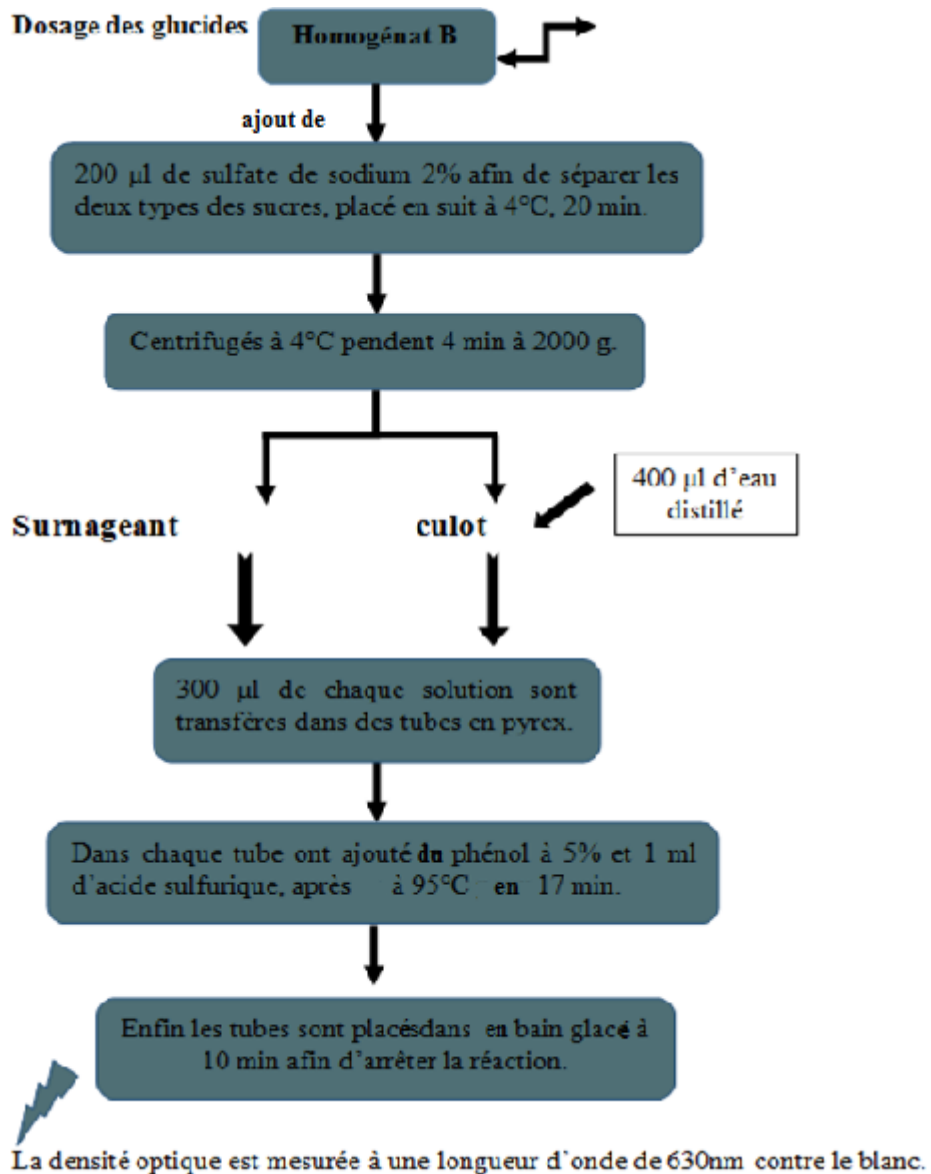


Figure 21. Extraction et dosage de glucides (Plaistow et al., 2003).

1.3. Analyse statistique des données

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (Abondance et orientation des nids, variation phytochimique et les biomarqueurs énergétiques), il est préconisé de réaliser une analyse de variance. Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour *ANalysis Of VAriance*), la

distribution de la variable quantitative doit être normale. Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.). Par exemple, si nous voulons mieux connaître l'effet des facteurs A, B et C et seulement l'interaction entre A et C, il suffit de sélectionner explicitement ces catégories. Le déroulement des tests a été réalisé par le logiciel SYSTAT vers.7 (**SPSS 2009**).

Aussi, nous avons fait appel à l'analyse en composantes principales (ACP). Le principe de cette analyse est de représenter un phénomène multidimensionnel par un graphique à deux ou plusieurs dimensions. Les tests statistiques ont été traités par le logiciel PAST version 3.1 (**Hammer et al., 2001**). Le seuil de 5% a été retenu pour tous les tests.

Chapitre 2. Interprétation des résultats

2.1. Effet de l'altitude et les directions cardinales sur le taux d'infestation de *T. pityocampa*

2.1.1. Effet de l'altitude sur le nombre des nids d'hiver de la chenille processionnaire

Les résultats obtenus, montrent que le nombre des nids d'hiver varie d'une parcelle à une autre. La figure 22. montre que les sites de Bordj Bou Arreridj et de Mansoura représentent un nombre de nids qui se rapprochent avec respectivement 17 et 16. Concernant les arbres du pin d'Alep du site de Ras El Oued, ce dernier présente un taux moindre mais qui n'est pas loin des deux sites précédents avec un nombre de 15 (Figure 22). Egalement, l'effet orientation cardinale est très visible car l'abondance des nids d'hiver de la chenille processionnaire se localise sur la direction Sud-Est pour les trois sites considérés.

Cette similarité est confirmée par le test ANOVA One Way, qui signale la présence d'une différence non significative du nombre des nids entre les trois sites étudiés ($F=0,01613$; $p=0,984$).

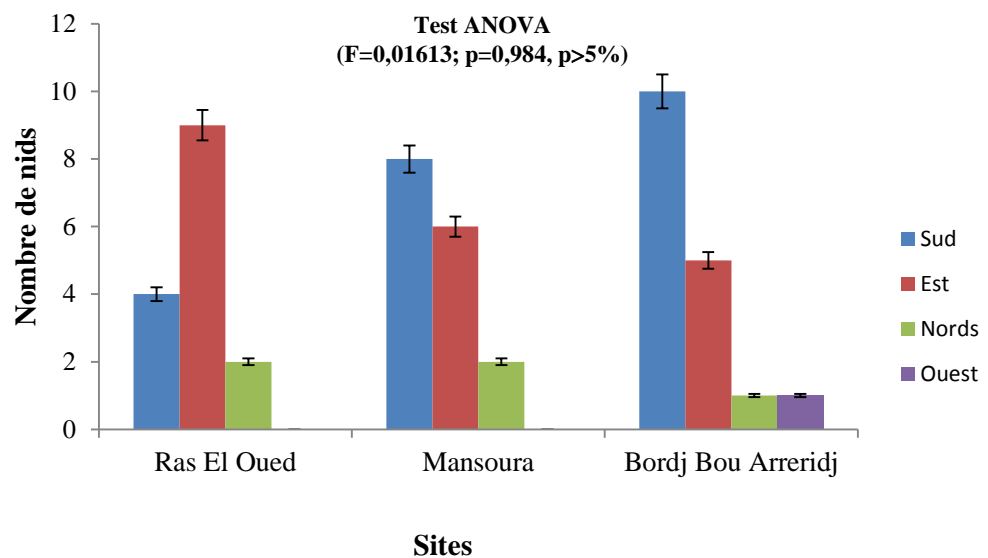


Figure 22. Nombre de nids de la chenille processionnaire chez *P. halepensis* dans les trois sites étudiés.

2.1.2. Tendence du nombre et positionnement des nids d'hiver selon les directions cardinales

Les données de l'abondance et le positionnement selon les directions cardinales des nids d'hiver de la chenille processionnaire du pin *T. pityocampa* ont été soumises à une ACP (Analyse en Composantes Principales). L'analyse est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance est exprimée sur les deux premiers axes (Figure 23). La projection des variables relatives au nombre des nids d'hiver dans chaque site étudié à travers l'axe 1 (81,00 %), montre que les arbres du pin d'Alep présentent le même niveau d'infestation par les nids d'hiver de la chenille de *T. pityocampa* dans les différentes régions étudiées.

Sur la base des coefficients de corrélation enregistrée cette similitude est confirmée (Figure 23, Axe 1). La projection estime que les chenilles de *T. pityocampa* s'attaquent aux arbres du pin d'Alep *P. halepensis* quelque soit la région et l'altitude, car ses nids d'hiver sont présent dans les trois sites étudiés avec leurs différences altitudinales.

La projection des abondances et des orientations cardinales sur l'axe 2 (18,52%) révèle que le site de Ras El Oued est caractérisé par un positionnement Est et Sud des nids d'hiver. Les deux autres sites à savoir Mansoura et BBA sont caractérisés par une orientation Sud et Est des nids d'hiver. La corrélation négative enregistrée confirme cette différenciation de l'effet positionnement (Figure 23, Axe 2). La projection estime que les chenilles de *T. pityocampa* installent ses nids d'hiver dans les directions cardinales Sud et par moindre degré le versant Est à une altitude de 698 à 928 m et au delà de cette altitude le positionnement des nids oriente vers le côté Est et dans une moindre mesure vers le secteur Sud comme c'est le cas du site de Ras El Oued (1077m).

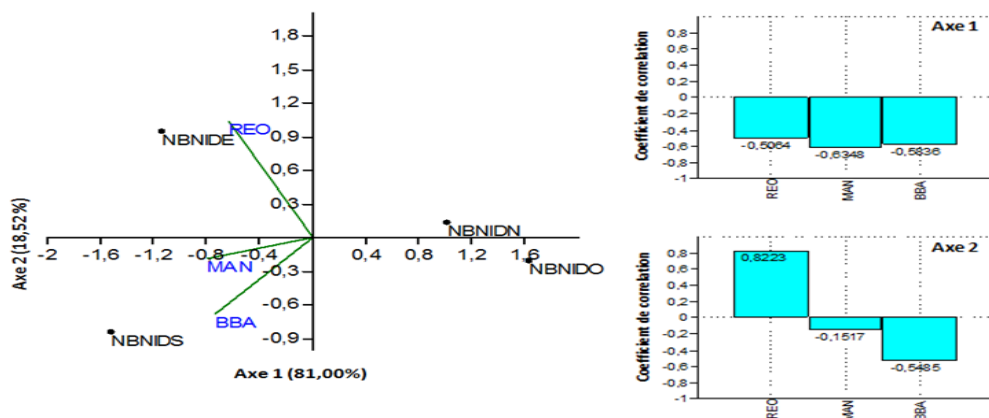


Figure 23. Projection du nombre des nids d'hiver selon les directions cardinales sur les deux axes de l'ACP.

2.2. Evaluation des teneurs des composés phytochimiques des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill. des arbres sains et infestés

2.2.1. Quantification phytochimique des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill.

La figure 24 a et b, fait apparaître la variation des teneurs des polyphénols et des flavonoïdes des deux catégories d'arbres (sains et attaqués) dans les trois sites étudiés. Nous remarquons que les polyphénols représentent des teneurs plus importantes dans les feuilles saines que les feuilles infestées dans les trois sites étudiés. Inversement, les teneurs en flavonoïdes enregistrent des taux les plus élevés chez les arbres infestés par rapport aux arbres sains.

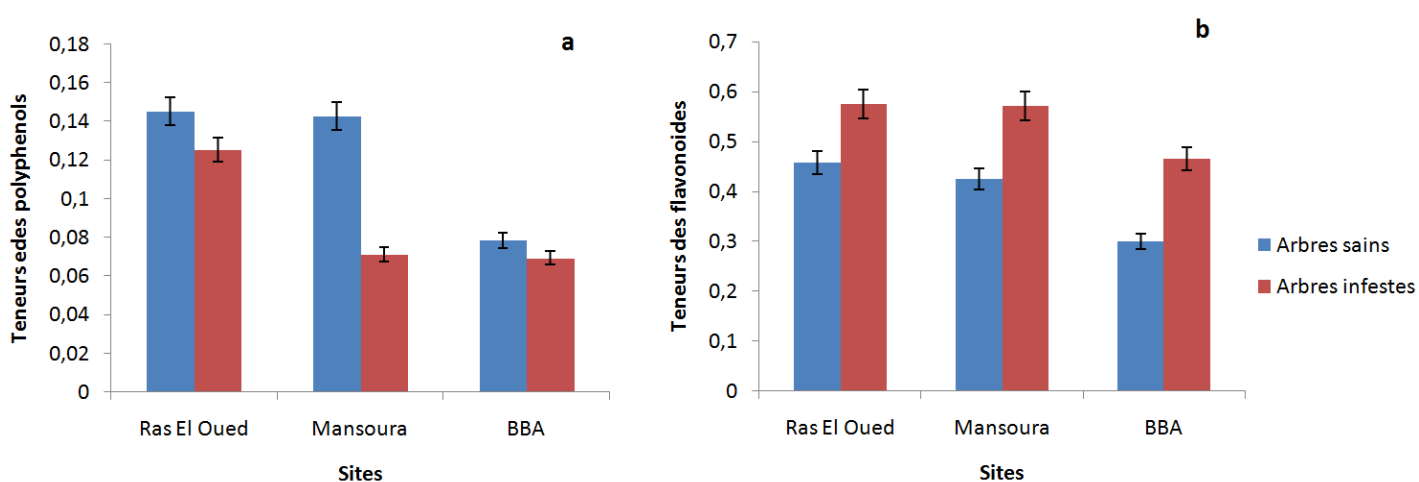


Figure 24. Variation quantitative des teneurs des polyphénols et des flavonoïdes de *Pinus halepensis* Mill. des arbres sains et infestés dans les trois sites étudiés

2.2.2. Analyse quantitative de la biochimie foliaire comparée en fonction de l'état phytosanitaire et les sites d'études

2.2.2.1. Cas des polyphénols

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M) pour l'étude des teneurs des polyphénols des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill. pour les arbres attaqués par rapport aux arbres non attaqués. L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau II.

Tableau II : G.L.M. appliqué aux essais de l'accumulation des polyphénols des aiguilles des arbres de *Pinus halepensis* Mill.

Source	Somme des carrés	DDL	Moyen des écarts	F-ratio	P
Sites	0.011	2	0.006	20.170	0.000***
Etat phytosanitaire	0.004	1	0.004	14.151	0.002**

N.S.non significative ;* : probabilité significative à5% ;** : probabilité significative à1% ;*** : probabilité significative à 0 ,1%.

Le tableau ci-dessus (Tableau II) ainsi que la figure (figure 25) indiquent que le facteur site révèle l'existence d'une différence très hautement significative sur l'accumulation des polyphénols des aiguilles des arbres de *Pinus halepensis* Mill, avec les valeurs (F ratio=20.170; p=0.000)

Le facteur état phytosanitaire désigne aussi une différence hautement significative sur l'accumulation des polyphénols du pin d'Alep avec les valeurs (F ratio=14.151; p=0.002)

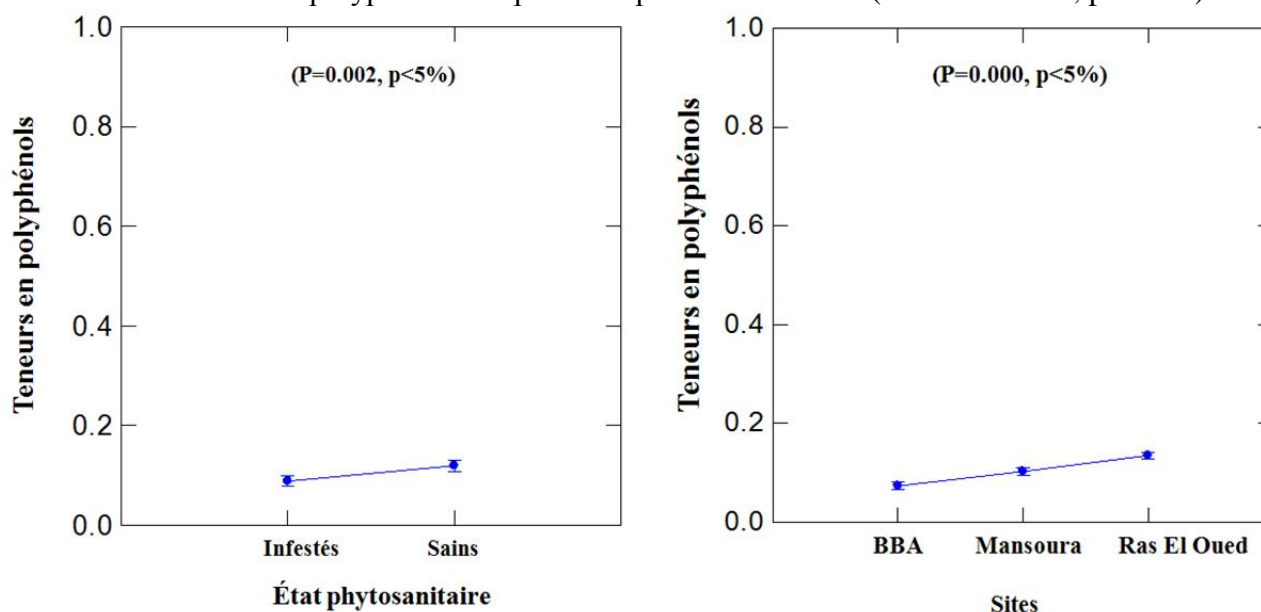


Figure 25. Quantité des polyphénols des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill. en fonction des sites étudiés et de l'état phytosanitaires des arbres

2.2.2.2. Cas des flavonoïdes

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M) pour l'étude des teneurs des flavonoïdes des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill. pour les arbres attaqués par rapport aux arbres non attaqués. L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau III.

Tableau III : G.L.M. appliqué aux essais de l'accumulation des flavonoïdes des aiguilles des arbres de *Pinus halepensis* Mill.

Source	Somme des carrés	DDL	Moyen des écarts	F-ratio	p
État phytosanitaire	0.005	2	0.003	6.369	0.012*
Sites	0.001	1	0.001	2.536	0.135 ^{N.S.}

N.S.non significative ;*: probabilité significative à 5% ;** : probabilité significative à 1% ;*** : probabilité significative à 0,1%.

Le tableau ci-dessus (Tableau III) ainsi que la figure ci-dessous (figure 26), indiquent que le facteur état phytosanitaire révèle l'existence d'une différence significative sur l'accumulation des flavonoïdes des aiguilles des arbres de *Pinus halepensis* Mill, avec les valeurs (F ratio=6.369; p=0.012). Tandis que le facteur sites désigne une différence non significative sur l'accumulation des flavonoïdes du pin d'Alep avec les valeurs (F ratio=2.536; p=0.135)

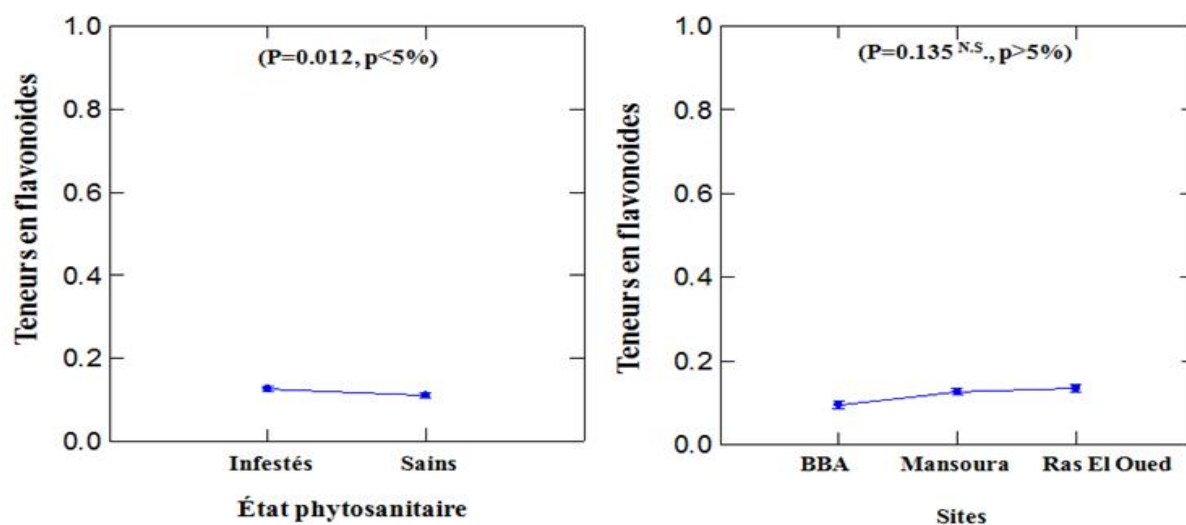


Figure 26. Quantité des flavonoïdes des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill. en fonction de l'état phytosanitaire des arbres et des sites étudiés.

2.2.3. Etude comparée de la distribution des constituants biochimiques de *Pinus halepensis* Mill. en fonction de l'état phytosanitaire des arbres

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M) pour l'étude des teneurs des constituants biochimiques (polyphénols et flavonoides) de *Pinus halepensis* Mill. en fonction de l'état phytosanitaire des arbres (Sains et attaqués). L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau IV.

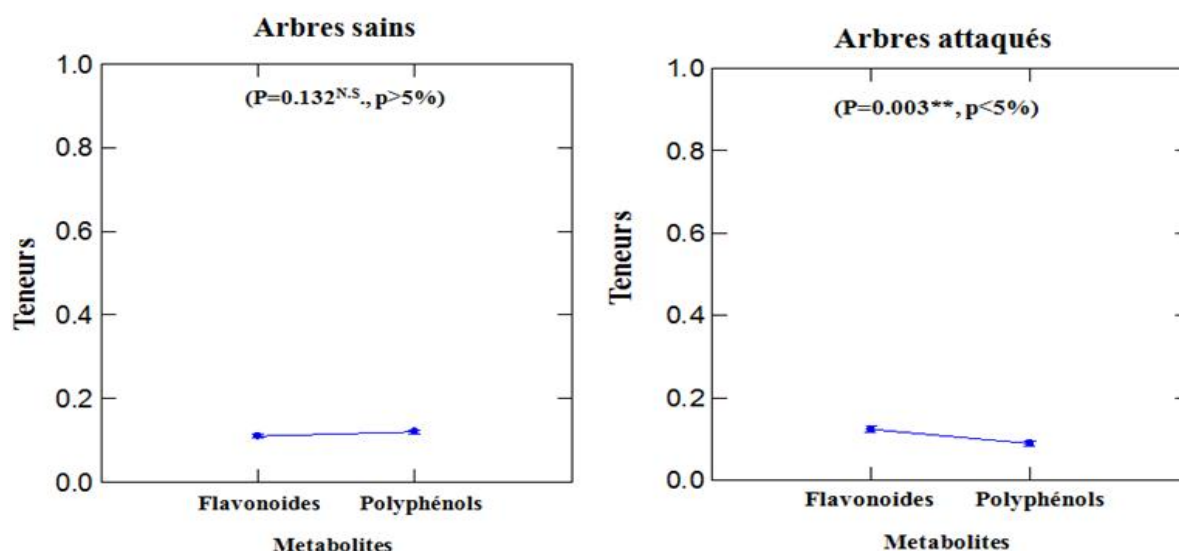
Tableau IV : G.L.M appliqué aux essais de dosage des constituants biochimiques (polyphénols et flavonoides) des aiguilles de *Pinus halepensis* Mill.

Source	Somme des carrés	DDL	Moyen des écarts	F-ratio	p
Arbres sains	0.000	1	0.000	2.584	0.132 ^{N.S}
Arbres attaqués	0.005	1	0.005	10.446	0.003 ^{**}

N.S.non significative ;* : probabilité significative à 5% ;** : probabilité significative à 1% ;*** : probabilité significative à 0,1%.

Le tableau ci-dessus (Tableau IV) ainsi que la figure ci-dessous (figure 27), indiquent que le facteur état phytosanitaire (arbres sains) révèle l'existence d'une différence non significative sur la variabilité des taux des constituants biochimiques de *Pinus halepensis* chez les arbres non infestés avec les valeurs (F-ratio =2.584; p=0.132).

Le facteur état phytosanitaire (arbres attaqués) désigne une différence hautement significative sur la variabilité des taux des constituants biochimiques de *Pinus halepensis* chez les arbres infestés avec les valeurs (F-ratio =10.446; p=0.003)



2.3. Evaluation des réserves énergétiques des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. sélectionnées au moment de la procession.

2.3.1. Analyse comparée des biomarqueurs énergétiques chez les larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, en phase de procession en fonction de la sélection

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M) pour l'étude des teneurs des biomarqueurs énergétiques (glucides, lipides et protéines) pour les trois chenilles sélectionnées (F1, F2 et F3). L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau V.

Tableau V : G.L.M. appliqué aux essais d'évaluation des réserves énergétiques des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Sélectionnées pour être en tête de file de procession

Source	Somme des carrés	DDL	Moyen des écarts	F-ratio	p
Réserves énergétiques F1	7550.000	2	3775.000	3775.000	0.000***
Réserves énergétiques F2	45074.000	2	22537.000	22537.000	0.000***
Réserves énergétiques F3	7550.000	2	22537.000	3775.000	0.000***

N.S.non significative ;* : probabilité significative à 5% ;** : probabilité significative à 1% ;*** : probabilité significative à 0,1%.

Le tableau ci-dessus (Tableau V) ainsi que la figure ci-dessous (figure 28), indiquent que les différentes chenilles (F1, F2 et F3) révèlent l'existence d'une différence très hautement significative sur la variabilité des taux des réserves énergétiques avec respectivement les valeurs (F-ratio =3775.000; p=0.000), (F-ratio =22537.000; p=0.000) et (F-ratio =3775.000; p=0.000)

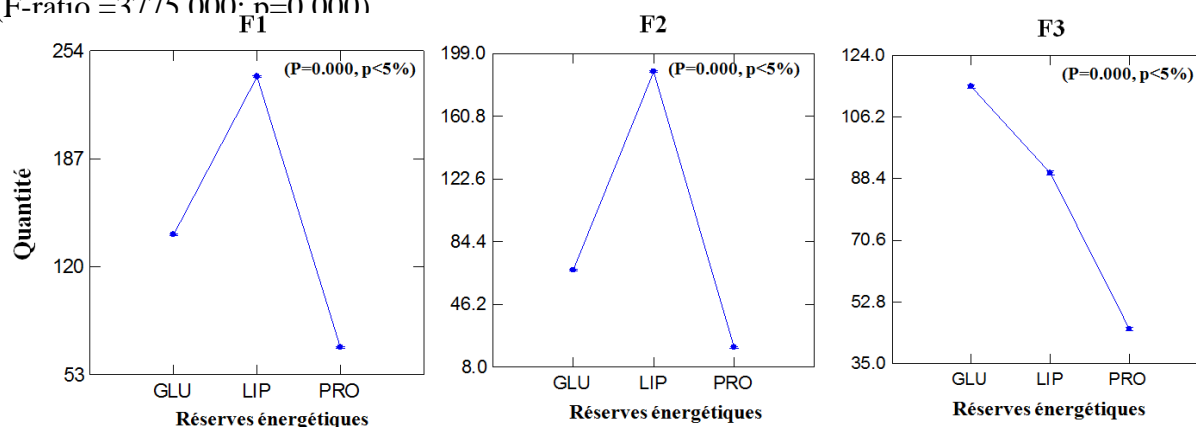


Figure 28. Variations comparées des biomarqueurs énergétiques chez les larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, en phase de procession en fonction de la sélection.

F1 : la chenille femelle qui dirige la procession vers le sol, F2 : la chenille sélectionnée la 2^{ème} fois par la population, F3 : une chenille prise au hasard de la même population.

2.3.2. Analyse quantitative de la teneur en biomarqueurs énergétiques (lipides, glucides et protéines) chez les trois larves sélectionnées

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M) pour l'étude des teneurs des réserves énergétiques (glucides, lipides et protéines) pour les trois chenilles sélectionnées (F1, F2 et F3). L'ensemble des résultats d'analyses est présenté dans le tableau VI.

Tableau VI : G.L.M. appliqué aux essais d'évaluation des réserves énergétiques des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Sélectionnées (F1, F2 et F3).

Source	Somme des carrés	DDL	Moyen des écarts	F-ratio	P
Glucides	8258.000	2	4129.000	4129.000	0.000***
Lipides	34008.000	2	17004.000	17004.000	0.000***
Protéines	3750.000	2	1875.000	1875.000	0.000***

N.S.non significative ;* : probabilité significative à 5% ;** : probabilité significative à 1% ;*** : probabilité significative à 0,1%.

Le tableau ci-dessus (Tableau VI) ainsi que la figure ci-dessous (figure 29), indiquent que les différents composés énergétiques (glucides, lipides et protéines) révèlent l'existence d'une différence très hautement significative sur les larves (F1, F2 et F3) avec respectivement les valeurs (F-ratio =4129.000; p=0.000), (F-ratio =17004.00; p=0.000) et (F-ratio =1875.000; p=0.000).

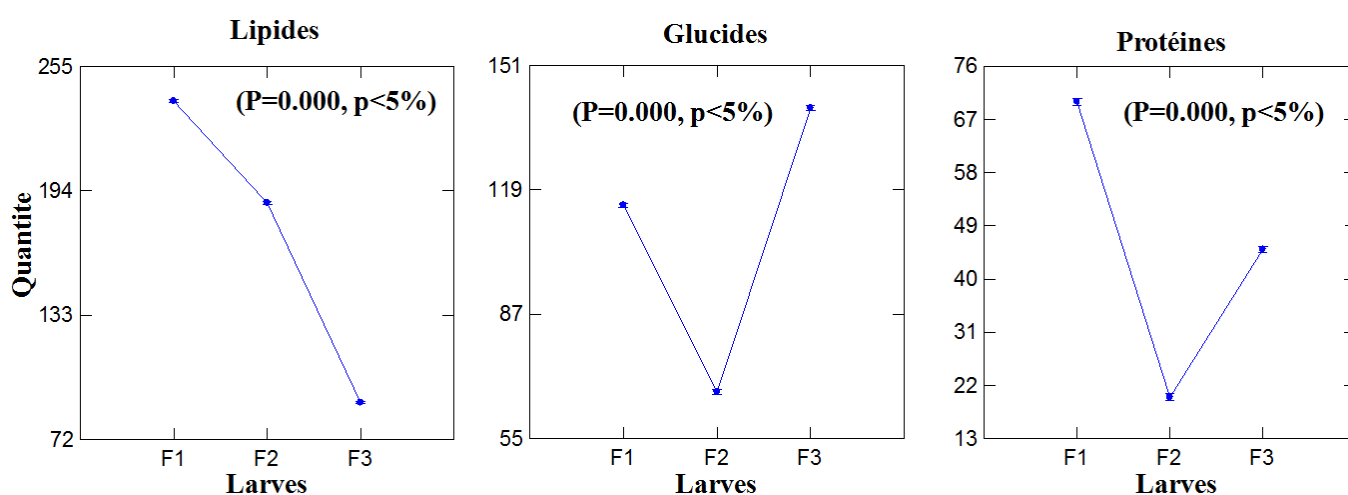


Figure 29. Variations comparées de chaque biomarqueur énergétique étudié chez les larves de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, en phase de procession.

F1 : la chenille femelle qui dirige la procession vers le sol, F2 : la chenille sélectionnée la 2^{ème} fois par la population, F3 : une chenille prise au hasard de la même population.

Chapitre 3. Discussions générales

3.1. Effet de l'altitude et les directions cardinales sur le taux d'infestation de la processionnaire

3.1.1. Effet de l'altitude sur le nombre des nids d'hiver *T. pityocampa*

Les résultats obtenus, montrent la présence d'une différence non significative, cette similarité prouve que le facteur altitude est un facteur n'a pas exercé un impact sur le nombre des nids d'hiver *T. pityocampa*, cela est peut être dû aux altitudes qui se rapprochent les uns les autres à savoir 698, 928 et 1077m respectivement pour les régions de Mansoura, Bordj Bou Arreridj et Ras el Oued, contrairement aux études qui rejoignent les affirmations de **Dagnelie, (1975)** travaillant sur des essais de provenances de pin d'Alep, a trouvé que la fréquence et l'intensité d'attaque sont étroitement liées à la hauteur moyenne des provenances. En effet, les pineraies étudiées attireraient de la même manière et de la même intensité les chenilles de l'espèce *T. pityocampa*, par les compositions floristiques et les conditions environnementales qui sont presque semblables et car les trois sites sont classés dans le même étage bioclimatique qui est semi-aride d'une part. D'autre part, les trois stations d'étude sont assez bien diversifiées en peuplements de la processionnaire, cette richesse entomologique notée dans la pineraie pourrait s'expliquer par la diversité du couvert végétal qui offre l'alimentation et refuge à une importante variété de la processionnaire.

Le climat est un facteur important agissant sur l'abondance des populations de *Thaumetopoea* qui dominant largement en période automnale et hivernale. La chenille processionnaire du pin se rencontre dans tous les pays de la méditerranée occidentale et se répand actuellement dans les latitudes supérieures probablement en réponse au changement climatique avec des températures hivernales croissantes (**Huchon et Démolin, 1970 ; Battisti et al., 2005 et Robinet et Roques, 2010**). En outre, il est probable que les différents facteurs climatiques, jouent un rôle très important dans la forte attaque de la chenille processionnaire

Plusieurs études ont montré l'impact du réchauffement climatique sur le déplacement des limites d'aires de répartition des espèces (**Hickling et al., 2006; Root et al., 2003**) et plus particulièrement des lépidoptères (**Parmesan et al., 1999; Poyry et al., 2009**). De ce fait, de nouvelles espèces arrivent dans un milieu déjà occupé et peuvent se révéler être des prédateurs ou des compétiteurs d'espèces autochtones et perturber les écosystèmes dans

lesquels elles se sont introduites (**Bando, 2006; Garcia-Serrana et al., 2007; Kenis et al., 2009; Walther et al., 2009**).

Nous pouvons également noter que le type de plantation (naturelle/reboisement) puisse influencer sur l'abondance des nids de la processionnaire dans les trois stations de sorte que la plantation naturelle est moins attaquée que celle de l'artificielle au motif qu'elle est dense et par conséquent l'absence des endroits éclairés et ensoleillés. De plus, l'âge et la taille des arbres se varient dans la même plantation naturelle à cause de la régénération de nouvelles plantules chaque an, autre motif très intéressant se manifeste par la présence des espèces auxiliaires (ennemis naturels) participant dans la lutte biologique contre la processionnaire.

3.1.2. Tendance du nombre et positionnement des nids d'hiver selon les directions cardinales

La répartition des nids d'hiver selon les points cardinaux diffère d'un niveau à un autre. Le maximum des nids d'hiver dans les pineraies de Bordj Bou Arréridj et Mansoura est observé au secteur Sud avec respectivement un nombre de 10 et 9 nids suivi par le secteur Est avec 6 nids pour chacune des pineraies, par ailleurs le nombre de nids est quantitativement moindre au niveau du secteur Nord et Ouest. Contrairement aux résultats obtenus dans le site de et Ras El Oued qui présentent une orientation maximale des nids d'hiver au secteur Est avec 9 nids et une orientation vers le versant Sud avec 4 nids, les versants Nord et Ouest sont caractérisés par la présence d'un nombre de nids réduit que celui des autres deux versants. Ces résultats ont été confirmés par les études de **Hammache (1985)** et (**Benyettou, et al 2014**), qui ont trouvé que le taux d'infestation de la mouche d'olive est plus élevé au niveau du secteur Sud suivi par le secteur Est, si nous prenons en considération que la chenille processionnaire du pin et la mouche d'olive (les ravageurs) présentent le même comportement vis-à-vis chaque plante hôte correspondante. Nous pouvons aussi justifier cela que la processionnaire du pin préfère les versants ayant une longue durée d'exposition et d'intensité du soleil, et c'est ce qui caractérise les deux secteurs Sud et Est.

3.2. Evaluation des teneurs des composés biochimiques foliaires

La défoliation par un herbivore peut causer une réaction de défense de la part de la plante attaquée (**Haukioja, 1990; Nykanen et Koricheva, 2004**). Cette réaction peut se traduire par une diminution de la qualité de la nourriture pour le défoliateur (**Smits et Larsson, 1999**). Ce changement pourra engendrer une diminution de la population de l'herbivore en question. Cette modification des qualités nutritives du feuillage est appelée réponse induite, donnée plusieurs fois comme explication à l'arrêt des phases éruptives des insectes (**Battisti, 1988; Hodar et al., 2004**). Il a été montré que chez le pin sylvestre, une défoliation par la processionnaire du pin avait un impact sur la survie des chenilles qui se développaient l'année suivante sur ces mêmes pins (**Hodar et al., 2004**). La réponse induite d'un végétal n'est pas spécifique à son agresseur et les changements dans la qualité des aiguilles pourront toucher d'autres espèces s'en nourrissant (**Hodar et al., 2004**).

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées par les plantes autotrophes (**Boudjouref, 2011**). Ce sont caractérisés généralement par de faible concentration dans les tissus végétaux (généralement quelques pourcents du carbone total, si on exclut la lignine de cette catégorie) (**Newman et Cragg, 2012**). Aussi n'exercent pas de fonction directe au niveau des activités fondamentales de la plante (**Guignard, 1996**). Ces métabolites sont biosynthétisées à partir de métabolites primaires et jouent un rôle majeur dans les interactions de la plante avec son environnement, contribuant ainsi à la survie de l'organisme dans son écosystème (**Peeking et al., 1987**).

Une analyse phytochimique permet de déterminer qualitativement les composés non nutritifs mais biologiquement actifs qui confèrent la saveur, la couleur et d'autres caractéristiques à la plante. C'est pour cela que les plantes des zones arides produisent plusieurs types de métabolites secondaires afin de se défendre et pouvoir subsister aux contraintes imposées par le climat et le milieu. Cependant, les sécheresses provoquent souvent une augmentation de la concentration en certains composés secondaires dans les tissus des plantes (**Rira, 2006**).

Les résultats quantitatifs des flavonoïdes, révèlent que leur teneur est importante chez les arbres infestés dans pratiquement les trois stations, nous notons que les plantes réagissent aux agressions de l'environnement en augmentant la production des flavonoïdes, ces composés phénoliques peuvent être soumis à l'importantes fluctuations face à des agressions (**Young et al., 1997; Carpenter et Smith, 1975**). Les teneurs élevées en composés

phénoliques par comparaison aux flavonoïdes sont logiques étant donné que les flavonoïdes représentent les composés majoritaires des polyphénols (**Boussahel, 2011**). Ceci peut être aussi expliqué par une augmentation du métabolisme phénolique de la plante; en plus, l'existence d'une liaison avec les conditions climatiques défavorables et les conditions de collections telles que les températures élevées, la durée d'exposition solaire, la nature du sol et la saison de croissance (**Djeridane et al., 2005**).

Dans une étude sur extraits de feuilles de *Cleome arabica* montrant que cet extrait est riche en flavonoïdes qui sont estimés à $245,6 \pm 4,67$ mg équivalent de quercétine/g MS (**Tigrine, 2014**). D'autres études s'accordent avec les résultats ont confirmé que la plante *Cleome arabica* est riche en ces composés phénoliques (**Bouriche et al., 2003; Ismail et al., 2005; Djeridane et al, 2010**). Ceci pourrait être dû aux conditions environnementales (**Fahmi et al., 2013**).

Selon **Ismail et al, (2005)** les parties aériennes, les feuilles et les tiges de *Cleome arabica* sont très riche en flavonoïdes. En effet, les flavonoïdes jouent un rôle dans la coloration des végétaux (**Ribéreau-gayon et Peynaud, 1968**), Aussi, ils possèdent des rôles très importants dans les plantes dont elles protègent les plantes contre le stress hydrique et génèrent une tolérance des plantes aux métaux lourds présents dans les sols.

Les résultats montrent que les composés polyphénoliques sont abondants chez les arbres sains que les arbres attaqués dans les trois sites.

Dans une étude sur les feuilles de *Cleome arabica* L (EFCA) montre que cet extrait est relativement riche en polyphénols, avec un taux de $322,1 \pm 3,44$ mg équivalent d'acide gallique/g MS (**Tigrine, 2014**). Ceci peut-être lié à la distribution des métabolites secondaires qui peut-être changé pendant le développement de la plante, aussi aux conditions climatiques dures (la température élevée, exposition solaire, sécheresse, salinité), qui stimulent la biosynthèse des métabolites secondaires tels que les polyphénols (**Falleh et al., 2008**). En plus l'organe analysé, la région et la date de la récolte, la méthode d'extraction et les solvants qui sont utilisés (**Tirichine, 2010**). En effet, la teneur phénolique d'une plante dépend d'un certain nombre de facteurs intrinsèques (génétiques) et extrinsèques (les pratiques culturelles, la maturité à la récolte et les conditions de stockage) (**Podsdek, 2007**). En plus, la méthode de quantification peuvent également influencer l'estimation de la teneur des phénols totaux (**Lee et al., 2003**).

3.3. Évaluation de l'allocation des réserves énergétiques de *T pityocampa* Schiff

Les protéines, les lipides (triglycérides) et les glucides (glycogène) constituent les ressources énergétiques des insectes (**Wigglesworth, 1942 ; Locke et Collins, 1968**). La majeure partie de ces réserves énergétiques se trouve sous forme de lipides (**Arrese et Soulages, 2010**). 90 % de ces lipides consistent en des triglycérides qui possèdent un pouvoir calorique par unité de poids supérieur à celui du glycogène (**Gnaiger, 1983**). En revanche, les réserves en glycogènes sont mobilisées au cours des cycles de mues et de la métamorphose (**Hamburger et al, 1996**).

Chez les insectes, chaque stade biologique présente une allocation énergétique spécifique selon ses besoins et selon que l'insecte est holométabole ou hétérométabole. Chez les lépidoptères, les réserves à l'éclosion sont suffisantes pour permettre le développement des larves. Au moment de la nymphose, les réserves de la larve suffisent à assurer la métamorphose. La biomasse structurelle de la larve est ainsi convertie en réserves d'énergie pour la nymphe (**Kooijman, 2000**). Les réserves énergétiques fournissent des explications évolutives sur les traits d'histoire de vie et élucident le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance, au maintien des fonctions somatiques et à l'effort de reproduction (**Roff, 1992**).

Dans ce contexte, nous avons estimé la teneur des réserves énergétiques de la chenille processionnaire, pour savoir sur quelle base, les différents individus de la colonie de *T. pityocampa* Schiff choisissent un chef, qui est généralement une femelle, afin de diriger la procession vers le sol.

Les résultats obtenus révèlent des variations très hautement significatives pour les différents composés (lipides, glucides et protéines) chez les individus collectés lors de la procession à savoir F1, F2 et F3.

La variation est en faveur des lipides ensuite des glucides chez les F1 et F2 contrairement à la F3, cette dernière a enregistré une quantité très importante des glucides. La teneur des protéines enregistre les taux les plus faibles pour les trois individus

Selon **Yu, (1984)** Les réserves énergétiques glucidiques sont sollicitées pour les fonctions somatiques et de mobilité. Alors que, la disponibilité des lipides et du glycogène semble être le résultat d'une balance entre la prise de nourriture et les demandes de réserves

pour la croissance et la reproduction. Mais, les teneurs élevés en réserves glucidiques quantifiées chez les chenilles laissent supposer que la chenille processionnaire pourrait privilégier l'utilisation des glucides et non pas des lipides comme c'est le cas de F3, et d'après les résultats concernant ses réserves énergétiques, dans le cas où l'individu présente une quantité des glucides plus élevée que les lipides et les protéines, donne probabilité qu'il est du sexe mâle et non pas une femelle, qui est chargée d'assurer la reproduction et la progéniture. Le glycogène constitue, en effet, une réserve importante d'énergie pour les phases de mue et de métamorphose ainsi que pour le stade adulte, au cours duquel le chironome ne s'alimente pas (**Hamburger et al, 1996**).

L'importance des teneurs en lipides par rapport à celles des glucides aussi bien chez la processionnaire du pin. Il semblerait que les chenilles investissent cette accumulation des lipides au profit du rétablissement de l'homéostasie ainsi que leur rôle dans la formation des spermatozoïdes et des ovocytes durant la gamétogenèse. L'utilisation des lipides comme source d'énergie induit un phénomène de lipolyse permettant aux organismes de les dégrader afin de produire l'énergie nécessaire à leur métabolisme de base (réaction enzymatique, synthèse moléculaire,...etc) (**Gismondi, 2012**).

La diminution statistiquement significative des réserves en glucides pourrait être expliquée par une augmentation de l'activité larvaire.

Les protéines ont également été quantifiées dans cette étude, les résultats montrent que leurs teneurs sont moyennement faible pour toutes les chenilles, cela est dû pour le fait que ces réserves sont généralement les dernières utilisées durant son cycle biologique. En effet, le catabolisme des protéines peut fournir de l'énergie lors d'une forte demande énergétique (**Ribeiro et al, 2001**).

Conclusion

L'objectif de ce travail était d'étudier quelques aspects bioécologiques de la chenille processionnaire qui feront l'objet d'une stratégie de biosurveillance et de mesures prophylactiques avant l'installation des reboisements et même avant l'utilisation d'une méthode de lutte efficace.

Le choix des trois sites de travail s'est basé sur le type de plantation (artificielle, naturelle) et les différences altitudinales ; Ras el Oued (forêt de Kraïm Said), Bordj Bou Arreridj (forêt de Djehaïfa) et Mansoura (forêt de Sidi Makhlouf).

Les chenilles de *T. pityocampa* s'attaquent aux arbres du pin d'Alep *P. halepensis* quelque soit la région et l'altitude, car il existe une ressemblance dans l'abondance des nids d'hiver dans les trois sites étudiés avec leurs différences altitudinales.

Les résultats obtenus par l'analyse phytochimique des composés phénoliques (polyphénols et flavonoïdes) montrent d'une part, que les polyphénols sont abondants chez les arbres sains plus que les arbres attaqués dans les trois sites, contrairement aux teneurs des flavonoïdes qui présentent des valeurs plus importantes chez les arbres infestés par rapport aux arbres sains.

En ce qui concerne les réserves énergétiques, ces dernières ont enregistré des variations très hautement significatives pour les différents composés (lipides, glucides et protéines) chez les individus collectés lors de la procession à savoir F1, F2 et F3. La variation est en faveur des lipides ensuite pour les glucides chez les F1 et F2 contrairement à la F3. Le taux des protéines est plus faible pour les trois individus.

Les recherches se poursuivent sur du long terme pour valider les résultats acquis mais aussi pour développer d'autres stratégies et la combinaison de plusieurs techniques de régulation de la processionnaire du pin en lien avec un suivi des niveaux de population sera la meilleure approche pour répondre aux enjeux sociétaux, environnementaux et économiques.

A titre préventif, dans les futurs projets de reboisements, les attaques de ce ravageur pourraient être limitées par des techniques de lutte efficaces et/ou par la sélection des génotypes les plus résistants surtout pour les espèces introduites et même la collecte d'un maximum des enquêtes comprenant toutes les caractéristiques climatiques, exposition géographique, le type du sol, les bulletins des taux d'infestations des années précédentes et

même des prévisions pour les ans à venir avant installer les futurs reboisements. Nous pensons que cette voie doit être poursuivie, mais elle ne doit pas l'être par le chercheur biologiste seul. Nous croyons qu'il est tout à fait indispensable, si l'on veut tirer partie à plein des agents biologiques, que l'industrie s'intéresse à leur production et que l'on en arrive à mettre au point des choses aussi simples, aussi faciles d'emploi que ce qui a été fait avec *Bacillus thuringiensis*.

La connaissance des phénomènes biologiques au niveau des insectes nuisibles est évidemment fondamentale, c'est un moyen permettant d'empêcher l'apparition de la diapause dans les populations naturelles, il est ainsi possible d'obliger des chenilles à continuer leur développement pendant la période hivernale qui leur est défavorable, et entraîner ainsi une mortalité pouvant atteindre 90%. Ce qui également à retenir, c'est que la lutte biologique a encore des progrès à faire, et qu'il y a beaucoup d'autres choses qui devront être étudiées dans les années à venir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Aberkane S., 1977** : Le cycle biologique de la processionnaire du pin (*Thaumtopoea pityocampa* Schiff), Mémoire d'ing. Ins. Nat. Agro. Alger : 47 p.
2. **Akroum S., 2011**: Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels. Thèse de Doctorat en sciences. Université Mentouri de Constantine. Algérie. 113 p.
3. **Amiard-Triquet C. & Amiard J. C., 2008**: Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Lavoisier Tec et Doc, Paris, pp. 1-16.
4. **Ammari Y., Sghaier T., Khaldi A. & Garchi S., 2001** : Productivité du pin d'Alep en Tunisie : Table de Production. *Annales de L'INGREF* N° Spécial. Pp : 239-246.
5. **Arrese. E.L., et Soulages. J.L., 2010**: Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology* 55, 207–225.
6. **Auger J., Dugravot S., Naudin A., Abo-ghalia A., Pierre D. & Thibout E., 2002** : Utilisation des composés allelochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides, *Use of pheromones and other semiochemicals in integrated production IOBC wprs Bulletin* Vo.: 25.
7. **Bando K.J., 2006**: The roles of competition and disturbance in a marine invasion. *Biological Invasions* 88: 755-763 p.
8. **Battisti A., 1988**: Host-plant relationships and population-dynamics of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermuller). *Journal of Applied Entomology-Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie* 105, 393–402.
9. **Battisti A., Stastny M., Buffo E., Larsson S. & 2006** : A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology* 12, 662–671
10. **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.
11. **Baudrimont M., Metivaud J., Maury-Brachet R., Ribeyre F. & Boudou A., 1997** : Bioaccumulation and metallothionein response in the asiatic clam (*Corbicula fluminea*) after experimental exposure to cadmium and inorganic mercury. *Environ. Toxicol. Chem.*, 16: 2096-2105.
12. **Beaumont A. & Cassier P., 1983** : Biologie animale des protozoaires au métazoaires. Tome II : 812-816 p.
13. **Benhammou N., 2011**: Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-Ouest Algérien. Thèse de Doctorat en biologie. Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen. Algérie. 113 p.
14. **Bentouati A., 2006**: Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinushalepensis* Mill.) du massif de OuledYagoub (Kenchela-Aurès). Mémoire Doctorat. AGRO BATNA. 116 p.
15. **Benyettou K. & Khelifi H. 2014**: LA bioécologie de la mouche d'olive *Bactrocera oleae* dans deux stations de Bordj Bou Arréridj (el Euch, Belimour), Mémoire Master niotecnologie et protection des végétaux. 59 – 60p.

Références Bibliographiques

16. **Bertella N., 1980** : La processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) dans la région de Batna. Mémoire d'ing. Ins. Nat. D'Agro. Alger : 56 p.
17. **Bhavan P. S. & Geraldine P., 1997**: Alterations in Concentrations of Protein, Carbohydrate, Glycogen, Free Sugar, and Lipid in the Prawn *Macrobrachium malcolmsonii* on Exposure to Sublethal Concentrations of Endosulfan. *Pestic. Biochem. Phys.*, 58: 89–101.
18. **Blem C. R., 1992** : Lipid reserves and body composition in postreproductive anurans. *Comp. Biochem. Physiol. Part A*, 103: 653–656.
19. **Boizot N., Charpentier J-P., 2006** : Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cah. Tech. INRA. N° special.* pp. 79-82.
20. **Boudjouef M., 2011**: Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris* L. Thèse de Magister en Biochimie. Université Ferhat Abbes, Sétif. Algérie. 99 p.
21. **Boudy P., 1950** : Economie forestière Nord-africaine, monographie Tome II, Ed. Larose : 248-249 p.
22. **Boudy P., 1952** : Guide du forestier de l'Afrique du Nord. Ed. Maison rustique. Paris : 505 p.
23. **Bouguenna S., 2011**: Diagnostic écologique, mise en valeur et conservation des pineraies de *Pinushalepensis* de la région de Djerma (Nord-est du parc national de Belezma, Batna).
24. **Bouriche H., Selloum L., Tigrine C. & Boudoukha C., 2003**: Effect of *Cleome arabica* Leaf Extract on Rat Paw Oedema and Human Neutrophil Migration. *Pharmaceutical Biology*. Vol. (41): 10-15.
25. **Boussahel S., 2011** : Étude biochimique et histologique de l'effet de quelques extraits des plantes toxiques dans la région de Sétif. Thèse de Magister en Biologie et Physiologie végétale. Université Ferhat Abbes, Sétif. Algérie. 86 P.
26. **Brahmi F., 1976** : Contribution à l'étude biologique de la processionnaire du pin et sa destruction dans la région de Médéa. Thèse. Ing .I.N.A. Alger :38-40 p.
27. **Bradford M., (1976)** : *Anal. Biochem.* 72, :248 - 256
28. **Brochiero F., Chandiox O., Ripert C. & Vennetier M., 1999.** : Autoécologie et croissance du pin d'Alep a provence calcaire. *Rev. For. Med. TXX. N+2* : 83-93.
29. **Bruneton J., 1999** : Pharmacognosie, phytochimie. Plantes médicinales. Ed. Technique et Documentation. 3éme ed, Paris. France. 1120p.
30. **Calow P., 1991** : Physiological costs of combating chemical toxicants: ecological implications. *Comp Biochem. Physiol. C* 100: 3-6.
31. **Carpenter S.B. & Smith N.D., 1975** : Stomatal distribution and size in southern Appalachian hardwoods. *Canadian Journal of Botany*. Vol. (53): 1153–1156.
32. **C.F.B.B.A., 2016** : Conservation des foreets de Bordj Bou Arréridj, Service Statistique.
33. **Chakroun M.L., 1986.** : Le pin d'Alep en Tunisie. *Options Méditerranéennes*. Série Etude CIHEAM 86/1, 25-27.
34. **Cherak I., 2010** : Facteurs d'échec et de réussite des reboisements de pin d'Alep dans trois stations : Ain-Touta, Tazoult et Bouilef. Mémoire de Magistère, Sciences agronomiques. 4p.
35. **Chinery M., 1982** : Insectes d'Europe. Ed. Bordas. France : 200 p.
36. **Couhert B. & Duplat P., 1993** : Le pin d'Alep. Rencontres forestiers-chercheurs en forêt méditerranéenne. La Grande-Motte (34), 6-7 octobre 1993. *Ed. INRA, Paris 1993. (Les colloques n° 63)*, 125-147.

Références Bibliographiques

37. **Dagnelie P., 1975** : Théorie et méthodes statistiques . Applications agronomiques. Vol. 2. Les presses agronomiques de Gembloux. 463 p.
38. **Dajoz R., 1980** :Ecologie des insectes forestiers. Ed. Gauthier-Villars : 155-172 p.
39. **Dajoz R., 1998** : Les insectes et la forêt : role et diversité des insectes dans le milieu forestier. Ed. Tec & Doc. Paris : 269-272 p.
40. **Dehpeur M. A. Ibrahimzadeh N. Seyed Fazel & Seyed M., (2009)**: Antioxydant activity of the methanol extract of *Ferula assafoetida* and its essential oil composition. *Grasas Y Aceites*. Vol. 60. pp. 405-412.
41. **Demolin G., 1962**:Comportement des adultes de *Thaumatococcus panyocampa* Schiff. Comptes rendu hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. N225 : 2838-2839.
42. **Demolin G., 1975** : Journée de phytiatrie et de phytopharmacie ciirucum Méditerranéen ; Montplier : 457-460 p.
43. **Demolin G. & Millet A., 1981** : Essais des insecticides contre la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera-thaumetopoeidae). Action comparative des différentes spécialités commerciales, *Bactospeine, Dipel, Thuricide et Dimilin*. *Ann. Sci. For.* , 38(3), : 389-404 p.
44. **Demolin, G. & Rive´ J. L., 1968** : La processionnaire du pin en Tunisie Les Annales de l'INRF Tunisie, 1(1), 1–19.
45. **Djeridane A., Yousfi M., Brunel J. M. & Stocker P., 2010**: Isolation and characterization of a new steroid derivative as a powerful antioxidant from *Cleome arabica* in screening the in vitro antioxidant capacity of 18 Algerian medicinal plants. *Food Chem Toxicol*. Vol. (48): 2599–606.
46. **Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna A., Stocker C. & Vidal N., 2005**: Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chem*. Vol. (97): 654–660.
47. **Doly ., Clara., 2007**: Biomarqueur en écotoxicologie: application à la surveillance de l'environnement marin. Master SGT, Promotion, 73p.
48. **Dulaurent A., 2010** : Effet de la diversité des essences forestières sur les niveaux de population de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), à différentes échelles spatiales, dans la forêt des Landes de Gascogne. Mémoire doctorat, Sciences et environnement, Bordeaux. 17p.
49. **Durou C., 2006** : Recherche d'indicateurs de l'état physiologique de l'«annélide polychète endogée Nereis diversicolor en relation avec la qualité du milieu. Thèse de Doctorat en Ecotoxicologie, Université de Nantes. 201 pages.
50. **Edenharder R. & Grünhage D., 2003**: Free radical scavenging abilities of flavonoids as mechanism of protection against mutagenicity induced by tertbutyl hydroperoxide or cumene hydroperoxide in *Salmonella typhimurium* TA102. *Mutat. Res*. Vol. (540): 1–18.
51. **Eurasante., 2005** : Les biomarqueurs dans le développement du médicament, les études Eurasanté, 44p. FAO (Comité de Lutte le Criquet Pèlerin). 2006. Examen des Questions concernant la Santé Humaine et l'Environnement, Rome 38^{ème} session, 54p.
52. **Fahmi F., Tahrouch S. & Hatimi A., 2013**: Geoclimatic influences on flavonoids contents of the leaves of the argan tree Influences géoclimatiques sur la composition en flavonoides des feuilles de l'arganier *Argania spinosa*. *J. Mater. Environ. Sci*. Vol. 4 (6): 881-886.

53. **Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M., Abdely C., 2008:** Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities, *C. R. Biologies*. Vol. (331). 372-379.
54. **Fraenkel G. S., 1959** – The raison d'être of secondary compounds. *Science* ; vol. 129, pp. 1466-1470.
55. **Frontier S., 1983** : Stratégie d'échantillonnage en écologie. *Ed.Masson*, Paris et Les Presses de l'Université de Laval, Québec, 494 p.
56. **Garcia-Serrana H., Sans F.X., & Escarre J. 2007:** Interspecific competition between alien and native congeneric species. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 31, 69-78
57. **Geret F., Serafim A. & Bebianno M. J., 2003:** Antioxidant enzyme activities, metallothioneins and lipid peroxidation as biomarkers in *Ruditapes decussatus*? *Ecotoxicology*, 12: 417–426.
58. **Girardet P., 1985** : Guide de botanique forestière. 3^{ème} Ed. Nancy. E.N.E.F.: 241p.
59. **Gismondì. E., 2012** : Étude des systèmes de défenses antitoxiques chez l'amphipode *Gammarus roeseli*: effets du parasitisme et d'une exposition au cadmium. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 310 p.
60. **Gorham J., 1977:** Lunularic acid and related compounds in liverworts, algae and hydrangea. *Phytochemistry*. Vol. (16):249-253.
61. **Gnaiger E., 1983:** Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. *Polarographic Oxygen Sensors. Aquatic and Physiological Applications*. H.Forstners and E. Gnaiger Ed. Springer, Berlin. 337–345.
62. **Guignard JL., 1996** : Biochimie végétale. Ed. Masson, Paris. France. 274 p.
63. **Guisande C., Toja J. & Mazuelos N., 1991:**The effect of food on protein content in rotifer and cladoceran species: a field correlational study. *Freshwater Biol.*, 26: 433–438.
64. **Hamburger. K., Lindegaard. C. et Dall. P. C., 1996** : The role of glycogen during the ontogenesis of *Chironomus anthracinus* (Chironomidae, Diptera). *Hydrobiologia* 318, 51–59.
65. **Hammer O., Harper D.A.T., & Rayan P. D., 2001** : PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Pelaeontologia Electronica* (1): 9p.
<https://pelaontologiaelectronica.org/2001%201/past/issu1%2001/htm>.
66. **Hammache M., 1985:** Entomofaune d'olivier dans la région d'Aomar à Bouira et étude bio écologique de *Dacus oleae* (Diptera - Tephritidae). Thèse. Ing. INA. El Harrach, Alger. 79P.
67. **Harborne J.B., 1980:** Plant Phenolics: Encyclopedia of Plant Physiology. *New series*. Vol. (8): 329-402.
68. **Hashemi S., Blust R., De Boeck G. & 2008:** Combined effects of different food rations and sublethal copper exposure on growth and energy metabolism in common carp. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 54: 318–324.
69. **Haukioja E., 1990:** Induction of defenses in trees. *Annual Review of Entomology* 36, 25–42.
70. **Hennebelle T., Sahpaz S. & Bailleul F., 2004:** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*. Vol (1): 3-6.
71. **Hickling R., Roy D.B., Hill J.K., Fox R. & Thomas CD., 2006:** The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12, 450–55.
72. **Hodar J.A., Zamora R., 2004:** Herbivory and climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodivers. Conserv.* 13, 493–500.

73. **Holloway G.J., Sibly R.M. & Povey S.R., 1990:** Evolution in toxin-stressed environments. *Func. Ecol.* 4, 289-294.
74. **Huchon H. & Demolin G., 1970 :** La bioécologie de la processionnaire du pin dispersion potentielle-dispersion actuelle. F ; F ; XXII. Spécial la lutte biologique en forêt : 220-234 p.
75. **Ismail I.S., Ito H., Selloum L., Bouriche H. & Yoshida T., 2005:** Constituents of *Cleome arabica* leaves and twigs. *Natural Medicine*. Vol 59(1): 53.
76. **Jaquiot A., 1955 :** Atlas d'anatomie des bois des conifères, centre technique du bios. (241) : 318 p.
77. **Kadik B., 1987:** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie. *Ecologie, dendrométrie, Morphologie*. O.P.U. Alger : 50-145 p.
78. **Kadik B., 1987 :** Les espèces ligneuses à usage multiple de la zone méditerranéenne, Rapport de mission, Saragosse, Espagne : 41p.
79. **Kenis, M., Auger-Rozenberg M., Roques A., Timms L., Pere C., Cock M., Settele J., Augustin S., & Lopez-Vaamonde C. 2009:** Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions* 11:21–45.
80. **Kennedy J.S., 1965 :** Mechanisms of host plant selection. *Ann. Appl. Biol.* 56: 317-322.
81. **Kogan M., 1975:** Plant resistance in pest management. In *Introduction to insect pest management*, ed. W. a. Sons; New York, pp. 103-146.
82. **Kooijman. S.A.L.M., 2000:** Dynamic energy and mass budgets in biological systems. Cambridge University Press.
83. **Kosalec I., Bakmaz M., Pepeljnjak S. & Vladimir-knezevic S., 2004:** Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta. Pharm.* Vol. (54): 65-72.
84. **Lafontaine Y., Gagné F., Blaise C., Costan G., Gagnon P. & Chan, H., 2000 :** Biomarkers in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) for the assessment and monitoring of water quality of the St Lawrence River (Canada). *Aquatic Toxicology* 50(1): 51-71.
85. **Lagadic L., Caquet T. & Amiard J.C., 1997 :** biomarqueurs en écotoxicologie : principes and définitions. In : Lagadic, L., Caquet, T., Amiard, J.C., Ramade, F. (Eds.), *Biomarqueurs en écotoxicologie: aspects fondamentaux*. Masson, Londres, Paris, New York, pp. 1-9 .
86. **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 .
87. **Lautrech N. B. 1982 :** Cours de sylviculture approfondie. I.N.A. Alger : 22 p.
88. **Lee K.W., Kim Y.J., Lee H.J. & Lee C.Y., 2003:** Cocoa Has More Phenolic Phytochemicals and a Higher Antioxydant Capacity than Theas and Red Wine. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. Vol. (3): 7292-7295.
89. **Le Gal Y., Lagadic L., Le Bras S. & Caquet T., 1997:** Charge énergétique en adénylates (CEA) et autres biomarqueurs associés au métabolisme énergétique. *Biomarqueurs en Ecotoxicologie: Aspects Fondamentaux*. L. Lagadic, Caquet, T., Amiadr, J.-C. and Ramade, F. Paris, Masson Editeur. Collection d'Ecologie: 241-285.
90. **Lequet A., 2010 :** Les pages entomologiques d'André Lequet. Mise à jour le 05 Décembre 2010 [<http://www.insectes-net.fr/>].

91. Lindner M., Garcia-Gonzalo J., Kolstroöm M., Green T., Reguera R., Maroschek M., Seidl R., Lexer M.J., Netherer S., Schopf A., Kremer A., Delzon S., Barbati A., Marchetti M. & Corona P., 2008. :Impacts of climate change on European forests and options for adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development, November 2008.
92. Locke. M. et Collins. J. V., 1968 : Protein uptake into multivesicular bodies and storage granules in the fat body of an insect. *The Journal of Cell Biology* 36, 453–483.
93. Louis S. 2004 – Diversité structurale et d'activité biologique des albumines entomotoxiques de type 1b des graines de légumineuses. Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 260p.
94. Macheix J.J., Fleuriet A. & Sarni-manchado P., 2006: Les Polyphénols en agroalimentaire. Ed. Tec et Doc, Paris. France. Pp:1-28.
95. Maire R., 1962: Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Avec notice Alger : 78 p.
96. Makhouloufi L. & Sadi S., 2002: Impact de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) sur la croissance du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans la région de Ain-Abessa (Sétif). Mémoire d'ing. Biologie Sétif. 24p.
97. Martin J.C., 2005: La processionnaire du pin : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis et Schiffermüller). Biologie et protection des forêts. Synthèse des recherches bibliographiques et des connaissances, INRA Avignon.
98. Martin J.C., 2007: La chenille processionnaire du pin. In : *Dossier : la chenille processionnaire du pin*. [http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/zoologie-1/d/la-chenille-processionnaire-du-pin_700/c3/221/p3/].
99. Mayer F. L., et al., 2002: Physiological and nonspecific biomarkers. In biomarkers : Biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress, ed. R.J. Huggett, R. A. Kimerle, P. M J. Mehrle, and H. L. Bergman, 5-85. SETAC Special Publication Series. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
100. Maziliak P., 1982: Physiologie végétale. Tome II. Nutrition et métabolisme. Ed. Hermann. Paris : 348p.
101. Meddour H., 1982: Contribution à l'étude de la croissance du *pinus halepensis* Mill. En relation avec les groupements végétaux dans la forêt de Bainem. I.N.A. Mémoire d'ing . Agro : 66 p.
102. Mezali M., 2003: Rapport sur le secteur forestier en Algérie. 3ème session du forum des Nations Unis sur les forêts, 9 p.
103. Montero G., Canellas I. & Ruis-Peinado R., 2001: Growth and Yield models for *Pinus halepensis* Mill. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.*, 10 (1), 24 p.
104. Nahel E., 1962 : Le pin (*Pinus halepensis* Mill.). Etude taxonomique, phyto-écologie, écologie et sylvicole. *Ann. E.W.E.F. Tom XIX. Fasci 4* : 192-208.
105. Newman D.J., & Cragg G.M., 2012 : Natural Products As Sources of New Drugs over the 30 Years from 1981 to 2010. *J. Nat. Prod.* Vol. (75): 311-335.
106. Nichane M., Bouchikhi Z.T. & Mohamed Anouar Khelil M.A., 2012: Contribution à l'étude de l'entomofaune de quelques espèces résineuses de la région des traras occidentaux (Tlemcen – Algérie). *Lebanese Science Journal*, Vol. 14, No. 2, 2012.

Références Bibliographiques

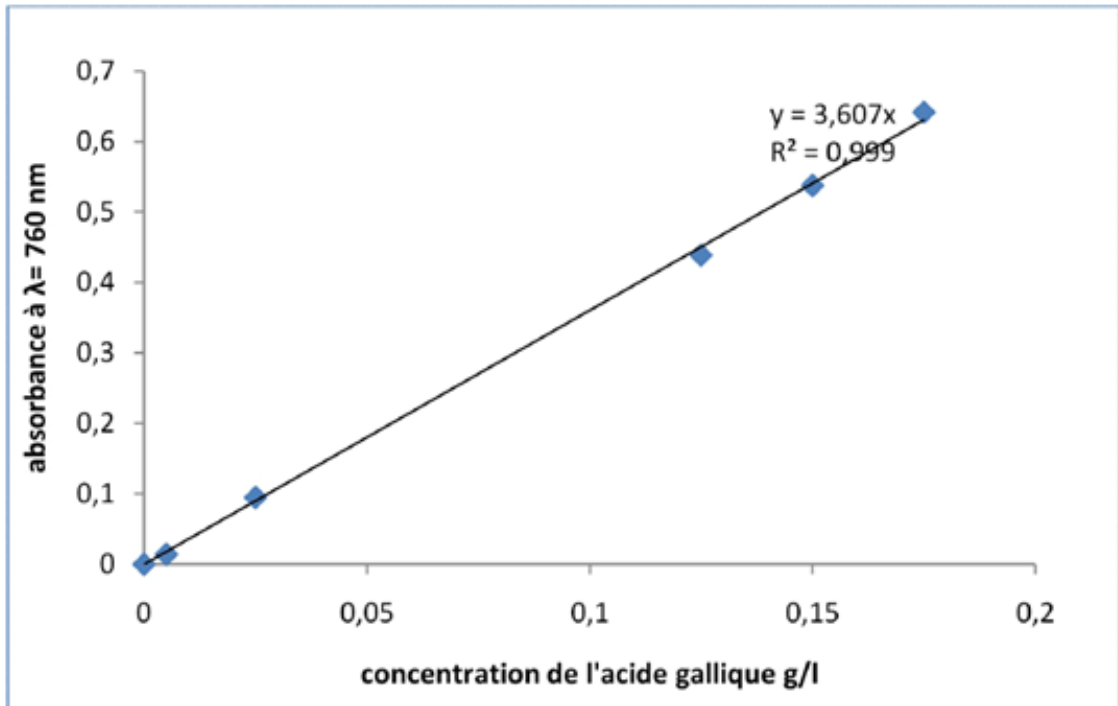
- 107.Nykanen H. & Koricheva J., 2004:** Damage-induced changes in woody plants and their effects on insect herbivore performance: a meta-analysis. *Oikos* **104**, 247–68.
- 108.Painter R. H., 1951:** Insect resistance in crop plants: University of Kansas Press. 520 p.
- 109.Parde J., 1957:** La productivité des forêts de pin d'Alep en France. *Ann. E.N.E.F de la Stat. Rech. Expér.* **15** (2), 367-414.
- 110.Parmesan C., Ryrholm N. & Stefanescu C., 1999:** Polewardshifts in geographic ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, **399**, 579–583.
- 111.Perrin H.,1985:** Théorie et pratique des techniques sylvicoles. 2^{ème}.Ed. : 35-37 p.
- 112.Peeking A., Picand B., Hacene K., Lokiec F. & Guerin P., 1987 :** Oligimères procyanidoliques (Endotélon) et système lymphatique. *Artères et Veines. Publications médicales AGCF.* Vol. (6): 512-513.
- 113.Plaistow S.J., Bollache L. & Cézilly F., 2003:** Energetically costly precopulatory mate guarding in the amphipod *Gammarus pulex*: causes and consequences. *Animal Behaviour* **65**(4): 683 691.
- 114.Printes L.B. &Callaghan A., 2003:** Interclonal variability in *Daphnia* acetylcholinesterase activity: the implications for its applicability as a biomarker. *Environ. Toxicol. Chem.*, **22**: 2042–2047.
- 115.Podsedek A., 2007:** Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT.* Vol. (40):1-11.
- 116.Poyry J., Luoto M., Heikkinen R.K., Kuussaari M. & Saarinen, K. 2009:** Species traits explain recent range shifts of Finnish butterflies. *Global Change Biology*, **15**, 732-743.
- 117.Quezel P., 1980:** Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen actualités d'écologie forestière sol, flore, faune. Ed. Gauthier villars. Paris : 205-255.
- 118.Quezel P., 1986:** Les pins de groupes halepensis ; Ecologie, Végétation. Ecophysiologie. Ed. Gauthier villars. Paris : 822p.
- 119.Quezel P. & Barbero M., 1992:** Le Pin d'Alep et les essences voisines : Répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France Méditerranéenne. *Forêt Méditerranéenne*, **XIII**(3), 158-170.
- 120.Rambabu J. P.& Rao M. B., 1994:** Effect of an organochlorine and three organophosphate pesticides on glucose, glycogen, lipid, and protein contents in tissues of the freshwater snail *Bellamya dissimilis* (Müller). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **53**: 142–148.
- 121.Ribereau-gayon J. & Peynaud E., 1968:** Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Édition Dunod, Paris. France. 254 p.
- 122.Ribeiro S., Sousa J. P., Nogueira A. J. A. & Soares A. M. V. M., 2001:** Effect of endosulfan and parathion on energy reserves and physiological parameters of the terrestrial isopod *Porcellio dilatatus*. *Ecotox. Environ. Safe.*, **49**: 131–138.
- 123.Rira M., 2006 :** Effet des polyphénols et des tanins sur l'activité métabolique du microbiote ruminal d'ovins. Thèse de Magister en biochimie et microbiologie appliquées, Université Mentouri Constantine, Algérie. 94 p.
- 124.Rivière J., 2011:** Les chenilles processionnaires du pin : évaluation des enjeux de santé animale. Thèse doctorat vétérinaire .La faculté de médecine de Créteil France.206 p.

- 125. Robinet C., Rousselet J., Goussard F & Roques A., 2010:** Modelling the range expansion of an urticating moth with global warming: a case study from France. In: Settele J, ed. Atlas of Biodiversity Risks - From Europe to the Globe, From Stories to Maps. Pensoft, Sofia, 82-83.
- 126. Romani A., Pinelli P., Cantini C., Cimato A. & Heimler D., 2006:** Characterization of Violetto di Toscana, a typical Italian variety of artichoke (*Cynara scolymus* L.). J. Food Chem. Vol. 95. (2006). pp. 221-225.
- 127. Roff. D.A., 1992:** The evolution of life histories: theory and analysis. Chapman & Hall, London.
- 128. Roques A., 2010:** Alien forest insects in a warmer world and a globalized economy: Impacts of changes in trade, tourism and climate on forest biosecurity. New Zealand Journal of Forestry 40 (suppl), 77–94.
- 129. Sancho E., Ferrando M. D., Fernández C. & Andreu E., 1998:** Liver energy metabolism of *Anguilla anguilla* after exposure to fenitrothion. Ecotox. Environ. Safe., 41: 168–175.
- 130. Root TL., Price JT., Hall KR., 2003:** Fingerprints of global warming on wild animals and plants. Nature, 421, 57–60.
- 131. Sargent J., Henderson R. J. & Tocher D. R., 1989:** The lipids. In: Halver JE (Ed) Fish Nutrition. Academic Press, London, pp 154–209.
- 132. Schmidit., 1990:** Life cycle of *Thaometopoea pityocampa* Shiff. *Symposium of Thaometopoea pityocampa* Newsdals. Hanover Deutschland. Jil 1989: 95-99 p.
- 133. Schultz J. C., 1988 –** Many factors influence the evolution of herbivore diets, but plant chemistry is central. *Ecology*, vol. 69, pp. 896-897.
- 134. Seigue A., 1985:** La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maison neuve et Larose. Paris. 502 p.
- 135. Smits A. & Larsson S., 1999:** Effects of previous defoliation on pine looper larval performance. *Agricultural and Forest Entomology* 1, 19–26.
- 136. Souleres G., 1969 :** Le pin d'Alep en Tunisie. Annales de l'Inst. Nat. Rech. Forest. Tunisie. Vol 2. Fasc. 126 p.
- 137. SPSS., 2009:** Statistical Package for the Social Science
- 138. Stegeman J.J., Brouwer M., Richard T.D.G., Förlin L., Fowler B.A., Sanders B.M. & Van veld P.A., 1992:** Molecular responses to environmental contamination: enzyme and protein systems as indicators of chemical exposure and effect. In: Huggett, R.J., Kimerle, R.A., Mehrle, P.M., Bergman, H.L. (Eds), Biomarkers: biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress. Lewis Publisher, Chelsea, pp. 235-335.
- 139. Sujatha C. H., Nair S. M. & Chacko J., 1996:** Tributyltin oxide induced physiological and biochemical changes in a tropical estuarine clam. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 56: 303–310.
- 140. Tigrine C., 2014:** Effets anticancéreux et chimioprotecteur de l'extrait polyphénolique, riche en flavonoïdes, des feuilles de *Cleome arabica*. Thèse de Doctorat en Sciences. Université Ferhat Abbas, Sétif. Algérie. 132 p.
- 141. Timbrell J.A., Draper R. & Waterfield C.J., 1994:** Biomarkers in toxicology: new uses for some old molecules? Toxicology and Ecotoxicology News 1, 4-14.
- 142. Tirichine H.S., 2010:** Etude ethnobotanique, activité antioxydante et analyse phytochimique de quelques cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) du Sud-Est algérien. Thèse de Magister en Biologie. Université d'Oranes-Es Senia, Oran Algérie. 88 p.

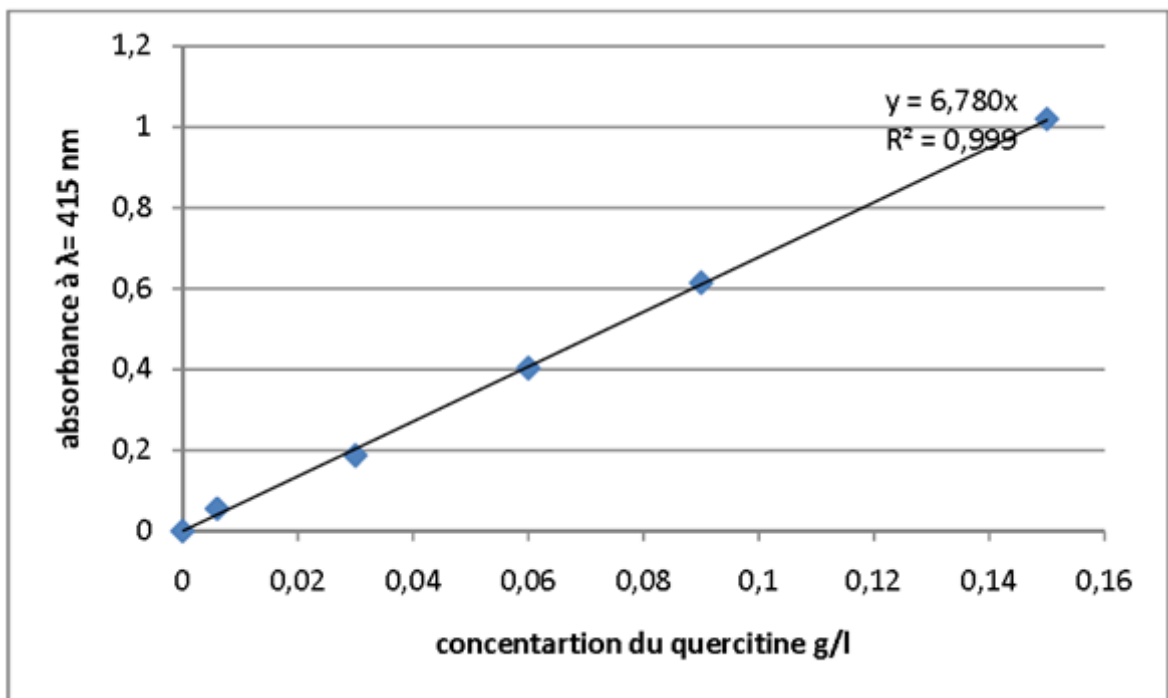
Références Bibliographiques

- 143. Umminger B. L., 1977:** Relation of whole blood sugar concentration in vertebrates to standard metabolic rate. *Comp. Biochem. Physiol.*, 55: 457–460.
- 144. Van der Oost R., Beyer J. & Vermeulen N. P. E., 2003:** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Phar.*, 13: 57–149.
- 145. Van Handel E., 1985 a:** Rapid determination of glycogen and sugars in mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association* 1(3): 299-301.
- 146. Van Handel E., 1985 b:** Rapid determination of total lipids in mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association* 1(3): 302-304.
- 147. Vega J.M., Moneo I., Ortiz J.C.G., Palla P.S., Sanchis M.E. & Vega J. et al., 201:** Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in adult population. *Contact Dermat.* 64, 220-228
- 148. Walther GR., Roques A., & Hulme PE., 2009:** Alien species in a warmer world: Risks and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution* 24, 686–693.
- 149. Wigglesworth. V. B., 1942 :** The storage of protein, fat, glycogen and uric acid in the fat body and other tissues of mosquito larvae. *Journal of Experimental Biology* 19, 56–77.
- 150. Yao L.H., Jiang Y.M., Shi J., Tomas-barberan F.A., Datta N., Singanusong R. & Chen S.S., 2004:** Flavonoids in Food and their health benefits. *Plant. Food Hum. Nutr.* Vol (59) : 113-122.
- 151. Young A.J., Phillip D. & Savill J., 1997:** Carotenoids in higher plant photosynthesis. Ed. M. Pessaraki, *Handbook of Photosynthesis*, Marcel Dekker Inc, New York. USA. Pp 575–596.
- 152. Yu S.J., 1984:** Interaction of allelochemicals with detoxification enzymes of insect-susceptible and resistant armyworm. *Pest biochem. Physiol.* 22, 60-68.

Annexes



Annexe 01. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique



Annexe 02. Courbe d'étalonnage du Quercetine

Etude de quelques paramètres bioécologiques de la chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 1775)

Résumé

La Processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) est le défoliateur le plus important des essences forestières résineuses et feuillues y compris le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) et pose de réels problèmes de santé publique dans le bassin méditerranéen. L'étude réalisée porte sur quelques aspects bioécologiques de la chenille processionnaire qui feront l'objet d'une stratégie de biosurveillance et de mesures prophylactiques avant l'installation des reboisements et même avant l'utilisation d'une méthode de lutte efficace, le choix des trois sites s'est basé sur le type de plantation (artificielle, naturelle) et les différences altitudinales ; Ras el Oued (Forêt de Kraïm Said), Bordj Bou Arréridj (forêt de Djehaïfa) et Mansoura (forêt de Sidi Makhlouf). Nous avons essayé d'estimer la nature et l'intensité de l'attaque de la processionnaire du pin en fonction de l'altitude, l'orientation cardinale des nids d'hiver, la hauteur et la composition phytochimique du pin d'Alep vis-à-vis des attaques de la chenille processionnaire du pin et la stratégie de cette chenille pour le choix de l'individu en tête de file de la procession. Les résultats obtenus révèlent que les chenilles de *T. pityocampa* s'attaquent aux arbres du pin d'Alep *P. halepensis* quelque soit la région et l'altitude, car ses nids d'hiver sont présents dans les trois sites étudiés avec leurs différences altitudinales. Les résultats décrochés par l'analyse phytochimique montrent d'une part, que les composés polyphénoliques sont abondants chez les arbres sains plus que les arbres attaqués dans les trois sites dont les teneurs sont respectivement pour les régions de Mansoura, Ras el Oued et Bordj Bou Arréridj (0.142 et 0.071 mg EAG/g MS), (0.14 et 0.127 mg EAG/g MS) et (0.078 et 0.069 mg EAG/g MS), d'autres part, la teneur des flavonoïdes des arbres infestés enregistrent les valeurs les plus importantes par rapport aux arbres sains avec respectivement pour les sites de Ras El-Oued, Bordj Bou Arréridj et Mansoura (0.114, 0.113 et 0.142 mg éq Qu/g MS) et pour les arbres sains les valeurs sont (0.146, 0.074 et 0.109 mg éq Qu/g MS). Concernant les résultats des biomarqueurs énergétiques, ces derniers ont affiché des variations très hautement significatives pour les différents composés (lipides, glucides et protéines) chez les individus collectés lors de la procession à savoir F1, F2 et F3. La variation est en faveur des lipides ensuite pour les glucides chez les F1 et F2 contrairement à la F3. La teneur des protéines enregistre les taux les plus faibles pour les trois individus.

Mots clés : Composition phytochimique, Directions cardinales, Nids d'hiver, Pin d'Alep, Processionnaire du pin, Réserves énergétiques.

Study of some bio-ecological parametres of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 1775)

Abstract

The Pine Processionary (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) is one of the most important defoliator of coniferous and hardwood forest species including Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) and it poses real public health problems in the Mediterranean region. The present study focuses on some bioecological aspects of the processional caterpillar that will be the subject of a biomonitoring and prophylactic strategy prior to the planting of reforestation and even before the use of an effective pest control method, the choice of the three sites was based on planting type (artificial, natural) and altitudinal differences; Ras el Oued (Forest of Kraim Said), Bordj Bou Arréridj (forest of Djehaifa) and Mansoura (forest of Sidi Makhlouf). In this study, we assessed the nature and intensity of pine processionary attack according to the altitude, cardinal orientation of winter nests, height and phytochemical composition of the Aleppo pine after caterpillar attacks and the strategy of this caterpillar to choice individual at the head of the procession. The results show that caterpillars of *T. pityocampa* attack the Aleppo pine trees whatever the region and altitude, because their winter nests are present in the three sites studied with their altitudinal differences. The results obtained by the phytochemical analysis showed, on one hand, that polyphenolic compounds are abundant in healthy trees more than attacked trees in the three sites whose contents are respectively for the regions of Mansoura, Ras el Oued and Bordj Bou Arréridj (0,142 mg EAG/g DM) / (0,071 mg EAG/g DM),(0,14 mg EAG/g DM) / (0,127 mg EAG/g DM) and (0,078 mg EAG/g DM) / (0,069 mg EAG/g DM), on the other hand, the content of flavonoids of infested trees recorded the highest values compared to healthy trees with respectively the sites of Ras El Oued, Bordj Bou Arréridj and Mansoura (0.114 mg éq Qu/g DM),(0.113 mg éq Qu/g DM)et (0.142 mg éq Qu/g DM), Regarding the results of energy biomarkers, they showed very highly significant variations for the different compounds (lipids, carbohydrates and proteins) in individuals collected during the procession namely F1, F2 and F3. The variation is in favor of lipids followed by carbohydrates in F1 and F2 contrary F3. Protein levels recorded the lowest levels for all three individuals.

Key words: Aleppo pine, Cardinal directions, Energy reserves, Phytochemical composition, Pine processionary, Winter nests.

دراسة بعض العوامل البيئية لدودة الصنوبر الجرارة

Thaumetopoea pityocampa (Denis & Schiffmüller, 1775)

الملخص

يتسبب الجاذوب في إصابات بليغة لأشجار الصنوبر الحلبي و على صحة الإنسان في بلدان البحر الأبيض المتوسط، تركز الدراسة على بعض العوامل البيئية لدودة الصنوبر الجرارة بهدف وضع تدابير وقائية قبل إجراء عملية التشجير الخاصة بالصنوبر الحلبي أو حتى قبل القيام بطرق مكافحة الفعالة. اختيار مناطق الدراسة كان مبني على نوع الغابة (طبيعية أو اصطناعية) و كذلك من حيث الفرق في الارتفاع، رأس الوادي (غابة كرايم الصيد) برج بوعريريج (غابة جحيفة) و منصور (غابة سيدي مخلوف)، حاولنا من خلال هذه التجربة معرفة طبيعة و شدة أضرار الجاذوب بدلالة الارتفاع، الاتجاهات الجغرافية لأعشاش الشتاء، الطول و التركيبية الكيميونباتية للصنوبر الحلبي تجاه هجمات الدودة الجرارة و كذلك لمعرفة إستراتيجية أفراد هذه الأخيرة في انتقاء الفرد الأمثل من المجموعة على رأس الموكب. النتائج المحصل عليها بينت أن يرقات الجاذوب تهاجم أشجار الصنوبر الحلبي مهما كان الارتفاع و منطقة الدراسة، و ذلك لوجود الأعشاش في كل الغابات.

بالنسبة للتحليل الكيميائي، نسبة المركبات الفينولية عالية عند الأشجار غير المصابة أكبر من تلك المصابة في حين أن نسبة الفلافونيات كانت أعلى عند الأشجار المصابة. نتائج المعلمات البيولوجية الطاقوية كشفت عن تغيرات هامة جدا للمركبات (الليبيدات، الغلوسيدات والبروتينات) عند اليرقات الثلاث الملتقطة خلال سير الموكب F1، F2 و F3 بحيث أن نسبة الدهون كانت مرتفعة تليها الغلوسيدات بالنسبة لليرقات F1، F2 على عكس اليرقة F3 التي كانت فيها الغلوسيدات مرتفعة مع تسجيل تركيز كمية منخفضة للبروتينات بالنسبة لكل اليرقات.

الكلمات الدالة: التركيبية الكيميونباتية، الاتجاهات الجغرافية، أعشاش الشتاء، الصنوبر الحلبي، دودة الصنوبر الجرارة، المعلمات الطاقوية.