

REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE REPUBLIQUE
ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master
Domaine : *Science de la Nature et de la Vie*
Filière : *Sciences Biologiques*
Option : *Biochimie Appliquée*

THEME

Etude des composés chimique de pin d'Alep et son
ravageurs chenille processionnaire

Présenté par :
AZZOUZI Maroua et ELBEGAA Soumia

Devant le jury :

Président : BENNACEUR Farouk	MCA	(UATL)
Examineur : M. GOUZI H	Pr	(UATL)
L'encadreur : M. CHAIBI R	Pr	(UATL)
Co-encadreur : REGUIGE S	associé	(UATL)

Soutenu publiquement le : 20 JUIN 2022



Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

*À l'âme de mon très chère père que ma quitté et qui était
mon soutient dans la vie. Qui m 'appris de nombreux sens
dans la vie ;*

*La mort ne lui laisse pour lire le mémoire se sa fille que Dieu
lui fasse miséricorde*

*La source de la vie et de l'amour, au symbole de la bonté et la
tendresse ma chère mère que le Dieu la préserve et prolonge sa
vie*

*Aux étoiles de mon ciel scintillant .et mon soutien dans la vie
à mes frères Mohamed el amine et Ibrahim el Khalil et mes
sœurs Hassiba, Imene et Dhiaba*

*À ma chère grand-mère que Dieu la protégé et prenne soin
d'elle*

*À tous mes oncles en particulier Hocine et sa femme Leïla, ma
tante Nassira et mon oncle Bilel*

À mon sourire et bonheur amies Selma , Soumia et chaïma

Maroua



Dédicaces

Je dédie ce mémoire

Aux plus chers dans ma vie:

*Ma mère qui m'a insufflé de la volonté d'aller jusqu'au bout,
son amour, ses sacrifices, et son encouragement.*

*A mon père pour son dévouement, car il n'a jamais cessé de
ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau et pour ses
nombreux sacrifices: éducation et de l'affection qui m'ont
éclairé le chemin du succès.*

*Mon cher frère ZAKARIA pour son soutien et sa présence
qui ont été et seront toujours pour moi d'un grand réconfort.*

*A mes frère Ismaïl, Ibrahim, Mohamed et ma sœur Asma et
ses filles Fatima et Maria.*

A ma compagnie sur ce chemin Maroua.

*A tous mes amies exceptionnellement Chiema B, Chiema H,
Nafissa, Nadia , Faten.*

Soumia

Remerciements

A l'issue de ce travail, Nous tenons avant tout Allah tout puissant, de nous avoir donné La Volonté, courage et patience pour terminer ce travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres des jurys pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner monsieur Benaceur Farouk et Mr Gouzi hicham notre travail et de l'enrichir par leurs propositions .

On tient à remercier sincèrement monsieur CHAIBI Rachid et Melle REGUIGE Salima qui en tant qu'encadreur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.

A celle qui nous a aidé et nous a donné se son temps et de ses information et pour leur soutien moral dans les moments difficiles lors de la réalisation de ce travail l'ingénieur Aouissi Fatima.

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

Nos remerciements les ingénieurs de laboratoire.

A nos parents, pour leur soutien sans faille, leur patience et leur Confiance.

A toute nos familles, pour leur amour.

A tous nos amis, nos camarades de promotion de 2eme année master (2021/2022). Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin

Merci 

Résumé

Ce travail originale nous a permis de réaliser une étude comparative de la composition biochimique d'une espèce végétale le pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. Et son ravageur la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa*. A travers l'extraction et dosage des protéines, lipides et glucides totaux ainsi que la recherche s'il y a une quantité des composés phénolique intégré dans l'extrait des chenilles.

Nos résultats montrent que le pin d'Alep contient un taux de protéines de 0,87%, et ceci est inférieur de celui des chenilles 39,94%, notant que les éguilles sont défolié et l'arbre est en état de défense, et les chenilles gardent les protéines pour la métamorphose.

Pour les glucides nous avons un taux de 7% dans les éguilles du pin d'Alep et 4% des chenilles. Ainsi une légère différence entre le taux de lipides extraire des éguilles du pin d'Alep et celui de la chenille 11,18% et 12,16% respectivement, cette différence peut être due à l'allocation de leurs ressources énergétiques.

Concernant les composés phénoliques des valeurs de 0.045mg/ml EAG de pin d'Alep et 0.028mg/ml EAG de la chenille processionnaire, leur existence dans les chenilles est attribuée au comportement alimentaire des herbivores.

Mots clés : La chenille processionnaire, pin d'Alep, protéine, glucide, lipide, composés phénolique.

Abstract

This original work allowed us to carry out a comparative study of the biochemical composition of a plant species the Aleppo pine *Pinus halepensis* Mill. And its pest the processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa*. Through the extraction and determination of proteins, fats and total carbohydrates as well as the research if there is an amount of phenolic compounds integrated into the extract of the caterpillars.

Our results show that Aleppo pine contains a protein content of 0.87%, and this is lower than that of caterpillars 39.94%, noting that eels are defoliated and the tree is in a state of defense, and caterpillars keep proteins for metamorphosis.

For carbohydrates we have a rate of 7% in the eels of the Aleppo pine and 4% of the caterpillars. Thus a slight difference between the lipid content extracted from the eels of the Aleppo pine and that of the caterpillar 11.18% and 12.16% respectively, this difference may be due to the allocation of their energy resources.

Regarding phenolic compounds with values of 0.045mg/ml EAG of Aleppo pine and 0.028mg/ml EAG of the processionary caterpillar, their existence in caterpillars is attributed to the feeding behavior of herbivores.

Keywords: the processionary caterpillar, Aleppo pine, protein, carbohydrate, lipid, phenolic compounds

الملخص

سمح لنا هذا العمل بمقارنة مكونات كل من الصنوبر الحلبي واكالتها جادوب الصنوبر وذلك من خلال استخراج مكوناتهما بروتين ودهون وكربوهيدرات مع البحث عن وجود المركبات الفينولية في مستخلص جادوب الصنوبر.

اظهرت نتائجنا وجود البروتين بنسبة 0,87% في الصنوبر الحلبي ونسبة 39,94% في جادوب الصنوبر وذلك ان ابر الصنوبر في حالة دفاع ويقوم جادوب الصنوبر بتخزينه للمرحلة التحولية بالنسبة للكربوهيدرات وجدنا في الصنوبر الحلبي 7% و4% في جادوب الصنوبر ونسب متقاربة بالنسبة للدهون حوالي 11,18% و12,16% على التوالي وهذا راجع لاستخدامهما كمصدر طاقي اما عن المركبات الفينولية فتبين وجودها في كل من جادوب الصنوبر بنسبة 0,028 مغ \مل مكافئة لحمض الغاليك والصنوبر الحلبي بنسبة 0,045 مغ \مل مكافئة لحمض الغاليك اي ان هناك نسبة تنتقل عبر غذاء جادوب الصنوبر.

الكلمات المفتاحية: جادوب الصنوبر, الصنوبر الحلبي, بروتين, الغلوسيدات, الدهون, المركبات الفينولية.

Liste de tableau

N de tableau	Titre
Tableau 1	Principales classes des composés phénoliques
Tableau 2	Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Laghouat de 2010-2020
Tableau 3	La température moyenne annuelle caractérisé la région Laghouat durant la période 2010-2020.
Tableau 4	la différence de quantité du lipide dans les deux espèces.
Tableau 5	la différence de quantité du composés phénolique dans les deux espèces
Tableau 6	Les résultats des analyses biochimiques obtenus dans ce travail.
Tableau 7	les calculs de pourcentages des protéines dans les deux espèce
Tableau 8	les calculs de pourcentages des lipides dans les deux espèce
Tableau 9	les calculs de pourcentages des CP dans les deux espèce

Liste des figures

N de figure	Titre
Figure 01	la classification biochimique des glucides
Figure 02	Quelques composés phénoliques de base; acide salicylique (a), acide caféique (b)
Figure 03	Structure de base des flavonoïdes
Figure 04	Structure chimique d'un tanin condensé (proanthocyanidine) (A) et d'un gallotanin (1,2,3-tri-O-galloyl-β-D-glucose) (B)
Figure 05	Structure des coumarines
Figure 06	: Structure de 1,4-benzoquinone (A) et 9,10-antraquinone (B)
Figure 07	structure de l'isoprène
Figure 08	Structure de la Cocaïne (A) et la morphine (B)
Figure 09	Aire de répartition du Pinus halepensis dans le monde
Figure10	Aire de répartition du pin d'Alep
Figure 11	Sujet jeune du pin d'Alep Pinus halepensis Mill
Figure 12	: l'écorce de pin d'Alep
Figure 13	Photos représentatives de différentes parties du pin d'Alep
Figure 14	Nid d'hiver de la chenille
Figure 15	Cycle biologique de la chenille processionnaire du pin
Figure 16	Troubles cutanés après contact avec les chenilles processionnaires
Figure 17	Situation géographique de la wilaya de Laghouat
Figure 18	Image satellitaire du jardin bois de Boulogne « Snaoubar » Wilaya de Laghouat
Figure 19	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la station de Laghouat
Figure 21	Nid hivernale de la chenille processionnaire du pin d'Alep
Figure 22	Matériel de protection contre les chenilles
Figure23	(A) Nid de la chenille, (B) Cage a moustiquaire
Figure 24	Les produits utilisés dans le dosage de protéine
Figure 25	L'ajout des réactifs et la poudre dans matras

Figure 26	L'étape de distillation
Figure 27	Titration par HCL
Figure 28	(A) Dilution de glucose, (B) Lecture d'absorbance par spectrophotomètre à 485nm
Figure 29	Courbe d'étalonnage des sucres
Figure 30	Extraction des lipides par l'évaporation a Rotavapor
Figure 31	Quantité de la matière fraîche utilisée,
Figure 32	Série de dosage des phénols totaux
Figure 33	Courbe d'étalonnage d'acide gallique
Figure 34	Histogramme du taux de protéines des deux espèces.
Figure 35	changements de couleur durant le test de dosage de sucre
Figure 36	Histogramme du Pourcentage des sucres.
Figure 37	étapes de diagnostic visuelle et collecte des échantillons
Figure 38	étape de séchage des échantillons
Figure 39	étape de broyage des échantillons
Figure 40	A : les chenilles B : pin d'Alep poids du ballon avant et après l'extraction des Lipides

Les abréviations

AG : acid gras

BtK : *Bacillus thuringiensis kurstaki*

CP: composées phénolique

Da : dalton

FC:folin ciocalteau

Fig : figure

IPP : isopentényl pyrophosph

SL: stades larvaires

Sommair

Dédicace

Remerciements

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Chapitre I Généralités sur les métabolites

1. Métabolite primaire	15
1.1. Les protéines	16
1.1.2. Classification des protéines.....	17
1.2 Les lipides.....	17
1.3. Les glucides	18
2. Métabolites secondaires	19
2.1. Les composéé phénoliques	20
2.1.3. Les flavonoïdes.....	21
2.1.4. Les tanins.....	22
2.1.5. Les coumarines	23
2.1.6. Les quinones.....	23
2.1.7. Les saponines	24
2.1.8. Les terpénoïdes	24
2.2. Les alcaloïdes	24

Chapitre II Présentation des modèles biologiques

1.Le pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill.	4
1.2. Répartition géographiques	4
1.3. Morphologie du pin d'Alep	6
1.3.Position systématique du pin d'Alep.....	7
1.4.Intérêt médicale et usage traditionnelle du Pin d'Alep.....	8
2.La chenille processionnaire du pin d'Alep	9
2.1.Position systématique de la chenille	10
2.2.Cycle de vie de la chenille processionnaire.....	10
2.3. L'impact de la chenille processionnaire	12

Chapitre III Matériel et méthodes

1. Cadre géographique et administratif de la zone d'étude	27
1.1 Choix et description du site de l'étude	28
1.2. Cadre climatique du site d'étude	29
1.3 Synthèse bioclimatique.....	30
1.4 Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Guassen	30
2. Méthodologie du travail.....	31
2.1. Prélèvement et préparation des échantillons	32
2.2. Le dosage des protéines.....	33
2.3 Dosage de glucides total	36
1.1.1. Courbe d'étalonnage	36
1.1. Extraction des lipides totaux	37
2. Extraction et dosage de composés phénoliques.....	38
2.1. Dosage des polyphénols totaux	39
2.2. Courbe d'étalonnage	39

Chapitre IV Résultats et discussion

1. Qualité phytochimique des aiguilles du pin d'Alep et valeur nutritionnelle de chenilles processionnaire	41
1.1. Les protéines	41
1.2. Les sucres	41
1.3 Les lipides.....	43
2. Les composés phénoliques	43
2. Discussion	44 Erreur ! Signet non défini.

Conclusion

Référence bibliographique

Annexes

Introduction

les pinacées sont considérées comme une source importante de composés bioactifs structurellement divers et ont contribué à la découverte d'agents pharmaceutiques et d'autres applications biomédicales. Ils représentent les espèces d'arbres les plus communément plantées à cause de leur croissance rapide, de leur résistance aux conditions les plus xériques, de leur aptitude à reconstituer les zones dégradées et à occuper les terrains nus (**Zavala et Zea, 2004**). Et delà prenant le cas des espèces du genre *Pinus* qui sont largement connues pour leurs propriétés médicinales associées à leur composition chimique.

Plusieurs études ont révélé la présence de métabolites secondaires douées d'activités biologiques intéressantes dans les différentes parties de *Pinus halepensis*. **Kouachi et Derouiche (2018)** et **Salim et al (2019)** ont rapporté la richesse des extraits de *P. halepensis* en composés phénoliques et en flavonoïdes. **Abdalla et al (2014)** ont également révélé la présence de quantités considérables de proanthocyanidines et de gallotanins dans l'extrait aqueux de *Pinus halepensis*.

Compte tenu de la diversité biochimique et fonctionnelle des composés phénoliques des plantes, les insectes herbivores qui consomment les composés des feuilles et d'autres tissus végétaux devraient conserver certaines de leurs propriétés bioactives. Pendant le XXe siècle, les scientifiques ont découvert la présence de composés phénoliques dans la cuticule, les ailes et tractus intestinal, en supposant que ceux-ci ont été absorbés et/ou métabolisés à partir de l'alimentation et ultérieurement incorporés dans l'organisme. (**Simmonds, 2003**)

Puisque le pin d'Alep est exposé à un ennemi biologique agressif, en l'occurrence la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Qui est le principal ravageur (**Hodar et al., 2003 ; Chenchouni et al., 2010**). Elle est responsable de la défoliation de la cime (**Arnaldo et Chacim, 2010 ; Jacquet et al., 2012**). Elle réduit la croissance radiale et la croissance en hauteur de plusieurs espèces de conifères (**Perez-Contreras, 2014**). Elle diminue de ce fait la productivité du bois (**Carus, 2004**).

Ainsi les insectes phytophages jusqu'à nos jours restent une ressource encore mal connue qui est de plus en plus envisagée comme source des protéines, lipides et glucides et leurs richesses en composés bioactifs tirés à partir de différentes parties des plantes.

C'est dans le cadre de la valorisation de la composition biochimique de la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Et la qualité phytochimique des feuilles du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. A travers les objectifs suivants :

- Préparation des échantillons (collecte, séchage et broyage).
- Extraction et dosage des protéines, lipides et glucides des chenilles et les parties de la cime du pin d'Alep.
- Extraction des composés phénoliques et la comparaison entre les deux espèces.

Le présent travail est organisé en quatre chapitres, le premier sur les métabolites et les composées nutritionnelles, le deuxième chapitre porte sur la présentation des deux modèles biologiques, ensuite l'ensemble de matériel et méthodologies de l'étude présenté dans le troisième chapitre suivie par les résultats obtenus et leurs discussions. Et à la fin nous avons terminé par une conclusion et perspectives.

Chapitre I

Présentation des modèles biologiques

1. Le pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill.

Le genre *Pinus* regroupe plus de 100 espèces appartenant à la famille des Pinacées, originaires et très répandues en Europe, en Afrique, en Asie et en Amérique (Molotkov et Patlaj, 1991). *Pinus halepensis* Mill. communément appelé Pin d'Alep. C'est le plus largement répandu et le plus abondant parmi les pins méditerranéens.

Le nom de *P. halepensis* est dérivé de la ville d'Alep (Haleb) située sur la côte syrienne (Mauri et al., 2016).

Nom vernaculaires : senouber El-halabi ; الصنوبر الحلبي (arabe).

Tayda (berbère) ; Aleppo pine (anglais) ; Pinocaracso (espagnol).

1.2. Répartition géographiques

1.2.1. Dans le monde

L'aire de répartition du *Pinus halepensis* se limite au bassin méditerranéen et occupe plus de 3,5 millions d'hectares (Quézel, 1986). L'espèce domine les écosystèmes forestiers dans les zones semi-arides du bassin méditerranéen. En plus de son aire de répartition naturelle, cette espèce a été largement utilisée dans les projets et les programmes de boisements au cours du XXème siècle (Maestre et al., 2003). Elle est surtout cantonnée dans les pays du Maghreb et en Espagne (figure09) où elle trouve son optimum de croissance et de développement (Parde, 1957; Quézel et al., 1987).



Figure 09 : Aire de répartition du *Pinus halepensis* dans le monde (FAO, 2012).

1.2.2. En Algérie

Le pin d'Alep est très fréquent sur tous les massifs montagneux, du Tell littoral à l'Atlas Saharien, et s'il a souvent été fort maltraité par l'homme il en reste néanmoins de vastes peuplements en Oranie (régions de Bel Abbès, Saida, Ouarsenis), dans l'Algérois (Medea, Boghar, Monts de Bibans, Monts des Ouled Nail), et dans le Constantinois (Aurès, région de Tebessa surtout) (**Kadik, 1983**). Avec 35% de couverture, le pin d'Alep occupe la première place de la surface forestière de l'Algérie, et il a une surface de 852.000 hectares (**Boudy, 1952**).

Seigue (1985) a donné une surface de 855.000 hectares. dans un rapport sur le Forum des Nations Unis sur les Forêts (FNUF) **Mezali (2003)** avance un chiffre de 800 000 hectares. Il existe dans toutes les variantes bioclimatiques avec une prédominance dans l'étage semi-aride (**Boudy, 1952**). 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 10). Sa plasticité et sa rusticité lui ont conféré un tempérament d'essence possédant un grand pouvoir d'expansion formant ainsi de vastes massifs forestiers (**Bentouati et al., 2005**).

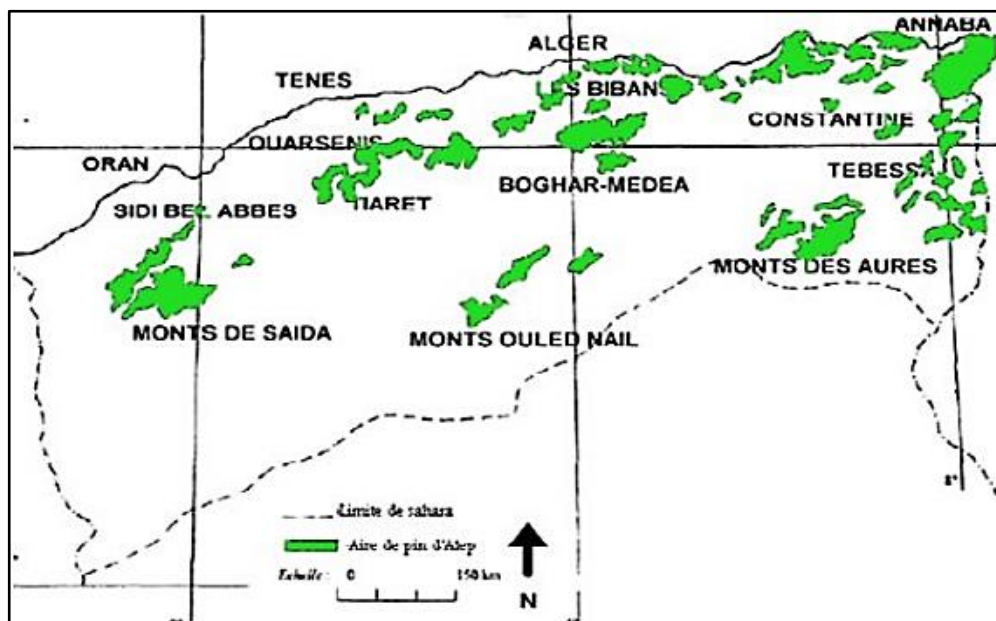


Figure10 : Aire de répartition du pin d'Alep (**BENTOUATI, 2006**).

1.3 Morphologie du pin d'Alep

C'est un arbre forestier résineux de deuxième grandeur qui peut parfois atteindre les 30 mètres de hauteur, est souvent penché et peu droit avec une cime écrasée, irrégulière et claire mais ses branches sont assez étalées (figure 11). (Becker et al., 1982). Sa longévité ne dépasse pas 150 ans. Au tronc tortueux, irrégulier et branchu (Seigue, 1985).



Figure 11 : Sujet jeune du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. (originale, 2022).

1.3.1.L'écorce

Les arbres jeunes est lisse et d'un gris argenté (figure 12) ; chez les adultes, elle forme un rhytidome plus ou moins gerçuré en écailles minces, larges et aplaties de couleur rougeâtre (Nahal, 1962).



Figure 12 : l'écorce de pin d'Alep (originale,2022).

1.3.2. Les aiguilles

La forme cylindro-coniques ,7-8 mm, non résineux (Maire, 1952). Aiguilles très fines (< 1 mm) ; mesurent 5 à 10 cm de long réunies par deux, rarement par trois dans une gaine, groupées en pinceaux à l'extrémité des rameaux de couleur verte jaunâtre (figure a) (Nahal, 1962), Ces pseudophylles sont persistantes (Maire ,1952).

1.3.3. Les cônes

Les cônes mâles de 6 à 7 cm rassemblant à des chatons dressés, produisent une grande quantité de pollen jaune orangé dispersé par le vent (figure b) (Nahal ,1986).

Les cônes femelles ligneux ovoïdes coniques à écailles dures, pédonculés, isolés ou par paires, Ils mûrissent au cours de la deuxième année et laissent le plus souvent échapper leurs graines au cours de la troisième année (figure d).

Le cône doit avoir subi de forte chaleur qui détruit les joints de résine entre les écailles pour pouvoir s'ouvrir, ce dernier renferme des graines mates de 7 mm de taille (Bellahouel, 2012), brun gris sur une face et gris moucheté de noir sur l'autre (Kadik, 1987).

Les graines munies d'une aile allongée 4 fois plus longue qu'elle, qui facilite leur dissémination rapide (Nahal, 1962).



Figure 13 : Photos représentatives de différentes parties du pin d'Alep (Originale, 2022).

1.3. Position systématique du pin d'Alep

Dans cette étude nous avons adoptés la position systématique citée par (Miller, 1768) :

Règne : *Plantae*

Embranchement : *Spermaphytes*

Classe : *Pinopsida*

Ordre : *Coniferales*

Famille : *Pinaceae*

Genre : *Pinus*

Espèce : *Pinus halepensis* Mill.

1.4. Intérêt médicale et usage traditionnelle du Pin d'Alep

Différentes espèces du genre de *Pinus* sont utilisées à travers le bassin méditerranéen dans divers applications thérapeutiques. L'huile essentielle est utilisée pour traiter une variété de problèmes de peau et pour le traitement des plaies et des brûlures (**Demirci et al., 2015**).

Diverses parties du pin (écorce, aiguille, cône et résine) sont utilisées pour la cicatrisation des plaies et contre les maux d'estomac. Elles sont également utilisées comme anti-inflammatoire et comme antiseptique (**Süntar et al., 2012**).

La décoction des bourgeons, de l'écorce et des cônes matures ou jeunes ainsi que la poudre des résines et des cônes verts sont utilisés pour le soulagement de l'asthme, la bronchite et la toux (**Kızılarslan et Sevg, 2013**).

1.4.1 Phytochimie et propriétés biologiques

D'après une étude faite par **Kotroni et al (2009)** qui rapportent que l'extrait aqueux d'écorce de *Pinus halepensis* est riche en agents antioxydants comprenant principalement des procyanidines et des acides phénoliques.

Les différentes parties de *P. halepensis* présentent une richesse en vitamines, oligoéléments, métabolites primaires et secondaires douées d'activités biologiques intéressantes. De nombreuses études ont montré la qualité et la composition chimique des espèces du genre *Pinus*.

Fekih et al (2014) en rapporté que l'huile essentielle de *Pinus halepensis* de différentes régions de l'ouest algérien contient 65,5% de monoterpènes dont les principaux sont : myrcène (15,2% à 32,0%), α -pinène (12,2% à 24,5%), E- β -caryophyllène (7,0% à 17,1%), terpinolène (1,8% à 13,3%). , 2-phényle éthyle isovalérate (4,8% à 10, 9%) , teripinène-4-ol (1,0% à 8,2%) et le sabinène (1,5% à 3%).

Les huiles essentielles et les extraits d'écorce, d'aiguilles ou de cônes ont montré des activités antioxydantes, antivirales, analgésiques, cytotoxiques, anti-inflammatoires et/ou antimicrobiennes (**Kotroni et al., 2019**).

1.4.2. Intérêt économique du Pin d'Alep

Le pin d'Alep est utilisé dans le domaine cosmétique grâce à sa richesse en acide gras, vitamine E, polyphénols et antioxydants naturelles. Les grains de pin sont utilisés dans le domaine agroalimentaire (la pâtisserie) (Cheikh – Rouhou *et al.*, 2006).

Le pin d'Alep donne environ 3 kg de résine (la gomme) par arbre et par an ; la gomme pure contient 20 à 24 % d'essence de térébenthine et 75 à 80% de cellophane, elle a aussi des usages médicaux (Kadik, 1987).

De point de vue écologique *P. halepensis* est l'espèce forestière la plus importante dans de nombreux pays méditerranéens. Il est utilisé généralement dans des programmes de reboisement des sols dégradés, cas de la « ceinture verte » dans le sud de l'Algérie, où 1 million de hectares ont été plantés de pins d'Alep il y a plus de 20 ans (Lahouati, 2000 ; Maestre et Cortina, 2004).

Le bois du pin est utilisé en construction, industrie, menuiserie, bois et pâte à papier, pour l'étagage des mains, la construction navale et la charpenterie (Maestre et Cortina, 2004).

2. La chenille processionnaire du pin d'Alep

Les grosses poches accrochées dans les sujets des pinèdes (figure 14), sont des nids soyeux des chenilles processionnaires du pin *Thaumetopoea pityocampa*. C'est une larve d'un papillon qui ravage les arbres qu'elle colonise. Elle est d'une teinte brun foncé ponctuée de taches rougeâtres sur la partie supérieure et les flancs, tandis que la face ventrale est jaune. La tête est noire, elle est très velue et couverte de poils urticants (Robinet *et al.*, 2011).



Figure 14 : Nid d'hiver de la chenille processionnaire du pin d'Alep (originale, 2022).

2.1. Position systématique de la chenille

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, a été décrite par Denis et Schiffermüller en 1775.

Règne : *Animalia*

Embranchement : *Arthropoda*

Classe : *Insecta*

Ordre : *Lepidoptera*

Famille : *Notodontidae*

Genre : *Thaumetopoea*

Espèce : *Thaumetopoea pityocampa*

(Denis & Schiffermüller, 1775).

2.2. Cycle de vie de la chenille processionnaire

La processionnaire du Pin est une espèce monovoltine, mais son cycle peut s'étendre sur deux ans et même trois et quatre ans lorsqu'on s'élève en altitude (Dajoz, 1980). Son développement larvaire s'effectue en 5 stades entre Septembre et Avril. Le reste de l'année correspond à la phase souterraine (enfouissement-diapause-nymphose) et la phase ponte (figure 15)(Sbabdji, 1997).

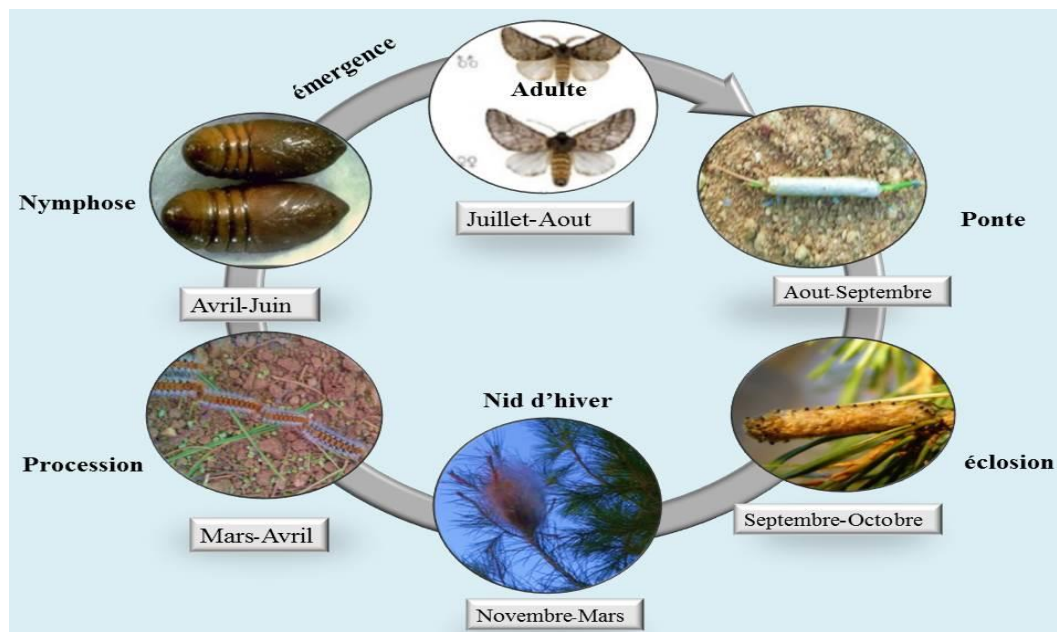


Figure 15 : Cycle biologique de la chenille processionnaire du pin (Sbabdji, 1997 ; modifié par Reguieg, 2018).

2.3.1. La phase aérienne

Les papillons de la Processionnaire sortent de terre dans le courant de l'été,. Après un vol de quelques heures, les mâles attirés par les effluves sexuels vont à la recherche de leur future partenaire, puis s'accouplent, les femelles, jusque-là inactives, se dirigent en vol vers les arbres se découpant en silhouette, et montrent ainsi une attirance très nette vers les arbres isolés ou de crêtes (**Huchon et Demolin, 1970**).

➤ La ponte

La femelle dépose tous ses œufs en une seule fois, pour le cas du pin d'Alep les manchons sont placés autour de deux ou plusieurs aiguilles de pin (**Demolin, 1969 ; Dajoz, 1980**). Chaque ponte contient entre 150 et 350 œufs (**Battisti et al., 2015**).

➤ L'éclosion

Les œufs éclosent en juillet à des endroits plus frais, et en octobre dans les plus chauds (**Battisti et al., 2015**). Généralement les jeunes chenilles éclosent un mois à un mois et demi après la ponte, de la fin Juillet à la fin Septembre (**Huchon et Demolin, 1970**).

➤ La vie larvaire

Le développement larvaire s'effectue sur le végétal hôte en cinq stades larvaires (**L1, L2, L3, L4 et L5**). Ces cinq stades se développent en deux périodes. la première est ambulatoire, allant de l'éclosion aux premiers froids qui regroupe les 2 premiers stades larvaires (**L1 et L2**), la seconde est celle du nid d'hiver englobant les 3 autres stades, elle se caractérise par la construction d'un nids volumineux dit nid d'hiver (**Sbabdji, 2012**).

➤ Le nid d'hiver

Lorsque les chenilles ont choisi l'emplacement où construire le nid définitif, elles l'architecturent de façon coordonnée et l'entretiennent régulièrement (**Huchon et Demolin, 1970**). En parallèle et dès le troisième stade larvaire les chenilles deviennent urticantes. Les miroirs qui renferment les poils vésicants vont devenir de plus en plus importants jusqu'à la fin de cinquième stades (**L5**).

➤ Processions de nymphose

En règle générale, c'est depuis la fin janvier jusqu'au mois de juin, suivant les dates d'émergence des adultes et en fonction de la rigueur de l'hiver, que les chenilles parviennent à

maturité. Elles quittent alors le nid pour se rendre en procession jusqu'au sol (**Huchon et Demolin, 1970**).

2.3.2. La phase souterraine

- **Nymphose et diapause**

Apparaît une quinzaine de jours après l'enfouissement. Les chenilles tissent des cocons individuels, dans lesquels elles se transforment en chrysalides (nymphose) (**Dajoz, 1980 ; Rivière, 2011**).

Elles subissent un arrêt de développement caractérisé par une diminution notable du métabolisme (la diapause), qui est plus ou moins longue suivant les conditions climatiques (**Huchon et Demolin, 1970**). Une fois la diapause terminée, s'ensuit une reprise métabolique importante. L'adulte sera prêt à sortir de terre un mois plus tard lorsque sa morphogénèse achevée (**Rivière, 2011**).

2.3. L'impact de la chenille processionnaire

En Algérie, les défoliations de la processionnaire du pin concernent toutes les pinèdes et les cédraies, il se trouve que cet insecte provoque des dégâts souvent significatifs dans les forêts naturelles et très conséquents dans les plantations reboisées en zones semi-arides (**Zamoum, 1998**).

2.4.1 Impact économique

Les répercussions de la processionnaire du pin provoquent :

- une perte de croissance, tant en circonférence qu'en hauteur (**Arnaldo et al., 2010**).
- le coût des traitements conduits presque chaque année qui est élevés.

2.4.2. Impact sanitaire

Lié aux poils urticants qui surviennent lorsque ces poils commencent à apparaître, dès le troisième stade larvaire, les poils urticants sont libérés dans l'air dès que la chenille est en danger. Elles sont très présentes dans les nids d'hiver, même après plusieurs années d'après **Battisti et al (2011)** Les symptômes cliniques présentés en cours d'une exposition directe ou indirecte aux chenilles processionnaires sont les suivants :

En cas de contact avec la peau

- Apparition dans les huit heures d'une éruption douloureuse avec de sévères démangeaisons.

- La réaction se fait sur les parties découvertes de la peau mais aussi sur d'autres parties du corps.
- Les poils urticants se dispersent aisément par la sueur, le grattage et le frottement ou par l'intermédiaire des vêtements.

En cas de contact avec les yeux

- Développement après 1 à 4 heures d'une conjonctivite (yeux rouges, douloureux et larmoyants).

La figure 16 représente une réaction allergique durant la réalisation du travail.



Figure 16 : Troubles cutanés après contact avec les chenilles processionnaires
(Originale, 2022).

En cas de contact par inhalation

- Les poils urticants irritent les voies respiratoires. Cette irritation se manifeste par des éternuements, des maux de gorge, des difficultés à déglutir et éventuellement des difficultés respiratoires.

En cas de contact par ingestion

- Il se produit une inflammation des muqueuses de la bouche et des intestins qui s'accompagne de symptômes tels que de l'hyper salivation, des vomissements et des douleurs abdominales.
- Une personne qui a des contacts répétés avec la chenille processionnaire, présente des réactions qui s'aggravent à chaque contact.

Chapitre II

Généralités sur les métabolites

1. Métabolite primaire

Les métabolites primaires tels que les glucides, les protéines, les lipides et les acides nucléiques, alimentent les grandes voies du métabolisme basal (**Hanson, 2003**).

1.1. Les protéines

Ce sont des macromolécules parfois très complexes, leur étude est cependant, relativement, aisée car toutes les protéines résultent de l'enchaînement d'une série limitée des composés organiques simples, de faible poids moléculaire (**Kessous, 1996**).

Les protéines sont présentes dans les produits animaux, les produits végétaux et les organes unicellulaires, d'un point de vue structural, on distingue les protéines fibreuses qui interviennent dans la structure des tissus, et les protéines globulaires, généralement associées à des activités biologiques ou des protéines de réserve de graines. En outre les holoprotéines sont uniquement composées d'acides aminés et les hétéroprotéines contiennent des chaînes polypeptidiques associées à d'autres composés (glucides, lipides et métaux) (**Basdevant et Martine, 2002**).

1.1.1 Structure des protéines

Les protéines sont formées d'acides aminés unis par des liaisons peptidiques, selon leur nombre on a affaire à un peptide ou à un polypeptide, il s'agit là d'une distinction passablement arbitraire sera considéré comme un polypeptide tout peptide dont la masse moléculaire dépasse 5000 daltons Une protéine est constituée de plusieurs chaînes polypeptidique sa structure est extrêmement variée et souvent très raffinée particulièrement, celle des protéines multi métrique (**Smith et Wood, 1996**).

La conformation spatiale de ses séquences peut donner naissance à différentes formes et structures protéique:

- structure primaire
- structure secondaire
- structure tertiaires
- structure quaternaire (**Borg et Reeher, 2004**).

1.1.2. Classification des protéines

On distingue plusieurs types de protéines, on peut les classer suivant la forme, la fonction biologique et selon leur composition.

A- Classification des protéines suivant leurs formes : Protéines fibreuses ce sont le collagène, élastines et kératine a et B.

B- Classification des protéines suivant leur fonction biologique :

✓ Protéines de structure ce sont, le collagène, l'élastine et la kératine. Les enzymes.

✓ Les protéines contractiles ce sont l'actine et la myosine du muscle.

✓ Les protéines de transport ce sont des lipoprotéines c'est les lipides et l'hémoglobine.

C- Classification des protéines suivant leur composition : ✓ Hétéroprotéines ce sont des acides aminés plus le groupement prothétique qui sont des non protéiques liées de manière covalente, donc les hétéroprotéines sont : chromoprotéines (hémoglobine) , phosphoprotéines et glycoprotéines ✓ Holoprotéine comporte des acides aminés seulement .(**NAIR .2009**).

1.2 Les lipides

Les lipides sont constitués d'un groupe de substances chimiquement hétérogènes qui sont insolubles dans l'eau, solvant polaire, mais soluble dans les solvants non polaire tels que le chloroforme, les hydrocarbures. Les lipides alimentaires appartiennent à deux (02) catégories ; les huiles liquides à la température même, et les graisses solides à la température ordinaire. Les graisses sont riches en acides gras saturés, les huiles sont riches en acides gras insaturés (**Kamoun et al ., 2003**).

Les lipides ont plusieurs fonctions: Ce sont des composants essentiels de la structure des membranes biologiques. Ce sont des substances des réserves métaboliques intracellulaires. Ils servent au stockage de l'énergie métabolique (**David, 1996**).

a- Les acides gras

Les AG sont des acides carboxyliques avec des chaînes hydrocarbonées (**Voet, 2005**). Ils comprennent un nombre pair d'atome de carbone (entre 4-40). Ils peuvent être saturés ou insaturés et parfois hydroxyles ou ramifiés. Ces acides se trouvent en petite quantité à

l'état libre mais en grande quantité engagés dans des liaisons ester ou amide. Les acides gras poly' insaturés le plus important c'est l'acide linoléique (C18:2). (Weil, 2005).

1.2.1. Classification des lipides

Selon la nature chimique On distingue lipides simples et les lipides complexes.

Selon l'origine :

- A. Les lipides d'origine animale Comme les lipides contenus dans le beurre, les vitamines et les produits dérivés tels que les charcuteries et le fromage. Ils sont plutôt riches en acides gras saturés (Sablonnière,2001).
- B. Les lipides d'origine végétale Comme ceux contenus dans les huiles extraits de végétaux (huile de tournesol) ou les fruits oléagineux.

1.3. Les glucides

Les glucides sont des polyalcools comportant des fonctions carbonyles : acides ou acides aminées (Kessous, 1996). Les glucides sont les composés biochimiques qui se forment les premiers. Chez les végétaux au cours de la photosynthèse. Ils constituent une partie importante de l'alimentation: sucre, pain et riz (Kruh, 1998). Les glucides sous forme de glucose sont un substrat énergétique utilisable par toutes les cellules, indispensable à certaines fonctions, portant le stock sous forme de glycogène hépatique et musculaire. Dans l'organisme les glucides ont deux origines.

- Alimentaire directement après transformation.
- Métabolique (par néo- glycogénèse à partir des acides aminés) (Apfel, 1995).

1.3.1 Structure des glucides

Les glucides sont des composés polyhydroxylés comportant une fonction carbonylée, aldéhyde ou cétone. La formule brute générale est $C_n (H_2O)_n$.

1.3.2. Classification biochimique

La classification biochimique est illustrée dans la figure suivante :

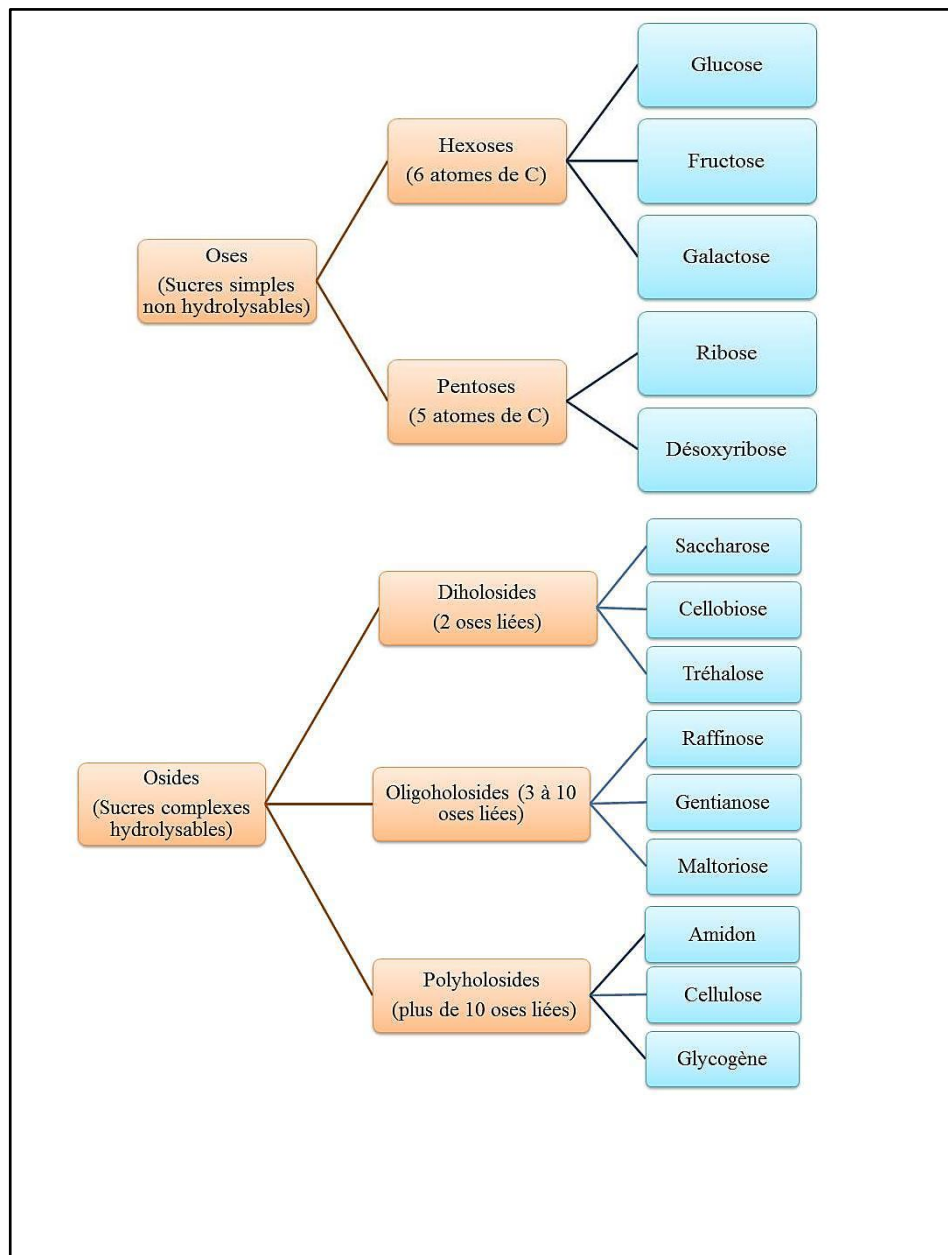


Figure 01 : la classification biochimique des glucides (**Widmer et al., 2004**).

2. Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes (**Lutge et al., 2002**). Elles sont caractérisées généralement par de faible concentration dans les tissus végétaux (généralement quelques

pourcents du carbone total, si on exclue la lignine de cette catégorie) (Newman et Cragg, 2012). Ces molécules jouent un rôle dans l'adaptation des plantes à leur environnement et représentent également une source importante de produits pharmaceutiques (Bourgaud et al., 2001). Ils appartiennent à des groupes chimiques variés: alcaloïdes, terpènes et composés phénoliques (Macheix et al., 2005).

2.1. Les composés phénoliques

Les polyphénols constituent un groupe de substances ubiquistes et variées allant de molécules simples jusqu'à des structures très complexes (Marouf et Reynaud, 2007). Les composés phénoliques jouent un rôle important dans les qualités sensorielles et nutritionnelles des produits végétaux car ils sont présents dans la plupart des organes et tissus utilisés ou consommés par l'homme (Manchando et Cheynier, 2006).

2.1.1. Structure chimique

Les polyphénols se caractérisent par la présence au moins d'un cycle aromatique à 6 carbones dans leur structure, lui-même porteur d'un nombre variable de fonction hydroxyles OH (Hennebelle et al., 2004). La structure et le nombre de noyaux aromatiques sont la base de la classification des composés phénoliques (Figure 2) (Bruneton, 2009).

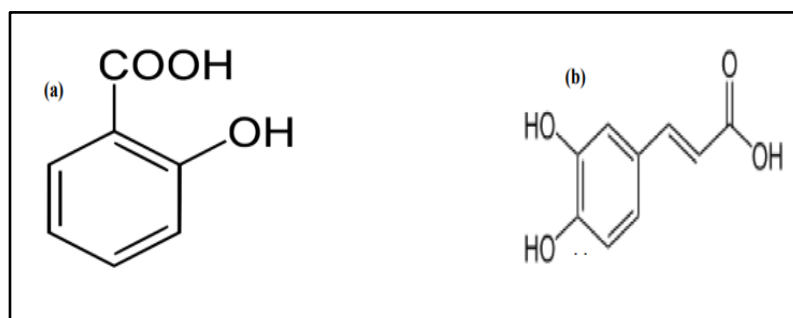


Figure 02 : Quelques composés phénoliques de base; acide salicylique (a), acide caféique (b) (Hannebelle et al., 2004).

2.1.2. Classification des composés phénoliques

Les composés phénoliques peuvent être regroupés en de nombreuses classes (Tableau 2), qui se différencient d'abord par la complexité du squelette de base (allant d'un simple C6 à des formes très polymérisées), ensuite par le degré de modifications de ce squelette (degré d'oxydation, d'hydroxylation, de méthylation ...etc.), enfin par les liaisons possibles de ces

molécules de base avec d'autres molécules (glucides, lipides et protéines) (Macheix *et al.*, 2005).

Tableau 1 : Principales classes des composés phénoliques (Manchando et Cheynier, 2006).

Classe	Squelette Carbone	Exemple	Origine
Phénols simples	C6	Catéchol	Nombreuses espèces
Acide hydroxy benzoïques	C6-C1	P-hydroxy benzoïque	Epices, fraise
Acide hydroxycinnamiques coumarine	C6-C3	Acide caféique scopolétin	Pomme de terre, pomme, citrus
Naphtoquinones	C6-C4	Juglone	Noix
Stilbénes	C6-C2-C6	Resvérato	Vigne
Flavonoïdes Iso flavonoïdes	C6-C3-C6	Quercétine, cyanidine, daidzéine	Fruit, légumes, fleurs soja, pois
Lignane	(C6-C3) ₂	Pinorésinol	Pin
Tanins condensés	(C6-C3-C6) _n	Proanthocianidine	Raisin, persimmon

2.1.3. Les flavonoïdes

Le terme flavonoïde désigne une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (Seyoume *et al.*, 2006). Ils sont considérés comme des pigments quasiment universels des végétaux, souvent responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. À l'état naturel les flavonoïdes se trouvent le plus souvent sous forme d'hétérosides (Ghestem *et al.*, 2001 ; Bruneton, 1999).

Du point de vue structurale, les flavonoïdes se répartit en plusieurs classes de molécules, en effet plus de 6400 structures ont été identifiées (**Harborne et Williams, 2000**). Les flavonoïdes sont des dérivés benzo-γ-pyrane (**Skerget et al., 2005**). Leur structure de base est celle d'un diphenyl propane à 15 atomes de carbone (C₆-C₃-C₆), constitué de deux noyaux aromatiques qui désignent les lettres A et B, reliées par un hétérocycle oxygéné, qui désignent la lettre C (figure 03) (**Dacosta, 2012**).

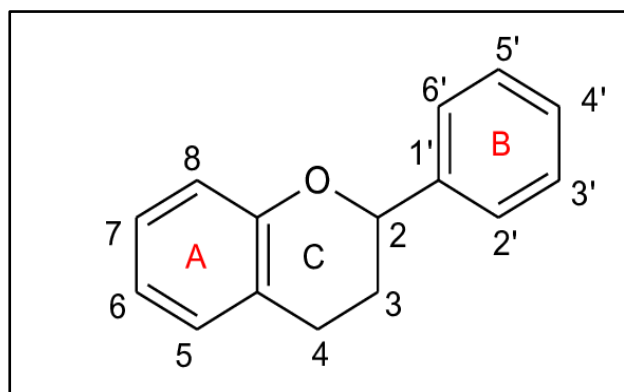


Figure 03 : Structure de base des flavonoïdes (**Collin et Crouzet, 2011**).

2.1.4. Les tanins

Les tanins sont des substances polyphénoliques en (C₁₅) n, polaires, de saveur astringente, de structures variées et de haut poids moléculaire (>3000 Da). Ils sont capables de se lier aux protéines en solution et les précipiter ce qui leur confère la propriété de tanner la peau (**Macheix et al., 2005**). Ils sont classés en deux groupes distincts :

- **Les tanins condensés** : appelés proanthocyanidines ou procyanidines, se sont des composés qui ne possèdent pas de sucre dans leur molécule et leur structure est voisine de celle des flavonoïdes. Il s'agit des polymères flavoniques constitués d'unités de flavan-3-ols liées entre elles par des liaisons carbone-carbone (**Bruneton, 1999**).
- **Les tannins hydrolysables** : sont des oligo- ou des polyesters d'un sucre qui est très généralement le glucose et d'un nombre variable de molécules d'acide phénol qui est soit l'acide gallique dans le cas des tanins galliques, soit l'acide hexahydroxydiphénique (HHDP) et ses dérivés d'oxydation dans le cas des tanins ellagiques (**Khanbaba et Ree, 2001 ; Bruneton 2009**).

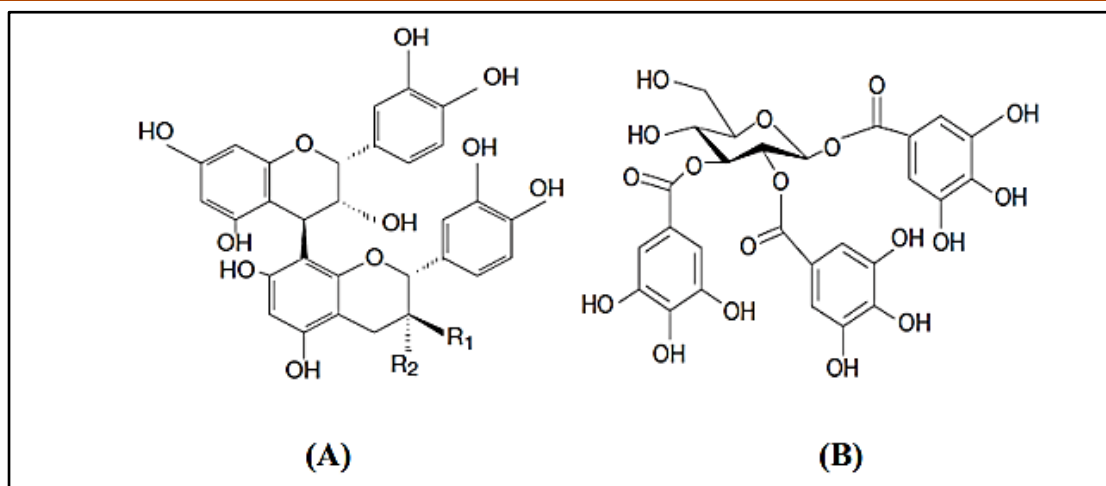


Figure 04: Structure chimique d'un tanin condensé (proanthocyanidine) (A) et d'un gallotanin (1,2,3-tri-O-galloyl- β -D-glucose) (B) (Sarni-Manchado et Cheynier, 2006).

2.1.5. Les coumarines

Présentes dans de nombreux végétaux, les coumarines sont des 2H-1-benzopyran-2-ones. Elles sont produites en grande quantité en réponse à une attaque biotique ou abiotique. (Vivas de Gaulejac, 2003 ; Bruneton, 2009).

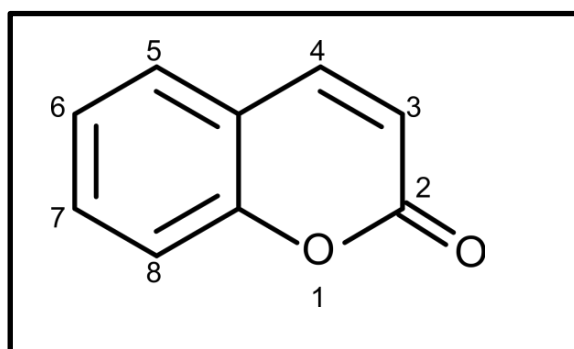


Figure 05 : Structure des coumarines (Crozier et al., 2006).

2.1.6. Les quinones

Les quinones sont des composés oxygénés qui résultent de l'oxydation de dérivées aromatiques caractérisées par un motif 1,4-dicétocyclohexa-2,5-diéniq (para-quinones) ou 1,2-dicétocyclohexa-3,5-diéniq (ortho-quinones) (Figure 06) (Bruneton, 2009). Elles sont ubiquitaires dans la nature, principalement dans le règne végétal et sont très réactives (Cowan, 1999).

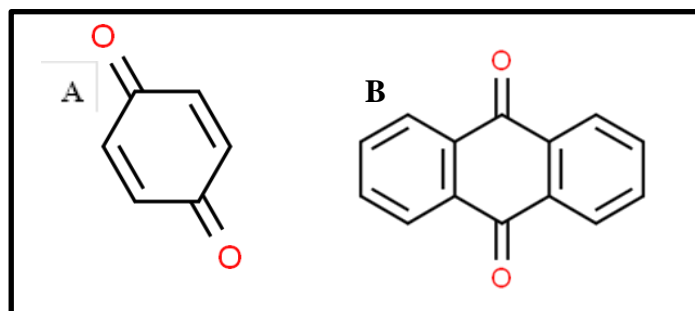


Figure 06 : Structure de 1,4-benzoquinone (A) et 9,10-antraquinone (B) (Socaciu, 2007).

2.1.7. Les saponines

Les saponines constituent un vaste groupe d'hétérosides très fréquents chez les végétaux, caractérisés par leurs propriétés tensioactives grâce à leur composition d'aglycones non polaires qui est lié à un ou à plusieurs sucres. Cette combinaison d'éléments structuraux polaires et non polaires explique leur comportement moussant en solution aqueuse (Vincken *et al.*, 2007 ; Bruneton, 2009).

2.1.8. Les terpénoïdes

L'unité de base de leur biosynthèse est l'isopentényldiphosphate (IPP = isopentényl pyrophosphate) et son isomère le diméthylalyl-diphosphate (Figure 07). En effet, les terpènes possèdent d'importantes propriétés thérapeutiques, notamment en cancérologie, dans le traitement de l'inflammation ou encore des infections bactériennes (Christianson, 2008).

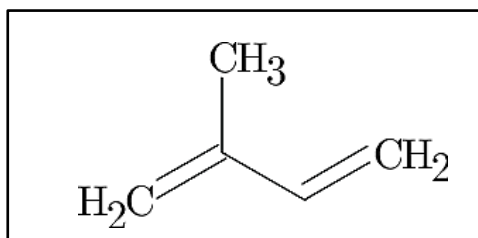


Figure 07 : structure de l'isoprène (Morot-Gaudry, 2016).

2.2. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances organiques le plus souvent d'origine végétale, azotées, basiques (Zenk et Juenger, 2007). Leur synthèse, se fait au niveau du réticulum endoplasmique (Guignard *et al.*, 1985). Ils trouvent cependant plusieurs applications pharmaceutiques chez l'homme, anti tumoraux (taxol), vasodilatateurs (vincamine) (Kone, 2009). L'étude de leur mécanisme d'action a conduit à les employer comme réactifs biologiques en neurochimie et en chimiothérapie. Ils sont dotés aussi d'un pouvoir antioxydant (Račková *et al.*, 2004).

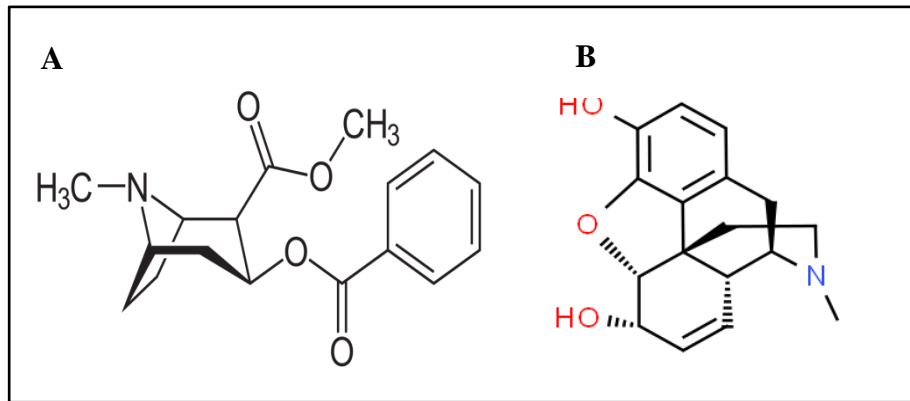


Figure 08 : Structure de la Cocaïne (A) et la morphine (B) (Hopkins, 2003).

Il existe trois grandes classes des alcaloïdes selon qu'ils possèdent ou non un acide aminé comme précurseur direct, et qu'ils comportent ou non un atome d'azote dans un hétérocycle (Aniszewskim, 2007 ; Bruneton, 2008) :

- Les alcaloïdes vrais : dérivent directement des acides aminés et présentent au moins un hétérocycle de caractère basique dont l'azote est inclus dans l'hétérocycle.
- Les pseudo-alcaloïdes : représentent le plus souvent toutes les caractéristiques des alcaloïdes vrais, mais ne sont pas des dérivées des acides aminés ;
- Les proto-alcaloïdes : sont des amines simples dont l'azote n'est pas inclus dans un système hétérocycle : ils ont une réaction basique et sont élaborés in vivo à partir des acides aminés (Bruneton, 2008).

Chapitre III

Matériel et méthodes

1. Cadre géographique et administratif de la zone d'étude

La Wilaya de Laghouat occupe une superficie de 25 052 km² et fait partie du groupe des neuf wilayat pastorales de l'Algérie. Elle se situe à 400 Km au sud de la capitale Alger, ces coordonnées sont : 33 048'N, 02053'E. Elle est limitée au Nord et à l'Est par la wilaya de Djelfa, au Nord –ouest par les wilayas de Tiaret et El-Bayad et au sud par wilaya de Ghardaïa (fig17). (D.P.A.T, 2004).

Ainsi La région de Laghouat est localisée dans une région de transition sur plusieurs plans. Physique, avec le passage entre les structures plissées de la chaîne Atlasique et les hamadas et le socle saharien. Climatique ensuite entre les hautes steppes arides et les espaces sahariens. (Houyou, 2015).

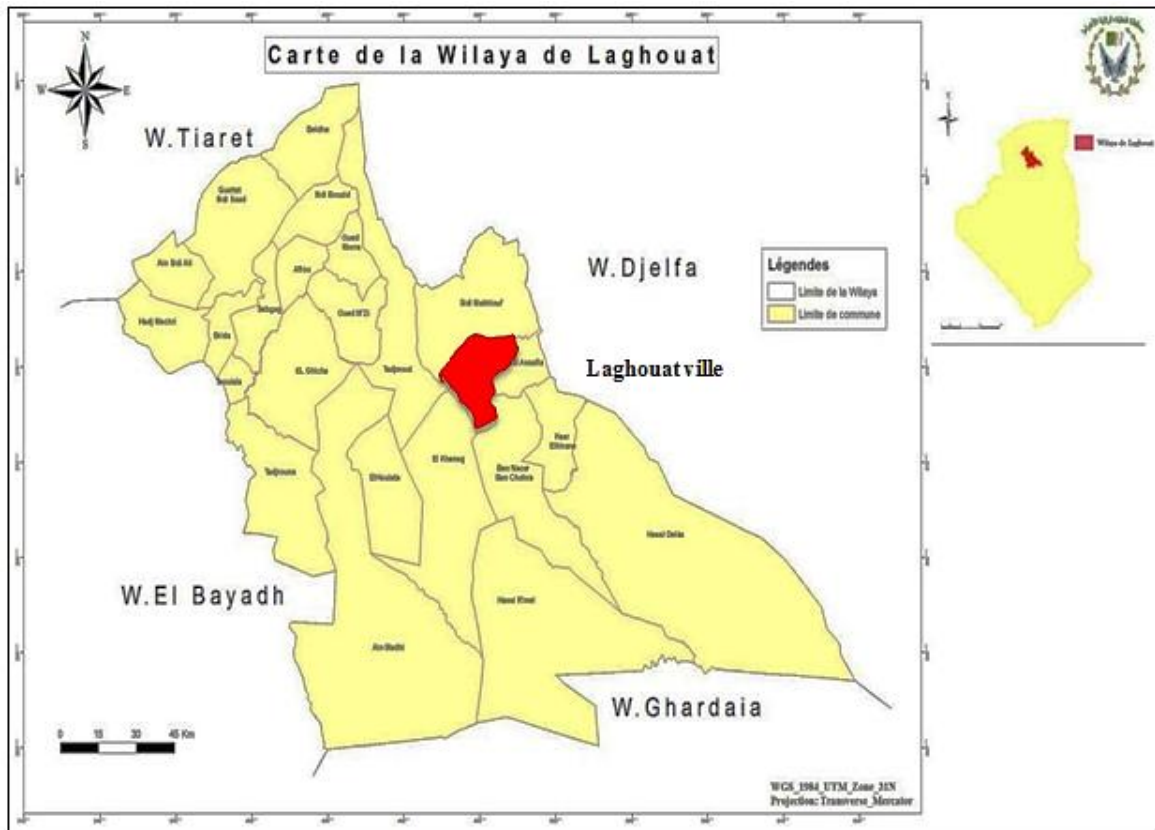


Figure 17 : Situation géographique de la wilaya de Laghouat (C.D.F, 2018).

1.1 Choix et description du site de l'étude

Notre étude a été réalisée sur une population du pin d'Alep jardin Bois de Boulogne, situé au centre de la ville de la wilaya de Laghouat. ces coordonnées sont : $33^{\circ}80'90.36''$ N , $2^{\circ}87'08.80''$ E. avec une altitude de 786m.

Notre site d'étude est caractérisé par :

- Une superficie de presque 800 ha
- Des arbres âgés de plus de 30ans, et des nouveaux reboisements.
- Anthropisation importante.

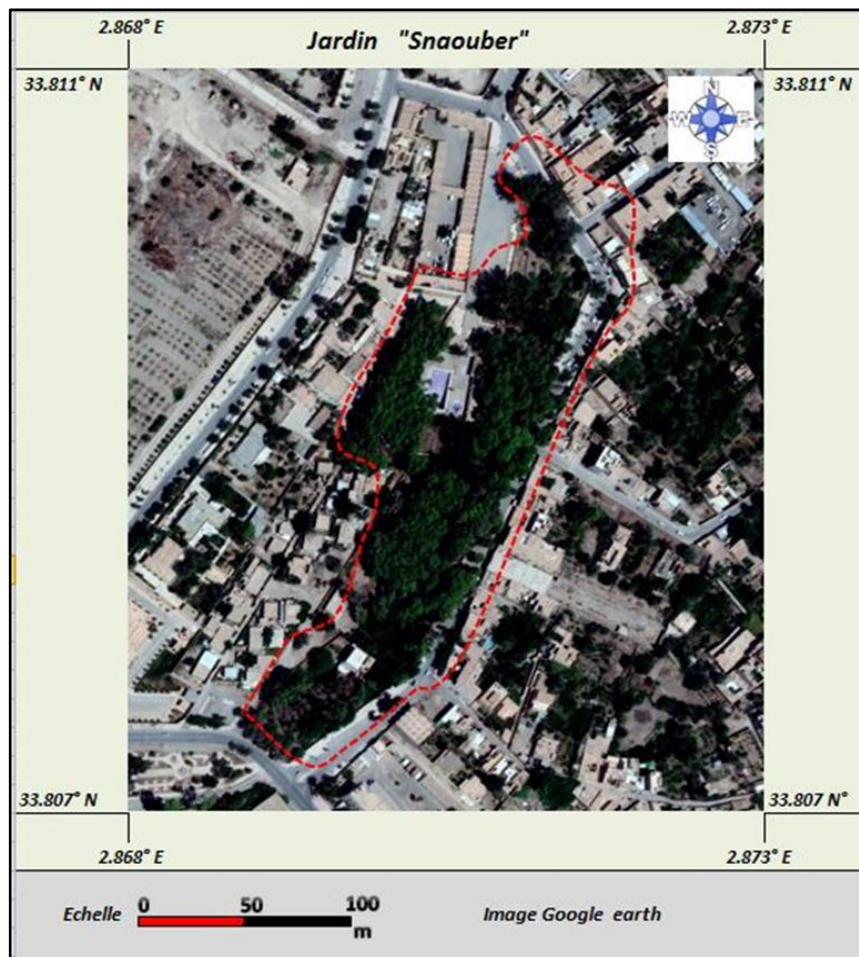


Figure 18: Image satellitaire du jardin bois de Boulogne « Snaoubar » Wilaya de Laghouat (Image Google earth).

1.2. Cadre climatique du site d'étude

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants. Il dépend des nombreux facteurs : vent, lumière, pression atmosphérique, relief et natures du sol, voisinage ou éloignement de la mer (FAURIE *et al.*, 2003).

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat. La quantité d'eau dont dispose la végétation dépend des pluies, de la neige, de la grêle, de la rosée, de la gelée blanche, des brouillards et des brumes, mais aussi de l'évaporation et de la porosité du sol (Faurie *et al.*, 2003).

La température est un facteur limitant d'une grande importance car elle conditionne l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés dans la biosphère (RAMADE., 1984).

Pour caractériser l'état climatique de la région et mettre en évidence les impacts probables de ces facteurs sur la bio écologie des organismes vivants, on a pris en considération les observations homogènes sur une période de 10 ans (du 2010 à 2020) recueillies au niveau de la station météorologique d'El kheneg (ONM, 2021).

1.2.1 Précipitation

La répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles varie selon plusieurs paramètres locaux caractéristiques de chaque région dont l'altitude, l'exposition et l'orientation jouent le rôle principal. Les précipitations ont un rôle très important en région méditerranéenne. Elles sont caractérisées par leur régime irrégulier et leur répartition inégale (sécheresse de l'été) (Seltzer, 1946).

Les données pluviométriques caractérisant la région d'étude d'une période de 10 ans (2010 – 2020) représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 02 : Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à Laghouat de 2010-2020.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
P (mm)	9,63	8,26	8,89	15,00	10,95	10,28	5,48	11,78	17,79	14,87	15,32	9,18

La répartition annuelle des précipitations moyennes au niveau de la région de Laghouat on constate que le mois le plus arrosé est le mois septembre et novembre avec une pluviométrie de 17,79 mm et 15,32 mm.

1.2.2 Températures

La température influence considérablement la végétation, elle est l'élément climatique le plus important dans l'aire de répartition des végétaux sur le globe.

Elle dépend de la nébulosité, de la latitude, de l'exposition, de la présence d'une grande masse d'eau. Elle dépend aussi des courants marins, du sol et des formations végétales (Faurie et al., 2003).

Tableau 03 : La température moyenne annuelle caractérisé la région Laghouat durant la période 2010-2020.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
T max M (°C)	13,49	14,70	18,68	23,92	28,62	33,97	38,41	36,95	31,73	25,40	17,85	14,03
T max m (°C)	1,43	1,80	4,73	9,04	13,14	17,94	22,47	22,27	17,93	12,33	6,03	2,64

Les moyennes annuelles des températures présentent généralement des valeurs thermiques, la région de Laghouat à une valeur de 18,4 °. Le mois Janvier et Décembre sont les deux mois les plus froids de la région de Laghouat avec une température de 1,4 et 1,8. Le mois Juillet est le mois le plus chaud avec une température de 38,41°C.

1.3 Synthèse bioclimatique

Les différents facteurs climatiques n'agissent pas indépendamment les uns des autres. Pour tenir compte de cela divers indices ont été calculés, principalement dans le but de rendre compte de la répartition des types de végétation. Les indices les plus employés utilisent la température et la pluviosité, qui sont les facteurs les plus importants et les mieux connus.

1.4 Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Guassen

D'après (Gausse, 1953), un mois est sec lorsque les précipitations en millimètres sont inférieures ou égales au double de la température moyenne mensuelle en degrés Celsius ($P = 2T$).

Le Diagramme Ombrothermique de Bagnoul et Gausse montre que la zone d'étude de Laghouat présente une période sèche durant toute l'année.

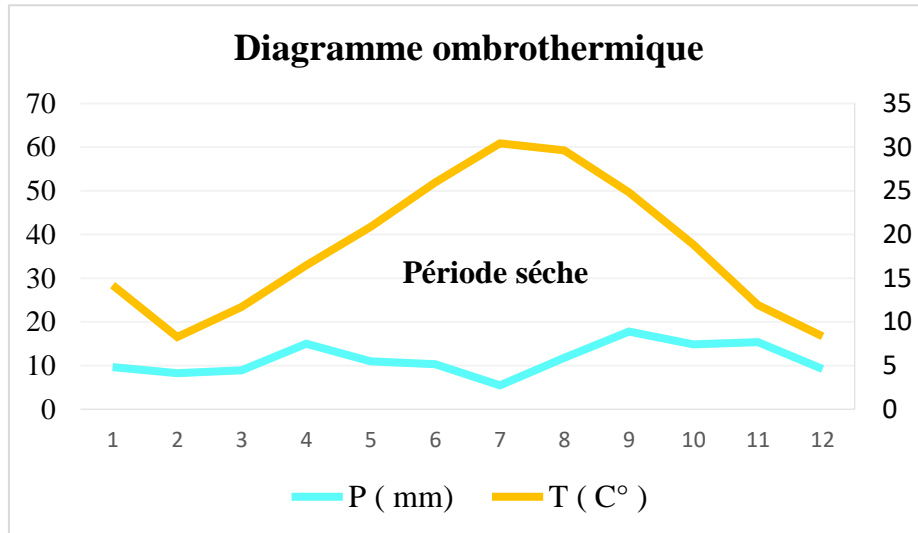


Figure 19 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la station de Laghouat 2010/2020.

2. Méthodologie du travail

Afin de répondre aux objectifs cités auparavant, notre étude est orientée en trois volets, qui sont détaillé dans l’organigramme suivant :

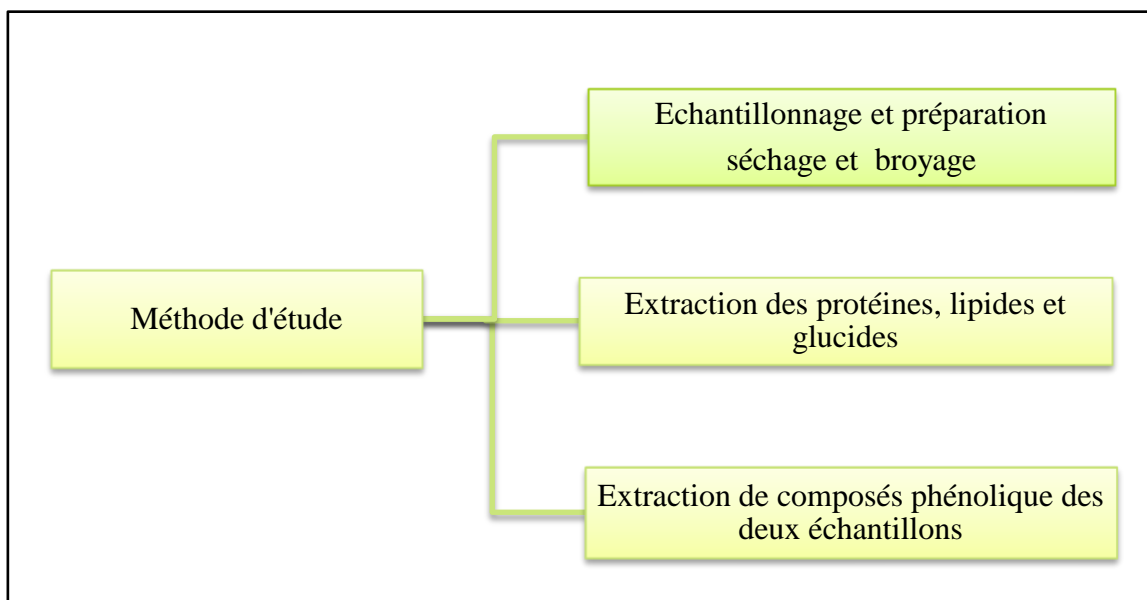


Figure 20 : Organigramme explicatif de la méthode d’étude.

2.1. Prélèvement et préparation des échantillons

Le prélèvement des échantillons a été réalisé à partir du diagnostic visuel, c'est-à-dire quand on remarque des poches blanches soyeux accrocher dans les branches des sujets du pin d'Alep infesté cela indique la présence des nids hivernale de la chenille processionnaire du pin d'Alep (fig 21).



Figure 21 : Nid hivernale de la chenille processionnaire du pin d'Alep (originale, 2022).

Ainsi les prélèvements des feuillages (éguilles) du pin et des chenilles doivent être pris en même temps à partir d'un même sujet afin de réaliser les tests biochimique et de compares leurs composition.

Il est important de porter un masque et des lunettes de protection, ainsi qu'un foulard autour du cou afin de se protéger contre les poils urticants des chenilles de L3 et L4, les figures 22 et 23 expliquent les étapes de prélèvement et le matériel utilisé pour appréhender cette opération. Ensuite les nids des chenilles sont mis dans des cages à moustiquaire et les parties de cime du pin d'Alep dans des sacs en papiers porter au laboratoire pour continuer le travail.

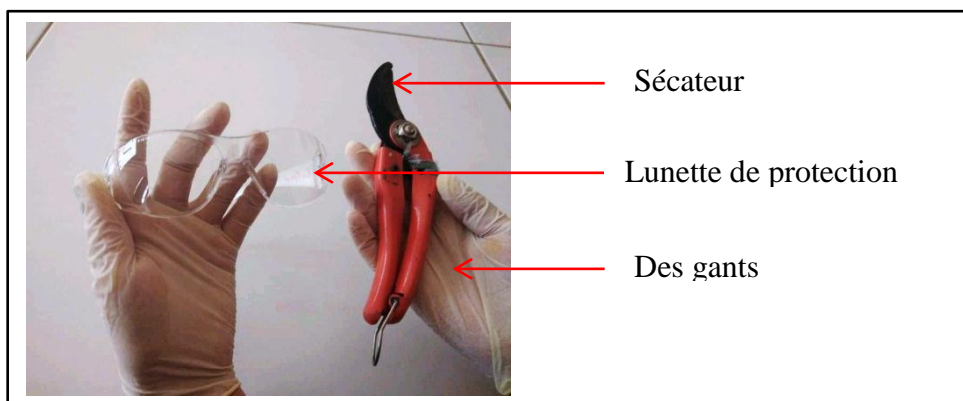


Figure 22 : Matériel de protection contre les chenilles (originale ,2022).

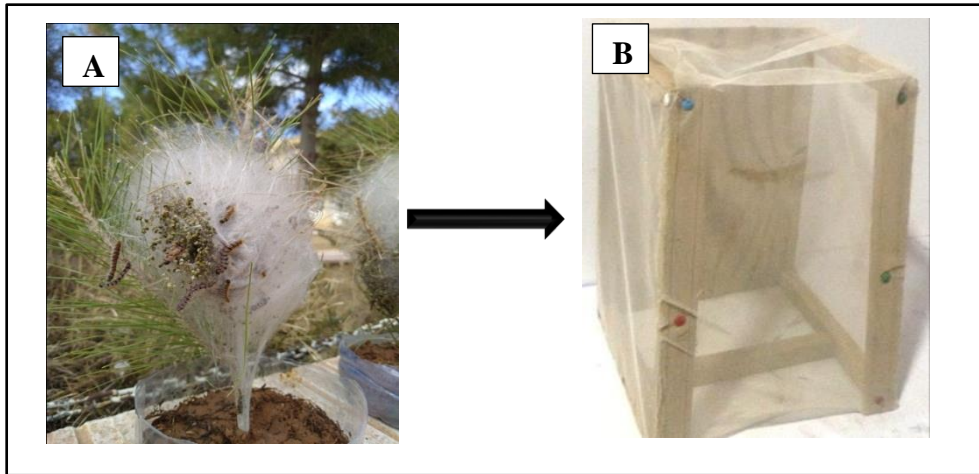


Figure 23 : (A) Nid de la chenille, (B) Cage à moustiquaire (originale, 2022).

2.2. Le dosage des protéines

Le dosage de protéine est réalisé par la méthode de **Kjeldahl (ISO, 1997)**. Est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, ce dernier sera converti en ammoniac par distillation. Un titrage par la soude de concentration connue permet de déduire la quantité d'ammoniac formée, donc la teneur en azote du produit initiale milieu alcalin. La teneur en protéines calculée en multipliant le taux d'azote total (N%) par le coefficient de 6.25.

2.2.1. Préparation de la solution

- Solution de NaOH 35 % (35 g NaOH dans 1Ld'eau distillé)
- Solution d'acide borique 40% (40 g acide borique dans 1Ld'eau distillé)
- Solution de HCL 0.1 N.



Figure 24: Les produits utilisés dans le dosage de protéine (originale, 2022).

2.2.2. Minéralisation

La poudre des chenilles et des aiguilles du pin d'Alep ont été introduit dans matras, avec l'ajoute des réactifs suivants : 1g +7 g K_2SO_4 +7ml H_2SO_4 + 5ml H_2O_2 .

Placé dans minéralisateur réglé à 600 °C pendant 45 min. puis laissé refroidir pendant 30 min. Et après finir la minéralisation de sulfates d'ammonium laisser refroidir pendant 10 min on ajouter 50 ml l'eau distillée + 50 ml de la soude caustique (NaOH).

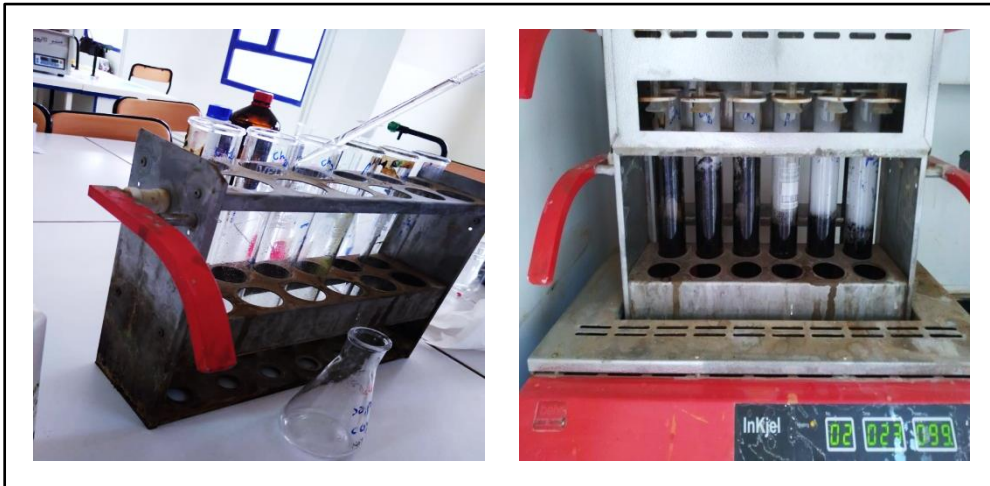


Figure 25 : L'ajout des réactifs et la poudre dans matras (originale, 2022).

2.2.3. Distillation

Après préparation de la solution minéralisé, on place le matras et le bécher contenant 25 ml de l'acide borique dans le distillateur, puis attendre le remplissage du bécher jusqu'à 100 ml. Le mélange composé de 25 ml l'acide borique et 75 ml de solution minéraliser.



Figure 26 : L'étape de distillation (originale, 2022).

2.2.4. Titration

Puisqu'on utilise l'acide borique comme liquide de récupération. On va alors titrer l'excès d'acide sulfurique avec la solution de HCl 0.1N jusqu'à changement de la coloration du rose claire.

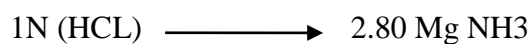
On ajoute quelques gouttes de méthyle rouge dans la solution minéralisée jusqu'à l'obtention d'une solution d'une couleur jaune, puis on ajoute le HCl par la burette goutte à goutte jusqu'à l'apparition d'un changement de couleur du jaune vers le rose clair.



Figure 27 : Titration par HCL (originale, 2022).

➤ L'azote total

Le pourcentage d'azote total (N%) est calculé par la formule suivante :



➤ Conversion du taux d'azote en taux de protéines

100 g de protéines correspond à 16g d'azote dans la majorité des cas. On utilise un facteur de conversion basé sur le taux moyen d'azote des protéines

$$F = 100/16 = 6,25$$

Donc, le taux des protéines brutes (PB%) est exprimé par :

$$PB\% = N \times 6,25$$

2.3 Dosage de glucides total

La teneur des glucides totaux pour la chenille et les aiguilles du pin d'Alep ont été déterminée par la méthode de **Dubois et al (1956)**. Elle consiste à prendre 100 mg de matière sèche placées dans un tube à essai, on ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction du sucre.

On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité.

Au moment du dosage le tube est placée dans étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool avec l'ajout de 20 ml d'eau distillée à l'extrait.

Dans autre tube à essais propre on met 2ml de la solution à analyser on ajoute 1ml de phénol (à 5% dans l'eau); puis ajouter 5 ml H₂SO₄ rapidement et le mélange est agité immédiatement.

Une coloration jaune se développer, ce tube est placer au bain-marie à 30°C pendant 20 min puis refroidis. L'absorbance est mesurée à 485 nm.

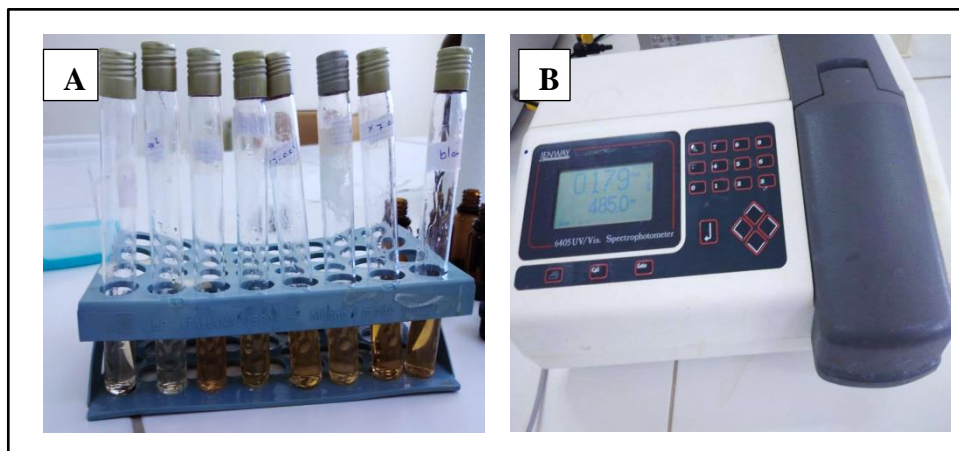


Figure 28 : (A) Dilution de glucose, (B) Lecture d'absorbance par spectrophotomètre à 485nm (originale, 2022).

1.1.1. Courbe d'étalonnage

On établit une courbe d'étalonnage avec du glucose, La courbe étalon nous permettra de déterminer la quantité de sucres solubles présents dans nos essais pour déterminer la concentration équivalent en glucose de l'échantillon étudié (fig 29).

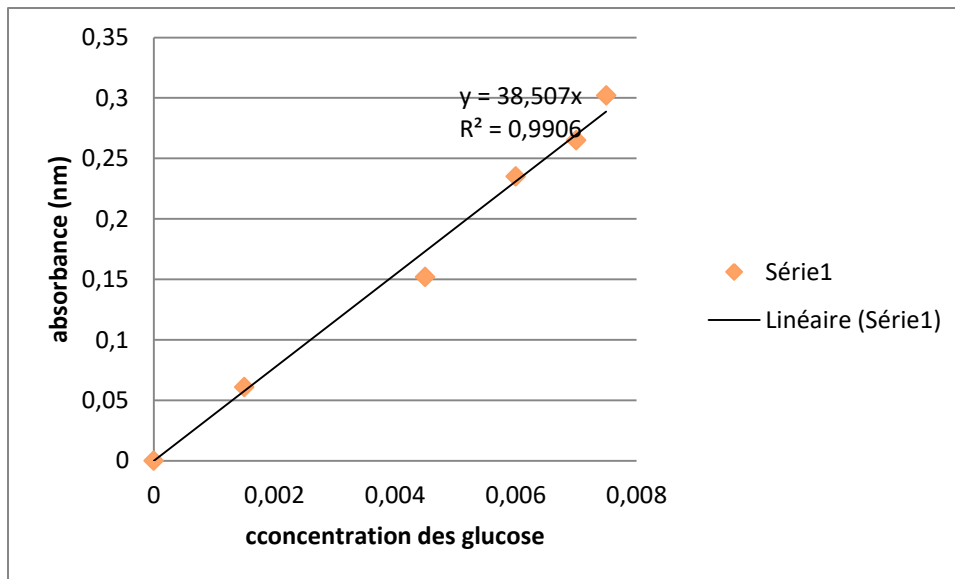


Figure 29 : Courbe d'étalonnage des sucres.

1.1. Extraction des lipides totaux

Afin de déterminer la teneur en lipides dans la poudre des chenilles nous avons adapté le protocole de la méthode de **Folch (1957)** pour l'extraction et la purification des lipides totaux à partir des tissus animaux et végétaux.

1.1.1. Extraction des lipides totaux des chenilles

Le prélèvement est placé dans un mélange de solvants : chloroforme 2 ; méthanol 1 (v/v), et broyer dans lesquels, puis verser le broyat dans flacon est maintenu à la température ambiante pendant une heure.

Le mélange est alors filtré à l'aide de papiers filtre dans un ballon de 250 ml et les solvants sont évaporés au moyen de l'évaporateur rotatif (Rotavapor) .

Les résidus recueillis sont repris dans du chloroforme par trois lavages de 10 ml, ils sont été filtrés avec l'évaporation à nouveau. Nous avons pesés la masse obtenu avec une comparaison des masses de notre échantillons. La même méthode d'extraction est suivie pour les aiguilles du pin d'Alep (fig 30).

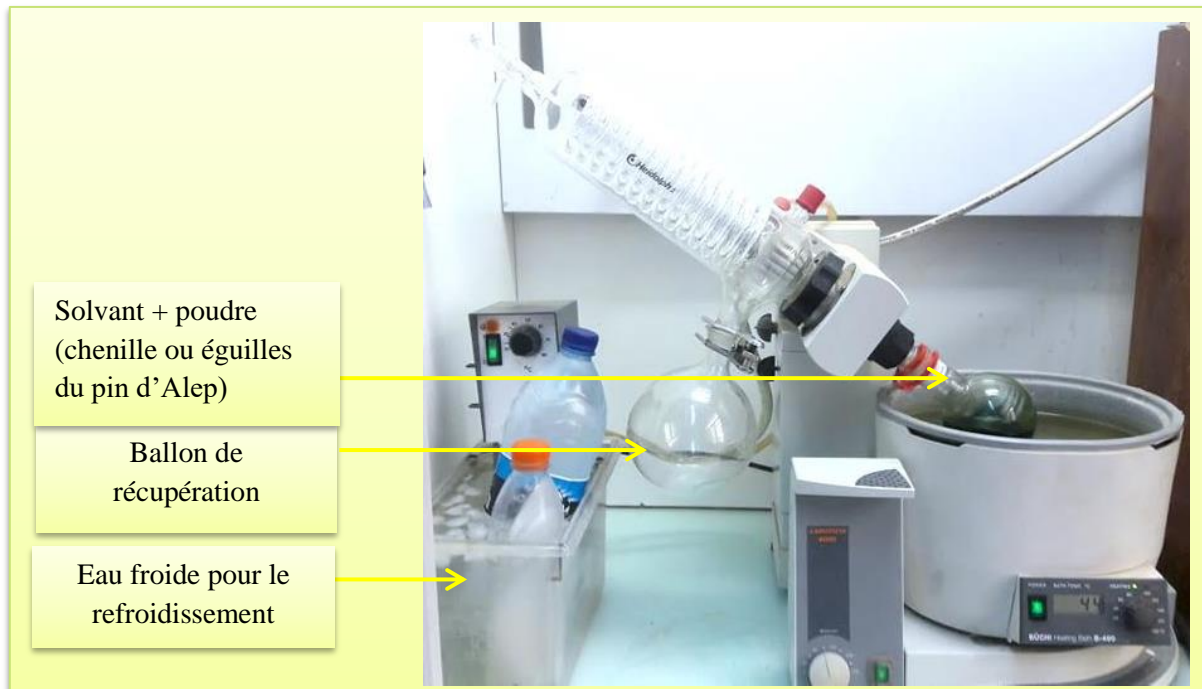


Figure 30: Extraction des lipides par l'évaporation à Rotavapor (originale, 2022).

2. Extraction et dosage de composés phénoliques

Pour extraire les polyphénols par macération, nous avons opté pour le protocole décrit par (Romani et al, 2006). 10 g de la poudre végétale, ou le broyage d'insecte macérée à température ambiante pendant deux heures et demie avec 500 ml d'eau distillé.

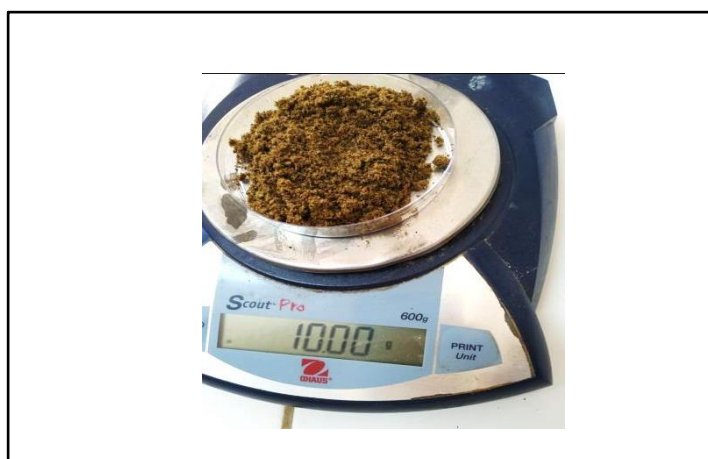


Figure 31: Quantité de la matière fraîche utilisée, (originale, 2022).

2.1. Dosage des polyphénols totaux

Après filtration 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 μ l du Réactif FC et 400 μ l de Na_2CO_3 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. 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.

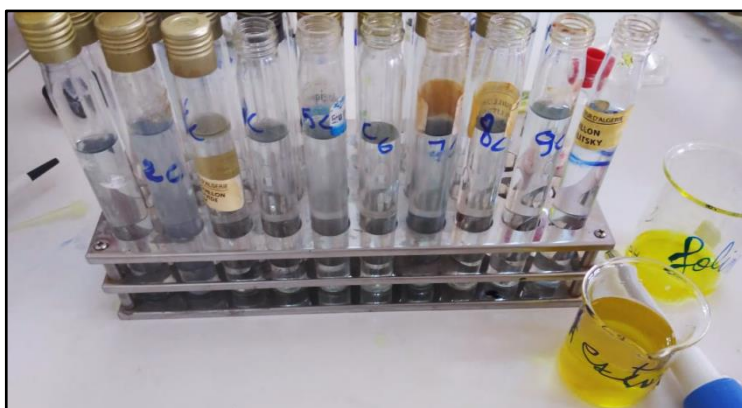


Figure 32: Série de dosage des phénols totaux (originale, 2022).

2.2. Courbe d'étalonnage

La quantification des acides phénoliques a été faite en fonction d'une courbe linéaire réalisée par un extrait étalon 'acide gallique' à différentes concentrations dans les mêmes conditions que l'échantillon, les résultats sont exprimés en mg/ml

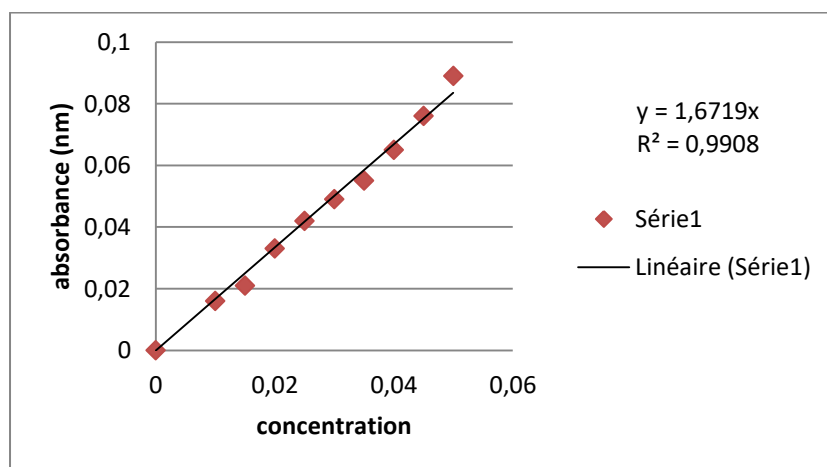


Figure 33: Courbe d'étalonnage d'acide gallique.

Chapitre IV

Résultats et discussion

1. Qualité phytochimique des éguilles du pin d'Alep et valeur nutritionnelle de chenilles processionnaire

Les résultats obtenus ont permis d'avoir de différentes concentrations et pourcentages des sucres, protéines, lipides et des composés phénoliques, afin de réaliser une comparaison entre l'espèce *Pinus halepensis* et son ravageur.

1.1. Les protéines

Le dosage des protéines permet d'obtenir des valeurs de concentration de HCL et à partir desquels nous avons convertis le taux d'azote en taux de protéines brutes (PB%) par le facteur de conversion et l'équation mentionné dans le chapitre précédent.

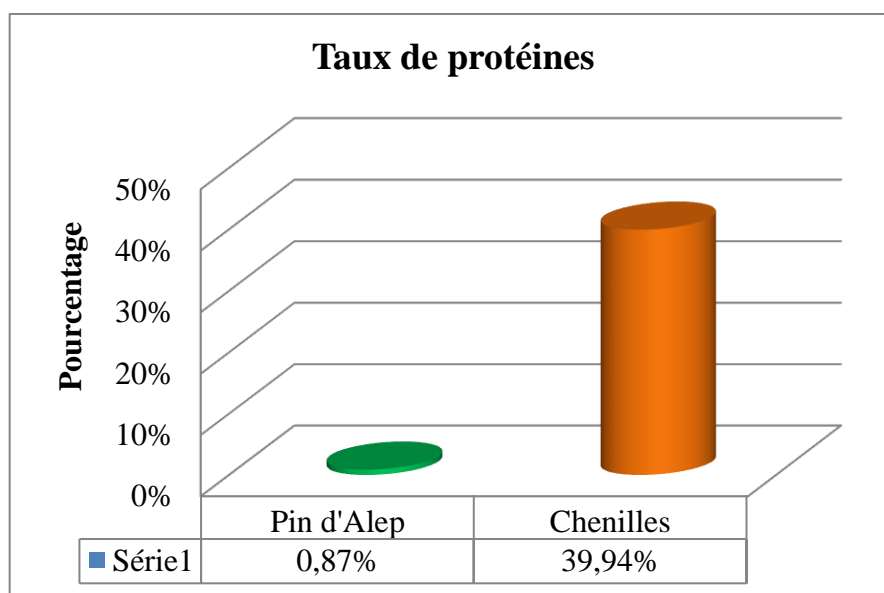


Figure 34 : Histogramme du taux de protéines des deux espèces.

Les résultats indiqués dans la figure 34 montrent que le taux des protéines dans la cime du pin d'Alep est de 0,87%, et ceci est inférieur de celui des chenilles 39,94%, notant que les éguilles sont défolier et le stade larvaire des chenilles compris entre L3 et L4.

1.2. Les sucres

La réalisation du test de dosage du sucres des éguilles du pin d'Alep nous a permis d'avoir un changement de couleur du vert vers la couleur jaune foncé, ce qui indique la présence des sucres. Pour les chenilles la couleur marron claire y a un virage de couleur du

marron foncé vers le jaune clair, ceci explique la faible quantité des sucres contenue dans la poudre des chenilles.(fig 35)

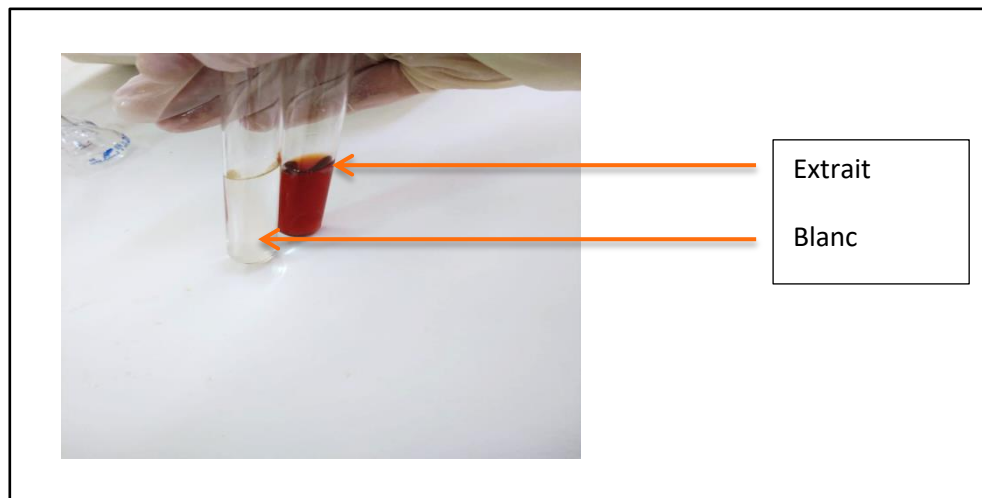


Figure35 : changements de couleur durant le test de dosage de sucre (originale, 2022).

Ainsi nous avons estimé le pourcentage des sucres pour chacun des espèces étudié, afin de comparais nos résultats (fig36).

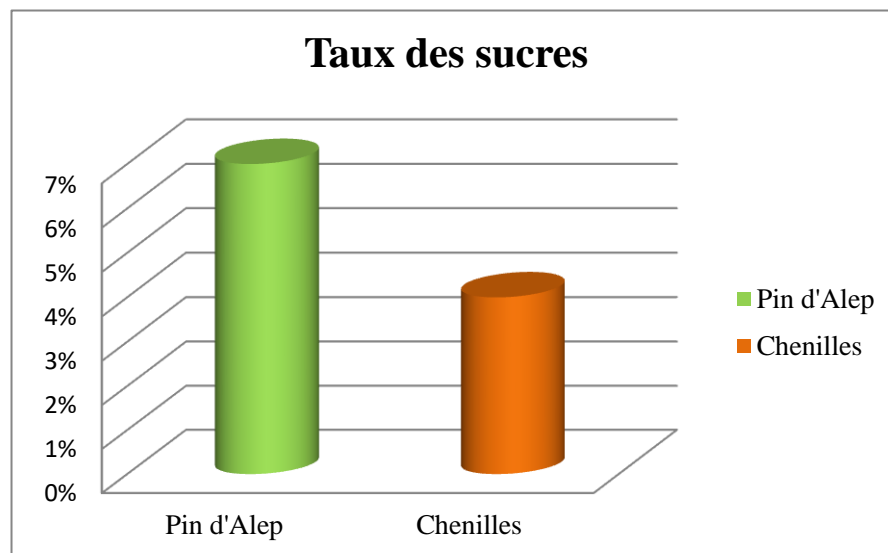


Figure 36 : Histogramme du Pourcentage des sucres.

L'analyse des résultats de la figure 36 relatifs au taux des sucres extraire à partir des deux espèces étudiier montrent un taux de 7% dans les éguilles du pin d'Alep et de 4% des chenilles, cette différence peut être due à l'allocation de leurs ressources énergétiques.

1.3 Les lipides

La quantité des lipides est calculé à partir la différence entre le poids du ballon avant et après extraction, le tableau ci-dessous montre la quantité obtenu.

Tableau 04 : la différence de quantité du lipide dans les deux espèces

Espèce	Quantité en gramme	Pourcentage (%)
<i>Pinus halepensis</i> Pin d'Alep	0.22	11,18
<i>Thaumetopoea pityocampa</i> Chenille processionnaire	0.24	12.16

D'après les résultats présentés dans le tableau 4 , une légère différence entre le taux de lipides extraire des aiguilles du pin d'Alep et celui de la chenille 11,18% et 12,16% respectivement, ainsi c'est un taux très faible pour les deux espèces.

2 .Les composées phénoliques

D'après la projection sur le courbe d'étalonnage de l'acide gallique nous avons eu une valeur d'absorbance qui permet de calculé le pourcentage d'existence des composés phénolique dans chaque espèce.

Tableau 05: la différence de quantité des composés phénoliques dans les deux espèces

Espèce	Absorbance (nm)	Pourcentage %
La chenille processionnaire	0.048	0.14
Pin d'Alep	0.028	0.22

D'après les extractions et les dosages des CP égaillés de pin d'Alep et les chenilles nous remarquons le pourcentage des CP est élevé chez le pin que les chenilles.

2. Discussion

Nous avons obtenu un taux de 7% des sucres des feuilles de pin d'Alep plus que celui des chenilles un taux de 4%, cette résultat concordent avec l'étude faite par **Battisti (1988)**. Qui indique que chez les pins, une influence retardée de la défoliation sur le contenu chimique des aiguilles. Le niveau d'azote était significativement plus élevé dans les aiguilles de pins précédemment défolié par *T. pityocampa*. Suivant l'étude faite par **Hamburger et al (1996)**. Les réserves en glycogènes sont mobilisées au cours des cycles de mues et de la métamorphose.

De plus le taux de lipides des éguilles du pin d'Alep et celui de la chenille 11,18% et 12,16% respectivement. On peut expliquer ces valeurs due à leur utilisation comme source énergétique pour la défense pour le pin d'Alep ou la croissance chez les chenilles. D'après **Sujatha et al (1996 ; Bhavan et Geraldine (1997)** Les lipides sont la seconde source d'énergie utilisé lors d'un stress. Comme ils peuvent être mobilisés en premier lorsque la nourriture devient rare (**Sargent et al., 1989 ; Hashemi et al., 2008**).

En effet **Blem (1992)**. Site que la diminution des concentrations en lipides est généralement observée quand la concentration en glucides devient faible ou quand la demande énergétique est trop forte.

Pour les chenilles Selon **Yu, (1984)**. Montre 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.

Concernant les résultats liés aux protéines le test nous a permis d'avoir 0,87% de protéines du pin d'Alep, et 39,94% pour les chenilles, d'après **Ribeiro et al (2001)**. 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.

Pour le cas du pin d'Alep, la 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**).

Ainsi 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**).

Les résultats montrent que le taux 39,94% de protéines chez les chenilles est supérieur de celui du pin d'Alep, 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**).

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**).

Nos résultats permis d'obtenir une quantité de 0.028mg/ml EAG de composées phénolique dans l'extrait des chenilles cette valeur est inférieure de celui du pin d'Alep 0,045mg/ml EAG, en effet **Salim et al (2019)** ont rapporté la richesse des extraits de *P. halepensis* en composés phénoliques.

On peut expliquer la présence des composées phénoliques dans l'extrait des chenilles par les travaux faites par (**Burghardt et al., 1997 ; Ferreres et al., 2009a ; Harborne, 1991 ; Musundire et al., 2014b ; Salminen et Lempa , 2002 ; Schittko et al., 1999**). Montrent que la grande majorité des composés phénoliques trouvés chez les insectes sont attribués au comportement alimentaire des herbivores. La recherche sur le métabolisme des composés phénoliques issus de l'alimentation des insectes suscite l'intérêt depuis le début du XXe siècle.

Actuellement, les composés phénoliques d'insectes n'ont été testés que pour leur activité antioxydante. Cependant, leur activité biologique globale vis-à-vis l'oxydation, de l'inflammation, de l'hypertension et de l'inhibition glycémique est largement attribuée aux fractions protéiques et peptidiques d'insectes tels que les grillons à bandes tropicales *Gryllodes sigillatus*, les vers de farine *Tenebrio molitor* et les criquets pèlerins *Schistocerca gregaria* (**Zielińska et al., 2017 ; Hall et Liceaga, 2020 ; Hall et al., 2018**).

En outre, la possibilité d'autres activités bioactives est prometteuse car certains des composés phénoliques trouvés dans les insectes tels que le kaempférol et la quercétine ont montré une activité biologique lorsqu'ils sont extraits de sources végétales (**Hall et Liceaga, 2020**).

Conclusion et perspectives

Ce travail originale nous a permis de réalisé une étude comparatives d'une espèce végétale le pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. Et son ravageur la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa*. A travers un diagnostic *in vivo* de l'infestation des sujets par ce parasite.

Une technique d'échantillonnage a été adapté dans ce travail suivie par un séchage et broyage afin de réalisé les tests biochimiques au laboratoire. Ou nous avons réalisés l'extraction et dosage des protéines, lipides et glucides totaux ainsi que la recherche s'il y a une quantité des composées phénolique intégré dans l'extrait des chenilles.

Tableau 6 : Les résultats des analyses biochimiques obtenues dans ce travail sont présentés en résumé dans le tableau suivant :

Test	Pin d'Alep	Chenille processionnaire
Protéines	0.87%	39.94%
Glucides	7%	4%
Lipides	11,18%	12,16%
Composées phénoliques	0.045mg/ml EAG	0.028mg/ml EAG

D'après nos résultats et leurs discussions on peut déduire qu'il y a 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.

Nous avons de faibles taux des protéines 0,87%, lipides 11,18% et 7% de glucides chez le pin d'Alep et ceci est due à La réponse ou la résistance vis-à-vis à la pression des insectes phytophages dans notre cas c'est la chenille processionnaire, afin d'éviter ou à réduire les dommages causés par ce ravageur.

Les réserves énergétiques et 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.

Ainsi la richesse des chenilles en protéines 39.94% est expliquée par leurs préservations pour la métamorphose, les faibles taux de lipides et glucides 11,18% et 7% respectivement, ces

dernier semble d'être le résultat d'allocation des ressources pour la prise de nourriture et les demandes de réserves pour la croissance et la reproduction.

De plus l'existence des composées phénoliques dans les insectes ravageurs est liée à leurs régimes alimentaires phytophages, une proportion du potentielle bioactive de la feuille de plantes peut être transmise au ravageur.

Il serait important de faire :

- Un travail de valorisation des ravageurs notamment les insectes phytophages afin de tirer un bénéfice, au lieu de les combattre et prendre beaucoup de temps et d'énergie sans négliger l'impact économique et environnementale.
- De penser à faire des études approfondis sur le potentielle bioactifs des insectes.
- Intégration de ressources énergétiques telles que les protéines des chenilles, dans les compléments alimentaires.

Références bibliographiques

Abdalla S, Pizzi A, Ayed N, Charrier-El Bouthoury F, Charrier F, Bahabri B, Ganash A 2014. Aleppo pine bark tannins. *BioResources*.9 (2):3396-3406.

Aniszewski, T. 2007. Alkaloid chemistry. *Alkaloids—Secrets Life : Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role*. GB : Elsevier Science, 61-139.

Apfel B., Forrat C & Nillus P., 1995. Diététique et nutrition. Edition Masson, page 120.

Arrese. E.L., et Soulages. J.L., 2010: Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology* 55, 207–225

Basdevant A & Martine L., 2008. Traité de nutrition clinique de l'adulte, pans, page 131.

Battisti, A. 1988. Host–plant relationships and population dynamics of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Denis and Schiffermüller). *Journal of Applied Entomology-Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie*, 105: 393- 402.

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.

Bellahouel S. 2012. Etude du pouvoir antimicrobien et mycorhizien de deux espèces de Terfez : *Tirmania pinoyi* (Maire) Malençon et *Terfezia leptoderma* Tul. Thèse de doctorat en Biologie, Université Ahmed Ben Bella, Oran. 54-57p.

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.

Blem C. R., 1992 : Lipid reserves and body composition in postreproductive anurans. *Comp. Biochem. Physiol. Part A*, 103: 653–656.

Boeck Macheix, J. J., Fleuriet, A., Jay-Allemand, C. 2005. Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique.

Borg J & André R., 2004. Biochimie métabolique. Edition ellipses, page 82.

Bouras D., 1998. Les constituants alimentaires et leur rapport avec la santé. Edition offices des publications universitaires, pages: 7, 10, 108.

Bruneton, J. 2009. Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. 4^{ème} éd. Bruneton J., 2008 : Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales. 3^{ème} Ed Paris, Lavoisier Tec & Doc.Lavoisier.

Cheikh - Rouhou S, Hentani B, Besbes S, Blecker C., Deroanne C, Attia H, 2006. Chemical composition and lipid fraction characteristics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill) seeds .

Cheyrier, V., 2012. Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochemistry Reviews* 11: 153-177. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9242-8>.

Christianson D.W. 2008. Unearthing the roots of the terpenome. *Current Opinion in Chemical Biology*, 12,141-150.

Collin, S., & Crouzet, J. 2011. Polyphénols et procédés : Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. Lavoisier.

Cowan, M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12, 564-582.

Crozier, A., Clifford, M.N. and Ashihara, H. 2006. Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. Blackwell Pub., Oxford, Ames, Iowa, xii, 372 p.

Dacosta Y., , 2003 Les phytonutriments bioactifs, Ed. Yves Dacosta, Paris, p. 317.

David C. J. 1996: Biochimie métabolique. Edition médicales internationale, page125.

Demirci F, Bayramiç P, Göger G, Demirci B, Başer KHC 2015. Characterization and Antimicrobial Evaluation of the Essential Oil of *Pinus pinea* L. from Turkey. *Nat. Volatiles & Essent Oils*. 2(2): 39-44.

Donntien K 2009. Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes-extraction, identification d'alcaloïdes –caractérisation, quantification de polyphénols :étude de leur activité antioxydant thèse doctorat en chimie organique. Univ. PAUL VERLAINE DE METZ –UPV- M (France).P21.

Dulaurent, A., Rossi, J., Deborde, C., Moing, A., Menassieu, P., Jactel, H., 2010. Honeydew feeding increased the longevity of two egg parasitoids of the pine processionary moth. *Journal of Applied Entomology*, doi: 10.1111/j.1439-0418.2010.01547.

Fekih, N., Allali, H., Merghache, S., Chaïb, F., Merghache, D., El Amine, M., & Costa, J. 2014. Chemical composition and antibacterial activity of *Pinus halepensis* Miller growing in West Northern of Algeria. *Asian pacific journal of tropical disease*, 4(2), pp. 97-103.

Geret F., Serafim A. & Bebianno M. J., 2003: Antioxidant enzyme activities, metallothioneins and lipid peroxidation as biomarkers in *Ruditapes decussatus*? *Ecotoxicology*, 12: 417–426.

Ghestem, A., Seguin, E., Paris, M., Orecchioni, A. M. 2001. Le préparateur en pharmacie. *Dossier*, 2, 272.

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.

Guignard JL, Cosson L, Henry M, 1985. *Abrégé de phytochimie*, Masson éd., Paris, 224pp.

H. Chenchouni, K. Zanati, A. Rezougui, A. Briki, A. Arar, 2010 Population monitoring of pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) by pheromone trapping at the southern limit of distribution of *Pinus halepensis* in Eastern Algeria, *Forest. Sci. Technol.* 6 (2) 67–79.

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

Hanson, J. R. 2003. *Natural products: the secondary metabolites* (Vol. 17). Royal Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). *Advances in flavonoid research since 1992*. *Phytochemistry*, 55, 481-504. Society of Chemistry.

Hartmann, T., 2007. From waste products to ecochemicals: Fifty years research of plant secondary metabolism, *Review. Phytochemistry* 68 2831–2846.

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.

- Haukioja E., 1990:** Induction of defenses in trees. Annual Review of Entomology 36, 25–42.
- Hennebelle, T., Sahpaz, S., Bailleul, F. 2004.** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. Phytothérapie, 2, 3-6.
- Hopkins, W. G. 2003.** Physiologie végétale. De Kamoun P., 2003. Biochimie et biologie moléculaire. Edition médecine, page 65.
- J.A. Hodar, J. Castro, R. Zamora, 2003,** Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming, Biol. Conserv. 110 (1) 123–129.
- J.-S. Jacquet, C. Orazio, H. Jactel,** Defoliation by processionary moth significantly reduces tree growth: a quantitative review, Ann. Forest Sci. 69 (2012) 857–866.
- Kadik B, 1987.** Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie. Ecologie, dendrométrie, morphologie. Ed. O.P.U ; 580 p.
- Kaouachi A, Derouiche S 2018.** Phytochemical analysis, DPPH antioxidant activity and Acute toxicity of bark aqueous extracts of *Pinus halepensis*. Res J Chem Environ Sci. 6 (3): 86-91.
- Karioti A, Bilia AR, Gabbiani C, Messori L, Skaltsa H 2009.** Proanthocyanidin glycosides from the leaves of *Quercus ilex* L. (Fagaceae). Tetrahedron Lett. 50:1771-1776.
- Khanbaba K., Ree T.R. 2001** Tannins: Classification and Defenition. Journal of Royal Society of Chemistry, 18, 641-649.
- Kızılarıslan C, Sevgi E 2013.** Ethnobotanical uses of genus *Pinus* L. (Pinaceae) in Turkey. Indian J Tradit Knowle. 12, pp.209-220.cultivated in Tunisia. Food Sciences and Technology International. 12, pp. 49.
- Kogan M., 1975:** Plant resistance in pest management. In Introduction to insect pest management, ed. W. a. Sons; New York, pp. 103-146.
- Kotroni E, Simirioti E, Kikionis S, Sfiniadakis I, Siamidi A, Karalis V, Vitsos A, Vlachou M, Ioannou E, Roussis V, Rallis M 2019.** In Vivo Evaluation of the Anti-Inflammatory Activity of Electrospun Micro/Nanofibrous Patches Loaded with *Pinus halepensis* Bark Extract on Hairless Mice Skin. Materials, 12(16).

Kruh J., 1998. Biochimie métabolique. Edition Hermann, page 160. activities. Food chemistry, 89, 191-198.

Lahouati R, 2000. Expérience des plantations en climat Aride. Cas de la Ceinture Verte an Algérie Direction Générale des foret, Ministère de l’Agriculture, Alger.

Leblond A., 2009- Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire du pin. Mémoire Master Professionnel, Environnement-Droit. Rennes. [en-ligne] 74p. [<http://www.prodinra.inra.fr>].

Leblond A., Martin J.C., Provondier D., Gutleben C., Robinet C., Napoléon C., 2010 - Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire du pin. Enquête nationale – guide technique. [en-ligne] Angers (Fr) : Plante et Cité, 25p.[<http://www.prodinra.inra.fr>].

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.

Maestre F. T ; Cortina J ; (2004). Insights into ecosystem composition and function in a sequence of degraded semiarid steppes. Restoration Ecology ,12, pp.494 -502 ;

Maire R, 1952. Flor de l’Afrique de Nord. Ed. Encyclopédie Biologique. Paris. 129-150p.

Mauri A, Di Leo M, de Rigo D, Caudullo G (2016) *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp 122-123.

Molotkov PI, Patlaj IN 1991. Systematic position within the genus *Pinus* and intraspecific taxonomy. In: Giertych M, Mátyás C (eds) Genetics of Scots pine. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp 31–39.

Morot-Gaudry, J. F. 2016. Les végétaux, un nouveau pétrole ? Éditions Quae. Presses polytechniques.Supérieur.

Nahal I, 1962. Le pin d’Alep. Étude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Annales de l’école Nationale des Eaux et Forêts .19 (4), pp.533-627. Nahal I. (1986). Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. In : options

méditerranéennes, Série Etude CIHEAM 86/1. Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne ,1-9 p.

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.

P.S. Arnaldo, S. Chacim, D. Lopes, 2010 Effects of defoliation by the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* on biomass growth of young stands of *Pinus pinaster* in northern Portugal, *iForest* 3 159–162.

Pasqualini V, Robeles C, Garzino S, Greff S, Bounin G. 2003. Phenolic compounds content in *Pinus halepensis* Mill. needles: a bioindicator of air pollution. *Chemosphere*. 54, pp. 239- 248.

Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C. and Pouysegou, L., 2011. Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie* 50: 586-621. <https://doi.org/10.1002/anie.201000044>.

Račková, L., Májeková, M., Košťálová, D., & Štefek, M. 2004. Antiradical and antioxidant activities of alkaloids isolated from *Mahonia aquifolium*. Structural aspects. *Bioorganic & medicinal chemistry*, 12, 4709-4715.

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.

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.

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.

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.

- Ribrioux, Y., Dolbeau, C., 1975.** Essai de lutte contre la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) à l'aide du diflubenzuron. *Phytiatrie-Phytopharmacie* 24, 193-204.
- Roff, D.A., 1992:** The evolution of life histories: theory and analysis. Chapman & Hall, London.
- S. Carus, 2004,**Impact of defoliation by the pine processionary moth *ThauThaumetopoea pityocampa* on radial, height and volume growth of Calabrian pine (*Pinus brutia*) trees in Turkey, *Phytoparasitica* 32 (5) 459–469.
- Salim H, Rimawi W H, Shaheen S, Mjahed A 2019.** Phytochemical Analysis and Antibacterial Activity of Extracts from Palestinian Aleppo Pine Seeds, Bark and Cones. *Asian J Chem.* 31(1) 143-147.
- Samira NAIR, 2009,** Facultie de science départment de physique mémoire de magister, p42
- 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.
- Sargent J., Henderson R. J. & Tocher D. R., 1989:** The lipids. In:Halver JE (Ed) *Fish Nutrition.* Academic Press, London, pp 154–209.
- Sarni-Manchado, P., & Cheynier, V. (Eds.). 2006.** Les polyphénols en agroalimentaire. Tec & doc.
- Sbabadji M., 2012-** Étude des Infestations de la Cédraie de Chréa par la Processionnaire du Pin, *Thaumetopoea Pityocampas* Shiff .description spatiotemporelle et interaction arbres défoliateur. Thèse de doctorat, ENSA, ElHarrach (Alger), 115p.
- Seigue A., (1985).** Le foret circumméditerranéen et ses problèmes. Ed Maisonneuve et Larose, paris,502p.
- Seyoum, A., Asres, K., & El-Fiky, F. K. 2006.** Structure–radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Phytochemistry*, 67, 2058-2070.
- Simmonds, M.S., 2003.** Flavonoid-insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry* 64: 21-30. [https:// doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00293-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00293-0).

Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., Knez, T. 2005. Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant.

Smith C. A & Wood E.J., 1996. Les biomolécules (P-G-L- Aa).Edition Masson, page 40.

Kessous C., 1996 .Biochimie structurale (protéines, glucides, lipides). Edition office des publications universitaires (OPU), page 3.

Smits A. & Larsson S., 1999: Effects of previous defoliation on pine looper larval performance. *Agricultural and Forest Entomology* 1, 19–26

Socaciu, C. (Ed.). 2007. Food colorants: chemical and functional properties. CRC Press.

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.

Süntar I, Tumen I, Ustün O, Keleş H, Akkol EK, 2012 Appraisal on the wound healing and anti-inflammatory activities of the essential oils obtained from the cones and needles of *Pinus* species by in vivo and in vitro experimental models. *J Ethnopharmacol* 139: 533–540.

T. Perez-Contreras, J.J. Soler, M. Soler, Host selection by the pine processionary moth enhances larval performance: an experiment, *Acta Oecol.* 55 (2014) 15–22.

Umminger B. L., 1977: Relation of whole blood sugar concentration in vertebrates to standard metabolic rate. *Comp. Biochem. Physiol.*, 55: 457–460.

vennetier, m., girard, f., didier, c., ouarmim, s., ripert, c., estève, r., martin, w., n'diaye, a., misson, i., 2011, Adaptation phénologique du pin d'Alep au changement climatique, *Forêt Méditerranéenne*, (32) 2, p. 151-166.

Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A., Gruppen, H. 2007. Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*, 68, 275-297.

Vivas, N., de Gaulejac, N. V., Nonier, M. F. 2003. Sur l'estimation et la quantification des composés phénoliques des vins. *L'OIV*, 865, 281.

Voet D & Voet J., 2005. La biochimie. Edition De Boeck, page 382.

Weil J.H., 1997.La biochimie générale. Edition Dundo, page 273.

Widmer F & Raland B., 2004. Aide-mémoire de biochimie et biologie moléculaire 3^{ème} édition. Éditions médicales internationales, page 133.

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.

Yu S.J., 1984: Interaction of allelochemicals with detoxification enzymes of insect-susceptible and resistant armyworm. *Pest biochem. Physiol.*22, 60-68.

Zavala MA and Zea E 2004, Mechanisms maintaining biodiversity in Mediterranean pine-oak forests: insights from a spatial simulation model. *Plant Ecology* ,171, pp. 197-207.

Zavala MA, Zea E 2004. Mechanisms maintainig biodiversity in Mediterranean plant communities: the case of holm oak-Aleppo pine forestd.*Bot Rev* 66:119-149.

Annexes

Diagnostic visuelle et collecte des échantillons



figure 37: étapes de diagnostic visuelle et collecte des échantillons (originale 2022)

Séchage



Figure 38 : étape de séchage des échantillon (originale 2022)

Broyage

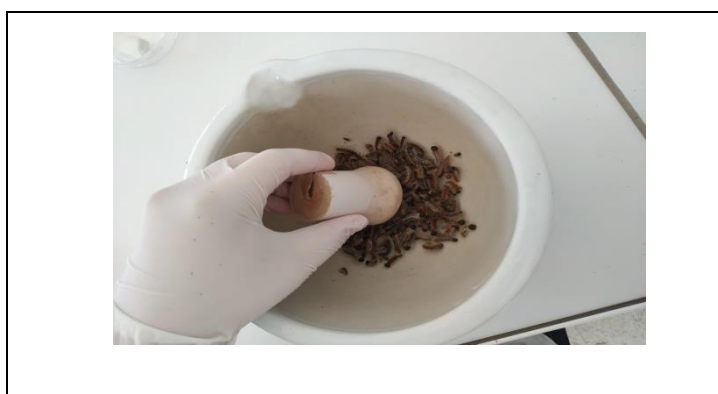


Figure 39 : étape de broyage des échantillons (originale 2022)

1. Les protéines

Tableau 07 : les calculs de pourcentages des protéines dans les deux espèces

	Les chenilles processionnaires	Pin d'Alep
Les calculs	$1 \longrightarrow 2.803 \text{ mg}$ $22.8 \longrightarrow x$ $X = 22.8 \times 2.803 = 63.90 \text{ mg}$ $P = 63.94 \times 6.25 / 10 = 39.94\%$	$1 \longrightarrow 2.803 \text{ mg}$ $0.50 \longrightarrow x$ $X = 0.5 \times 2.803 / 1 = 1.4015 \text{ mg}$ $p\% = 1.4015 \times 6.25 / 10 = 0.87\%$

2. Les lipides .

Tableau 8 : les calculs de pourcentages des lipides dans les deux espèces

	Les chenilles processionnaires	Pin d'Alep
Les calculs	$121.0911 - 120.8472 = 0.2433$ $2\text{g} \longrightarrow 100$ $0.243 \longrightarrow 12.165\%$	$124.4811 - 124.2575 = 0.2236\text{g}$ $2\text{g} \longrightarrow 100$ $0.223 \longrightarrow 11.18\%$

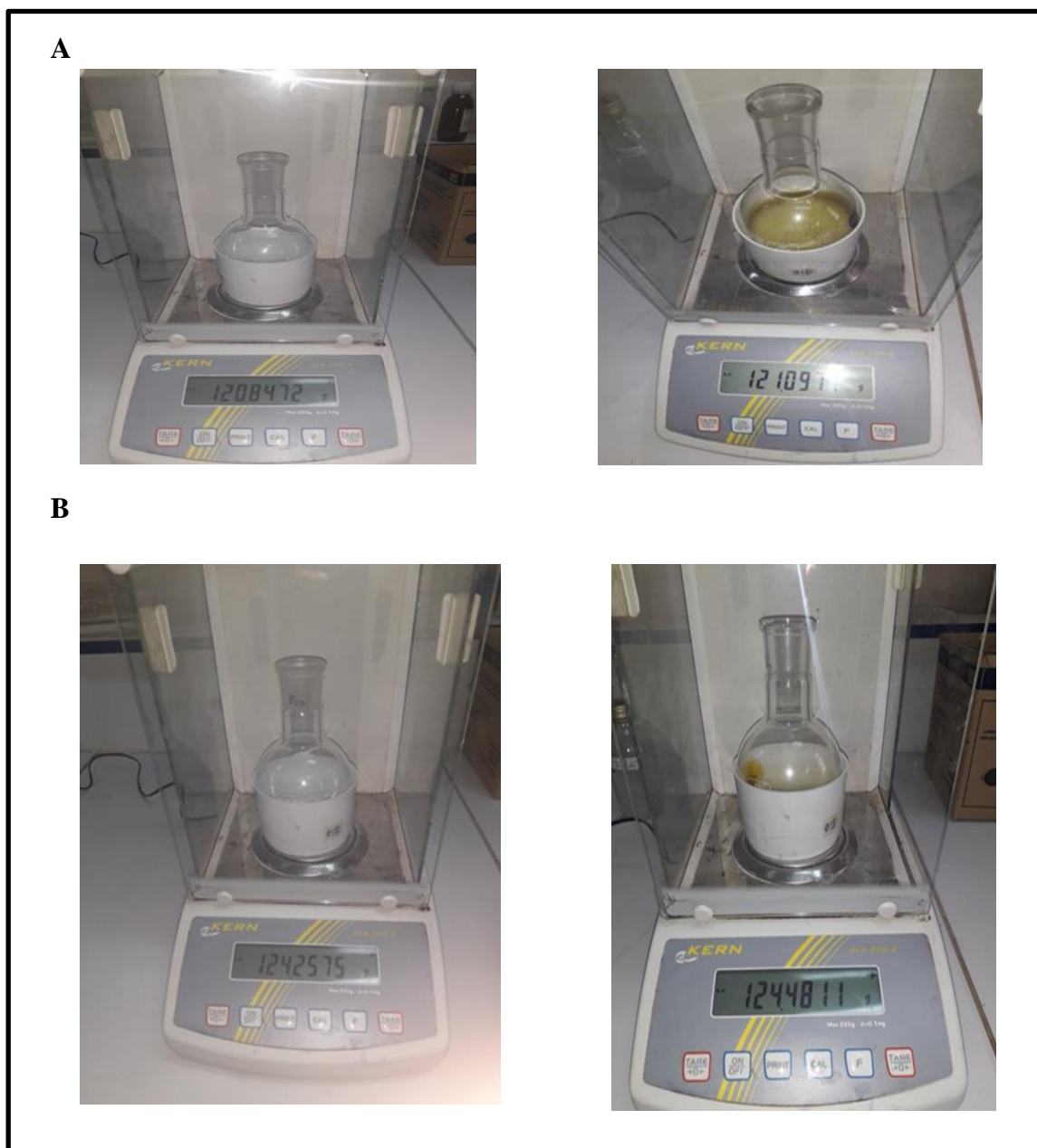


Figure 40 : A : les chenilles B : pin d'Alep poids du ballon avant et après l'extraction des Lipides (**originale 2022**)

3. Les composées phénoliques

On a la concentration d'extrais 20mg /ml

Et l'équation de courbe $Y=a.x+b$ la courbe est linéaire alors $b=0$

$$\text{Abs} = a.[c]$$

Tableau09: les calculs de pourcentages des CP dans les deux espèce

	Les chenilles processionnaires	Pin d'Alep
Les calculs	$\text{Abs} = 0.048/1.6715 = 0.028 \text{ mg/ml}$ $0.028 \text{ mg/ml AG} \dots\dots 20\text{mg}$ $X \text{ mg/ml EAG}/100\text{g}$ $100 \times 0.028/20 = 0.14\%$	$\text{Abs} = 0.075/1.6715 = 0.045 \text{ mg/ml}$ $0100 \times 0.045 / 20 = 0.22\%$