

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH-ALGER-

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة-الحراش-الجزائر-



## *Thèse*

En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques

Option : Biologie et Ecologie en Zoologie Agro-Sylvo Pastoral

## *Thème*

Screening phytochimique et activité de deux plantes à l'égard de *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller, 1775) dans la cédraie de Chréa (Blida) et importance des parasites embryonnaires.

Présenté par : KHERROUBI Mounir.

### Jury :

Président :	Mme. DOUMANDJI-MITICH B.	Professeur (ENSA EL Harrach)
Directrice de thèse :	Mme. MOUHOUCHE F.	Professeur (ENSA EL Harrach)
Examineurs :	Mme. DAOUDI-HACINI S.	Professeur (ENSA EL Harrach)
	Mme. SAHIR-HALOUANE F.	Professeur (U.M.B. de Boumerdes)
	M. HAMMACHE M.	Maitre conférence A (ENSA El Harrach)
	Melle. MILLA A.	Maitre conférence A (ENSV El Harrach)

Soutenu le : 21 /05 /2017

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir accordé la force et le pouvoir d'accomplir ce travail*

*J'exprime ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à Mme. **MOUHOUCHE F.**, Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique d'El-Harrach, qui a suivi ce travail avec beaucoup d'intérêt. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect pour ses précieux conseils, son aide et sa disponibilité.*

*Je tiens à remercier vivement Mme **DOUMANDJI B.** Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique, d'avoir accepté de présider le jury.*

*Mes remerciements vont également à Mme **SAHIR-HALOUANE F.**, Mme. **HACINI-DAOUDI S.**, M. **HAMMACHE M.** et Mlle **MILLA A.** qui ont accepté de juger ce travail.*

*Que tous les enseignants du département de Zoologie Agricole et Forestière trouvent ma haute considération et mes remerciements pour leur précieuse formation.*

*Mes remerciements vont également à universités de Birmingham, UK. à **SAIDAL El-Harrach** et **DGF Chréa***

*J'adresse mes sincères remerciements à Professeur **DOUMANDJI Salah-Eddinne** pour leur encouragement et leur aide.*

*Que toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent l'expression de ma haute considération.*

**KHERROUBI Mounir**

# Dédicace

---

Je dédie ce fruit de travail en signe de respect, de reconnaissance et  
d'amour

A ma très chère maman, **OTHMANI Ouda** pour son Amour, ses Sacrifices,  
son Soutien et pour Tous, Merci ;

A la mémoire de mon très cher père, **Bakhouch** Allah yarahmou

A mes très chères soeurs, Hadda, Fadila, Zahia, Halima

A mes très chers frères, Massaoud, Tahar, Brahim, Mouhamed, Nabil,  
Samir et Sofian

A mes nièces et mes neveux, Achraf, Akram, Yacin, Islam, Malak, Hayat,  
Amina, Meriem

A toute mes amis surtout Chahbar, Zaki, Bilal, Chebli, Oussama, Ailem

Djefar, Zaydat, mohamed, Djety, Aiman, Djabout, Youcef Oz, Younes,

Chachoua, Ouandino, Kheniwi, Ami Yahia, Tahir, Khaled, Alona,

Lesleyanne,

Et pardon à tout ce que j'aurais oublié.

*KHERROUBI Mounir*

## Table des matières

---

<a href="#">Liste des figures</a> .....	A
<a href="#">Liste des tableaux</a> .....	B
<a href="#">Liste des Abréviations</a> .....	C
<b>Introduction</b> .....	2
<b>PREMIER CHAPITRE</b> .....	5
<b>Synthèse de données sur la bioécologie de la processionnaire <i>Thaumetopoea pityocampa</i> et son hôte, <i>Cedrus atlantica</i></b> .....	5
I. Bioécologie de la processionnaire <i>Thaumetopoea pityocampa</i> .....	5
I.1. Caractères taxonomiques .....	5
I.2. Biogéographie .....	6
I.3. Ecophases et chronologie de développement .....	8
I.3.1. La phase aérienne.....	9
I.3.1.1. Emergence et accouplement des adultes.....	9
I.3.1.2. Ponte .....	11
I.3.1.3. Ecllosion des œufs et développement larvaire.....	11
I.3.1.4. Nid d’hiver .....	11
I.3.1.5. La procession de nymphose .....	12
I.3.2. Phase souterraine .....	12
I.4. Les dommages .....	14
I.4.1. Importance des défoliations .....	14
I.4.2. Impacts sanitaires .....	14
I.5. Plantes hôtes.....	16
I.6. Le cèdre de l’Atlas, hôte de <i>Thaumetopoea pityocampa</i> .....	16
I.6.1. Présentation taxonomique et botanique .....	16
I.6.2. Ecologie .....	17
I.6.2.1. Répartition géographique du cèdre de l’Atlas .....	17
I.6.2.2. Exigences climatiques .....	17
I.6.2.3. Sol .....	18
I.7. Ennemis naturels.....	18
I.7.1. Les principaux prédateurs .....	22

I.7.2. Les principaux parasitoïdes.....	22
I.7.3. Les agents pathogènes .....	22
<b>DEUXIEME CHAPITRE .....</b>	<b>24</b>
<b>Les parasitoïdes et leur importance en lutte biologique .....</b>	<b>24</b>
1. Généralités sur les parasitoïdes .....	24
2. Les Hyménoptères parasites .....	24
3. Les modes de parasitisme .....	25
4. Les différentes étapes du parasitisme .....	25
4.1.Étape pré-ovipositionnelle.....	26
4.2. Étape post-ovipositionnelle .....	27
5. Importance des parasitoïdes en lutte biologique.....	27
5.1. Lutte biologique par acclimatation.....	28
5.2. Lutte biologique par augmentation .....	28
5.3. Lutte biologique par conservation.....	28
<b>TROISIEME CHAPITRE .....</b>	<b>30</b>
<b>Synthèse de données sur les métabolites secondaires des plantes, état des connaissances sur les plantes insecticides et généralités sur les plantes étudiées ...</b>	<b>30</b>
1. Généralités sur les métabolites secondaires des plantes .....	30
1.1. Les composés phénoliques .....	31
1.1.1. Flavonoïdes .....	32
1.1.2. Phénols, Acides phénoliques.....	35
1.1.3. Coumarines.....	36
1.1.4. Lignanes, néolignanes et composés apparentés .....	37
1.1.5. Anthocyanosides .....	37
1.1.6. Tanins .....	38
1.1.7. Quinones.....	39
1.2. Les terpénoïdes et les stéroïdes .....	40
1.3. Les alcaloïdes .....	44
2. Etat des connaissances sur les plantes à effet insecticide .....	45
3. Monographie des plantes étudiées .....	49
3.1. <i>Populus nigra</i> .....	49

3.1.1. Position systématique .....	49
3.1.2. Description botanique.....	49
3.1.3. Répartition géographique en Algérie .....	50
3.1.4. Intérêt phytochimique .....	50
3.2. <i>Taxus baccata</i> .....	51
3.2.1. Position systématique.....	51
3.2.2. Description botanique .....	51
3.2.3. Répartition géographique en Algérie .....	52
3.2.4. Intérêt Phytochimique .....	52
<b>QUATRIEMECHAPITRE .....</b>	<b>55</b>
<b>Matériels et Méthodes .....</b>	<b>55</b>
1. Site d'étude .....	55
1.1. Présentation du parc national de Chréa .....	55
1.2. Station d'étude.....	57
2. Etude biométrique des pontes et importance des parasitoïdes embryonnaires .....	58
2.1. Récolte et préparation du matériel biologique .....	58
2.2. Mensuration des pontes .....	59
2.3. Dénombrement des œufs .....	59
2.4. Contrôle et répertoire des espèces parasitoïdes à l'émergence .....	59
3. Activité insecticide et Screening phytochimique.....	60
3.1. Récolte et préparation du matériel végétale .....	60
3.2. Extraction des extraits totaux .....	61
3.3. Calcul du taux (en %) d'extraction .....	62
3.4. Préparation des solutions et activité insecticide.....	62
3.5. Expression des résultats de mortalité.....	64
3.6. Screening phytochimique .....	64
3.6.1. Recherche des alcaloïdes.....	64
3.6.2. Recherche des Tanins.....	64
3.6.3. Recherche des anthocyanes .....	65
3.6.4. Recherche des leucoanthocyanes .....	65
3.6.5. Recherche des saponosides .....	65
3.6.6. Recherche des flavonoïdes .....	65
3.6.7. Recherche des glucosides.....	65

4. Méthodes d'exploitations des résultats.....	66
<b>CINQUIEME CHAPITRE</b> .....	69
<b>Résultats et Discussion</b> .....	69
1. Etude biométrique des pontes .....	69
1.1. L'analyse descriptive de longueurs des pontes .....	69
1.2. Analyse fréquentielle des pontes.....	70
1.3. Dénombrement des œufs par pontes.....	72
1.4. Analyse fréquentielle des effectifs des œufs par pontes.....	73
1.5. Relation entre la longueur des pontes et le nombre des œufs .....	75
1.6. Chronologie des éclosions des pontes.....	77
2. Importances des parasitoïdes embryonnaires.....	79
2.1. Biodiversité des parasitoïdes embryonnaires récoltés.....	79
2.1.1. <i>Baryscapus servadeii</i> .....	81
2.1.2. <i>Ooencyrtus pityocampae</i> .....	82
2.1.3. <i>Trichogramma embryophagum</i> .....	82
2.2. Fréquence de présence des parasitoïdes .....	83
2.3. Analyse globale du matériel biologique récolté.....	84
3. Activité insecticide de deux plantes, <i>Taxus baccata</i> et <i>Populus nigra</i> et Screening phytochimique .....	85
3.1. Taux du rendement a` l'extraction .....	85
3.2. Effet insecticide sur les éclosions des œufs .....	86
3.3. Analyse descriptive de la mortalité larvaire.....	86
3.4. Variation du taux de mortalité.....	89
3.5. Comparaison des moyennes .....	89
3.6. Détermination de la DL50 des différents extraits testés sur les larves L1 de processionnaire du pin <i>Thaumetopoea pityocampa</i> .....	90
3.7. Screening phytochimique deux plantes <i>Taxus baccata</i> et <i>Populus nigra</i> .....	93
<b>Conclusion</b> .....	96
<b>Reference</b> .....	99

## **List des abréviations**

---

**D** : dose

**DDL** : degré de liberté

**DL50** : doses létales provoquent 50% de mortalité

**E** : poids de la matière végétale

**ENSA** : Ecole Nationale Supérieure Agronomique

**M** : pourcentage de morts dans la population traitée

**MC** : mortalité corrigée.

**Mt** : pourcentage de morts dans la population témoin

**P<sub>0</sub>** : poids en g de la fiole vide

**P<sub>1</sub>** : poids en g de la fiole après évaporation

**PMC** : Populus Methanol chloroform

**PME** : Populus Méthanol eau

**PMP** : Populus Méthanol pur

**Pr** : paragraph

**T<sub>0</sub>** : témoin

**TMC**: Taxus Methanol chloroform

**TME**: Taxus Methanol eau

**TMP**: Taxus Methanol pure

**Type III SS** : somme des carrés

## Liste des figures

---

**Figure 1.** Distribution géographique de *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea wilkinsoni*

**Figure 2.** Cycle biologique de la processionnaire du pin

**Figure 3.** Séquences horaires du comportement des adultes de la processionnaire du pin

**Figure 4.** Manipulation du nid d'hiver de la processionnaire du pin (Chr ea, 2014)

**Figure 5.** Mise en correspondance du type de climat avec le cycle de vie de la processionnaire du pin. Les flèches indiquent la durée potentielle de la phase larvaire.

**Figure 6.** Schéma caractérisant les différentes étapes impliquées dans le fonctionnement d'une interaction hôte-parasito ide, des stimuli mis en œuvre et leurs localisations

**Figure 7.** Squelette moléculaire de base des flavono ides avec la numération classique

**Figure 8.** Voies de biosynthèse des flavono ides

**Figure 9.** Structures chimiques de quelques phénols simples

**Figure 10.** Structures chimiques de quelques acides hydroxybenzo ique.

**Figure 11.** Structures chimiques de quelques coumarines

**Figure 12.** Structure et numération des atomes de carbone du phénylpropane (1) et deslignanes (2) (liaison  $\beta$ - $\beta'$  ou 8,8')

**Figure 13.** Structures chimiques de quelques anthocyanidines

**Figure 14.** Structures chimiques de quelques acides phénols

**Figure 15.** Squelette moléculaire d'un flavan-3-ol

**Figure 16.** Quelques structures quinoniques

**Figure 17.** Exemples de monoterpènes

**Figure 18.** Quelques exemples de sesquiterpènes caractéristiques des huiles essentielles

**Figure 19.** Filiation (schématique) des principaux groupes de lactones sesquiterpéniques

**Figure 20.** Exemples de structures : (1) Taxane (diterpène) ; (2) Squalène (triterpène) ; (3) Cholesterol (stéroïdes) ; (4) Cardénolides,

**Figure 21.** Exemples de quelques iridoïdes

**Figure 22.** Exemples de structures alcaloïdiques

**Figure 23.** Feuilles de *Populus nigra*.

**Figure 24.** If commun, *Taxus baccata*

**Figure 25.** Carte de localisation du parc national de Chréa et la station d'étude

**Figure 26.** Vue de la station choisie (Chréa) 2014 et 2015.

**Figure 27.** Dispositif expérimental de l'échantillonnage adopté à la récolte des pontes pour la station prospectée de Chréa

**Figure 28.** Pontes de la processionnaire sur rameau de cèdre de l'Atlas

**Figure 29.** Matériel végétale séché naturellement

**Figure 30.** Protocole de préparation des extraits du *Taxus baccata* et *Populus nigra*

**Figure 31.** Dispositif expérimentale adaptée par l'étude des tests sur les larves de 1er stade de la processionnaire

**Figure 32.** Analyse fréquentielle des longueurs des pontes en 2014

**Figure 33.** Analyse fréquentielle des longueurs des pontes en 2015

**Figure 34.** Répartition des effectifs des œufs en classes de l'année 2014

**Figure 35.** Répartition des effectifs des œufs en classes de l'année 2015

**Figure 36.** Relation entre le nombre d'œufs et la longueur de la ponte en 2014

**Figure 37.** Relation entre le nombre d'œufs et la longueur de la ponte en 2015

**Figure 38.** Fréquence d'éclosion des pontes en fonction des températures moyennes

**Figure 39.** Éclosions des pontes de *Thaumetopoea pityocampa* au cours du temps au laboratoire.

**Figure 40.** *Baryscapus servadeii*

**Figure 41.** *Ooencyrtus pityocampae*

**Figure 42.** *Trichogramma embryophagum*

**Figure 43.** Évaluation de la mortalité des larves L1 de *Thaumetopoea pityocampa* traitées par les six extraits TMP, TMC, TME, PMP, PME, PMC.

**Figure 44.** Droite de régression de la relation log dose-Probits des tests sur les L<sub>1</sub> de *Thaumetopoea pityocampa* à l'égard des différents extraits testés.

## Liste des tableaux

---

**Tableau 1.** Les processionnaires et leur phase chronologique de développement

**Tableau 2.** Symptômes sanitaires observées lors d'exposition aux poils

**Tableau 3.** Répertoire des ennemis naturels des œufs de la processionnaire durant ces différentes écophases de développement.

**Tableau 4.** Répertoire des ennemis naturels des chenilles de la processionnaire durant ces différentes écophases de développement.

**Tableau 5.** Répertoire des ennemis naturels des chrysalides et des adultes de la processionnaire durant ces différentes écophases de développement.

**Tableau 6.** Caractéristiques générales du site d'étude

**Tableau 7.** La biométrie des longueurs des pontes

**Tableau 8.** Analyse fréquentielle des longueurs des pontes cédraie Chréa

**Tableau 9.** Analyse descriptive des effectifs des œufs par ponte

**Tableau 10.** Analyse fréquentielle des effectifs des œufs

**Tableau 11.** La fréquence de présence des parasitoïdes durant l'année 2014 et 2015

**Tableau 12.** Catégories d'œufs dénombrées

**Tableau 13.** Taux du rendement à l'extraction

**Tableau 14 :** Activité des extraits du *Taxus baccata* et *Populus nigra* sur la mortalité exprimée (%) des larves L1 de la processionnaire.

**Tableau 15.** Analyse de la variance

**Tableau 16.** Comparaison multiple des moyennes entre les six extraits

**Tableau 17.** Doses létales DL 50 des différents extraits du *Taxus baccata* et *Populus nigra* sur la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pytiocampa*.

**Tableau 18.** Résultats des tests phytochimiques

# **INTRODUCTION**

## Introduction

---

Dans le monde, le milieu forestier est estimé à environ 4 milliards d'hectares, soit 30% de la superficie des terres émergées selon les données de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2015). En Algérie le patrimoine forestier couvre une superficie de 4,7 millions d'hectares, soit un taux de boisement de 11% du nord de l'Algérie (DGF, 2007) où la forêt représente 1,3 millions hectare et le reste est constitué de maquis, de garrigues et de terres improductives aux potentialités forestières (DGF, 2004). Les forêts de cèdre font partie des écosystèmes méditerranéens qui jouent un rôle fondamental notamment dans l'équilibre des régions montagneuses du l'Afrique du Nord.

En Algérie le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti (1844) occupe 40.000 ha et représente une grande richesse biologique avec un intérêt exceptionnel qui s'oriente vers la protection et l'extension. La nécessité de protéger le cèdre est toujours placée en amont des programmes forestiers. C'est ainsi que la majorité des cédraies se trouvent dans des parcs nationaux. Ces communautés biotiques sont menacées par diverses espèces de défoliateurs et de xylophages pour l'essentiel la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* dont la répartition suit les zones de distribution des essences résineuses du genre *Pinus* et *Cedrus* (Fraval, 2007). Cet insecte primaire provoque un affaiblissement de son hôte et l'expose à d'autres insectes en particulier les xylophages (Zamoum, 1998). Les adultes appartenant à ce groupe d'insectes sociaux, ont une longévité très limitée. Les larves, connues pour leur mode de vie grégaire, leur voracité, leur mode de déplacements en file indienne (Seigue, 1985, et Fraval, 2007) et leurs propriétés urticantes posent de nombreux problèmes sanitaires pour les humains et les animaux (Battistiet al., 2017). L'extension de l'aire de répartition des essences hôtes joue un rôle très important dans les déplacements de cet insecte (Leblond, 2009). Cette situation de propagradation conduit localement à des actions de lutte, notamment dans les forêts ou des espaces boisés accueillant du public. La lutte a pour objectif de diminuer les infestations de ce ravageur et de protéger les peuplements les plus sensibles :

- En forêt de protection et en forêt de production (sur les jeunes peuplements sensibles), lorsque la survie des arbres est menacée par de fortes défoliations répétées,

- Dans les forêts fréquentées par le public, la décision se justifie différemment car le préjudice principal est l'aspect inesthétique des arbres défeuillés et le désagrément dû aux urtications provoquées par les poils des chenilles.

Les parasitoïdes embryonnaires identifiés ; *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampae* et *Trichogramma embryophagum* sont actifs et doivent être protégés dans leur milieu naturel. Parmi ces derniers le *Trichogramma embryophagum* reste le plus performant Kherroubi (2012). La processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* évolue d'une manière stratégique en altitude et son extension est à craindre dans une plus large dimension si la protection de ses auxiliaires n'est pas respectée dans leur milieu environnant (Jactel et al., 2015 ; Préau et Beaune, 2016).

L'objectif de notre investigation est de faire un suivi des pontes et des éclosions sur deux années consécutives (2014-2015) dans la cédraie de Chréa ce qui nous permet d'identifier, de dénombrer les parasitoïdes et de situer la période de traitement. Une évaluation du potentiel insecticide de plusieurs extraits végétaux de deux plantes locales *Populus nigra* et *Taxus baccata* appelé communément (If) sur les œufs et sur les larves de premier stade de la processionnaire du pin.

La présente étude s'articule en cinq chapitres, le premier et le second sont consacrés à la présentation d'une synthèse de données sur processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, les parasitoïdes et son importance en lutte biologique. Le troisième chapitre est axé sur l'étude générale des métabolites secondaires des plantes. Dans le quatrième volet, nous présentons le site d'étude, le matériel utilisé et les méthodes adoptées sur le terrain et au laboratoire. Le dernier chapitre porte les résultats et les interprétations. Une conclusion et des perspectives achèvent ce document.

# **PREMIER CHAPITRE**

# PREMIER CHAPITRE

## Synthèse de données sur la bioécologie de la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* et son hôte, *Cedrus atlantica*

---

### I. Bioécologie de la processionnaire *Thaumetopoea pityocampa*

Les processionnaires sont de redoutables défoliateurs des essences forestières résineuses et feuillues dans le bassin méditerranéen. Les adultes de ces insectes sociaux ont une vie éphémère. Les chenilles sont connues pour leur mode de déplacements en file indienne (Seigue, 1985 et Fraval, 2007) et leur propriétés urticantes sont à l'origine des problèmes sanitaires (Moneo *et al.*, 2015). Ces Lépidoptères sont considérés parmi les principaux ravageurs des forêts du sud de l'Europe et des pays méditerranéens, ils provoquent l'affaiblissement des essences les exposant ainsi aux insectes xylophages (Bonnet *et al.*, 2008; Claessens, 2016).

#### I.1. Caractères taxonomiques

La processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* du pin a été décrite pour la première fois sous le nom de *Bombyx pityocampa* par Denis et Schiffermüller en 1775, puis classée dans le genre de *Thaumetopoea* en 1819 par Hübner (Zamoum, 1998).

C'est une espèce de lépidoptères appartenant à la famille des Thaumetopoeidae, à la superfamille des Notodontoïdeae, qui se regroupent dans l'unique genre de *Thaumetopoea* (Fraval, 2007) représentant au total neuf espèces (Agenjo, 1941). Alors que Pimentel (2004) cite 8 espèces qui se répartissent sur l'ensemble de l'Eurasie et de l'Afrique (tableau 1) dont cinq s'attaquent uniquement aux essences des genres *Pinus* et *Cedrus*. Trois espèces sont spécifiques aux cèdres ; *Thaumetopoea bonjeani* Powell (1922), *Thaumetopoea libanotica* Kiriakoff. Et Talhouk (1975) et *Thaumetopoea solitaria* Frey (1838).

**Tableau 1.** Les processionnaires et leur phase chronologique de développement

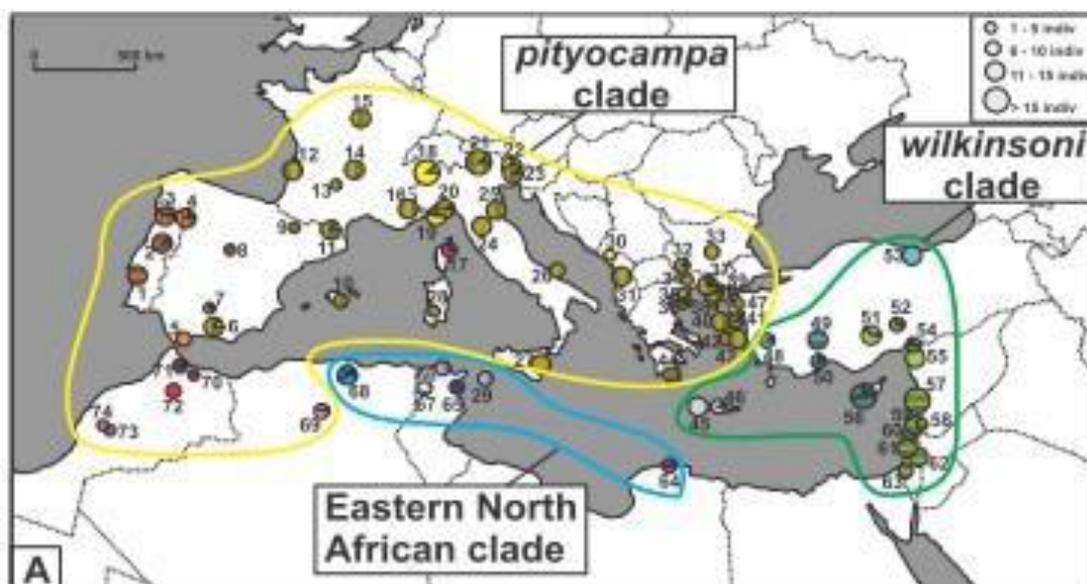
Espèces	Cycle	Diapause	Période du vol	Développement larvaire	Nid
<i>Thaumetopoea pinivora</i> (Treitschke, 1834)	Biannuel Univoltin	Œufs+ pupes	Juillet-Août Avril-Juin	Avril-Juillet Juin- August	Oui
<i>Thaumetopoea bonjeani</i> (Powell, 1922)	Univoltin	Œufs	Août- Septembre	Mars-Juillet	Non
<i>Thaumetopoea processionea</i> (Linnaeus, 1758)	Univoltin	Œufs	Août- Novembre	Avril- Juillet	Oui
<i>Thaumetopoea solitaria</i> (Freyer, 1838)	Univoltin	Œufs	Août- Novembre	Février-Mars	Non
<i>Thaumetopoea herculeana</i> (Rambur, 1840)	Univoltin	Œufs	Août- Septembre	Printemps	Oui
<i>Thaumetopoea pityocampa</i> (Denis & Schiff, 1775)	Univoltin	Pupes	Juillet- Septembre	Septembre- Mars	Oui
<i>Thaumetopoea wilkinsoni</i> (Tams, 1924)	Univoltin	Pupes	Août- Novembre	Octobre-Mars	Non
<i>Thaumetopoea jordana</i> (Staudinger, 1894)	Univoltin	Pupes	Septembre- Décembre	Novembre- Mars	Oui

Pimentel (2004)

## I.2. Biogéographie

Les populations de la processionnaire du pin montrent des fluctuations très importantes liées à plusieurs facteurs en particulier la température. Ce facteur reste le plus déterminant de la distribution et de l'état sanitaire des peuplements forestiers (Dajoz, 2007). Le même auteur met le point sur les exigences thermiques qui conditionnent la répartition de ce défoliateur, où la température létale supérieure est de 32 °C et la température létale inférieure et de -6°C pour les chenilles isolées, et de -10 °C pour les chenilles réunies en colonie qui se regroupent dans le nid d'hiver.

La processionnaire du pin a été toujours considérée comme le principal ravageur des massifs forestiers du pin d'Alep dans bassin méditerranéen ; du sud de l'Europe et du nord de l'Afrique (FAO, 2010) (Figure 1).



**Figure 1** : Distribution géographique de *Thaumetopoea pityocampa* et *Thaumetopoea wilkinsoni* (Kerdelhué *et al.*, 2009)

Les culminations de la dernière gradation sont notées pendant la période de 1999- 2000 sur le littoral méditerranéen ; lors des hivers 2000-2001 et 2002-2003 dans la zone sous influence méditerranéenne et dans la zone continentale, du bassin parisien au seuil du Poitou. En revanche, sur la façade atlantique où l'influence océanique a modéré les températures d'août 2003, les niveaux de population ont de nouveau progressé en 2003 et en 2004, pic très modéré dans les Pyrénées et leur Piémont, ainsi que de Bretagne à l'Anjou (Grojean *et al.*, 2006). En Europe le climat est significativement réchauffé avec une augmentation de température de 0,95°C (Morel, 2008 ; Roques *et al.*, 2015). L'agence européenne de l'environnement note que cette augmentation concerne davantage les températures hivernales et estivales. Le réchauffement climatique exerce un impact sur la dynamique et la répartition de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* (Rousselet, 2011). Une extension latitudinale et altitudinale de *T. pityocampa* est notée dans le bassin parisien de France de 87 kilomètres au nord entre 1972 et 2006 (Corine, 2006 ; Préau et Beaune, 2016). Dans l'Italie nordique (Alpes), un décalage altitudinal

ascendant de 110 à 230 mètres s'est produit au cours de la période de 1975 et 2004 (Battisti *et al.*, 2005).

En Afrique du Nord, ce Lépidoptère a toujours existé sur pins à l'état naturel puis il a gagné la cédraie. Au Maroc, l'insecte est présent dans le nord, l'oriental, le Haut Atlas. Par ailleurs, le sud du Haut Atlas est considéré comme la limite sud de l'aire de sa répartition où il n'a pas été observé (El Yousfi 1994 ; Imbault *et al.*, 2013).

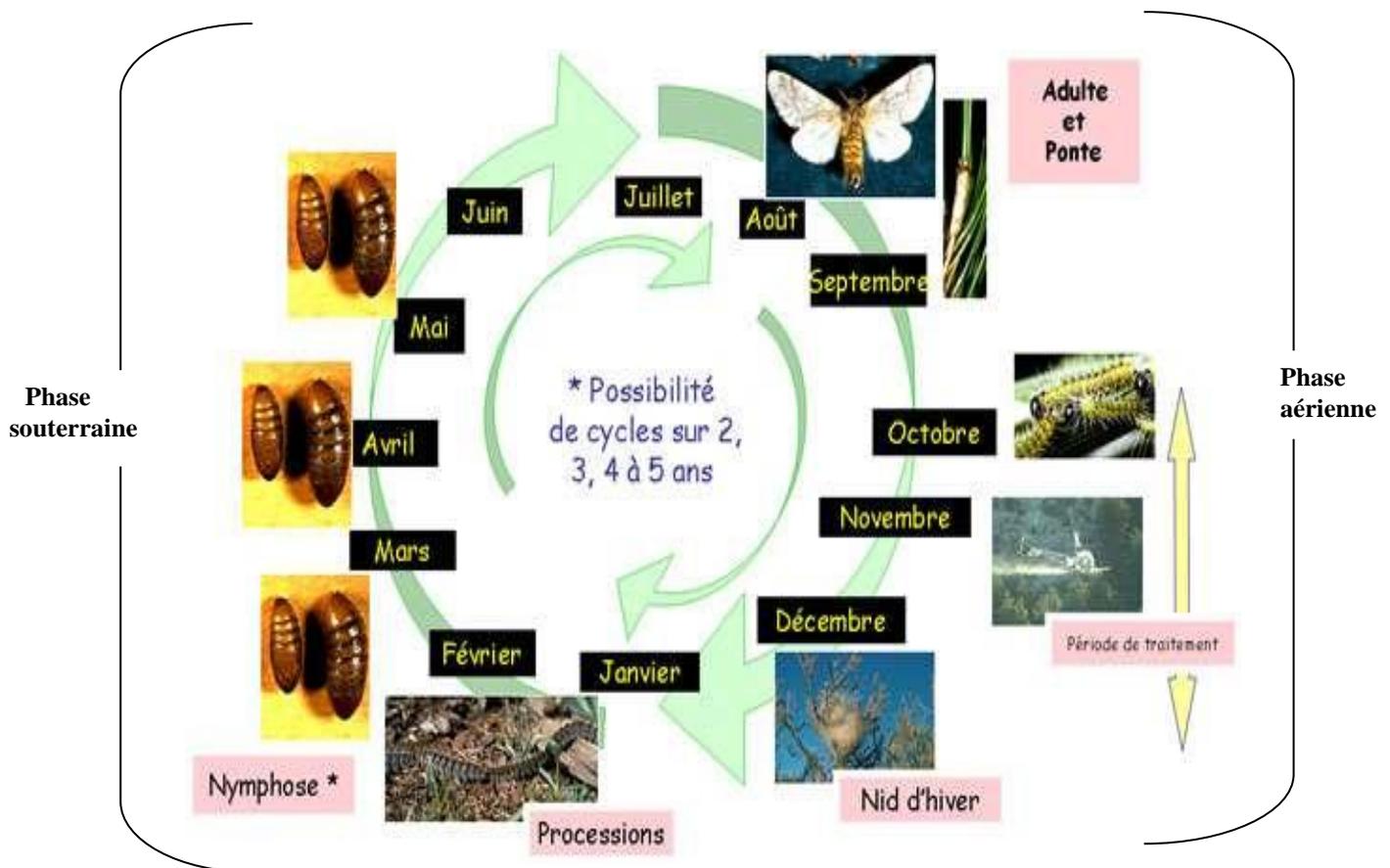
Le pin et le cèdre sont souvent victimes des attaques spectaculaires des chenilles de la processionnaire du pin (Huchon *et Demolin*, 1970). En Algérie, une seule espèce a été mentionnée jusqu'à l'année 1982, *T. Pityocampa*. A partir du mois de juin 1982 une nouvelle processionnaire commettant des dégâts impressionnants a été signalée, il s'agit de *T. bonjeani*, qui a été localisée dans la cédraie de Belezma (Batna). La superficie attaquée entre 1982 et 1983 a avoisiné les 500 hectares (Gachi, 1994). L'auteur précité mentionne que l'aire potentielle de cet insecte correspond aux cédraies de hautes altitudes; Chréa, Djurdjura, Babors, Boutaleb, Teniet-El-Had et Aurès.

### **I.3. Ecophases et chronologie de développement**

Le cycle biologique de la processionnaire est généralement annuel mais il peut s'étendre sur plusieurs années selon les conditions du milieu. Cette espèce montre une forte variabilité phénologique en fonction de la latitude et de l'altitude (Demolin, 1974 ; Préau *et Beaune*, 2016).

Ces processionnaires appartiennent au groupe d'été qui effectuent leur développement larvaire du début du printemps jusqu'au début de l'été. Les deux autres, *T. pityocampa* Denis *et Schiff.* *et T. wilkinsoni* Tams, s'attaquent principalement au genre *Pinus*, mais aussi au genre *Cedrus*. Ces dernières sont des processionnaires d'hiver dont le développement larvaire s'étale de la fin de l'été jusqu'au printemps de l'année suivante. Ce groupe est connu par le nid d'hiver confectionné par les chenilles du troisième stade pour y passer la saison froide (Demolin *et al.*, 1994 ; Jactel *et al.*, 2015).

Deux principales phases caractérisent le comportement biologique de la processionnaire du pin ; la phase aérienne et la phase souterraine qui sont séparées par une procession de nymphose (Figure2).



**Figure 2.** Cycle biologique de la processionnaire du pin

(Jean Claude Martin 2007, Modifié en 2015)

### I.3.1. La phase aérienne

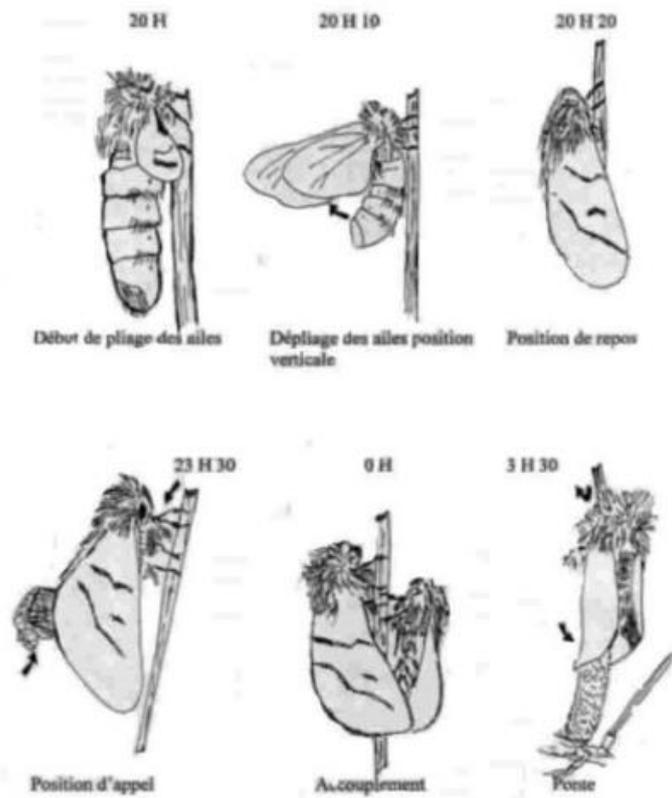
La phase aérienne, appelée phase épigée s'étale de l'émergence des adultes en été jusqu'aux déplacements des colonies de chenilles en procession de nymphose au printemps de l'année suivante pour un enfouissement dans le sol.

#### I.3.1.1. Emergence et accouplement des adultes

L'émergence des adultes de la processionnaire du pin s'effectue au cours de la période estivale, entre la fin des mois de juin et d'août. A l'aide des crêtes sclarifées, les adultes

découpent la paroi du cocon de la nymphose (Demolin, 1969a). Morphologiquement, les deux sexes se ressemblent notamment par leurs ailes de couleur grise blanchâtre. Le mâle se distingue de la femelle par sa taille qui est plus petite (dimorphisme sexuelle) (Martin, 2005 ; Durand, 2014).

L'accouplement des adultes se produit quelques heures après le coucher du soleil. La femelle se place dans une position d'appel, dévaginant son armature génitale pour diffuser sa phéromone spécifique appelée la pityolure. Une fois la pityolure émise, le mâles localise facilement la femelle, et l'accouplement peut avoir lieu. La copulation dure à près une heure. A la fin de l'accouplement, les deux partenaires s'envolent. Le mâle meurt peu après et la femelle part à la recherche du support idéal pour la ponte des œufs (Demolin, 1969a ; Martin, 2005 ; Durand, 2014). La figure 3 représente les séquences horaires du comportement de ponte des adultes de la processionnaire du pin.



**Figure 3.** Séquences horaires du comportement des adultes de la processionnaire du pin.  
(Demolin, 1969)

### **I.3.1.2. Ponte**

La durée de l'émission des œufs est de trois à quatre heures. La femelle dépose ses œufs, sous forme d'un manchon d'environ cinq centimètres de longueur regroupant en moyenne 300 œufs, autour de deux aiguilles de pin et très rarement sur des rameaux à faible diamètre (Huchon, et Demolin, 1970). La femelle couvre ses œufs d'un revêtement d'écaillés blanchâtres qu'elle arrache en pondant à la surface dorso-postérieure de son abdomen et qui offre à la ponte un aspect mimétique aux aiguilles de pin protégeant ainsi les œufs des attaques des ennemis (Fabre, 1994 et 1999).

### **I.3.1.3. Eclosion des œufs et développement larvaire**

Les œufs éclosent après 30 à 45 jours d'incubation. le développement larvaire comporte cinq stades (Démolin, 1965 ; Martin et Brinquin, 2014) qui sont différenciables par la taille de la capsule céphalique, la taille des chenilles, ainsi que la présence des poils urticants qui apparaissent à partir du deuxième stade larvaire (Grojean *et al.*, 2006). En Algérie, la période moyenne de développement larvaire s'étale sur 10 mois pour les populations d'altitudes et sur 6 mois seulement pour celles évoluant sur le littoral (Zamoum, 2008).

### **I.3.1.4. Nid d'hiver**

Dès l'arrivée des premiers froids, les chenilles tissent sur les extrémités des branches exposés au soleil, une bourse de soie volumineuse ; le nid d'hiver (Gachi, 1996) d'un diamètre pouvant atteindre 30cm de longueur (Démolin, 1967). Cette bourse soyeuse joue le rôle d'un radiateur en captant les rayons du soleil pour augmenter la température à l'intérieur du nid ce qui permet aux chenilles de résister aux basses températures hivernales. Le nid d'hiver offre également à la colonie le refuge contre l'action des différents ennemis (Hoch *et al.*, 2009) (Figure 4).



**Original**

**Figure 4.** Manipulation du nid d'hiver de la processionnaire du pin (Chr ea, 2014)

### **I.3.1.5. La procession de nymphose**

La phase aérienne se termine par la procession de nymphose qui a lieu à la fin de l'hiver. A une température allant de 10  C   22  C, les chenilles, parvenues à maturité, descendent le long du tronc de l'arbre hôte et se regroupent dans la zone de sol éclairée et meuble pour s'y enfouir à une profondeur de 5 à 20 centimètres. La profondeur de l'enfouissement est d'autant plus profond que la température est décroissante (Démolin, 1971 ; Dajoz, 2007). Dans certain cas l'enfouissement n'est pas définitif et les chenilles peuvent changer l'endroit de nymphose si les conditions leur sont défavorables (Grojean *et al.*, 2006).

### **I.3.2. Phase souterraine**

Après l'enfouissement, les chenilles tissent des cocons individuels et se transforment en chrysalides qui rentrent en diapause obligatoire qui dure généralement jusqu'à 4 mois (Dajoz, 1980) ; les travaux de l'INRA France menés en 2012 ont montré que la diapause peut durer de quelques semaines à plusieurs mois, voire même deux à trois ans suivant les conditions climatiques. A la fin il y a une reprise intense de l'activité métabolique avec la formation des adultes. Un mois plus tard, l'adulte sera prêt pour sortir de terre (Démolin, 1971). Dans le cas où la température s'avère insuffisante pour assurer la reprise de l'activité métabolique, les chrysalides restent en quiescence et la diapause peut s'étendre sur une à plusieurs années (Huchon et Demolin, 1970 ; Dajoz, 1980). Durant cette phase,

les mortalités sont significatives et peuvent s'élever à plus de 60% de la colonie (Martin, 2005 ; Grojean *et al.*, 2006) (Fig. 5).



**Figure 5** : mise en correspondance du type de climat avec le cycle de vie de la processionnaire du pin. Les flèches indiquent la durée potentielle de la phase larvaire. (Partenaria Plante et Cité /INRA France 2012).

Le cycle de vie de la processionnaire du pin est très variable selon le type de climat et l'altitude considérés. Comme chez tous les lépidoptères. La durée de chaque stade larvaire est très variable selon le climat. Toutefois, des études ont montré que le stade L1 peut durer de 12 à 14 jours, le stade L2 de 14 à 16 jours, le stade L3 dure environ 1 mois, et les stades L4 et L5 peuvent durer de 1 à 3 mois chacun. Les chenilles de stade L5 se mettent en procession de nymphose, de février à mai selon le climat ; La durée de la phase adulte reste assez stable contrairement aux deux autres phases qui demeurent très variables selon le climat. la température joue un rôle essentiel dans le développement de la processionnaire du pin ainsi la température létale varie entre -10°C et -16°C (Hoch et al. 2009). De plus, deux autres seuils de température régissent l'alimentation des chenilles. Les chenilles sortent du nid pour s'alimenter seulement les nuits où la température est supérieure à 0° et à condition que la température dans le nid durant la journée sont supérieure à 9°C.

#### I.4. Les dommages

*Les dégâts que peut provoquer la processionnaire du pin sont deux ordres ; sylvicole et sanitaire.*

#### **I.4.1. Importance des défoliations**

La nuisibilité d'un défoliateur est déterminée par le niveau de sa population, l'essence attaquée, le type et l'âge de peuplement ainsi que l'orientation (Guillain et Silvain, 2016). En Algérie, les attaques de la processionnaire du pin sont toutes réparties dans toutes les pinèdes et les cédraies. Bien que les périodes de culmination soient limitées temporellement, ce défoliateur provoque des dégâts considérables au niveau des forêts naturelles et très sévères en forêts reboisées (Zamoum, 2002).

Dans les jeunes reboisements situés en zone semi-aride, on observe une mortalité sur pied des jeunes arbres soumis à des défoliations totales et répétées. En effet, sur des sols peu profonds reposant sur une dalle calcaire, la croissance des plants est lente, elle est également tributaire de la pluviométrie qui peut certaines années être inférieure à 300 mm. De ce fait, une forte attaque durant 2 à 3 années successives peut entraîner une mortalité de l'ordre de 5 à 10% dans les jeunes reboisements (Gachi, 1996).

#### **I.4.2. Impacts sanitaires**

Des problèmes sanitaires liés aux poils urticants peuvent entraîner chez l'homme et les animaux des phénomènes allergiques (Morel, 2008 ; Durand, 2014). A partir du troisième stade de développement, les chenilles possèdent, à la partie dorsale de chacun des segments abdominaux, une glande pluricellulaire qui synthétise une protéine urticante, la thaumétopoéine. Au cinquième stade, les glandes se transforment et deviennent des "miroirs urticants" (Grojean *et al.*, 2006). Les poils urticants sont libérés dans l'air dès que la chenille se sent menacée (Bovet, 2008). Les contaminations surviennent, en général, dans ou à proximité des forêts selon deux manières ; soit par contact direct avec les chenilles ou les nids, soit indirect avec le sol ou les poils en suspension dans l'air (Grojean *etal.*, 2006). Ronzon(2006) ; Vandembrouck (2007) et Bovet (2008), définissent quatre types de symptômes résumés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Symptômes sanitaires observées lors d'exposition aux poils **Kherroubi (2012)**

<b>Symptômes</b>	
<b>Peau</b>	<p>La réaction se fait sur les parties découvertes de la peau mais aussi sur d'autres parties du corps.</p> <p>Les poils urticants se dispersent aisément par la sueur, le grattage et le frottement ou par l'intermédiaire des vêtements.</p> <p>Apparition d'une éruption douloureuse avec de sévères démangeaisons dans les huit heures.</p>
<b>Yeux</b>	<p>Développement après 1 à 4 heures d'une conjonctivite (yeux rouges, douloureux et larmoyants).</p> <p>Quand un poil urticant s'enfoncé profondément dans les tissus oculaires, apparaissent des réactions inflammatoires sévères avec, dans de rares cas, évolution vers la cécité.</p>
<b>Voies respiratoires</b>	<p>Les poils urticants irritent les voies respiratoires.</p> <p>Cette irritation se manifeste par des éternuements, des maux de gorge, des difficultés à déglutir et éventuellement des difficultés respiratoires dues à un bronchospasme (rétrécissement des bronches comme dans l'asthme).</p>
<b>Système digestif</b>	<p>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</p>

## I.5. Plantes hôtes

La chenille processionnaire du pin se nourrit des aiguilles de diverses espèces de pins et de cèdre (Dulaurent, 2010). Martin (2005) classe les plantes hôtes, selon les préférences comme suit :

- Pin noir d'Autriche (*Pinus nigra* subsp. *Nigricans* Host)
- Pin Laricio de Corse (*Pinus nigra* subsp. *laricio* Poiret)
- Pin Laricio Sulzmann (*Pinus nigra* subsp. *Clusiana* Clem.)
- Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.)
- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.)
- Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti),
- Cèdre du Liban (*Cedrus libani* Richard.)
- Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.)
- Sapin (*Abies concolor* Lindl).

Demolin (1969 a) ; Thiéry *et al.*, (2013), indiquent que le choix de l'hôte est lié au critère relationnel de ponte de la femelle et le diamètre des aiguilles choisies. Au cours de l'émission des œufs, la femelle pondreuse réalise la distinction entre les différences plantes hôtes. Le support recherché doit être rugueux afin de permettre une attache optimale des griffes de la femelle. Des études ont également montré que le choix de l'arbre hôte dépend de la présence de substances volatiles émanant des tissus des aiguilles, comme le limonène (Tiberi *et al.*, 1999). De plus, l'essence de l'arbre peut également influencer le développement et la survie des larves (Hodar *et al.*, 2002).

## **I.6. Le cèdre de l'Atlas, hôte de *Thaumetopoea pityocampa***

### **I.6.1. Présentation taxonomique et botanique**

Le genre *Cedrus* fait partie de l'embranchement de spermatophytes, au sous embranchement des gymnospermes et appartient à la famille de pinacées. L'espèce est monoïque, les fleurs mâles sont des chatons et les fleurs femelles sont des cônes, la fécondation des fleurs se produit à l'automne de l'année suivante, le cône se forme en automne de la deuxième année, il reste vert sur l'arbre, il achève sa maturation au cours de la troisième année et s'ouvre au début de l'hiver (Aidrous-Larbi, 2007). Les cèdres ont évolué vers une distinction en quatre espèces répondant à des critères biogéographiques différents:

- Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti)
- Le cèdre du Liban (*Cedrus libani* Richard)
- Le cèdre de Chypre (*Cedrus brevifolia* Henry)
- Le cèdre d'Himalaya (*Cedrus deodara* Loudon)

## **I.6.2. Ecologie**

### **I.6.2.1. Répartition géographique du cèdre de l'Atlas**

*Cedrus atlantica* occupe actuellement des surfaces d'une importance inégale qui forment spontanément trois blocs géographiques distincts, Afrique du Nord, Asie mineure et Himalaya (M'hirit, 2006).

En Algérie, les peuplements les plus importants se rencontrent dans les Aurès, mais d'autres cédraies colonisent les massifs montagneux de l'Ouarsenis, de l'Atlas Blidéen, des Babors et du Hodna (Derridj, 1990 ; M'hirit, 2006).

### **I.6.2.2. Exigences climatiques**

Le cèdre croit sous des températures moyennes annuelles comprises entre 8 et 14° C (Toth, 1980). Les valeurs estimées par Derridj (1990) sur l'ensemble des cédraies algériennes s'encartent dans cet intervalle. Le cèdre résiste à des températures de -25°C en atmosphère sèche (Gausson, 1967), il vit dans ses pays d'origine avec des extrêmes absolus de - 25°C et + 35°C (Putod, 1979). Il reçoit dans ses pays d'origine des pluies annuelles comprises entre 450 et 1500 mm (Putod, 1979). A l'échelle des cédraies algériennes, en se basant sur la méthode d'extrapolation, Derridj (1990) a estimé des tranches de pluies annuelles bien supérieures : Aurès et Hodna : 720 à 770 mm / an ; Djurdjura méridional, Ouarsenis, Chréa et Meurdja: 1126 à 1420 mm / an ; Babors et Djurdjura septentrional : 1600 à 2100 mm / an. Toutefois, la répartition des pluies est irrégulière, de sorte que la saison la plus arrosée est l'hiver, et la plus sèche est l'été, comme le note Quezel (1976) pour les forêts de cèdre du pourtour méditerranéen qui subissent un climat caractérisé par une sécheresse estivale de 1 à 3 mois.

Le cèdre de l'Atlas s'accommode de climats très différents : montagnes littorales humides (Rif Marocain); montagnes continentales sèches (Aurès), et montagnes continentales humides (Moyen Atlas Marocain) (Boudy, 1952), mais son optimum est le climat méditerranéen humide et froid (Quezel, 1976). En Algérie, les cédraies de l'Atlas Saharien

(Hodna, Aurès), s'inscrivent dans l'étage bioclimatique sub-humide froid à très froid, alors que les cédraies de l'Atlas Tellien s'inscrivent dans l'étage humide voire per-humide frais et froid. Ces dernières bénéficient d'un climat plus humide et plus doux que celui des cédraies méridionales en raison de leur proximité de la mer (Le Houerou *et al.*, 1977 ; Meddour, 1994).

### **I.6.2.3. Sol**

Le cèdre n'a pas d'exigences particulières pour le sol, mais ne croit pas dans les sols tourbeux ou humides (Gaussen, 1967). Il redoute les sols mal drainés, asphyxiants, mouilleux, et la texture argileuse lui est défavorable (Toth, 1970). Sa croissance est sensiblement meilleure lorsque les fissures de la roche mère sont abondantes et profondes. Le cèdre de l'Atlas couvre un éventail varié de sols. Il peut s'accommoder même de sols peu évolués qu'il continue à améliorer. Sous le cèdre de l'Atlas, l'humus est de bonne qualité (Putod, 1979).

### **I.7. Ennemis naturels**

Les ennemis naturels de *Thaumetopoea pityocampa* ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherches en relation avec ce déprédateur. Ces antagonistes sont considérés comme des agents régulateurs efficaces des populations de l'insecte (Cebeci *et al.*, 2010). Durant tous les stades de son développement la processionnaire est sujette d'attaque de différentes espèces classées en prédateurs, parasitoïdes et entomopathogènes.

Les principaux ennemis de *Thaumetopoea pityocampa* sont décrits par plusieurs auteurs notamment: Du merle (1988) ; Battisti (1989) ; Sbabji (1997) ; Zamoum (1998) ; Martin (2005 et 2014) ; Fraval (2007) ; Lopez- Sebastian *et al.*, (2007) ; Bonnet *et al.*, (2008) ; Selfa *et al.*, (2009) ; Zovi *et al.*, (2008). Les tableaux 3, 4, et 5 regroupent les ennemis naturels de la processionnaire du pin en fonction du stade attaqué et le type de la relation établie.

**Tableau 3.** Répertoire des ennemis naturels des œufs de la processionnaire durant ces différentes écophases de développement. Kherroubi (2012)

	<b>Parasitoïdes</b>	<b>Prédateurs</b>	<b>Microorganismes pathogènes</b>
<b>Œufs</b>	<p>-<i>Baryscapus servadeii</i> (Hym., eulophidae).</p> <p>-<i>Baryscapus transversalis</i> (Hym., eulophidae).</p> <p>-<i>Pediobius sp.</i> (Hym., Eulophidae).</p> <p>-<i>Ooencyrtuspityocapae</i> (Hym., Eulophidae).</p> <p>-<i>Anastatus bifasciatus</i> (Hym., Eulophidae).</p> <p>-<i>Eupelmus seculata</i> (Hym., Eulophidae).</p> <p>-<i>Eupelmus sp.</i> (Hym., Eulophidae).</p> <p>-<i>Trichogramma embryophagum</i> (Hym., trichogrammatidae).</p> <p>-<i>Telenomus Haliday</i> (Hym., Scelionidae).</p>	<p>-<i>Ephippiger ephippiger</i> (Ortho., Tettigoniidae).</p> <p>-<i>Barbitiste fischeri</i> (Ortho., Tettigoniidae).</p> <p>-<i>Oecanthus pellucens</i> (Orth., Grillidae).</p> <p>-<i>Linepithema humile</i> (Hym. Formicidae).</p> <p>-Hérrison (<i>Paraechinus sp.</i>).</p> <p>-<i>Parus caeruleus</i></p> <p>-<i>Aegithalos caudatus</i></p>	

**Tableau 4.** Répertoire des ennemis naturels des chenilles de la processionnaire durant ces différentes écophases de développement. Kherroubi (2012)

	<b>Parasitoïdes</b>	<b>Prédateurs</b>	<b>Microorganismes pathogènes</b>
<b>Chenilles</b>	<p><i>-Phryxcaudata</i> (Dipt., Tachinidae).</p> <p><i>-Compsiluraconcinnata</i> (Dipt., Tachinidae).</p> <p><i>-Ctenophorocera pavida</i> (Dipt., Tachinidae).</p> <p><i>-Exorista segregata</i> (Dipt., Tachinidae).</p> <p><i>-Exorista</i> (Dipt., Tachinidae)</p> <p><i>-Erigorgus feminator.</i> (Hym., Ichneumonidae).</p> <p><i>-Apanteles vestalis</i> (Hym., Braconidae).</p> <p><i>-Meteorus vericolos</i> (Hym., Braconidae).</p> <p><i>-Dibrakys cavus</i> (Hym., pteromalidae).</p> <p><i>-Habrocytus eucerus</i> (Hym., pteromalidae).</p>	<p>Mésange charbonnière :</p> <p><i>Parus major</i></p>	<p><u>Virus</u> :</p> <p><i>-Smithiavirus pityocampae.</i></p> <p><i>-Borrelia pityocampae.</i></p> <p><u>Bactéries</u> :</p> <p><i>-Clostridium sp.</i></p> <p><i>-Bacillus thuringiensis.</i></p> <p><u>Mycoses</u> :</p> <p><i>-Beauveria bassiana</i> (<i>Basalmo</i>) <i>Vuilleumin.</i></p> <p><i>-Poecilomyces fumoso-roseus.</i></p>

**Tableau 5.** Répertoire des ennemis naturels des chrysalides et des adultes de la processionnaire durant ces différentes écophases de développement. Kherroubi (2012)

	<b>Parasitoïdes</b>	<b>Prédateurs</b>	<b>Microorganismes pathogènes</b>
<b>Chrysalides</b>	<p>-<i>Coelichneumon rudis</i> (Hym., Ichneumonidae).</p> <p>-<i>Villa brunnea</i> (Dip., Bombyliidae).</p> <p>-<i>Villa quinquefasciata</i> (Dip., Bombyliidae).</p> <p>-<i>Conomorium pityocampae</i> (Hym., Pteromalidae).</p>	<p>-<i>Upupa epops</i> (Huppe faciée).</p>	<p><u>Mycoses :</u></p> <p>-<i>Beauveria bassiana</i>.</p> <p>-<i>Poecilomyces fumoso-roseus</i>.</p> <p>-<i>Paecilomyces farinosus</i></p> <p>-<i>Cordiceps militaris</i>.</p> <p>-<i>Metarhizium anisopliae</i>.</p> <p>-<i>Aspergillus flavus</i></p> <p>-<i>Scopulariopsis sp.</i></p>
<b>Adultes</b>		<p>-<i>Vespa germanica</i> (Hym., vespidae).</p> <p>-<i>Crematogaster scutellaris</i>, <i>Lepthorax recedens</i> Nyl., <i>Formica rufa</i> L. (Hym. Formicidae).</p> <p>-Hérisson</p> <p>-Chauves-souris</p>	

### **I.7.1. Les principaux prédateurs**

Les oiseaux et les chiroptères sont les principaux prédateurs de l'état adulte de la processionnaire du pin, notamment l'engoulevent, *Caprimulgus europaeus*. Les œufs peuvent être consommés par plusieurs espèces d'Orthoptères, notamment par l'éphippigère, *Ephippiger ephippiger* (Démolin et Delmas, 1967). Aux stades chenilles, les attaques sont fréquentes par diverses espèces. Les larves du troisième stade regroupées dans le nid d'hiver sont souvent prédatées par plusieurs espèces d'oiseaux, notamment les mésanges (Pimentel, 2004 ; Sbabdji, 2012). Les chrysalides peuvent être également recherchées par la huppe fasciée *Upupa epops*, dont le long bec est adapté à la recherche de nymphes enfouies dans le sol (Barbaro *et al.*, 2008).

### **I.7.2. Les principaux parasitoïdes**

En Algérie, une diversité entomologique de trois parasitoïdes Chalcidoïdae embryonnaires actifs a été identifiée ; *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampae* et *Trichogramma embryophagum* (Arkam, 2011). El Yousfi (1994) note que le *Baryscapus servadeii* est le parasite le plus actif, c'est une espèce spécialiste dont les dates d'émergence correspondent avec la période de présence des œufs de processionnaire. Les individus émergés en premier sont capables de parasiter à nouveau les pontes de processionnaire immédiatement après leur émergence, leur permettant de réaliser deux générations par an. *Ooencyrtus pityocampae* est une espèce généraliste qui a déjà été élevée sur des hôtes variés défoliateurs de résineux et de feuillus (Battisti, 1988).

### **I.7.3. Les agents pathogènes**

Plusieurs champignons peuvent infecter les chenilles, notamment *Beauveria bassiana*, qui ne développe son mycélium qu'au stade de la chrysalide. Les nymphes peuvent par ailleurs être infectées directement dans le sol par différentes espèces de champignons, notamment *Cordyceps militaris*. Des bactéries, *Bacillus thuringiensis* et des virus comme *Smithiavirus pityocampae* peuvent également infecter la processionnaire au stade larvaire (Géri, 1980). Le *Bacillus thuringiensis* est la bactérie la plus utilisée (dose de 3 l/ha) à grande échelle en lutte biologique sur les diverses chenilles des Lépidoptères. Les champignons sont également utilisés, cas du *Beauveria* qui est largement utilisé contre divers Lépidoptères et de Coléoptères.

# **DEUXIEME CHAPITRE**

# DEUXIEME CHAPITRE

## Les parasitoïdes et leur importance en lutte biologique

---

### 1. Généralités sur les parasitoïdes

Le terme de parasitoïde a été utilisé pour la première fois par Reuter en 1913 pour différencier certains organismes qui passent une partie de leur développement comme de vrais parasites. Hence (1973) a défini ces organismes comme des carnivores qui se développent sur les tissus et le sang d'autres organismes-hôtes et les achèvent à la fin (Singh et Srivastava, 1998). Un parasitoïde est un organisme qui se développe au dépend d'un autre organisme, son hôte, en tire sa subsistance et le tue comme résultat direct ou indirect de son développement. Les parasitoïdes peuvent être des insectes, des nématodes, des champignons, des bactéries, des protistes ou des virus (Eggleton et Gaston, 1990). Le monde des insectes représente plus de 80% des espèces animales décrites (Kumer, 1991) dont 8 à 20% sont des parasitoïdes (Boivin, 1999 ; Suty, 2010) qui se répartissent entre deux principaux ordres, les Hyménoptères et les Diptères (Michel et Bournier, 1997). Plus d'une centaine d'espèces auxiliaires sont utilisées en lutte biologique contre les bioagresseurs nuisibles dans le monde, mais la très grande majorité appartient aux insectes parasitoïdes (Thomas *et al.*, 2007). Le développement larvaire de ces organismes se fait obligatoirement au dépend d'un seul organisme-hôte (Goubault, 2003). Un parasitoïde efficace en lutte biologique est une espèce dont les femelles ont la capacité par une action immédiate de détecter et d'attaquer leurs hôtes et de distribuer à plus long terme leur progéniture efficacement lorsque les hôtes sont éloignés (Doutt, *et al.*, 1971). Généralement, l'hôte va être sensible à un parasitoïde pendant un ou quelques stades de son développement (Vinson et Iwantsch, 1980).

### 2. Les Hyménoptères parasites

Les parasitoïdes provoquent la mort de l'hôte dans tous les cas. On distingue divers types de parasitoïdes en fonction de la niche écologique ; oophages, larvaire, ovo-larvaires, nymphal, larvo-nymphal et adulte. Les parasitoïdes oophages se répartissent entre trois superfamilles et 18 familles d'Hyménoptères (Pelosato, 1998). Chez les Chalcidoidea, 8

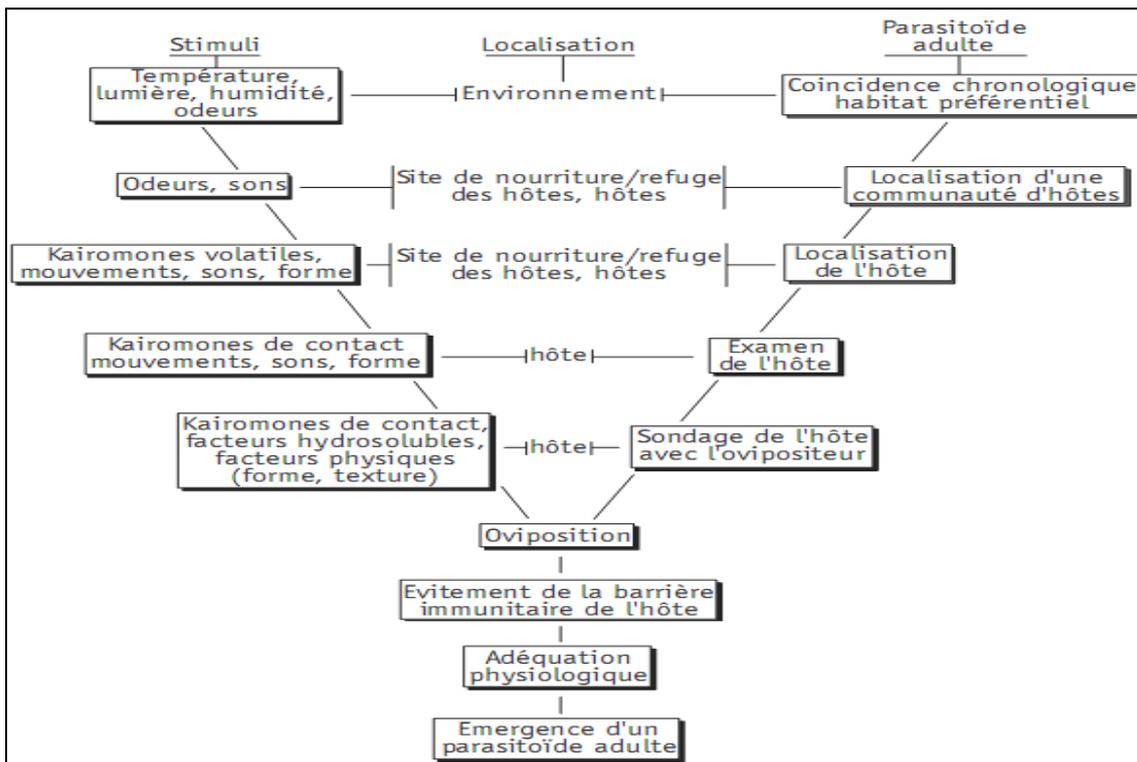
familles comportent un nombre plus au moins d'espèces oophages (Aphelinidae, Encyrtidae, Eulophidae, Eupelmidae, Perilampidae, Pteromalidae, Tetracampidae et Torymidae) et deux autres familles comprennent que des espèces strictement oophages (Trichogrammatidae et Mymaridae). La spécificité parasitaire de ces espèces est bien qu'elles s'attaquent à un nombre assez important d'insectes ravageurs (Hendrichs et Robinson, 2009).

### **3. Les modes de parasitisme**

Il existe divers types de parasitoïdes, les endoparasitoïdes, qui se développent à l'intérieur de leur hôte, et les ectoparasitoïdes, qui se développent à l'extérieur. On parle de parasitoïdes solitaires, lorsqu'un seul individu se développe à partir de l'hôte, et de parasitoïdes grégaires, lorsque plusieurs individus se développent à partir du même hôte (van Driesche et Bellows, 1996). Les parasitoïdes idiobiontes tuent ou paralysent leurs hôtes avant l'éclosion de l'œuf, le développement du parasitoïde se fait donc dans un hôte mort ou paralysé (van Driesche et Bellows, 1996). Par contre, les parasitoïdes qui ne tuent pas leur hôte immédiatement après l'avoir paralysé sont caractérisés de koïnobiontes. Les hyper-parasitoïdes, ou parasitoïdes secondaires, parasitent des hôtes eux-mêmes parasitoïdes. Lorsque plusieurs femelles parasitoïdes de la même espèce pondent dans un même hôte, on parle de super-parasitisme (Soe *et al.*, 2014). Si un parasitoïde attaque un hôte déjà parasité par une espèce différente, alors on parle de multi-parasitisme (Godfray, 1994).

### **4. Les différentes étapes du parasitisme**

Deux grandes étapes caractérisent le développement des parasitoïdes (Figure 6) ; la première pré-ovipositionnelle qui correspond à la série des événements où la femelle cherche les biotopes de ses ennemis pour pondre ses œufs. La seconde étape, concerne les stades immatures se développant dans l'hôte, est qualifiée de post-ovipositionnelle et met en œuvre des mécanismes liés à la physiologie de l'association entre les deux partenaires (Thomas *et al.*, 2007).



**Figure 6.** Schéma caractérisant les différentes étapes impliquées dans le fonctionnement d'une interaction hôte-parasitoïde, des stimuli mis en œuvre et leurs localisations (Thomas *et al.*, 2007)

#### 4.1.Étape pré-ovipositionnelle

Une femelle parasitoïde adulte recherche des hôtes pour assurer sa descendance. Les mécanismes impliqués dans ces étapes pré-ovipositionnelles reposent sur les caractéristiques écologiques des niches occupées et les caractéristiques comportementales des deux partenaires. Ces mécanismes vont déterminer la capacité des femelles parasitoïdes à découvrir et à attaquer leurs hôtes et vont donc conditionner l'impact parasitaire sur la dynamique des populations hôtes (Van Alphen et Visser, 1990 ; Plantegenest *et al.*, 2004). La femelle doit partir à la recherche d'habitat de son hôte aidée par les caractéristiques visuelles, acoustiques et surtout olfactifs du milieu (Thomas *et al.*, 2007). Certains hôtes sont attaqués parce qu'ils vivent dans un habitat accessible facile et activement recherché par les femelles parasitoïdes. Des chercheurs ont démontré que certaines plantes émettent, en cas d'attaques par des phytophages, des molécules caractéristiques, appelées synomones, qui peuvent être utilisées par des parasitoïdes pour

détecter avec précision un habitat infesté par leur hôte (Turlings *et al.*, 1990). Une fois un site potentiellement habitable trouvé, la femelle recherche un hôte proprement dit à partir de stimuli parfois acoustiques ou visuels, mais généralement plutôt chimiques et olfactifs qui proviennent des hôtes eux-mêmes (Noldus, 1989). Une fois l'hôte localisé, la femelle doit encore s'assurer que celui-ci peut convenir au développement de sa descendance. Les informations recueillies par les femelles parasitoïdes permettent également de détecter des hôtes déjà parasités, soit par elles-mêmes précédemment, soit par une ou plusieurs autres femelles conspécifiques ou d'une autre espèce. La décision de pondre dans un hôte déjà parasité est généralement risquée pour un parasitoïde solitaire puisqu'elle entraîne une compétition à l'intérieur de l'hôte (Plantegenest *et al.*, 2004).

#### **4.2. Étape post-ovipositionnelle**

Cette partie, qui concerne les stades immatures se développant dans l'hôte, est qualifiée de post-ovipositionnelle et met en œuvre des mécanismes liés à la physiologie de l'association entre les deux partenaires (Arvanitakis, 2013). L'interaction hôte-parasitoïde peut également être sensiblement modulée par de nombreux facteurs environnementaux biotiques, tels que la présence de pathogènes (Hochberg, 1991), ou abiotiques, tels que la température (Ris *et al.*, 2004). Les parasitoïdes développent différentes stratégies faisant intervenir soit des molécules injectées par la femelle au cours de l'oviposition, soit des adaptations particulières de l'œuf ou de la larve parasitoïde pour aboutir à un développement complet et réussi. La disponibilité et les modes d'action de ces différents mécanismes varient considérablement suivant l'origine phylogénétique et le mode de vie du parasitoïde (Arvanitakis, 2013 ; Vinson et Iwantsch, 1980a).

#### **5. Importance des parasitoïdes en lutte biologique**

La lutte biologique c'est l'utilisation des auxiliaires tels que des prédateurs, des parasitoïdes ou des agents pathogènes pour contrôler les populations d'espèces nuisibles et les maintenir en dessous d'un seuil de nuisibilité (Dajoz, 2007). Deux manières d'exploitation des agents ; la première consiste à augmenter la densité numérique de l'auxiliaire, par implantation d'un agent exotique ou d'une espèce qui existe dans le milieu mais qui est déficiente. La seconde consiste à favoriser l'action des auxiliaires, présent dans le milieu, en facilitant sa multiplication, en stimulant son activité et en les protégeant de leurs ennemis (Aubry, 2008). Les parasitoïdes sont souvent favorisés en lutte biologique

selon leur grande mobilité, spécificité et capacité de localisation des hôtes (Cloutier, 1992). L'utilisation de ces auxiliaires peut être mise en œuvre selon trois modalités, acclimatation, par augmentation ou par conservation.

### **5.1. Lutte biologique par acclimatation**

Cette stratégie vise à introduire dans un milieu une ou plusieurs espèces exotiques par des lâchers inondatifs (Suty, 2010). Son objectif est l'établissement permanent des auxiliaires dans les populations des ravageurs (Hendrichs et Robinson, 2009), pour qu'elles puissent se reproduire naturellement et qu'elles assurent une régulation de l'espèce nuisible (Michel et Bournier, 1997).

### **5. 2. Lutte biologique par augmentation**

Dans le cadre de protection d'une culture, cette méthode consiste à faire des lâchers d'auxiliaires (Suty, 2010). Son objectif est de produire en masse, une espèce autochtone dans le but de la relâcher dans un milieu où elle est présente en nombre réduit (Michel et Bournier, 1997). Les lâchers s'effectuent comme des traitements chimiques à fortes doses (Hendrichs et Robinson, 2009). Le but est de contrôler un ravageur en augmentant l'occurrence de son ennemis naturels, naturellement présents mais en quantité insuffisante (Cloutier et Cloutier, 1992). Ces lâchers doivent être renouveler périodiquement, à chaque fois que les populations du ravageur augmentent (Michel et Bournier, 1997).

### **5. 3. Lutte biologique par conservation**

Cette investigation consiste à favoriser l'action de l'auxiliaire naturellement présent dans l'écosystème, sans addition d'ennemis naturels (Michel et Bournier, 1997). L'objectif est de modifier l'agrosystème ou les pratiques culturales afin de protéger et de favoriser la présence d'ennemis naturels locaux, facilitant ainsi leur capacité à contrôler les populations d'insectes nuisibles (Landis *et al.*, 2000).

# **TROISIEME CHAPITRE**

# TROISIEME CHAPITRE

## **Synthèse de données sur les métabolites secondaires des plantes, état des connaissances sur les plantes insecticides et généralités sur les plantes étudiées**

---

### **1. Généralités sur les métabolites secondaires des plantes**

Les plantes ont une importance capitale pour la survie de l'homme et des différents écosystèmes (Singer, 2015). Elles renferment une part importante des composés qui interviennent dans l'ensemble des réactions enzymatiques ou biochimiques ayant lieu dans l'organisme (Pourciel, 2004). Selon Fiehn (2000), On distingue ainsi deux groupes de composés ou métabolites élaborés par les plantes : les métabolites primaires et les métabolites secondaires. Les métabolites primaires sont des molécules organiques qui se trouvent dans toutes les cellules de l'organisme d'une plante pour y assurer sa survie (Phylogène, 2008). Ces composés sont classés en quatre principaux groupes, les glucides, les protéines, les lipides et les acides nucléiques. Les métabolites secondaires sont des substances dont la plante n'a pas besoin pour son développement normal. Les métabolites secondaires n'interviennent ni dans la croissance, ni dans la reproduction, mais servent dans des conditions spécifiques de défense (Coffi, 2012). Selon Grainge et Ahmed (1998), Il existe plus de 200000 structures définies métabolites secondaires marquant un genre, une famille ou une espèce de plante et permettent parfois d'établir une taxonomie chimique. Les métabolites secondaires font l'objet de nombreuses recherches car ils ont un intérêt multiple (industries alimentaire, cosmétique, pharmaceutique...) et sont largement utilisés en thérapie comme anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et anti-radicalaires... Les métabolites secondaires présentent une grande variété d'effets sur les insectes, substances répulsives défensives, inhibitrices de la digestion (Regnault-Roger et Hamraoui, 1997). Ainsi, plus de 2000 espèces végétales avec de molécules à activité insecticide ont été répertoriées (Grainge et Ahmed, 1998). On trouve des métabolites secondaires dans toutes les parties de plantes, mais ils sont distribués différemment selon leurs rôles. Cette distribution varie d'une plante à l'autre. Parmi les principales familles de métabolites secondaires trouvées chez les plantes on distingue :

- Les composés phénoliques qui interviennent dans les interactions plante-plante (allélopathie, inhibition de la germination et de la croissance). Les composés en question sont des polyphénols, des lignines, des stilbènes, des flavonoïdes, des phénylpropanoïdes, des anthocyanes et des tannins.
  - Les alcaloïdes, renferment un atome d'azote dans la structure. Parmi ces derniers, certains relarguent de l'acide cyanhydrique quand les plantes sont abîmées. Ils sont synthétisés à partir d'acides aminés. On citera la nicotine, l'atropine, la codéine, la lupinine.
  - Les mucilages : Ces sont des polymères complexes de fructose, d'acide glucorinique et d'acide manuronique. Les mucilages sont des mélanges colloïdaux qui gonflent avec l'eau (agar agar).
  - Les gommes et les résines : Ces sont des substances produites par la plante à la suite d'une blessure.
  - Les huiles essentielles : Ces sont des liquides concentrés et hydrophobes des composés aromatiques (odoriférants) volatils d'une plante, ces essences sont très volatiles et non miscibles à l'eau.
  - Les latex : Ces sont des substances sécrétées ou fabriquées par des cellules laticifères (vraies ou anastomosées) et qui ont la particularité de se solidifier au contact de l'air.
- Dans cette étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux trois principales familles de composés chimiques utilisés par les plantes pour se défendre : les composés phénoliques, alcaloïdes et les terpènes.

### **1.1. Les composés phénoliques**

Plusieurs milliers de composés phénoliques ont été caractérisés jusqu'à aujourd'hui chez les végétaux. Bien qu'étant très diversifiés, ils ont tous en commun la présence d'un ou de plusieurs cycles benzéniques portant une ou plusieurs fonction hydroxyles (Macheix *et al.*, 2005). Les composés phénoliques des végétaux sont issus de deux grandes voies d'aromagenèse (Ribéreau-Gayon, 1968). La voie la plus courante est celle qui via le shikimate, conduit des oses aux acides aminés aromatique (phénoliques et tyrosine) puis, par désamination de ces derniers, aux acides cinnamiques et à leurs très nombreux dérivés : acides benzoïques, acétophénone, lignanes et lignines, coumarines, ect... L'autre voie, par de l'acétate et conduit à des poly-B-cetoesters.

Plusieurs milliers de composés phénoliques ont été caractérisés jusqu'à aujourd'hui chez les végétaux. Bien qu'étant très diversifiés, ils ont tous en commun la présence d'un ou de plusieurs cycles benzéniques portant une ou plusieurs fonctions hydroxyles (Macheix *et al.*, 2005). Les composés phénoliques des végétaux sont issus de deux grandes voies d'aromatisation (Bruneton, 2009) :

-La voie la plus courante est celle qui, via le shikimate (l'acide shikimique), conduit des oses aux acides aminés aromatiques (phénylalanine et tyrosine) puis, par désamination de ces derniers, aux acides cinnamiques et à leurs très nombreux dérivés : acides benzoïques, acétophénone, lignanes et lignines, coumarines, etc.

- L'autre voie, par de l'acétate et conduit à des poly- $\beta$ -cétolés de longueur variable « les polyacétates » qui engendrent, par cyclisation (réaction de Claisen ou condensation aldolique), des composés souvent polycycliques : chromones, isocoumarines, orcinols, depsides, depsidones, xanthones, quinones, etc.

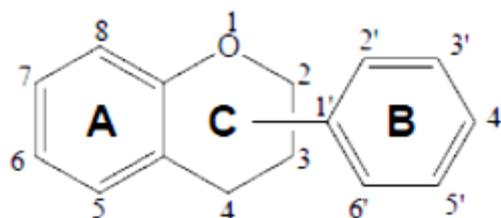
La pluralité structurale des composés phénoliques due à cette double origine biosynthétique est encore accrue par la possibilité, très fréquente, d'une participation simultanée du shikimate et de l'acétate à l'élaboration de composés d'origine mixte (flavonoïdes *lato sensu*, stilbènes, pyrones, xanthones, etc.). La participation d'un troisième synthon élémentaire « le mévalonate » est également possible bien que moins fréquente : dérivés mixtes du shikimate et du mévalonate comme certaines quinones ou comme les furano- et pyranocoumarines, composés mixtes acétate mévalonate comme les cannabinoïdes. Dans quelques cas, les trois précurseurs concourent à l'élaboration de la même structure : c'est, entre autres, celui des roténoïdes (Darné, & Madero-Tamargo, 2016).

Il est classiquement admis que les dérivés des aminoacides qui conservent l'atome d'azote sont des alcaloïdes ou des substances apparentées (amines aromatiques, bétalaïnes). De la même façon, certains mono-sesqui et di-terpènes peuvent être partiellement désaturés et posséder un hydroxyle phénolique : ils sont considérés comme des terpènes, l'aromatisation étant qu'un phénomène secondaire (Macheix, 1996).

### **1.1.1. Flavonoïdes**

Les flavonoïdes sont formés d'un squelette à 15 atomes de carbone (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>), correspondant à la structure du diphenylpropane (Santos-Buelgac et Scalbert, 2000). Deux

cycles aromatiques (A et B) sont liés par une chaîne de 3 carbones formant un hétérocycle oxygéné (C) (**Figure 7**).

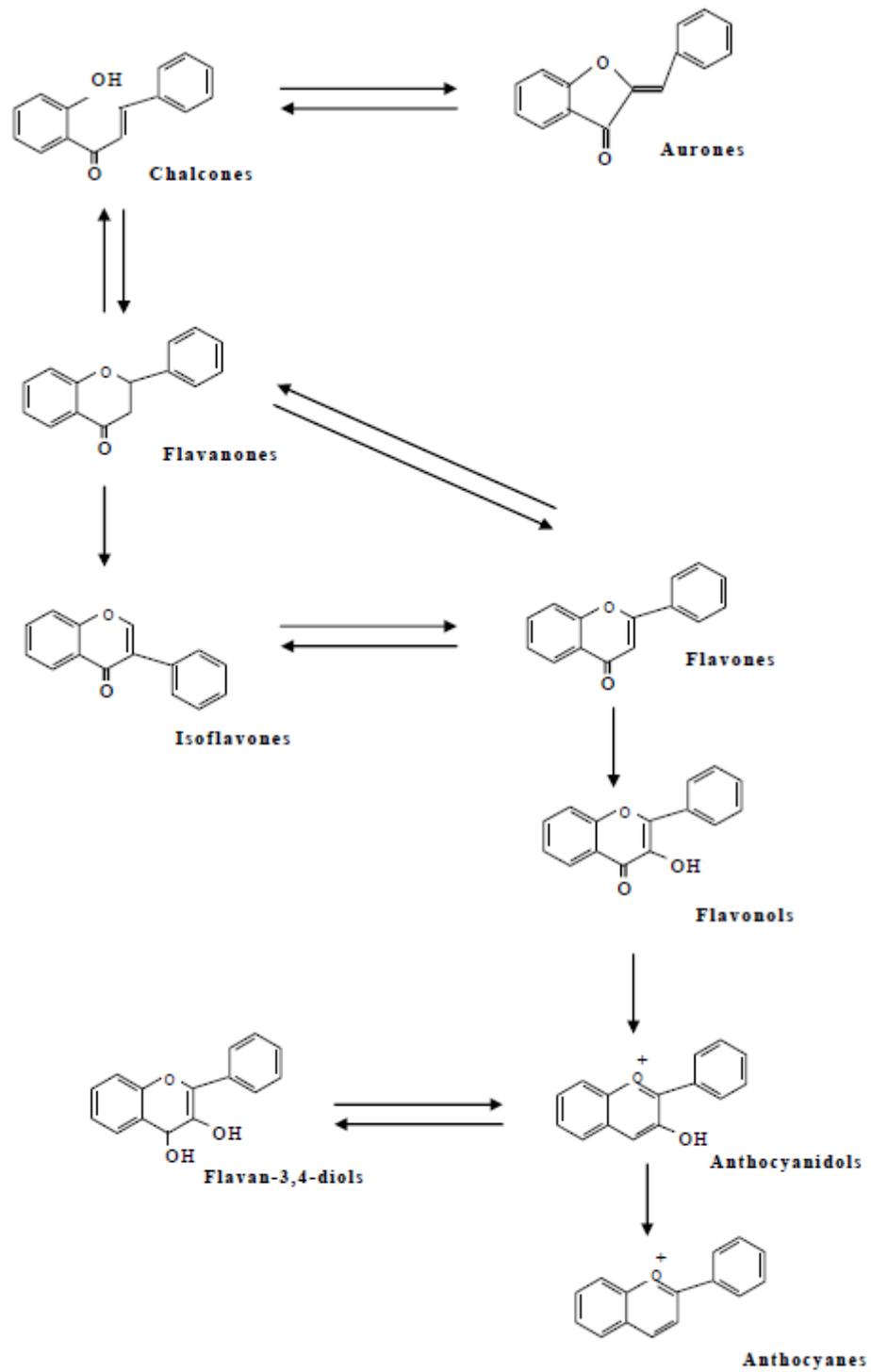


**Figure 7.** Squelette moléculaire de base des flavonoïdes avec la numération classique

L'ensemble des flavonoïdes comprend à lui seul plusieurs milliers de classe, en plus de dix classes dont certaines ont une très grande importance biologique et technologique. C'est d'abord la structure de l'hétérocycle central et son degré d'oxydation qui permettent de distinguer les différentes classes de flavonoïdes. On distingue alors les 4-oxoflavonoïdes (flavones, isoflavones, flavonols et flavanones), les flavanols et les proanthocyanidines, les anthocyanes ainsi que des composés plus minoritaires, les chalcones et dihydrochalcones (Crozier et al., 2009).

Tous les flavonoïdes sont formés via un intermédiaire commun : la 2',4,4',6'-tétrahydroxychalcone (Figure 8).

Ce précurseur dérive de la condensation de trois molécules d'acétylcoenzyme A, qui correspondront au cycle A, et d'une molécule de 4 hydroxycinnamatecoenzyme A, permettant la formation des cycles B et C. Ce mécanisme est catalysé par la chalcone synthase. La cyclisation de cette chalcone stéréospécifique par la chalcone isomérase forme la (S)-4',5,7-trihydroxyflavanone conduisant au squelette de base des flavonoïdes. Plusieurs enzymes (synthase, réductase, hydroxylase) contribuent à l'apparition des différentes classes de flavonoïdes. Dans chaque classe de flavonoïde, les molécules sont ensuite diversifiées par hydroxylation (flavonoïde 3'-hydroxylase, flavonoïde 3',5'-hydroxylase), méthylation (O-méthyltransférase), glycosylation (rhamnosyl transférase, flavonoïde glycosyl transférase), acylation (acyl-CoA transférase) ou polymérisation (Chebil, 2006).

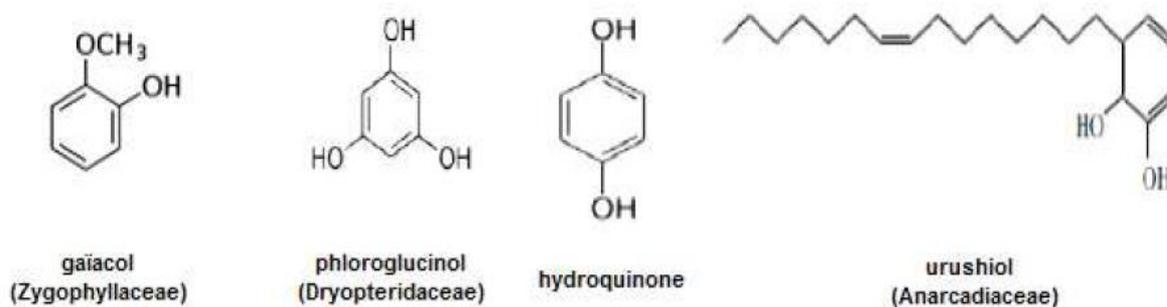


**Figure 8. Figure 9 :** Schéma simplifié de la biosynthèse de différentes classes de flavonoïdes (Morreel *et al.*, 2006).

### 1.1.2. Phénols, Acides phénoliques

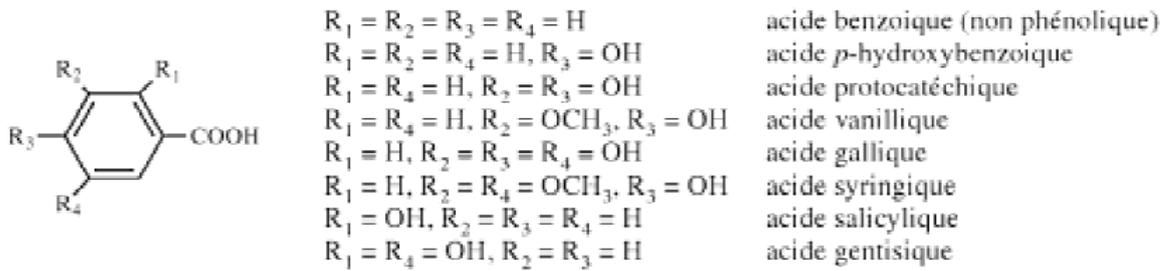
Le terme d'acide-phénol peut s'appliquer à tous les composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. La pratique courante en phytochimie conduit à réserver l'emploi de cette dénomination aux seuls dérivés des acides benzoïques et cinnamiques. Certains auteurs sont cependant plus restrictifs. Ils n'utilisent le terme d'acide-phénol que pour les dérivés en C6-C1 et incluent les dérivés cinnamiques dans le groupe, plus large, des phénylpropanoïdes (Mondé, 2014).

Phénols simples. Les phénols simples (catéchol, guaïacol, phloroglucinol) sont plutôt rares dans la nature à l'exception de l'hydroquinone qui existe dans plusieurs familles (Ericaceae, Rosaceae), le plus souvent à l'état de glucoside du diphénol (arbutoside) ou de son monométhyléther (Figure 9). Les alkylphénols et leurs depsides, issus du métabolisme d'un poly- $\beta$ -cétoster, sont caractéristiques des lichens. On connaît également des alcénylphénols (urushiol) et des monoterpènes phénoliques (thymol) (Owen, 2003).



**Figure 9.** Structures chimiques de quelques phénols simples (Owen, 2003).

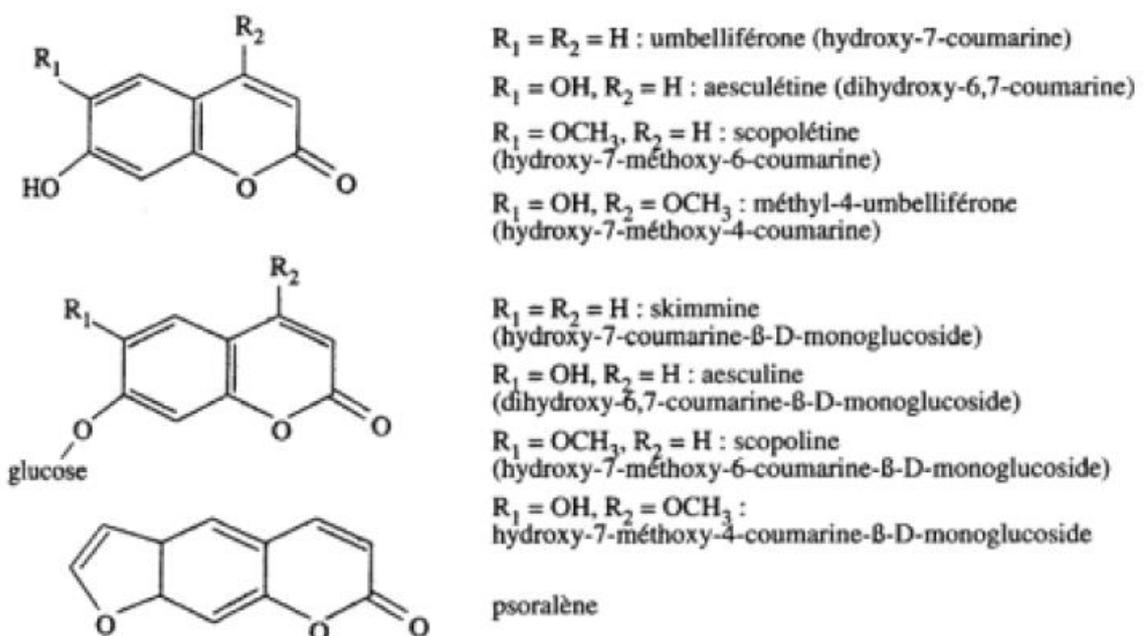
Acides-phénols dérivés de l'acide benzoïque. Les acides-phénols en C6-C1, dérivés hydroxylés de l'acide benzoïque, sont très communs aussi bien sous forme libre que combinés à l'état d'ester ou d'hétéroside (Figure 10).



**Figure 10.** Structures chimiques de quelques acides hydroxybenzoïque (Macheix *et al.*, 2005)

### 1.1.3. Coumarines

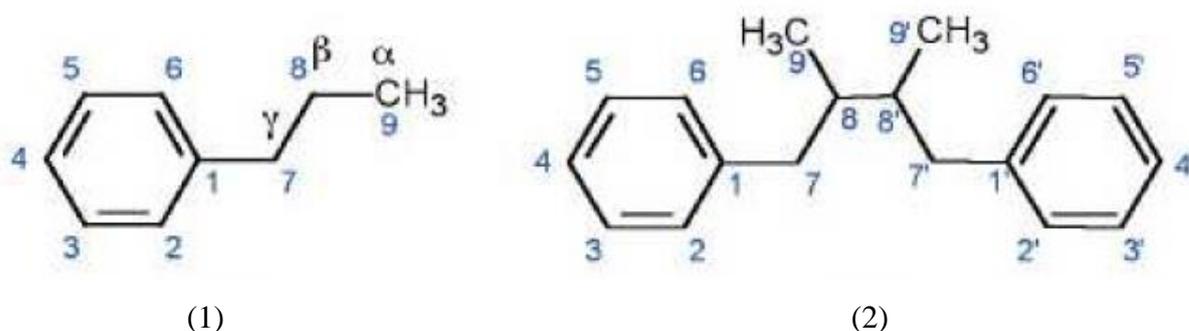
Présentes dans de nombreux végétaux, les coumarines sont des 2H-1-benzopyran-2-ones que l'on peut considérer, en première approximation, comme étant les lactones des acides 2-hydroxy-*Z*-cinnamiques (Deshayes, 2013). Elles sont produites en grande quantité en réponse à une attaque biotique ou abiotique et semblent constituer un moyen de défense de type phytoalexine (Vivas de Gaulejac, 2001). La figure 11 présente la structure de quelques coumarines (ex. : Aesculétine, Scopolétine, Umbelliférone, ...) et glycosides de coumarines (ex.: Aesculine, Scopoline, ...). Ces composés sont connus pour leurs propriétés anticoagulantes (Grait, 2015).



**Figure 11.** Structures chimiques de quelques coumarines (Vivas de Gaulejac, 2001)

#### 1.1.4. Lignanes, néolignanes et composés apparentés

Les lignanes résultent de la condensation d'unités phénylpropaniques (Figure 12). Quatre groupes peuvent être considérés : les lignanes (liaison entre deux carbones  $\beta$  des chaînes latérales de deux unités dérivées du phénylpropane), les néolignanes (un seul carbone  $\beta$  est en jeu), les "oligomères", (condensation de 2 à 5 unités phénylpropaniques) et enfin les norlignanes avec un squelette en  $C_{17}$ . Les néolignanes sont surtout présents chez les espèces primitives (Magnoliales, Pipérales) alors que les lignanes se trouvent souvent dans le bois des gymnospermes et dans les tissus soumis à lignification chez les angiospermes (Krief, 2003).

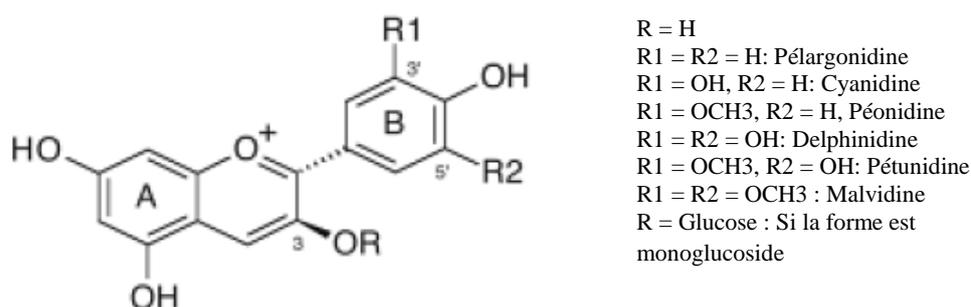


**Figure 12.** Structure et numération des atomes de carbone du phénylpropane (1) et deslignanes (2) (liaison  $\beta$ - $\beta'$  ou 8,8') (Moss, 2000)

#### 1.1.5. Anthocyanosides

Les anthocyanes ou pigments anthocyaniques sont des composés hydrosolubles, de teinte rouge, violette ou bleue, qui colorent les fleurs, les fruits et parfois les feuilles. Les anthocyanes sont présents dans la nature uniquement sous forme d'hétérosides appelés anthocyanosides. Ces pigments sont très répandus dans le règne végétal et proche des flavonoïdes sur le plan de l'origine, de la structure et des propriétés pharmacologiques (Catier et Roux, 2007). Leur structure de base (Figure 13) est caractérisée par un noyau « flavon » généralement glucosylé en position C3 (Ribéreau-Gayon, 1968). Les

anthocyanosides, dont les couleurs vives attirent insectes et oiseaux, jouent un rôle majeur dans la pollinisation et la dispersion des graines. Un fort pouvoir colorant et l'absence de toxicité font de ces hétérosides des colorants naturels susceptibles de remplacer, dans l'industrie alimentaire, les colorants synthétiques : leur innocuité et leur acceptabilité par le consommateur compensent leur instabilité (pH, température, lumière) et leur coût de production parfois élevé (Bruneton, 2009).



**Figure 13.** Structures chimiques de quelques anthocyanidines (Collin et Crouzet, 2011)

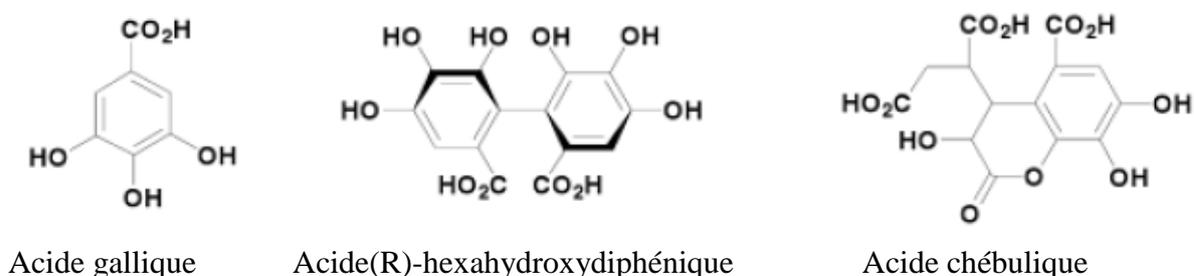
### 1.1.6. Tanins

Les tanins sont des substances polyphénoliques de structures variées, ayant en commun la propriété de tanner la peau, c'est-à-dire de la rendre imputrescible. Ces substances ont en effet la propriété de se combiner aux protéines, ce qui explique leur pouvoir tannant. Très répandus dans le règne végétal, ils peuvent exister dans divers organes, mais on note une accumulation plus particulièrement dans les tissus âgés ou d'origine pathologique. Ils sont localisés dans les vacuoles, quelquefois combinés aux protéines et aux alcaloïdes (Catier et Roux, 2007).

On distingue habituellement, chez les végétaux supérieurs, deux groupes de tanins différents par leur structure aussi bien que par leur origine biogénique :

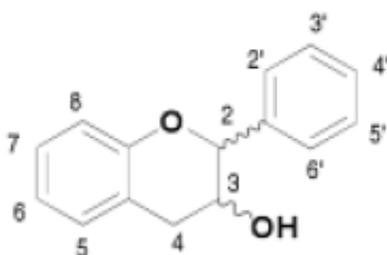
**Tanins hydrolysables** : Ce sont des oligo- ou des polyesters d'un sucre (ou d'un polyol apparenté) et d'un nombre variable de molécules d'acide-phénol (Figure 14). Le sucre est très généralement le glucose. L'acide phénol est soit l'acide gallique dans le cas

des tanins galliques, soit l'acide hexahydroxydiphénique (HHDP) et ses dérivés d'oxydation (déhydrohexahydroxydiphénique = DHHDP ; acide chébulique) dans le cas des tanins classiquement (mais improprement) dénommés tanins ellagiques (Vivas *et al.*, 2015).



**Figure 14.** Structures chimiques de quelques acides phénols (Bruneton, 2009)

**Tanins condensés (Proanthocyanidols) :** Ce sont des polymères flavaniques. Ils sont constitués d'unités de flavan-3-ols (Figure 15) liées entre elles par des liaisons carbone-carbone le plus souvent 4→8 ou 4→6, résultante du couplage entre le C-4 électrophile d'un flavanyle issu d'un flavan-4-ol ou d'un flavan-3,4-diol et une position nucléophile (C-8, plus rarement C-6) d'une autre unité, généralement un flavan-3-ol (Mahmoudi *et al.*, 2013).

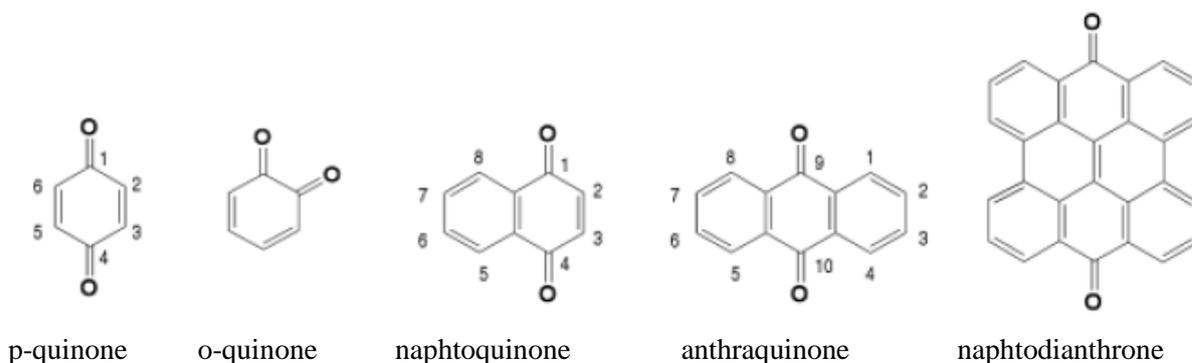


**Figure 15.** Squelette moléculaire d'un flavan-3-ol (Bruneton, 2009)

### 1.1.7. Quinones

Les quinones sont des composés oxygénés qui résultent de l'oxydation de dérivés aromatiques caractérisés par un motif 1,4-dicétocyclohexa-2,5-diéniq (para-quinones) ou par un motif 1,2-dicétocyclohexa-3,5-diéniq (ortho-quinones) (Figure 16). La dione peut

être conjuguée aux doubles liaisons d'un noyau benzénique (benzoquinones) ou à celles d'un système aromatique polycyclique condensé : naphthalène (naphtoquinones), anthracène (anthraquinones), naphtodianthrène (naphtodianthrone) (Krief, 2003).

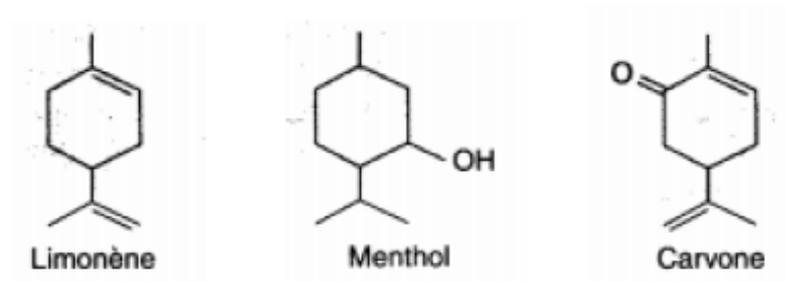


**Figure 16.** Quelques structures quinoniques (Bruneton, 2009)

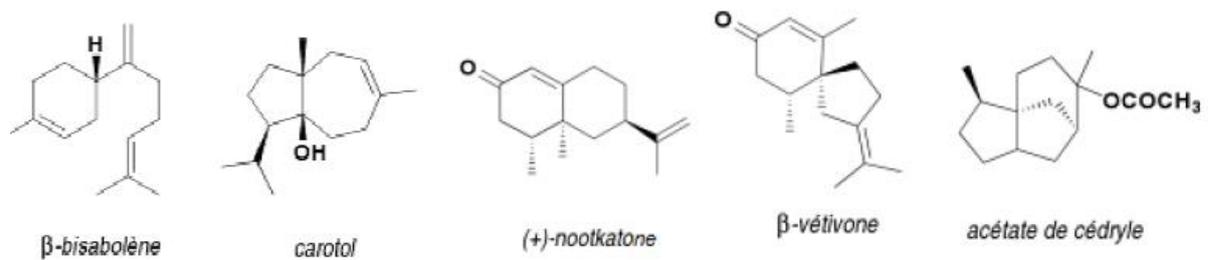
## 1.2. Les terpénoïdes et les stéroïdes

Elaborés à partir des mêmes précurseurs, les terpénoïdes et les stéroïdes constituent sans doute le plus vaste ensemble connu de métabolites secondaires des végétaux (Déogratias *et al.*, 2015). Les terpénoïdes sont des substances généralement lipophiles, formés par la réunion d'unités pyrophosphate isopenténoïdes à cinq carbones provenant de la voie de l'acide mévalonique (Judd *et al.*, 2002 ; Hopkins, 2003). Leur grande diversité trouve son origine dans le nombre d'unités de base qui composent la chaîne ainsi que dans les divers modes d'assemblage. La formation de structures cycliques, l'addition de fonctions comprenant de l'oxygène et la conjugaison avec des sucres ou d'autres molécules peuvent rendre leurs structures complexes. La famille des terpènes comprend des hormones (gibbérélines et acide abscissique), des pigments caroténoïdes (carotène et xanthophylle), des stérols (ex. ergostérol, sitostérol, cholestérol), des dérivés de stérols (ex. des hétérosides digitaliques), le latex (qui est à la base du caoutchouc naturel) ainsi qu'une grande partie des huiles essentielles qui confèrent aux plantes leur parfum ou leur goût (Hopkins, 2003).

Les monoterpénoïdes (Figure 17) et les sesquiterpénoïdes volatils (Figure 18), substances à 10 et 15 carbones, sont les principaux composants des huiles essentielles caractéristiques des Magnoliales, des Laurales, des Illiciales et des Pipérales, ainsi que de clades sans relations directes avec ces ordres, comme les Myrtaceae, les Lamiaceae, les Verbenaceae et les Asteraceae. Ces composés ne se trouvent pas seulement dans les tissus végétatifs (dans les cellules sphériques ou dans différents canaux ou lacunes situés dans les tissus parenchymateux), mais aussi dans les glandes florales odoriférantes (où ils sont libérés et fonctionnent souvent comme attractifs floraux).

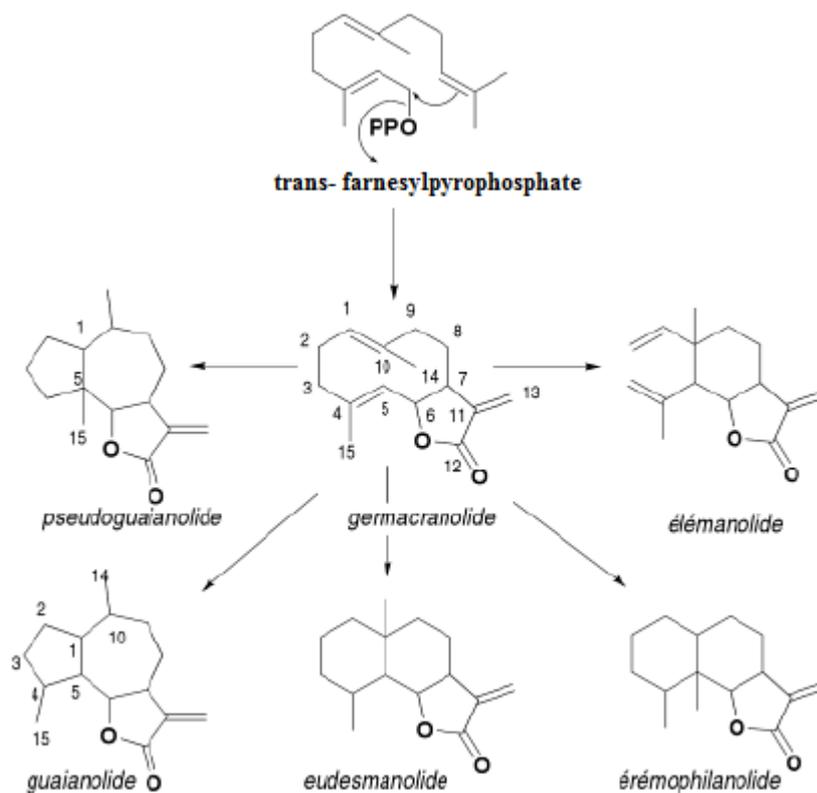


**Figure 17.** Exemples de monoterpènes (Turner *et al.*, 1999)



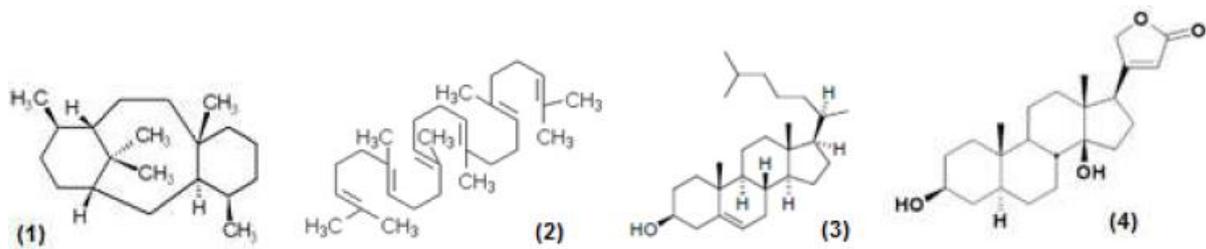
**Figure 18.** Quelques exemples de sesquiterpènes caractéristiques des huiles essentielles (Turner *et al.*, 1999)

Un autre type de terpénoïdes, les lactones sesquiterpéniques (Figure 19), est surtout connu chez les Asteraceae (où ces lactones sont diversifiés et utiles pour la taxonomie), mais on le trouve aussi dans quelques autres familles, comme les Apiaceae, les Magnoliaceae et les Lauraceae.



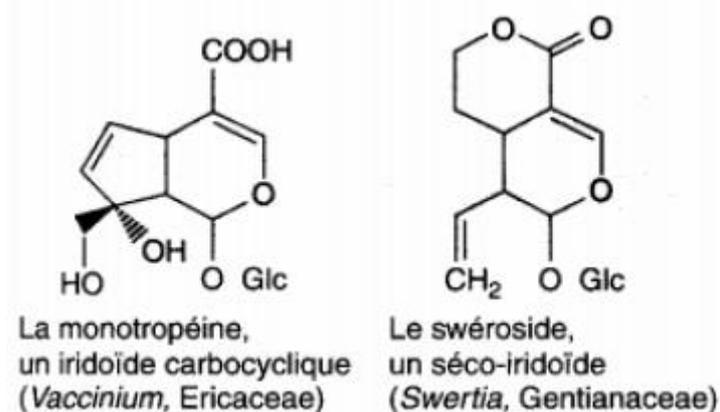
**Figure 19.** Filiation (schématique) des principaux groupes de lactones sesquiterpéniques (Bruneton, 2009)

Différents *diterpénoïdes* (20 carbones), *triterpènes* (30 carbones) et *stéroïdes* (triterpènes basés sur un cycle cyclopentane perhydrophénanthrène) sont très répandus et ils ont également une importance systématique (Figure 20). Le triterpénoïde, bétuline se retrouve dans l'écorce des bouleaux blancs (*Betula papyrifera* et espèces voisines) ; il est imperméable, très inflammable et pratiquement inconnu en dehors de ce groupe. Les *saponines triterpéniques* se rencontrent chez les Apiaceae et les Pittosporaceae et confortent l'hypothèse d'une relation phylogénétique étroite entre ces deux familles. Les *limonoïdes* et les *quassinoïdes*, dérivés de triterpénoïdes apparentés au point de vue de leur biosynthèse, se limitent aux Rutaceae, Meliaceae et Simaroubaceae. Chez les Sapindales ; les *quassinoïdes* constituent une synapomorphie propre aux Simaroubaceae. Les *cardénolides* sont des glycosides très toxiques d'un type de stéroïde à 23 carbones, présents chez les Ranunculaceae, les Euphorbiaceae, les Apocynaceae, les Liliaceae et les Plantaginaceae.



**Figure 20.** Exemples de structures : (1) Taxane (diterpène) ; (2) Squalène (triterpène) ; (3) Cholesterol (stéroïdes) ; (4) Cardénolides, (Bruneton, 2009)

Les *iridoïdes* (Figure 21) sont des dérivés monoterpénoïdes à 9 ou 10 carbones généralement présents sous forme de glycosides unis par un oxygène. On rencontre des iridoïdes dans beaucoup de familles du clade des astéridées, et les types d'iridoïdes ont été utilisés pour confirmer les relations au sein de ce groupe. Les *séco-iridoïdes*, par exemple, type chimiquement dérivé d'une molécule iridoïde dépourvue de cycle carbocyclique, existent chez les Gentianales, les Dipsacales et de nombreuses familles de Cornales et d'Astérales. Par contre, les *iridoïdes carbocycliques* à deux cycles, dont l'un est formé exclusivement de carbone, sont caractéristiques des Lamiales (à l'exception des Oleaceae). La présence d'iridoïdes chez les Ericales et les Cornales prouve que ces taxons appartiennent effectivement au clade des asteridées, bien qu'ils aient été fréquemment exclus de ce groupe (Judd *et al.*, 2002).



**Figure 21.** Exemples de quelques iridoïdes (Judd *et al.*, 2002).

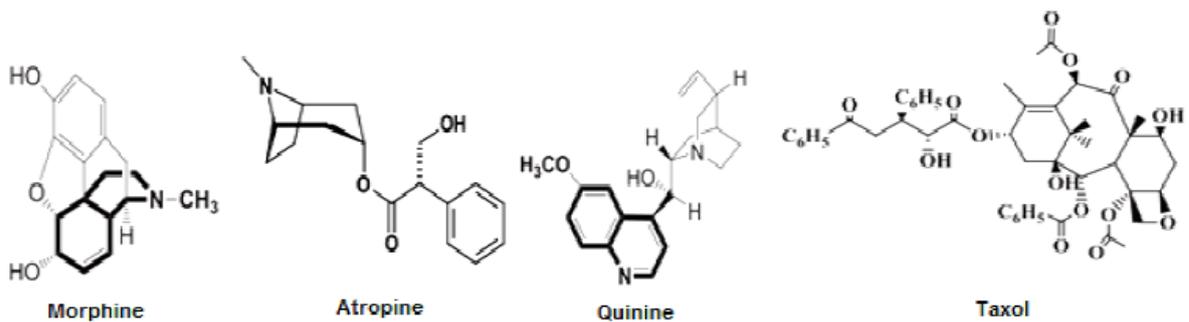
### 1.3. Les alcaloïdes

Le terme d'alcaloïde a été introduit par W. MEISNER au début du XIX<sup>ème</sup> siècle pour désigner des substances naturelles réagissant comme des bases, comme des *alcalis* (de l'arabe *al kaly*, la soude et du grec *eidos*, l'aspect) (Bruneton, 2009). Il n'existe pas de définition simple et précise des alcaloïdes et il est parfois difficile de situer les frontières qui séparent les alcaloïdes des autres métabolites azotés naturels. La définition admise des alcaloïdes est celle donnée par Winterstein et Trier en 1910 : « Un alcaloïde est un composé organique naturel (le plus souvent d'origine végétale), hétérocyclique avec l'azote comme hétéroatome, de structure moléculaire complexe plus ou moins basique et doué de propriétés physiologiques prononcées même à faible dose » (Zenk et Juenger, 2007). Représentant un groupe fascinant de produits naturels, ils constituent un des plus grands groupes de métabolites secondaires avec près de 10 000 à 12 000 différentes structures (Roberts et Wink 1998 ; Stöckigt *et al.*, 2002).

On distingue généralement :

- Les alcaloïdes vrais, qui sont d'un point de vue de la biosynthèse dérivés d'acides aminés, et qui présentent au moins un hétérocycle.
- Les proto-alcaloïdes, qui dérivent d'acides aminés, dont l'azote n'est pas inclus dans le système hétérocyclique.
- Les pseudo-alcaloïdes, qui présentent le plus souvent toutes les caractéristiques des alcaloïdes vrais, mais ne sont pas des dérivés des acides aminés.

Bien que beaucoup d'entre eux soient toxiques (comme la strychnine ou l'aconitine), certains sont employés dans la médecine pour leurs propriétés analgésiques (comme la morphine, l'acodéine), dans le cadre de protocoles de sédation (anesthésie, atropine) souvent accompagnés des hypnotiques, ou comme agents antipaludéens (quinine, chloroquinine) ou agents anticancéreux (taxol, vinblastine, vincristine). La figure ci-dessous (figure 22) présente quelques structures alcaloïdiques à usage thérapeutique.



**Figure 22.** Exemples de structures alcaloïdiques (Badiaga, 2011)

## 2. Etat des connaissances sur les plantes à effet insecticide

Les plantes produisent des composés secondaires pour se défendre contre divers organismes tels que les pathogènes et les ravageurs (Meric, 2005 ; Phylogène, 2008). Ces composés secondaires présentent une grande variété d'effets sur les insectes, substances répulsives défensives, inhibitrices de la digestion (Regnault-Roger et Hamraoui, 1997). L'intérêt d'utilisation des composés d'origine végétale comme biopesticide remonte au XIXe avec les alcaloïdes (nicotine) extraits du tabac, *Nicotiana (N), tabacum, N. rustica* et *N. glauca*, toutes de la famille des Solanacées (Phylogène, 2008). Des études telles que celle de Liu et col. (2005) puis Markussen et Kristensen (2010) ont prouvé que la nicotine (C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>) par inhalation et par ingestion est un insecticide très actif. Orechov (1929) a extrait l'Anabasine d'*Anabasis aphylla* de la famille de Chénopodiacées. L'anabasine est très toxique sur le puceron *Aphis rumicis* (Phylogène, 2008). La famille des Papilionacée est aussi une source des molécules à effet insecticide telle la Roténone trouvée dans 67 espèces de cette famille. La Roténone est extraite par Nagai (1902) dans les racines de *Derris elliptica*. Les Pyrèthres isolés de *Chrysanthemum (Pyrethrum) cinerariaefolium* de la famille des Astéracées sont des insecticides botaniques. L'activité insecticide à l'égard des poux des préparations végétales des espèces du genre *Chrysanthemum* est rapportée par Ware (1991). Les Pyrèthres sont associés avec la Roténone et des extraits de *Ryania* pour traiter les jardins de maison ou certaines denrées alimentaires (Weinzerl, 1998).

Le neem, *Azadirachta indica* de la famille des Méliacées est utilisé en Inde depuis des temps anciens contre les insectes des denrées stockées (Schmutterer, 1959). L'Azadirachtine est le composé prédominant isolé de neem et commercialisé sous

différentes formulations ; Azatin, Turplex, Align, Neem (Phylogène, 2008). Au Sénégal, Seck *et al.* (1996) ont mené des études dans des systèmes hermétiques de stockage et ont montré que l'utilisation des fruits des *Boscia senegalensis* Pers, à la dose de 1,2 g/l réduit considérablement les émergences de *C. maculatus* F. Aux doses de 2,4 à 4,8g/l, l'émergence de la nouvelle génération de cette espèce est complètement inhibée. Au Burkina Faso Sanon *et al.* (2002) évoquent le rôle répulsif de la poudre de *Hyptisspicigera* et de la toxicité de ses huiles essentielles sur *Callosobruchus maculatus* qui peut diminuer la viabilité des œufs de 40 à 75 et de 24 à 86% respectivement par les poudre et les huiles essentielles. Delobel et Malonga, (1987) au Congo, ont testés la toxicité des feuilles de *Chenopodium ambrosioides*, de *Cymbopogon shoenanthus* et de *Lavandula (sp)* sur les adultes de *Callosobruchus maculatus*. Au Cameroun les feuilles de *Chenopodium ambrosioides* L. et d'*Eucalyptus saligna* Smiths ont couramment utilisées dans la protection du maïs, du niébé et du haricot (Taponjdjou *et al.*,2003). L'activité insecticide des extraits d'*Ageratum conyzoides* L. (Asteraceae), *Citrus aurantifolia* Christm (Rutaceae) et *Melaleuca quinquenervia* L. (Myrtaceae) a été évalué à l'égard de *Callosobruchus maculatus* (Nondenot Aboua *et al.*, 2010). D'après ces auteurs, ces extraits végétaux présentent une activité insecticide et réduisent la ponte chez les femelles de *Callosobruchus maculatus* de  $4.79 \pm 0.75$  pour *Citrus aurantifolia*,  $75 \pm 0.28$  *Ageratum Conyzoides* et  $1.81 \pm 0.53$  *Melaleuca quinquenervia* à la concentration de 6.7 µl/l.

Bachrouch *et al.* (2010) ont évalué l'effet insecticide de *Pistacia lentiscus* sur le troisième stade larvaire et les adultes de *Tribolium castaneum*. L'huile essentielle testée a montré une toxicité vis-à-vis des larves et des adultes. L'effet insecticide de l'huile essentielle, de la poudre et de l'extrait à l'acétone des feuilles sèches de *Callistemon viminalis* contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* a été testé (Ndomo *et al.*, 2009).

Paul *et al.* (2009) ont évalué l'effet insecticide de *Chenopodium ambrosioides*, de *Tagetes minuta*, d'*Azadirachta indica* et *Cupressus lusitanica* à l'égard d'*Acanthoscelides obtectus* et *Zabrotes subfasciatus* sur *Phaseolus vulgaris*. *Chenopodium ambrosioides*, appliqué sous forme de poudre ou sous forme de feuilles entières, était le plus efficace, avec une mortalité de 100% des insectes adultes en moins de trois jours pour une dose d'environ 200 g de poudre de *Chenopodium ambrosioides* pour 100 kg de graines de *Phaseolus vulgaris*. *Tagetes minuta* appliqué sous forme de poudre a également entraîné la mortalité et la réduction de la ponte d'*Acanthoscelides obtectus* et de *Zabrotes subfasciatus*. Selon ces auteurs, tous les traitements sont été significativement plus

efficaces que le contrôle pour réduire le nombre d'insectes vivants et le pouvoir germinatif des graines est maintenu après 5 mois de stockage.

Rajakpase et Van Emden ( 1997) ont prouvé que les extraits de maïs, d'arachide, de tournesol et de sésame ont réduit significativement la ponte et la longévité des trois espèces de *Callosobruchus chinensis*, *Callosobruchus maculatus* et *Callosobruchus rhodesianus* à la dose de à 10 ml / kg. Par l'effet synergie, le nombre d'œufs pondus par les trois ravageurs a été significativement réduit dans les traitements auxquels les poudres de *Cymbopogon citratus*, *Cinnamomum camphora*, *Derris inudata*, *Monodora myristica*, *Zingiber spectabile* ont été ajoutées.

Les études sur l'activité insecticide des extraits d' *Acorus calamus*, *Allium sativum*, d'*Artemisia spp.*, *Chenopodium ambrosioides*, *Curcuma longa*, *Mentha spp.*, *Ocimum spp.*, *Rosmarinus officinalis*, *Foeniculum vulgare*, *Citrus spp.*, d'*Azadirachta indica*, *Cuminum cyminum*, *Elettaria cardamomum*, *Eruca sativa*, *Pimpinella anisum*, *Piper chaba*, *Evodiarutae carpa*, *Cinnamomum aromaticum* de *Lavandula hybrida*, d'*Eucalyptus globulus* et *Thujopsis dolabrata* ont réalisées par Rajendran S. et Sriranjini (2008). L'effet fumigant a été testé sur *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Rhyzoperthadominica*, *Acanthoscelides obtectus*, *Callosobruchus maculatus* et *Callosobruchus chinensis*.

Les adultes étaient généralement sensibles, alors que les œufs étaient tolérants ou très sensibles selon les espèces d'insectes et le type d'huile essentielle ou d'un composant. Les huiles essentielles sont révélées efficaces en mélange avec le CO<sub>2</sub> ou le formiate d'éthyle. Les poudres de *Nicotiana tabacum*, *Tephrosia vogelii* et *Securidaca longepedunculata* réduisent considérablement le nombre de descendants de *Callosobruchus maculatus* (Boeke *et al.*, 2004).

L'effet insecticide des extraits à l'Acétone, au Chloroforme, à l'Ether de pétrole, au Méthanol, à l'Hexane et à l'eau de *Caparis decidua* a été testé sur *T. castaneum*. L'extrait à l'Hexane s'est montré le plus efficace avec une différence hautement significative ( $p < 0,05$ ). Cette efficacité s'est traduite par un effet inhibiteur après 16 heures de traitement sur la métabolisme de formation des substances biochimique, de glycogène, des protéines, des acides nucléique : l'ADN, l'ARN, des acides aminés, des phosphatases acides et alcaline, de glutamate pyruvate transaminase, de glutamate oxaloacétate transaminase, de LDH et l'acétylcholinestérase (Upadhyay, 2011).

L'effet insecticide des extraits à l'éthanol de graines d'*Annona squamosa* (Annonaceae) et *Calotropis procera* (Asclepiadaceae) a été testé sur différents stades de développement de *Musca domestica* L. ainsi que leur effet sur l'acétylcholinestérase. L'exposition de ces extraits a provoqué une inhibition significative de l'activité de l'acétylcholinestérase dans les phases de développement de l'insecte. La grande concentration (10%) d'extrait de graines de *A. squamosa* présente un effet inhibiteur de 56% sur l'activité de l'acétylcholinestérase pour tous les trois stades larvaires de l'insecte testé (Begum *et al.*, 2010).

La poudre des feuilles de *Cassia sophera* ainsi que les extraits aqueux des feuilles ont été testées sur *S. oryzae* et *C. maculatus* respectivement sur le riz stocké et le niébé au Laboratoire et en milieu réel par Kestenholza *et al.* (2007). Au Laboratoire et au champ les expériences ont montré que l'extrait aqueux chaud de *C. sophera* était plus efficace à l'égard de *C. maculatus* et réduisait la sortie des adultes sur niébé que la poudre des feuilles appliquées dans les proportions de 1% et 5% en poids / poids. Les expériences avec *S. oryzae* ont montré que la poudre de *C. sophera* dans la proportion de 5% poids / poids réduisait efficacement l'émergence des adultes dans le laboratoire. Yang *et al.* (2009) ont testé l'efficacité insecticide de l'extrait aqueux de *Rheum officinale* à l'égard de *Podosphaera xanthii*. L'efficacité de l'extrait a été évaluée dans des essais en pot dans des conditions contrôlées et dans des champs ouverts et protégés. Dans la plupart des essais, le taux de mortalité atteint plus de 80% aux doses de 10 à 50 mg/litre.

Dans le même contexte, l'utilisation des extraits végétaux contre les insectes des forêts sont rares, Parmi les investigations réalisées sur l'effet insecticide des extraits végétaux sur la processionnaire, nous citons ; Cao *et al.*, (2010) ont étudiés la réponse de la pyrale tzigane, *Lymantria dispar* au peuplier transgénique, l'insecticide de l'araignée et Bt-toxin C-peptide. Kanat & Alma (2004) ont évalués l'effets insecticides des huiles essentielles de différentes plantes contre les larves de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff). Outre, Breuer & Devkota (1990) ont étudiés l'effet insecticide des extraits du *Melia azedarach* L. pour Contrôler la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* (Den & Schiff.). L'Action de l'extrait de *Melia azedarach* est étudié sur le développement et la reproduction de *Lymantria dispar* L. à l'Oak forest (Atay-Kadiri, *et al.*, 2002). Dans le même contexte, Ouakid, *et al.*, (2005) ont évalué l'effets des extraits de plantes associées au chêne-liège sur l'attraction en enceinte des chenilles de *Lymantria*

*dispar*. Zaid (2015) a évalué une synergie d'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis* et *Rosmarinus tournefortii*) sur les pucerons du peuplier en Algérie.

### **3. Monographie des plantes étudiées**

Le choix des plantes retenues dans notre étude a été guidé par leurs usages dans la pharmacopée traditionnelle et par leur activité insecticide démontrée sur certaines espèces, certaines coléoptères et lépidoptères autre que la processionnaire du pin. Il s'agit de *Taxus baccata* et *Populus nigra*, deux plantes appartenant respectivement à deux familles botaniques : Taxacées et Salicacées.

#### **3.1. *Populus nigra***

##### **3.1.1. Position systématique**

Le peuplier appartient à la famille des Salicacées et au genre *Populus*, il comprend 29 espèces regroupées en six sections botaniques délimitées sur la base des caractéristiques écologiques et morphologique (Boudrou, 1989 ; Eckenwalder, 1996).

##### **3.1.2. Description botanique**

*Populus nigra*, c'est un arbre dioïque qui se produit par voie végétative (boutures) et qui est peu sensible au froid. Lorsqu'il est planté dans des conditions acceptables, il s'accroît couramment de un à deux mètres par an en hauteur, et de 6 à 10 cm en circonférence. Le peuplier peut aisément atteindre des hauteurs de 20 à 30 m et un diamètre d'environ 1 m à 1,20 m au bout de 15 ans (GPR, 1978). Les feuilles caduques sont triangulaires à ovales, lisses des deux côtés et jaunes en automne (**Fig. 23**).

C'est une espèce cosmopolite, dont les racines ont besoin d'oxygène et se développent dans la terre humide où l'eau provient par capillarité. Les sols les plus favorables sont donc les sols meubles, frais, homogènes, où le plan d'eau se maintient à une distance comprise entre 1 et 2 mètres de la surface. Un bon sol limoneux est idéal.



Original

**Figure 23.** Feuilles de *Populus nigra*.

### **3.1.3. Répartition géographique en Algérie**

Le peuplier rencontre dans les étages bioclimatiques sub-humides et semi-arides, aux altitudes comprises entre 0 et 1700 m avec une pluviométrie annuelle supérieure à 400 mm dans les vallées fraîches des montagnes humides du Tell oriental (Kabylie, Bâbors), au bord des ravins et des cours d'eau notamment à Mascara, Saida, TiziOuzou, Bouira, Alger, monts de Tlemcen, de Setif (Leutreuch, 1991).

### **3.1.4. Intérêt phytochimique**

Plusieurs auteurs (Wurtz, 1955 ; Tremoliere & Carbinier, 1981 et 1982) ont montrés l'effet toxique des extraits de feuilles mortes de *Populus nigra*. En effet, leur extrait contient des esters de l'acide caféique ainsi qu'un taux élevé d'hydrocarbures (pentacosane, heptacosane et nonacosane). De même, Zahr-eddine *et al.*, (2014), Ont étudiés les variation phytochimique de *Populus nigra* et la réponse métabolique sur la population des *Aphid chaitophorus leucomelas* en Mitidja (Algérie). Dans le même contexte, Miara, *et al.*, (2013) ont étudié l'importance de *Populus nigra* dans l'ethnopharmacologie Phytothérapie et taxonomie des plantes médicinales spontanées dans la région de Tiaret (Algérie).

## **3.2. *Taxus baccata***

### **3.2.1. Position systématique**

Selon Jean et Garneau (1992), les végétaux du genre *Taxus* font partie du groupe des gymnospermes (conifères), de la famille des taxacées. Cette dernière comprend 11 genres et 95 espèces, dont on cite l'if commun, *Taxus baccata* (Garneau et Zamir, 1995).

### **3.2.2. Description botanique**

*Taxus baccata* est un arbre natif, non résineux, résistant à la gymnosperme, jusqu'à 20 m d'hauteur (28 m), souvent à multiples mâres et à couvertures spacieuses, arrondies ou pyramidales. Système racinaire peu profond avec des racines horizontales étendues, souvent au-dessus du sol sur des substrats calcaires. Écorce brun rougeâtre, mince, écailleuse. Branches vertes et alternées irrégulièrement ; Bourgeons très petits. Bourgeons brun foncé, arrondis, imbriqués et étroitement appressés. Feuilles, attachées en spirale mais sur des pousses latérales tordues plus ou moins en deux rangs, peuvent vivre jusqu'à 8 ans ; 1-3 cm de long et 2 à 3 mm de large, parallèles, sont des aiguilles souples, vert foncé brillant au-dessus, pâle et jaunâtre au-dessous. Les structures reproductrices vertes, portées dans les aisselles des feuilles. Parties mâles en petits cônes 2-3 mm de diamètre (Mundry & Mundry, 2001). Structures femelles de 1,5-2,0 mm de long, solitaires ou par paires dans les aisselles des feuilles au-dessous des pousses, ne formant pas de cônes, couleur brun-jaune, partiellement entourée d'une argile rouge charnue typiquement 9 × 7 mm qui tombe à la maturité du grain (Stützel & Röwekamp 1999) (fig. 24).



**Original**

**Figure 24.** If commun, *Taxus baccata*

### **3.2.3. Répartition géographique en Algérie**

Selon Meddour (2010), L'if commun est localisé dans les flancs de la profonde vallée d'Ait Ouabane (Tizi Ouzou), dans les anciens reboisements de l'if de Lalla Khdidja (1800m), Haizer Crete au nord de Tizi Goulmine, Ait Ouabane (mots de Banors), Tala Guilef (Tikjda). Dans le même contexte, Quesel et Santa (1962) ont été signalés la présence de l'if commun dans les parcs nationaux tels que : Parc national de Chrea, Parc national de Djurdjura, Parc national de Belezma et Parc national de Thniet Elhad.

### **3.2.4. Intérêt Phytochimique**

*Taxus baccata* contient des principaux actifs qui ont permis en 1990 de mettre sur le marché deux médicaments anticancéreux majeurs : le taxotere, issu des pousses de l'if d'Europ et le taxol, issu de l'écorce de l'if du pacifique (Hartzell, 1991). Outre, Plusieurs auteurs ont étudiés la composition phytochimique de *Taxus baccata*. Vesela *et al.* (1999) ont trouvé la concentration la plus élevée pour tous les taxanes examinés chez *Taxus baccata* en Tchecoslovaquie en octobre et le plus faible taux noté en janvier. La teneur en taxanes des aiguilles, tiges de *Taxus baccata* provenant de pépinières des États-Unis est rapportée par Elsohly *et al.* (1997). Les graines et le feuillage de *Taxus baccata* sont riches

en alcaloïdes toxiques (Miller, 1980), toutes les parties étant toxiques. Ils contiennent de la taxine, un mélange complexe d'alcaloïdes qui sont rapidement absorbés par la digestion et interfère avec l'action du cœur (Cooper & Johnson, 1984). Toutes les parties, à l'exception des cônes contiennent le glycoside cyanogène-taxiphyllin (Cooper & Johnson, 1984 ; Barnea et *al.*, 1993), mais les propriétés toxiques de l'if sont principalement dus à la taxine (alcaloïde) (Clarke et al. 1981).

# **QUATRIEME CHAPITRE**

# QUATRIEMECHAPITRE

## Matériels et Méthodes

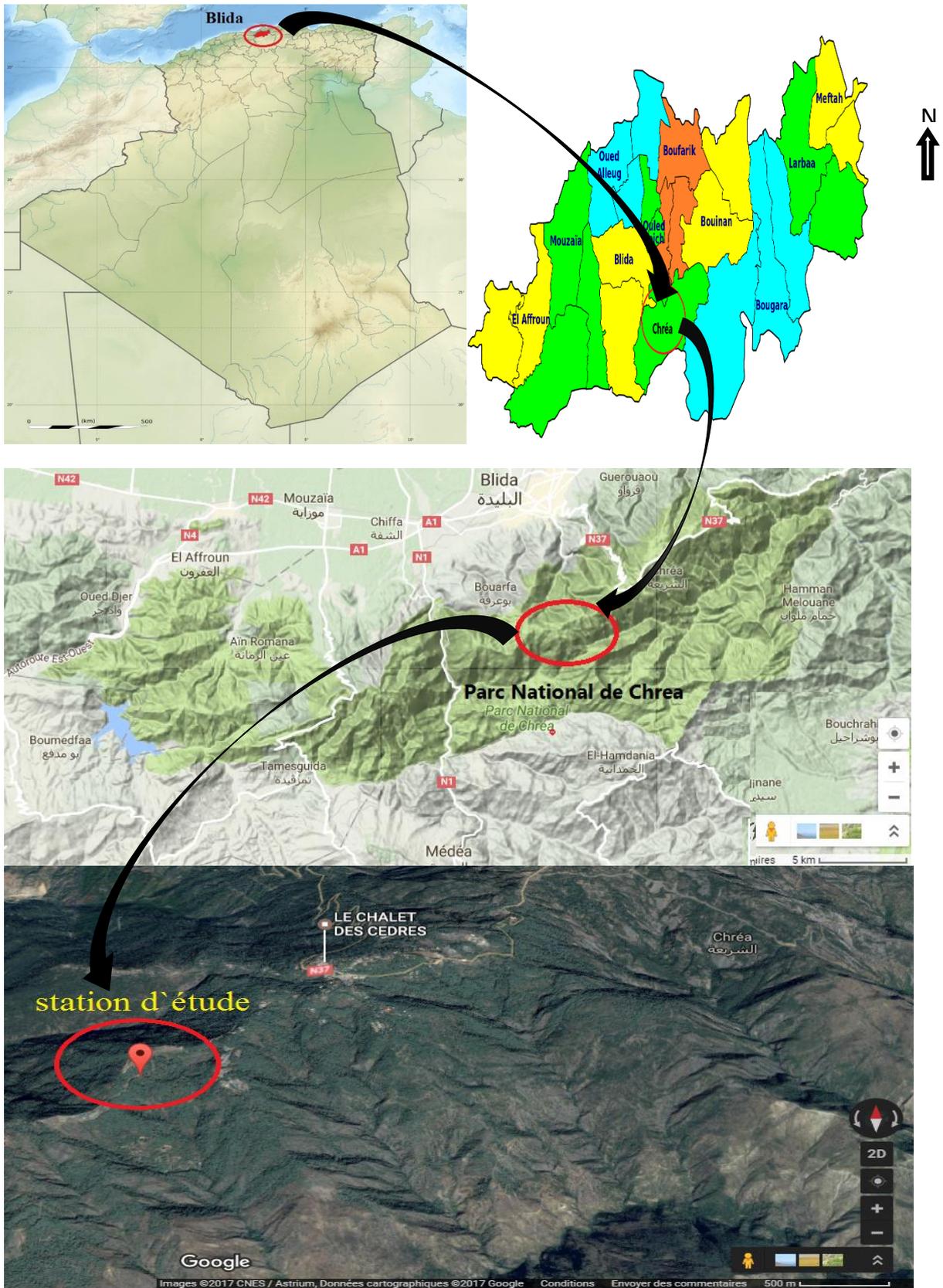
---

### 1. Site d'étude

#### 1.1. Présentation du parc national de Chréa

Le parc national de Chréa est situé à 50 km au sud-ouest d'Alger, qui chevauche les régions de Blida, de Médéa et d'Ain Defla (Figure 25). Il se situe à une altitude 1388m, couvre une superficie de 26587 ha et s'étire sur une longueur de 40 Km et une largeur variable de 7 à 14 kilomètres, comprises entre les latitudes Nord  $36^{\circ}19''$  /  $36^{\circ}30''$ , et les longitudes Est  $2^{\circ}38''$  /  $3^{\circ}02''$ .

Le parc national de Chréa a été créé en 1983 par le décret n° 83-461 du 23Juillet 1983, pour conserver la faune, la flore, le sol, le sous-sol, l'atmosphère, les eaux, en général tout milieu naturel présentent un intérêt spécial qu'il importe de préserver contre tout effet de la dégradation naturelle et de soustraire à toute intervention artificielle susceptible d'en altérer l'aspect, la composition et l'évolution.



**Figure 25.** Carte de localisation du parc national de Chréa et la station d'étude  
(Google maps 2017)

## 1.2. Station d'étude

Après une prospection préalable au parc national de Chréa, nous avons opté pour le choix d'une station représentative de la cédraie pure (Fig. 26) dont les caractères sont regroupés dans le tableau 6.



**Original**

**Figures 26.** Vue de la station choisie (Chréa) 2014 et 2015.

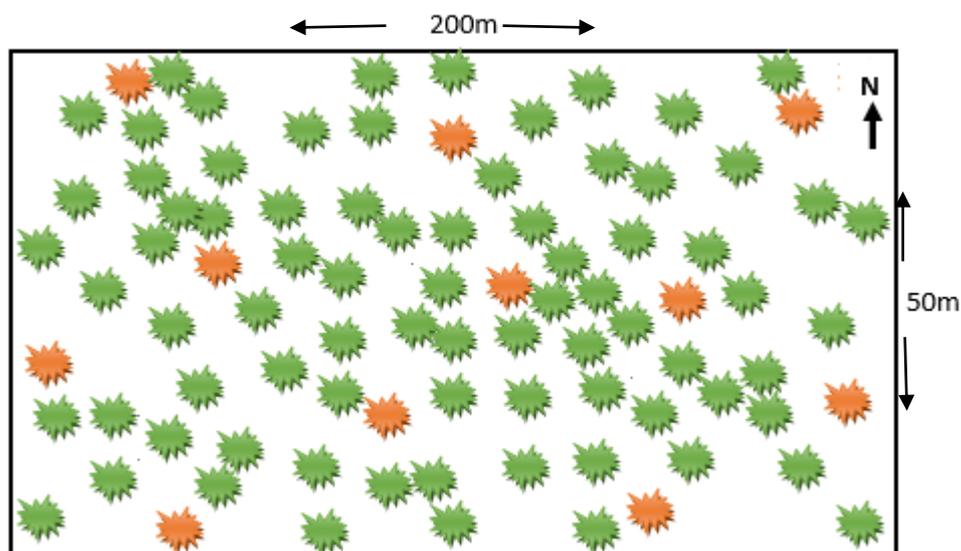
**Tableau 6.** Caractéristiques générales du site d'étude

Zones	Type de forêt	Etage bioclimatique	Altitude (m)	Coordonnées	
				Longitude Est	Latitude Nord
Cédraie de Chréa	Cédraie pure	Sub-humide frais	1388	2°38'' / 3°02''	36°19'' / 36°30''

## 2. Etude biométrique des pontes et importance des parasitoïdes embryonnaires

### 2.1. Récolte et préparation du matériel biologique

Au cours de la période estivale de l'année 2014 et 2015, un effectif de 400 pontes de la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* a été récolté d'une manière aléatoire à la hauteur d'homme et les arbres infestés. Au niveau de la station prospectée de 10000 m<sup>2</sup>, 100 arbres infestés ont été choisis de manière aléatoire. Les arbres prospectés sont situés aux extrémités et aux centres de la station. Nous avons récoltés 4 pontes par arbre, ce qui fait un totale de 400 pontes (200 pontes pour l'étude biométrique et 200 pontes sur les essais insecticides) (fig. 27 et 28). Les pontes ont été conservées individuellement dans des tubes à essai de 10cm de longueur et 1cm de diamètre. Les tubes sont fermés avec du coton pour assurer une meilleure aération. Le matériel biologique est maintenu à la température ambiante de laboratoire de 27+1°C. Le contrôle des tubes se fait quotidiennement et les émergences des parasites et l'éclosion des pontes sont notées au cours du temps.



**Figure 27.** Dispositif expérimental de l'échantillonnage adopté à la récolte des pontes pour la station prospectée de Chréa

-  Arbre
-  Arbre échantillonné



**Original**

**Figure 28.** Pontes de la processionnaire sur rameau de cèdre de l'Atlas

## **2.2. Mensuration des pontes**

Les mesures des longueurs des pontes récoltées ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse électronique. Ceci nous permet de réaliser une comparaison des moyennes entre les pontes durant les deux années 2014 et 2015, et de tirer les corrélations possibles entre la longueur et le nombre d'œufs des femelles pondeuses.

## **2.3. Dénombrement des œufs**

Un comptage minutieux des différentes catégories d'œufs (Parasités, éclos et non éclos). Les trous de sorties des parasitoïdes sont plus réduits que ceux des œufs éclos et facilement décelables à l'aide d'une loupe binoculaire.

## **2.4. Contrôle et répertoire des espèces parasitoïdes à l'émergence**

A l'émergence les parasitoïdes embryonnaires de *T. pityocampa* sont déterminés, et comptabilisés pour chaque ponte au laboratoire d'entomologie agricole et forestière de E.N.S.A.

### 3. Activité insecticide et Screening phytochimique

#### 3.1. Récolte et préparation du matériel végétale

Les espèces végétales étudiées sont : *Taxus baccata* et *Populus nigra*. Elles ont été collectées respectivement dans les régions du Blida et Alger au début du mois Avril 2014 juste avant la floraison, ces régions se caractérisent par un climat sub-humide et type du sol caractérisé par une faible épaisseur, un humus de type mull calcique, et une texture limono-argilo-sableuse, l'identification botanique est faite par le professeur Abdelkrim Hassen (département de botanique, ENSA). Ces espèces sont séchées naturellement dans l'ombre au laboratoire avec une température ambiante pendant 2 mois (Fig. 29). Elles sont ensuite broyées à l'aide d'un broyeur automatique RECOCHET (Réf. CSL04, capacité de production : 10 à 20 Kg) jusqu'à leur réduction en poudre très fine.



(a)

(b)

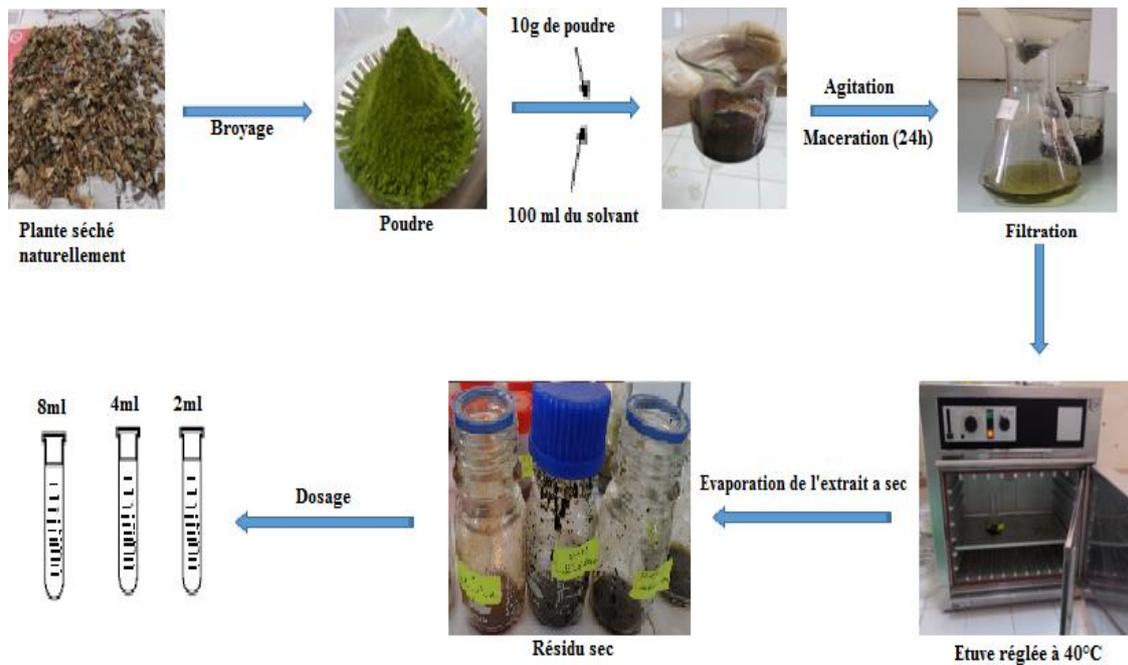
**Figure 29.** Matériel végétale séché naturellement, **Original**

(a) *Populus nigra*

(b) *Taxus baccata*

### 3.2. Extraction des extraits totaux

Six extraits totaux ont été préparés il s'agit de : Taxus Méthanol pure (TMP), Taxus Méthanol chloroforme (TMC), Taxus Méthanol eau (TME), Populus Méthanol pure (PMP), Populus Méthanol chloroforme (PMC) et Populus Méthanol Eau (PME). Tous les extraits sont obtenus à partir de 10 g de poudre pour 100 ml du solvant. La poudre de chaque plante est macérée séparément dans des fioles de 250ml, pendant 48 h dans du méthanol pur, méthanol eau dans les proportions (V1/V2) et méthanol chloroforme (2V1/V2). Après, une filtration à l'aide du papier Whatman N°1. Le solvant est évaporé à sec par une étuve réglée à 40°C. Ces extraits ont été concentrés par évaporation jusqu'à obtention d'un résidu sec dont la quantité est exprimée en mg c'est l'extrait brute. Cela permet d'exprimer les concentrations létales des résidus secs solubles dans le solvant en mg/l (fig. 30)



**Figure 30.** Protocole de préparation des extraits du *Taxus baccata* et *Populus nigra*

### 3.3. Calcul du taux (en %) d'extraction

Le rendement à l'extraction de chaque fraction (R) se définit comme le rapport de la quantité de l'extrait (E) sur la quantité de matière sèche du produit (MS) :

$$\text{Taux d'extraction} = \frac{(P_1 - P_0)}{E} \times 100$$

$P_1$  = poids en g de la fiole après évaporation

$P_0$  = poids en g de la fiole vide

E = poids de la matière végétale

### 3.4. Préparation des solutions et activité insecticide

Une solution mère à 10% est préparée à partir de chaque extrait séché avec le solvant correspondant avant d'être testée sur les larves de premier stade de la processionnaire (Fig. 31). Des concentrations diluées de 0.2% (2mg/ml), 0.4% (4mg/ml) 0.8% (8mg/ml) et ont

été préparées. Le témoin est traité uniquement à l'eau distillée. Pour chaque dose ainsi que pour le témoin le nombre de répétition est de 3.

Les larves de 1er stade de la processionnaire ont été récoltées juste après l'éclosion des pontes au laboratoire. A l'aide d'un pinceau fin, 20 sont déposées délicatement dans des boîtes de Pétri en verre de 11cm de diamètre dont le fond sont tapissé par un papier filtre W. n<sup>o</sup>.1 traité avec 1 ml de solution d'extrait. Après séchage du solvant et dépôt des larves, Cinq aiguilles du pin sont déposés dans la boîte de pétri pour alimenter les larves. Ces bio-essais ont été conduits dans des conditions de température de  $27\pm 1$  °C.

Dans les mêmes conditions de laboratoire, un autre test a été réalisé sur les pontes de la processionnaire. Un lot de 54 pontes est utilisé pour cette expérience, chaque parte est trempée pendant 10 secondes dans les différents extraits préparés : PMP, PME, PMC, TMP, TME et TMC à des concentrations déterminées 0.2 % (2mg/ml), 0.4% (4mg/ml) et 0.8 % (8mg/ml). Les témoins sont trempés uniquement à l'eau distillée. Pour chaque dose ainsi que pour le témoin le nombre de répétition est de 3.



**Figure 31.** Dispositif expérimentale adopté pour l'étude des tests sur les larves de 1er stade de la processionnaire

**T** : témoin  
**D** : dose  
**R** : répétition

### 3.5. Expression des résultats de mortalité

Pour chaque extrait, le pourcentage moyen de mortalité est calculé, il est ensuite corrigé par la formule d'Abbott (1925)

$$MC \% = (M - Mt) * 100 / (100 - Mt)$$

**MC** : la mortalité corrigée.

**M** : pourcentage de morts dans la population traitée

**Mt** : pourcentage de morts dans la population témoin

### **3.6. Screening phytochimique**

Les tests de screening phytochimique sont effectués selon le protocole phytochimique interne de SAIDAL, au niveau de son centre de recherche d'El-Harrach, Alger.

#### **3.6.1. Recherche des alcaloïdes :**

Pour mettre en évidence les alcaloïdes, nous avons utilisé deux réactifs, le réactif de Mayer et de Dragendorff. Par cela nous avons déposés 10g de poudre à analyser dans une fiole de 250ml et 2,5g d'ammoniaque. Un volume de 50ml d'un mélange éther chloroforme dans les proportions (3/1) a été ajouté au mélange puis nous avons fermé la fiole. Après agitation du mélange et macération pendant 24 heures, le mélange a subi une filtration. Le filtrat obtenu est réduit à 50ml par épuisement à l'acide chlorhydrique 2N. Dans deux tubes à essais, numérotés tube n°1 et tube n°2, on dépose 1ml de filtrat dans chaque tube, cinq gouttes de réactif de Mayer sont ajoutés dans le tube n°1 et cinq gouttes de réactif de Dragendorff dans le tube n°2. Après 10 minutes de repos, Le réactif de Dragendorff a donné un précipité de couleur rouge tandis que le réactif de Mayer donne un précipite blanc jaunâtre.

#### **3.6.2. Recherche des Tanins**

1,5 g de matériel végétal sec sont déposés dans 10 ml de MeOH 80 %. Après 15 minutes d'agitation, les extraits sont filtrés et mis dans des tubes. L'ajout de FeCl<sub>3</sub> a 5% permet de détecter la présence ou non de tanins. La couleur vire au bleu noir en présence de tanins galliques et au brun verdâtre en présence de tanins catéchiqes.

#### **3.6.3. Recherche des anthocyanes**

À 5ml d'infusé présentant une coloration plus ou moins foncée, 5ml d'acide sulfurique puis 5ml d'hydroxyde d'ammonium (NH<sub>4</sub>OH) sont ajoutés à l'infusé. Si la coloration s'accroît par acidification puis vire au bleu violacé en milieu basique, on peut conclure à la présence d'anthocyanes.

#### **3.6.4. Recherche des leucoanthocyanes**

Dans un tube à essais on introduit 5ml d'infusé, puis on ajoute 2ml d'éthanol chlorhydrique (éthanol à 95°, eau distillée et acide chlorhydrique en parties égales au volume de 2ml) puis on chauffe le mélange pendant 10 minutes au bain-marie. En présence de leucoanthocyanes, la réaction à la cyanidine se développe une coloration rouge cerise ou violacée.

#### **3.6.5. Recherche des saponosides**

2ml d'infusé ont été versés dans un tube à essai, dans lequel on a ajouté quelques gouttes d'acétate de plomb. Le tube ainsi préparé est agité pendant 15 secondes puis laissé au repos durant 15 min. La formation d'un précipité blanc indique la présence des saponosides.

#### **3.6.6. Recherche des flavonoïdes**

Dans un tube à essai contenant 5 ml de l'infusé on ajoute 5ml d'acide chlorhydrique, 1ml d'alcool iso-amylique et quelques copeaux de Magnésium ; l'apparition d'une coloration rose orangée, rose violacée ou rouge indique la présence de flavonoïdes.

#### **3.6.7. Recherche des glucosides**

À 2ml d'infusé on a rajouté 5 gouttes de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. La formation d'une coloration rouge brique ensuite violette indique la présence des glucosides.

### **4. Méthodes d'exploitations des résultats**

La statistique descriptive a essentiellement pour but de présenter les données observées sous une forme telle qu'on puisse facilement en prendre connaissance. Elle peut concerner une variable ou une caractéristique à la fois, deux variables ou deux caractéristiques à la fois, ou encore plus de deux variables ou plus de deux caractéristiques simultanément.

Selon les cas, on peut parler de statistique descriptive à une variable ou à une dimension, de statistique descriptive à deux variables ou à deux dimensions, ou bien de statistique descriptive à plusieurs variables ou à plusieurs dimensions (Dagnelie, 2007). Dans ce volet d'analyse statistique, plusieurs calculs sont effectués, les moyennes, les écarts-types et le coefficient de variation. Ceux-ci ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel et Statistica 6.

L'analyse fréquentielle représente la méthode pratique de la description d'une population ou d'un échantillon et d'en procéder avant tout à une distribution de fréquence. Ceci dans le but de caractériser les populations dans leur ensemble et de présenter les données sous une forme synthétique et sans perdre l'essentiel de l'information contenue dans les valeurs de la variable à établir. Les données sont classées, puis regroupées dans un nombre restreint de classes. En statistique on postule souvent que les valeurs des données sont calculées à partir d'une population ayant une distribution normale. Cette analyse a concerné la distribution des catégories de pontes.

L'analyse linéaire de la régression et corrélation, appelée aussi régression linéaire, est l'une des méthodes statistiques les plus utilisées dans les sciences appliquées et dans les sciences de l'homme. Son objectif est double, il consiste tout d'abord à décrire les relations entre une variable privilégiée, appelée variable expliquée (ou dépendante), et plusieurs variables jouant un même rôle par rapport à la première, appelées variables explicatives (ou indépendantes). Elle permet aussi d'effectuer des prévisions de la variable expliquée en fonction des variables explicatives (Foucart, 2006). L'analyse des régressions et des corrélations nous a permis de déduire des équations des calculs de longueur et d'établir la relation entre la longueur et l'effectif des œufs dénombrés. Le coefficient de détermination  $R^2$  calculé, représentant la mesure de la proportion de la variable explicative par la variable à expliquer, évalue le degré d'association entre les deux variables et permet de juger la qualité de l'ajustement des points par la droite de régression. Les probabilités sont calculées pour chaque cas pour évaluer les degrés de signification. L'étude des régressions a été effectuée à l'aide du logiciel Statistica 6.

Les analyses statistiques pour étudier le potentiel insecticide de quelques extraits végétaux ont été effectuées en utilisant le logiciel Excel stat et SAS 9. Nous avons suivi la procédure MEANS dans l'éditeur de SAS pour les analyses descriptives des mortalités. Afin d'évaluer l'effet de certains facteurs pris en considération dans cette étude sur la mortalité des larves L1, un modèle linéaire généralisé (GLM) a été utilisé. Ce modèle a pris en

considération 162 observations, la durés du traitement, la nature des extraits, les doses testées comme facteurs fixes, et la mortalité comme facteur variable. Pour évaluer l'efficacité des extraits, le test de Tukey et la moindre différence significative (LSD) a été employé avec l'option CLDIFF dans la procédure ANOVA pour une comparaison multiple des moyennes et groupement des extraits homogène. La probabilité  $p= 0.05$  a été choisie pour toutes ces analyses statistiques. Les valeurs des doses létales provoquent 50% de mortalité (DL50), sont calculées après 48 heures selon la méthode de Finney (1952).

# **CINQUIEME CHAPITRE**

# CINQUIEME CHAPITRE

## Résultats et discussion

---

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est le principal insecte défoliateur des pins et du cèdre dans le pourtour méditerranéen (Robinet et al. 2011). L'évolution larvaire s'effectue en cinq stades larvaires. Cette phase larvaire constitue la phase la plus nuisible qui affecte la croissance radiale des arbres attaqués et provoque des allergies pour la santé humaine. L'étude biométrique des pontes, l'importance des parasitoïdes embryonnaire et l'activité insecticide de deux plantes sur les larves L<sub>1</sub> de la processionnaire sont fondamentales pour assurer la qualité des interventions de lutte. Dans ce volet l'analyse statistique de plusieurs calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel stat et Statistica 6.

### 1. Etude biométrique des pontes

#### 1.1. L'analyse descriptive de longueurs des pontes

Les résultats des mensurations des pontes de l'année 2014 et 2015 sont regroupés dans le tableau 7.

**Tableau 7.** La biométrie des longueurs des pontes

	Années					
	2014			2015		
	Nombre totale	Moyenne	Valeurs extrêmes	Nombre totale	Moyenne	Valeurs extrêmes
<b>Longueur des pontes (mm)</b>	100	26,74±4,63	18,80-40,30	100	25,82±5,66	17,08-40,02
<b>P=0,0001</b>						

L'étude comparative des longueurs des pontes examinées montre un résultat comparable entre les deux années. Les pontes mesurées en 2014 ont une longueur moyenne de 26,74

mm avec un écart-type de 4,63. Ce résultat est très comparable à celui obtenu en 2015 sur des pontes récoltées dans la cédraie de Chréa avec une moyenne de 25,82 mm avec un écart-type de 5,66. De même, dans le massif central en France, les pontes en provenance des pinèdes ont une longueur moyenne de 27,5mm (Morel, 2008). Une grande variabilité est notée entre les échantillons. Les pontes mesurées ont des longueurs comprises entre 18,80 et 40,30mm pour l'année 2014 et de 17,08 à 40,02 mm pour année 2015. Ce résultat confirme une large aptitude entre les femelles pondeuses dans l'émission de leurs œufs.

## **I.2. Analyse fréquentielle des pontes**

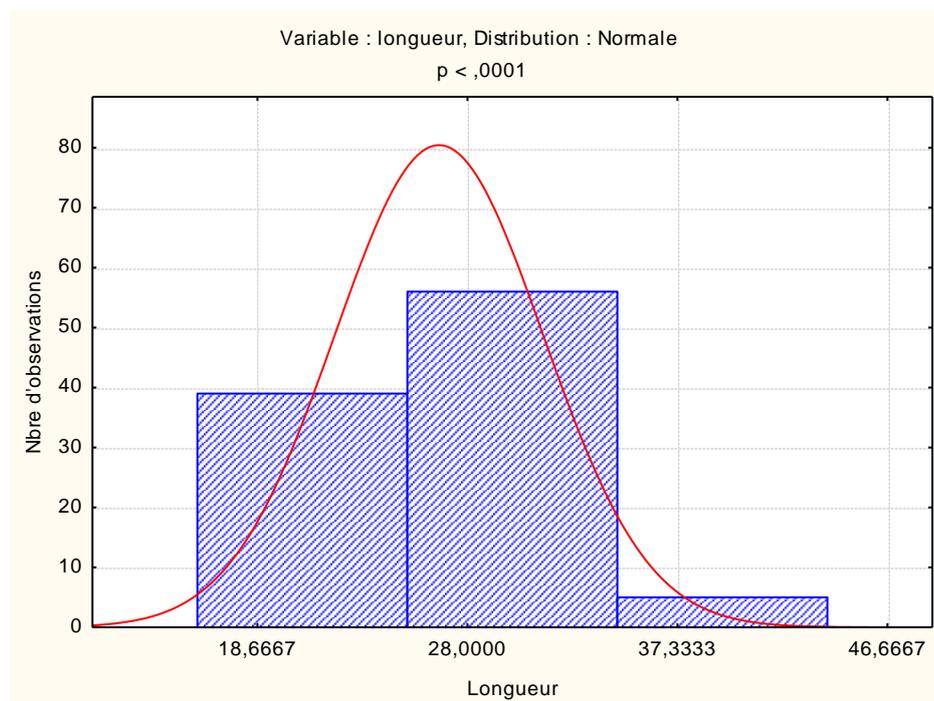
Afin de tirer des informations plus fiables sur les classes des femelles pondeuses durant les deux années 2014 et 2015, nous avons procédé à une analyse fréquentielle des mensurations des pontes de la population en cédraie prospectée. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 8 et illustrés par les figures 32, 33.

L'analyse fréquentielle des longueurs des pontes en provenance de Chréa durant l'année 2014 définit trois classes s'ajustant à une loi normale. La probabilité calculée est très hautement significative ( $p=0,0001$ ). La première classe, représentée par 39% cas, avec une longueur de ponte de 19 mm à 25 mm. La seconde classe regroupe le plus grand nombre d'observations, soit 56% des cas, sont notés pour la classe des longueurs comprises entre 25 à 35 mm. La troisième classe (35 à 40) se limite à 6,14% des pontes examinées.

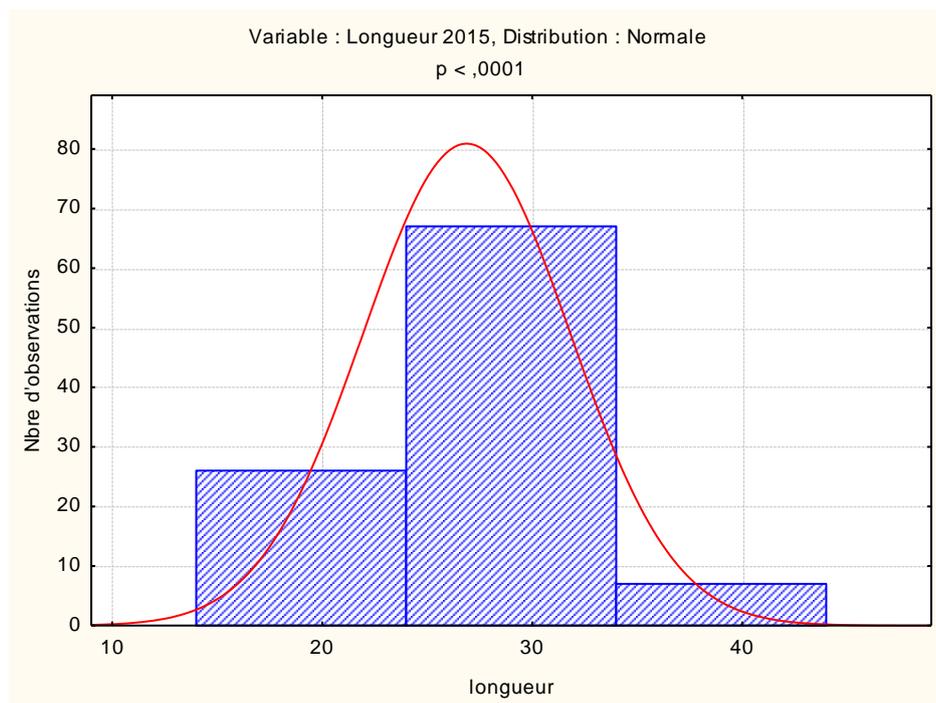
Comparativement, trois classes qui s'ajustent à une loi normale avec une probabilité très hautement significative ( $p=0,0001$ ) pour des pontes en provenance de Chréa en 2015. La première classe, représentée par 26% cas, regroupe les pontes ayant des longueurs comprise entre 17 à 24 mm. La seconde classe regroupe un maximum d'observations, soit 67% des pontes, renfermant entre 24 à 34 mm. La troisième classe se limite à 7% pontes dont la longueur des pontes est comprise entre 34 à 40 mm. De même, ce résultat a été confirmé par Kherroubi (2012) sur un lot de 147 pontes, l'analyse fréquentielle montre trois classes de femelles pondeuses avec une probabilité très hautement significative ( $p=0,0001$ ) pour des pontes récoltées à Chréa. Bouchou (2015) montre cinq classe des femelles pondeuses aux niveaux de la cédraie de Blida, de Tlemcen et de El Kala avec une probabilité très hautement significative ( $p=0,0001$ ).

**Tableau 8.** Analyse fréquentielle des longueurs des pontes cédraie Chréa

Année	Variable : la longueur, distribution : normale, $p < 0.0001$				
	Classes	Observé (effectifs)	Cumul Observé	% observé	% cumulé Observé
2014	19 – 25	39	39	39	39
	25 – 35	56	95	56	95
	35 – 40	5	100	5	100
2015	17 – 24	26	26	26	26
	24 – 34	67	93	67	93
	34 – 40	7	100	7	100



**Figure 32.** Analyse fréquentielle des longueurs des pontes en 2014



**Figure 33.** Analyse fréquentielle des longueurs des pontes en 2015

### I.3. Dénombrement des œufs par pont

Les résultats de comptage des œufs réalisé sur 200 pontes durant les années 2014 et 2015, sont regroupés dans le tableau 9.

**Tableau 9.** Analyse descriptive des effectifs des œufs par pont

	Années					
	2014			2015		
	Nombre total	Moyenne	Valeurs extrêmes	Nombre total	Moyenne	Valeurs Extrêmes
<b>Effectif des œufs</b>	25428	254±53	132 – 378	25102	251±41	169 – 367

Le dénombrement des pontes examinées a mis en évidence un total de 50530 œufs pendant les deux années. En 2014, un effectif de 25428 œufs, soit une moyenne de 254 par pont, avec une écart-type de 53. L'analyse des effectifs des œufs des pontes en provenance de Chréa récoltées pour l'année 2015 a mis en évidence un nombre moyen d'œufs par pont

de  $251 \pm 41$  sur un lot de 25102 œufs. De même, l'étude conduite par Sebti (2011) a donné une moyenne ( $231 \pm 46$  œufs par ponte) comparable avec les moyennes de l'année 2014 et 2015. Mirchev *et al.*, (2015) ont montré que l'effectif des œufs par ponte est compris entre 115 à 279 œufs, ce qui est confirmé par nos résultats ; contrairement Bouchou (2015) à Moudjebara note que le nombre des œufs comprise entre 86 à 194 œufs par ponte.

Les pontes récoltées en 2014 et 2015 ont les effectifs les plus élevés de la population et confirment la phase de pullulation de l'espèce de processionnaire. A ce sujet, Huchon et Demolin (1970) considèrent que lorsque le nombre d'œufs avoisine 300 œufs par ponte, la potentialité dynamique de la population devient particulièrement élevée. Ce qui témoigne des infestations importantes de l'espèce, *Thaumetopoea pityocampa* dans son biotope. Si les conditions du milieu restent favorables au développement de l'insecte en question, une plus grande extension et infestation est à prédire les prochaines années.

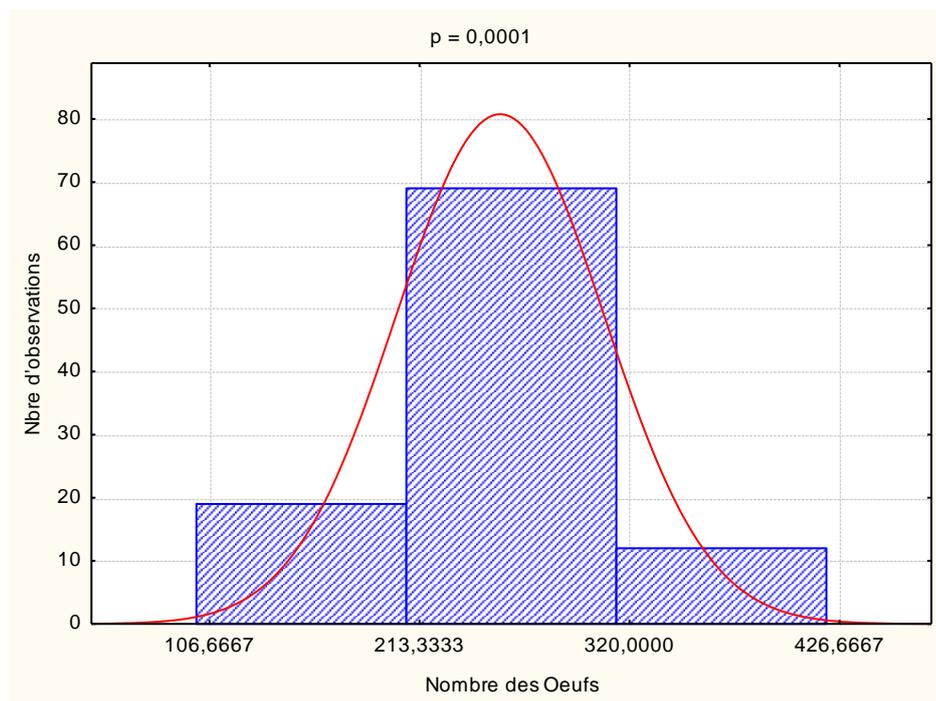
#### 1.4. Analyse fréquentielle des effectifs des œufs par ponte

Les résultats comparatifs de l'analyse fréquentielle des effectifs des œufs de la processionnaire de deux années (2014 et 2015) sont regroupés dans le tableau 10 et les figures 34 et 35

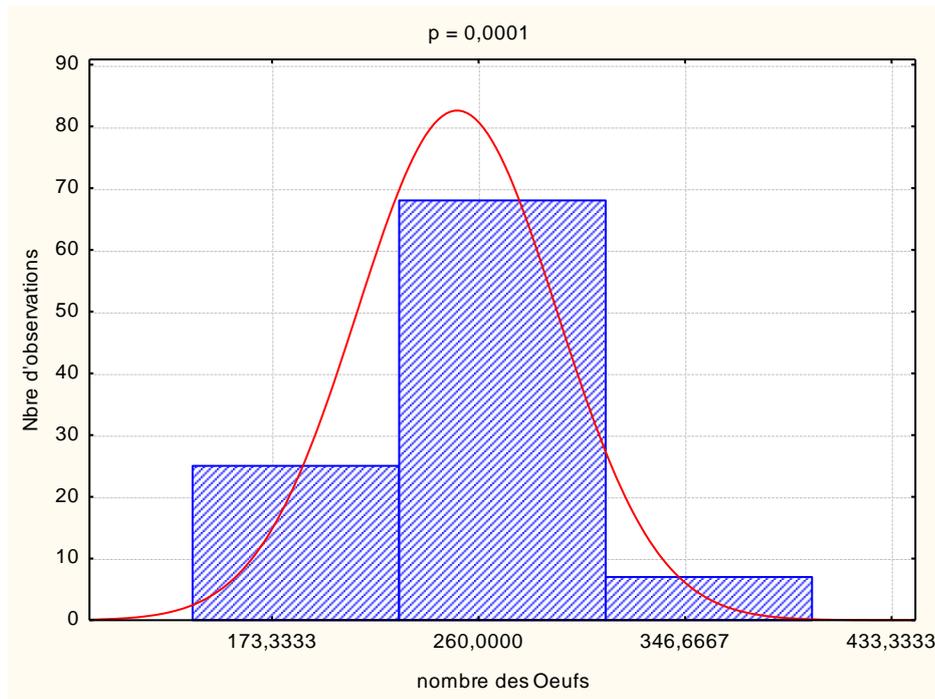
**Tableau 10.** Analyse fréquentielle des effectifs des œufs

Cédraie de Chréa					
Années					
2014			2015		
Classes	Cas Observés	Taux	Classes	Cas observés	Taux
132-207	19	19	169-227	25	25
207-313	69	69	227-313	68	68
313-378	12	12	313-367	7	7
<b>P=0,0001</b>					

Pour les deux lots considérés en 2014 et 2015, l'analyse des effectifs met en évidence trois classes de femelles pondeuses avec une probabilité très hautement significative ( $p=0,0001$ ). En 2014, la première classe regroupe les valeurs allant de 132 à 207 œufs /ponte, représentant un taux de 19%. La seconde classe regroupant des effectifs allant de 207 à 313 œufs /ponte représente 69% des cas. La dernière classe des effectifs des œufs allant de 313 à 378 œufs/ponte se limite à 12 observations. De même que précédemment, les résultats de l'année 2015 affichent trois classes de femelles pondeuses avec une probabilité très hautement significative ( $p=0,0001$ ). La première classe, représentée par un taux de 25%, regroupe les pontes ayant entre 169 à 227 œufs. La seconde classe regroupe un maximum d'observations, soit un taux de 68%, renfermant entre 227 et 313 œufs. La dernière classe se limite à un taux de 7% regroupant des valeurs de 313 et 367 œufs. Sur la base de ces résultats il apparaît trois populations de femelles pondeuses dans les deux années. De même nous considérons que la population de la processionnaire en cédraie est restée en phase de culmination.



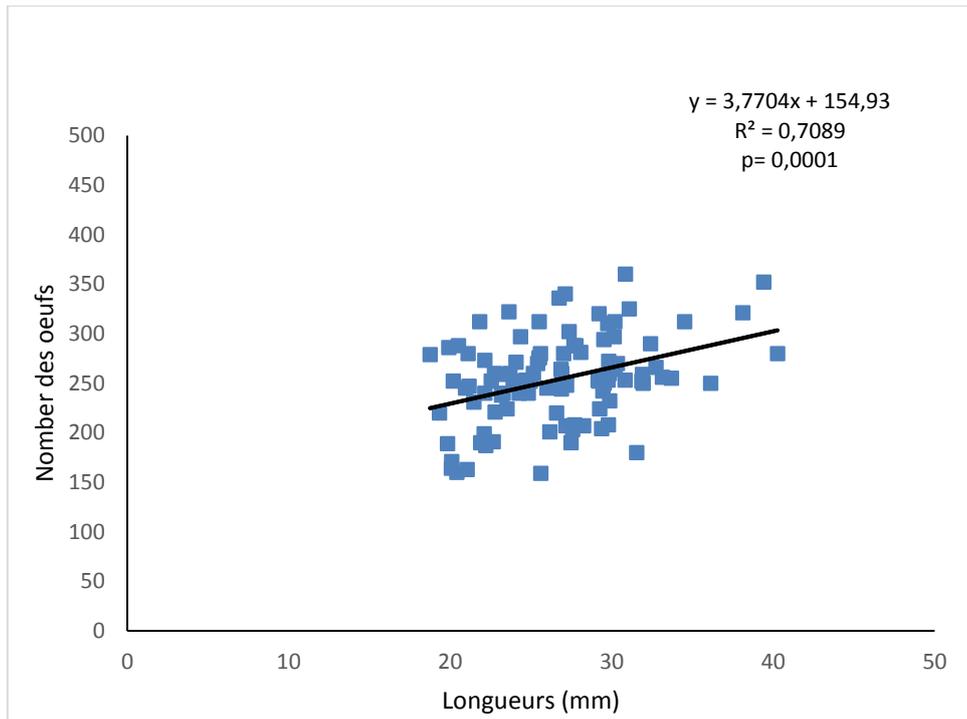
**Figure 34.** Répartition des effectifs des œufs en classes de l'année 2014



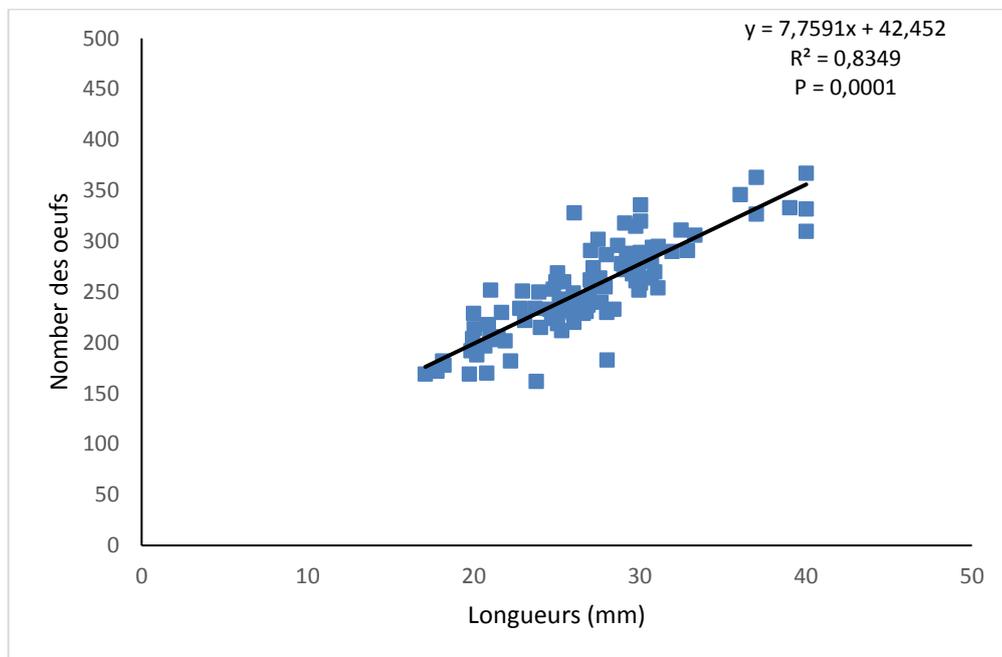
**Figure 35.**Répartition des effectifs des œufs en classes de l'année 2015

### **I.5. Relation entre la longueur des pontes et le nombre des œufs**

La corrélation entre les deux variables pris en considération, la longueur des pontes et le nombre d'œufs durant l'année 2014 et 2015 est illustrée par les figures 36 et 37.



**Figure 36.** Relation entre le nombre d'œufs et la longueur de la ponte en 2014

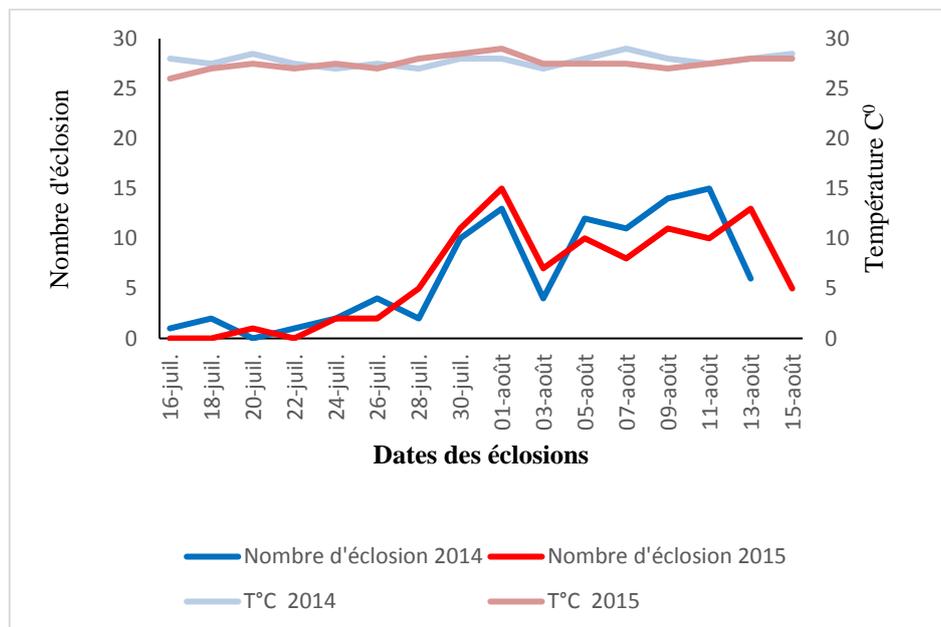


**Figure 37.** Relation entre le nombre d'œufs et la longueur de la ponte en 2015

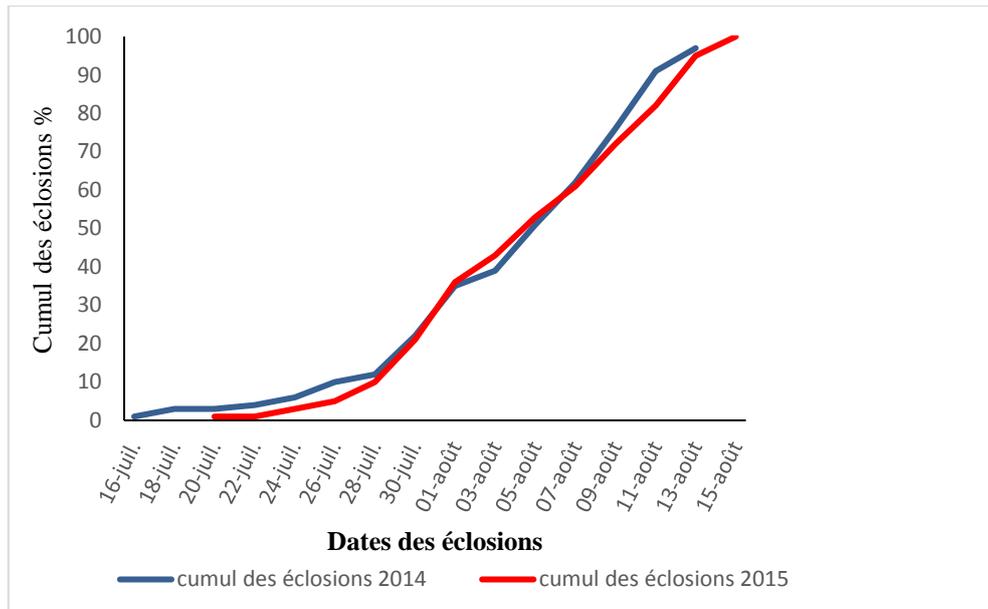
Les pontes déposées sur les rameaux de cèdre de l'Atlas à Chréa de l'année 2014 ont une longueur moyenne de  $26,74 \pm 4,63$  mm et un nombre moyen des œufs par ponte de  $254 \pm 53$ . L'analyse de la régression linéaire montre que la longueur des pontes et le nombre d'œufs sont corrélés positivement avec une probabilité très hautement significative ( $p=0,0001$ ) (fig. 33). Cette résultat a été confirmé en 2015, dans la même station d'étude l'analyse de la régression linéaire entre la longueur des pontes et le nombre des œufs montre une corrélation très hautement significative avec une probabilité de  $p = 0,0001$  (fig.34). Sur la base de ces résultats, nous rejoignons, Sebti (2011) qui note une relation très comparable entre la longueur des pontes et le nombre d'œufs. De même, Zamoum (1998) sur pin d'Alep, a montré une corrélation positive entre les longueurs des aiguilles et des rameaux et le nombre d'œufs avec une probabilité hautement significative. Les femelles pondeuses effectuent leur ponte selon une stratégie liée au site de ponte sur rameaux de cèdre de l'Atlas ou sur les aiguilles de pin d'Alep.

### I.6. Chronologie des éclosions des pontes

La fréquence journalière et la courbe cumulative des éclosions des pontes de l'année 2014 et 2015 sont illustrées respectivement par les figures 38 et 39.



**Figure 38.** Fréquence d'éclosion des pontes en fonction des températures moyennes



**Figure 39.** Éclosions des pontes de *Thaumetopoea pityocampa* au cours du temps au laboratoire

Les éclosions des pontes en 2014 se sont échelonnées du 16 juillet jusqu'au 13 août 2014. Parmi 100 pontes mises en observation 95 ont éclos, soit un taux significatif de 95 % de la population globale. Les pontes non éclos sont généralement non féconds. Les résultats obtenus sont comparables à ceux de Sebti (2011) qui note un taux d'éclosion de 95,5%. Par contre en 2015, sur un effectif de 100 pontes, le taux d'éclosion représente 100 %. Les éclosions se sont échelonnées du 20 juillet jusqu'au 15 août 2015 avec un retard de 4 jours par rapport l'année précédente.

La fréquence journalière des pontes éclos en fonction de la température est variable. Durant la période des éclosions des pontes de *Thaumetopoea pityocampa*, la somme des températures calculées en 2014 et 2015 est très comparable (824°C), elle est élevée par rapport à celle obtenue par Sebti (2011) durant la même période, cet auteur a enregistré une somme de 780°C. A ce sujet, Demolin (1987) a noté que l'éclosion se déclenche lorsque la somme des températures moyennes journalières avoisine 780°C. Sur la base des résultats cumulatifs, la date de calage, représentant l'émergence de 50% de la population est noté au 05 août 2014, par contre en 2015 la date de calage situe vers le 4 août. Sur la base de ces résultats nous constatons qu'il apparait une adéquation synchrone entre les éclosions des deux populations 2014 et 2015.

## 2. Importances des parasitoïdes embryonnaires

### 2.1. Biodiversité des parasitoïdes embryonnaires récoltés

Durant les deux années 2014 et 2015, Trois parasites embryonnaires appartenant à l'ordre des Hyménoptères et à la super-famille des Chalcidoïdae ont été répertoriés au niveau de la cédraie de Chréa. Ils ont été identifiés par le professeur Chakali Ghahdab et le professeur Salaheddine Doumandji au laboratoire d'entomologie agricole et forestière de E.N.S.A., il s'agit de *Baryscapus (Tetrastichus) servadeii* [Page : 80, Pr : 2.1.1] et *Ooencyrtus pityocampae* [Page : 81, Pr : 2.1.2] (Fig. 40 et 41), Ces deux auxiliaires sont présents et actifs dans le pourtour méditerranéen où elles sont signalées par Battisti (1989) en Italie, par Schmidt *et al.* (1997) au Maroc, par Tsankov *et al.* (1999) en Grèce, Arnaldo et Torres (2006) au Portugal. En Algérie, ces deux espèces ont été signalées par Bertella (1987) dans les reboisements de pin d'Alep de Batna et par Zamoum (1998) dans les peuplements de pin des zones semi-arides. De même, kherroubi (2012) et Arkam (2011) ont noté la présence de ces deux parasites au niveau de l'Atlas Blidéen. A ce sujet, Demolin (1987) et Gachi (1994) notent leur présence sur les pontes *T. bonjeani* dans la cédraie de Belezma. La troisième espèce polyphage est le *Trichogramma embryophagum* [Page : 81, Pr : 2.1.3], caractérisé par une faible fréquence de parasitisme (Fig.42). Au Portugal, cet auxiliaire a été signalé par Pimentel (2004) et Arnaldo et Torres (2006) sur les pontes de la processionnaire du pin. A ce sujet, l'espèce en question a été signalée en Algérie par Bertella (1987) dans la pinède de Bouilef et par kherroubi (2012) et Sebti (2011), dans la cédraie de Chréa. De même, Gachi (1994) signale sa présence sur les pontes de la processionnaire du cèdre, *Thaumetopoea bonjeani*, dans les peuplements de Belezma. D'autres espèces, *Eupelmus* sp., *Anastatus bifasciatus* sont notées par Zamoum (1998) dans les pinèdes des zones semi-arides à Djelfa. Ces dernières espèces ont été notées avec un très faible nombre. Malgré nos diverses investigations, ces dernières espèces n'ont pas été observées. Cette absence totale dans nos échantillons témoigne de leur régression et leur menace de disparition.



**Original**

**Figure 40.** *Baryscapus servadeii* (Gr : 10x40).



**Original**

**Figure 41.** *Ooencyrtus pityocampae* (Gr : 10x40)



**Original**

**Figure 42.** *Trichogramma embryophagum* (Gr : 10x40)

### **2.1.1. *Baryscapus servadeii***

Cette espèce appartient à la famille des Eulophidae, elle a été décrite par Domenichini (1965) comme étant monophage mais au cours de ces dernières années, elle a été observée sur l'espèce voisine *T. bonjeani* en Algérie (Demolin, 1986 ; Gachi *et al.*, 1986 ) et au Maroc par El Yousfi (1994). Elle se reproduit généralement par parthénogenèse thélytoque avec apparition épisodique d'individus mâles (Masutti, 1964).

Le corps des adultes est vert métallique avec des reflets bleuâtres. L'abdomen, allongé, est traversé par deux bandes longitudinales de couleur violette qui caractérisent la présence de ce genre. Les antennes comprennent 5 articles chez la femelle et 6 articles chez le male. Elles sont plus fournies de soies et plus longues chez ce dernier (Bertella, 1987). La taille moyenne du corps est comprise entre 1,5 et 1,7 mm (Masutti, 1964). A Djelfa, les longueurs des adultes mesurées sont comprises entre 1,1mm et 2,2 mm (Zamoum, 1998). Selon Masutti *et all*, (1993) cette espèce présente deux générations par an, ce qui implique que les individus qui se développent dans les premières pontes de *T. pityocampa* sont capables de pondre à leur tour dans les œufs des pontes tardives de ce ravageur. Dans

certains cas, un fort pourcentage d'individus présentent une diapause de deux années après le dépôt des œufs (Geri, 1980).

### **2.1.2. *Ooencyrtus pityocampae***

Contrairement à *Baryscapus servadeii*, cette espèce appartient à la famille des Encyrtidae, elle est décrite comme étant parasite polyphage, mais elle se reproduit également par parthénogenèse thélytoque (Masutti, 1964). Au laboratoire, elle se développe dans les œufs de *T. pityocampa* (Biliotti, 1958 ; Demolin, 1986) et accepte les œufs de différentes espèces de Lépidoptères (Bertella, 1987 ; Tiberi *et al.*, 1994). Elle a été rencontrée en Algérie dans divers pinèdes et cédraie, elle a été identifiée par Arkam (2011) et kherroubi (2012) sur la cédraie de Chréa et sur les pinèdes appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride de la région de Djelfa plus exactement dans le reboisement de Moudjebara et dans la forêt naturelle de Senalab Chergui. Beritima (2012) a également identifié cette même espèce dans trois cédraies, Chelia, Theniat El Had et Chréa.

Les adultes ont un abdomen assez trapu et plus court, avec une taille du corps comprise, entre 0,48 et 0,74mm pour la population en provenance des zones semi-aride (Zamoum, 1998). Les antennes présentent un funicule en 8 articles, le dernier est plus développé et divisé en trois lobes. Les individus mâles portent au niveau des antennes des poils deux fois plus long que ceux des femelles (Bertella, 1987).

Biliotti (1958) a observé que *O. pityocampae* se développe selon deux générations qui peuvent se succéder dans la nature. Les individus de la première génération, terminent leur développement avant les éclosions des chenilles alors que les larves de la seconde génération entrent en diapause et hivernent à ce stade jusqu'au printemps suivant. Comme pour *B. servadii*, Geri (1980) a observé des diapauses de deux années en montagne Corse.

### **2.1.3. *Trichogramma embryophagum***

Les espèces de trichogrammes sont des parasitoïdes de petite taille de l'ordre de 0,5mm de longueur, solitaires à semi-grégaires des œufs de nombreuses espèces de Lépidoptères et de Coléoptères (Schmidt et Smith, 1987). Ce sont des espèces cosmopolites, dotées d'une polyphagie qui leur procure une place très importante dans la lutte biologique (Zong *et al.*, 1986). Chez le mâle, les antennes comportent 4 segments seulement, scape, pédicelle,

anellus et flagelle. Pour la femelle, Les antennes sont formées de 6 articles ; scape, pédicelle, anellus, 2 funicules et une massue qui est utilisée lors de la ponte. Son action parasitaire est fortement contrariée par la présence des écailles sur les pontes. Le *T. embryophagum* a été noté dans les diverses cédraie d'Algérie, à savoir le Parc National de Theniat El Had, le Parc National de Chréa et dans la cédraie de Chélia (Kherroubi et Beritima, 2012) et dans les pinèdes de Djelfa (Arkam, 2011).

## 2.2. Fréquence de présence des parasitoïdes

Sur l'ensemble des pontes analysées en 2014 et en 2015, la comparaison de la fréquence de présence des parasitoïdes est reportée dans le tableau 11.

**Tableau 11.** La fréquence de présence des parasitoïdes durant l'année 2014 et 2015

Provenance	Cédraie de Chréa					
	2014			2015		
Effectifs total des pontes	100			100		
Effectif des pontes parasitées	95			79		
Effectif des pontes non parasitées	5			21		
Taux de parasitisme	95%			79%		
Espèce	<i>T. embryophagum</i>	<i>B. servadeii</i>	<i>O. pityocampae</i>	<i>T. embryophagum</i>	<i>B. servadeii</i>	<i>O. pityocampae</i>
Effectif des pontes parasitées	9	85	27	20	70	24
Fréquence de présence (%)	9%	85%	27%	20%	70%	24%

Il est important de souligner que la combinaison de parasitisme est notée pour les trois espèces et que rare sont les pontes qui sont parasitées uniquement par une seule espèce de parasitoïdes, ce qui explique les pourcentages calculés.

Les résultats de la comparaison des émergences des parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire en cédraie au cours des années 2014 et en 2015 à Chréa révèlent une grande activité de *Baryscapus servadeii* avec un taux de 85% en 2014 et de 70% en 2015. L'espèce *Ooencyrtus pityocampae* occupe le second rang en 2014 avec un taux de 27%. Parallèlement en 2015, la même espèce se retrouve dans 24 pontes, soit un taux de 24%. L'abondance importante de *B. servadeii* que *O. pityocampae* est confirmé précédemment en Algérie et au Maroc par Schmidt *et al.*, (1997); Tsankov *et al.*,(1999), Kherroubi (2012), Bouchou (2015). Par contre en Italie, ont mis en évidence un pourcentage plus élevé d'*O. pityocampae* que de *B. servadeii* (Tiberi, 1990; Tsankov *et al.*,1996 b, 1998). Le taux de présence de l'espèce polyphage, *Trichogramma embryophagum* en 2014 reste très faible avec seulement 9%, par contre en 2015 l'activité de l'espèce en question est très significative, elle représente un taux de 20%. Cette augmentation du parasite polyphage peut s'expliquer par son action et son extension en cédraie en relation avec la phase de culmination du défoliateur.

### 2.3. Analyse globale du matériel biologique récolté

Les résultats des dénombrements des catégories œufs au cours des deux années, 2014 et 2015 sont regroupés dans le tableau 12.

**Tableau 12.** Catégories d'œufs dénombrés

Station	Chréa	
	2014	2015
Année		
Effectif des pontes examinées	100	100
Total des œufs dénombrés	25428	25102
Taux des éclosions(%)	68	52
Taux de parasitisme (%)	12	31
Taux des œufs non éclos (%)	20	17

Comparativement, les taux de parasitisme calculés sont variables d'une année à l'autre. Sur un effectif de 25428 le taux de parasitisme global en 2014 est de l'ordre de 12%. Par contre en 2015 le taux de parasitisme s'est élevé à 31%. A ce sujet, Schmidt *et al.* (1997)

dans leur étude des parasitoïdes de la processionnaire du pin note un taux d'éclosion des œufs de 72,7% et un taux de parasitisme par *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae* de 21,4%. Les œufs éclos et non éclos de la processionnaire du pin en 2014 représentent respectivement des taux de 68% et de 20%. Parallèlement en 2015, le taux des éclosions des œufs est de 52%. Le taux des œufs non éclos est sensiblement le même pour les deux années 2014 et 2015 avec un taux respectivement de 20% et 17% d'œufs non éclos. Un certain nombre d'œufs n'ont pas été féconds et il est possible que la population a subi une mortalité embryonnaire. Les recherches entreprises par Demolin (1969a) ; Battisti (1989) ; Battisti *et al.*, (2005) ; Arnaldo et Torres (2006) ; Corine (2010) ; Sebti (2011), confirment que les taux de mortalité embryonnaire relevés sont dus à plusieurs causes, notamment les variations climatiques qui peuvent jouer un rôle déterminant vis-à-vis du développement de ce groupe de parasitoïdes. A la base de ces résultats, l'action de ces parasitoïdes embryonnaires restent limitée pour maintenir le niveau de population du ravageur à un seuil toléré en forêt, elle ne dépasse pas les 35% (12% en 2014 et 31% en 2015). La compétition intra-spécifique connue chez Les espèces de *Baryscapus servadeii* peut expliquer l'action défavorable de cet auxiliaire.

Il est important de souligner que l'impact de chaque parasitoïde n'a pas été pris en considération suite à la confusion que peut avoir entre les trous de sortie des deux parasitoïdes, *Baryscapus servadeii* et *Ooencyrtus pityocampae*. De même, à la récolte du matériel biologique quelques parasitoïdes avaient déjà émergé dans la nature. Ce qui rend difficile la séparation entre les deux espèces par l'examen des trous de sortie.

### **3. Activité insecticide de deux plantes, *Taxus baccata* et *Populus nigra* et Screening phytochimique**

#### **3.1. Taux du rendement à l'extraction**

Les résultats des rendements obtenus pour *Populus nigra* donnés par le tableau 12 montrent que Méthanol pure et le mélange Méthanol Chloroforme sont les meilleurs solvants d'extraction avec (61% et 77% en moyenne respectivement) suivi par le solvant Méthanol eau soit de moyenne de 27 %. Contrairement aux rendements d'extraction pour *populus nigra*, les résultats des rendements obtenus pour *Taxus baccata* donnés par le

tableau 13 montrent que les trois solvants ont donné de faible rendement, avec une moyenne de 20% et de 22%.

**Tableau 13.**Taux du rendement à l'extraction

Espèces	Solvant	Rendement en %
<i>Populus nigra</i>	Méthanol pure (PMP)	61 %
	Méthanol + eau (PME)	27 %
	Méthanol + chloroforme (PMC)	77 %
<i>Taxus baccata</i>	Méthanol pure (TMP)	20 %
	Méthanol + eau (TME)	22 %
	Méthanol + chloroforme (TMC)	20 %

### 3.2. Effet insecticide sur les éclosions des œufs

Nous avons utilisé un trempage des pontes de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* pour étudié les effets insecticides des six extraits, PMP , PME, PMC, TMP, TMC et TME à différentes concentrations sur les éclosions des œufs. Sur 54 observations, Les résultats de trempage des pontes de la processionnaire, indiquent qu'il n'y a pas un effet sur l'éclosion larvaires et parasitaire pour tous les extraits à différentes concentrations. Le rôle protecteur des écailles recouvrant les œufs de la processionnaire est particulièrement net dans le test en question, ce qui pourrait expliquer en partie, les résultats négatifs du trempage.

### 3.3. Analyse descriptive de la mortalité larvaire

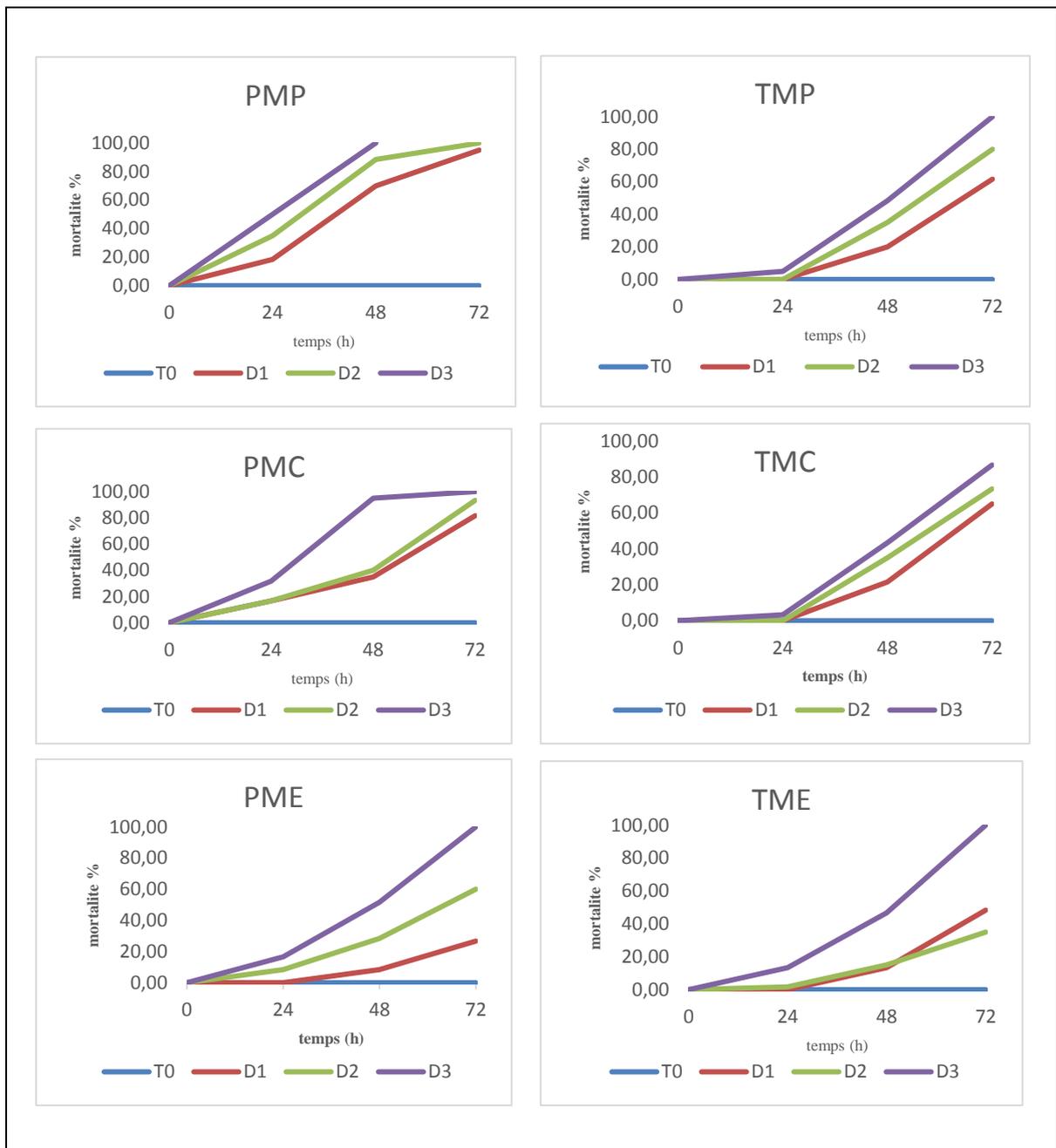
Au terme de l'expérimentation, 48 heures après l'application des composés testés à différentes concentrations sur les L1 de la processionnaire (tableau 14, figure 42), ces sont donc l'extrait PMP et PMC qui se sont avéré le plus toxique avec des taux respectivement de 50% et 35% pour la dose D1 (2mg/ml), 88,35% et 40% pour dose D2 (4mg/ml) et 100%, 95% pour la troisième dose D3 (8mg/ml). Le reste des extraits PME, TMP, TMC et TME sont relativement moins efficaces aux L1 de la processionnaire avec un taux de mortalité environ de 50% sous l'effet de troisième dose D3 (8mg/ml). D'après ces

résultats, nous remarquons que la dose de 8mg/ml est la plus efficace au bout de 48h par rapport aux deux premières doses avec une mortalité de 100% et 95%, respectivement pour les extraits PMP et PMC. Cette dose a provoqué 50 % de mortalité pour les extraits, PME, TMC, TMP, TME. Les deux premières doses, 2mg/ml et 4mg/ml n'a pas atteint les 50% de mortalité jusqu'à 48h d'observation. A l'exception l'extrait PMP a atteint 70 % et 88,35% respectivement pour les deux doses en question. Dans le même contexte, Kesdek *et al.*, (2014) ont évalué l'activité larvicide de quelque extraits végétaux sur les larves L2 de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* en Turquie, ils ont relevé un taux de mortalité minimal de 20% durant 24h pour les extraits de *Origanum onites* et *Satureja hortensis*. Par contre, un taux maximal de 73,33% a été noté pour les extraits, *T. argyrophyllum* et *N. meyeriun*.

**Tableau 14** : Activité des extraits du *Taxus baccata* et *Populus nigra* sur la mortalité exprimée (%) des larves L1 de la processionnaire.

DOSE mg/ml	% mortalité des larves L1 de la processionnaire.					
	<i>Populus nigra</i>			<i>Taxus baccata</i>		
	PMC	PMP	PME	TMC	TMP	TME
D1 (2mg/ml)	35	50	8,35	21,65	20	13,35
D2 (4mg/ml)	40	88,35	28,35	35	35	15
D3 (8mg/ml)	95	100	51,65	43,35	48,35	46,65

**TMP**: Taxus Methanol pure, **TMC**: Taxus Methanol chloroform, **TME**: Taxus Methanol eau  
**PMP** : Populus Méthanol pur, **PME** : Populus Méthanol eau, **PMC** : Populus Methanol chloroform



**Figure 42.** Évaluation de la mortalité des larves L1 de *Thaumetopoea pityocampa* traitées par les six extraits TMP, TMC, TME, PMP, PME, PMC

TMP: Taxus Methanol pure  
 TMC: Taxus Methanol chloroform  
 TME: Taxus Methanol eau  
 PMP : Populus Méthanol pur  
 PME : Populus Méthanol eau  
 PMC: Populus Methanol chloroform  
 T0 : Témoin  
 D : Dose

### 3.4. Variation du taux de mortalité

Après avoir exposé des larves du stade L1 de l'espèce processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* aux différentes concentrations des 6 extraits totaux de *Taxus baccata* et *Populus nigra* après 48 h d'exposition. Le taux de mortalité journalière cumulée des larves L1 traitées est illustré dans le tableau 15. La procédure GLM (modèle linéaire généralisé) du SAS montre une différence hautement significative entre le taux de mortalité et les jours (DDL=2, F= 349.75, Pr < 0.0001), les extraits (DDL=4, F= 33.10, Pr < 0.0001) et les doses (DDL=2, F= 67.17, Pr < 0.0001). Par contre il n'y a pas une différence significative entre le taux de mortalité parmi les répétitions (DDL = 2, F=0.67, Pr=0.5149).

**Tableau 15.** Analyse de la variance

Source	DDL	Type III SS	F	Pr > F
Jour	2	4721.33	349.75	< .0001
Extrait	4	893.67	33.10	< .0001
Dose	2	906.70	67.17	< .0001
Répétition	2	9.00	0.67	< .5149

The F Value is the ratio produced by dividing the Mean Square for the Model by the Mean; The Type III SS is the sum of squares for a balanced test of each effect, adjusted for every other effect; The DDL is the degrees of freedom.

### 3.5. Comparaison des moyennes

Pour la comparaison multiple (deux à deux) des moyennes entre les six extraits en utilisant le test des moindres différences significatives (LSD) dans ANOVA, montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les extraits suivant TMC et TMP, TMP et PME, TME et PME. Par contre, il y a une différence significative au niveau de 0,05 entre le reste des comparaisons. Ainsi le groupement des extraits homogènes révèle cinq groupes classés de plus efficace au moins efficace selon la mortalité moyenne des larves L1 de la processionnaire (tableau 16). Dans le groupe A, se retrouve l'extrait PMP. Cet extrait possède une toxicité supérieure à l'ensemble des autres extraits. Le groupe B est représenté par l'extrait PMC. Les groupes C et D sont représentés respectivement par les

extraits PME et TME. Et finalement un groupe intermédiaire C et D constitué des deux extraits TMC et TMP.

**Tableau 16.** Comparaison multiple des moyennes entre les six extraits

Extrait	Nb	Moyenne	Tukey Groupement
PMP	27	14.593	A
PMC	27	11.407	B
PME	27	7.7778	C
TMC	27	7.2593	C D
TMP	27	6.7037	C D
TME	27	6.0370	D

Nb: nombre d'observation; Taxus Méthanol pure (TMP), Taxus Méthanol chloroforme (TMC), Taxus Méthanol eau (TME), Populus Méthanol pure (PMP), Populus Méthanol chloroforme (PMC), Populus Méthanol Eau (PME)

### 3.6. Détermination de la DL50 des différents extraits testés sur les larves L1 de processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*

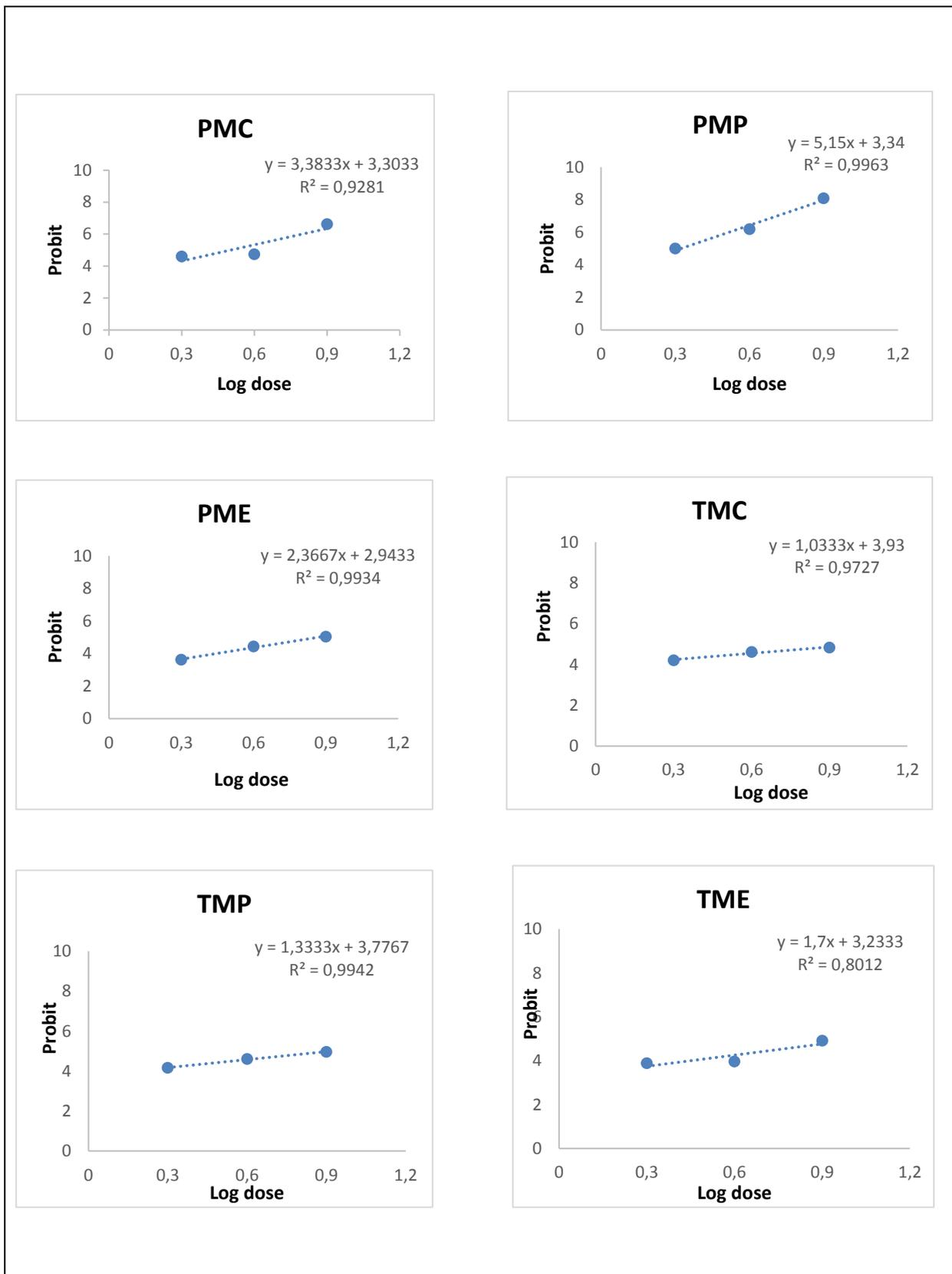
Les doses létales à 50% (DL50) des extraits du *Taxus baccata* et du *Populus nigra* sont consignées dans le Tableau 17 et la figures 43.

Les DL50 calculées pour des larves du premier stade (L1) de l'espèce *Thaumetopoea pityocampa* ont montrés que parmi les 6 extraits testés, deux se sont révélés intéressants en terme de toxicité, l'extrait PMP et celui du PMC. Ils présentent en effet les DL50 les plus faibles qui sont respectivement de 0,18 % (1,8mg/ml) et de 0,37% (3,7mg/ml). Par ailleurs, les extraits PME, TMP, TMC et TME ont été moins toxique avec des valeurs respectivement de 0,75% (7,5mg/ml), 0,8% (8mg/ml), 0,93% (9,3mg/ml) et 0,88% (8,8mg/ml). Çetin et al. (2006) ont indiqués que l'huile essentielle d'*O. onites* étaient toxiques à différentes doses sur 4ème et 5ème larves de *Thaumetopoea wilkinsoni*. Dans cette étude, Kesdek *et al.* (2014) ont montrés un taux mortalité entre 3,33 et 86,6% pour les extraits, *O. rotundifoliuma* et *N. meyeri* sur les larves de 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> de *T. pityocampa*.

**Tableau 17.** Doses létales DL 50 (48h) des différents extraits du Taxus b. et Populus n. sur la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pytiocampa*.

Traitement	R <sup>2</sup>	DL50(%)
PMP	0.996	0.18
PMC	0.928	0.37
PME	0.993	0.75
TMP	0.994	0.80
TMC	0.972	0.93
TME	0.801	0.88

Taxus Méthanol pure (TMP), Taxus Méthanol chloroforme (TMC), Taxus Méthanol eau (TME), Populus Méthanol pure (PMP), Populus Méthanol chloroforme (PMC), Populus Méthanol Eau (PME)



**Figure 43.** Droite de régression de la relation log dose - Probits des tests sur les L<sub>1</sub> de *Thaumetopoea pityocampa* à l'égard des différents extraits testés

## II.7. Screening phytochimique deux plantes *Taxus baccata* et *Populus nigra*

Les résultats qualitatifs de screening phytochimique des deux plantes *Taxus baccata* et *Populus nigra* sont illustrés dans le tableau 18 qui indiquent la présence et/ou l'absence des substances chimiques.

**Tableau 18.** Résultats des tests phytochimiques

Substances chimiques	Plantes	
	<i>Taxus baccata</i>	<i>Populus nigra</i>
Anthocyanes	0	0
Leucoanthocyanes	+++	0
Tanins	0	+
Tanins Catechetiques	0	0
Tanins galliques	0	++
Glucosides	+	++
Flavonoides	++	++
saponosides	+	0
Alcaloïdes	+	+

Test fort positive : +++, Test moyen positive : ++, Test faible positive : +, Test négatif : 0

On remarque clairement à partir de ces tests, l'absence d'Anthocyanes dans les 2 plantes. C'est aussi le cas des tanins galliques et tanins Catechetiques pour *Taxus baccata* et l'absence de leucoanthocyanes, Tanins Catechetiques et saponosides pour la plante *Populus nigra*.

Les alcaloïdes sont faibles présents dans les deux plantes en question. La réaction rouge orangé indique la présence moyenne de flavonoïdes pour les deux plantes *Taxus baccata* et *Populus nigra*. Leucoanthocyanes de *Taxus baccata* est très fort par rapport à la faible présence de saponosides et glucosides. Parallèlement, le test phytochimique de *Populus nigra* montre une présence moyenne de glucosides et de Tanins galliques. Plusieurs études sont confirmées l'importance phytochimique de ces deux plantes. Parmi ces études, on peut citer celles de Robert *et al.*, (1998) sur deux nouveaux taxoïdes de l'if européen (*Taxus baccata*) qui agissent comme insecticides pyréthroïdes Synergistes vis à vis du charançon de la vigne noire (*Otiiorhynchus sulcatus*). Les études de Daniewski *et al.*,

(1998) mettent en évidence l'importance insecticide de l'If et la forte activité antinutritionnelle, des extraits de *Taxus baccata* contre les ravageurs *Tribolium confusum*, *Trogoderma granarium* et *Sitophilus granarius*. La teneur en taxanes des aiguilles, tiges de *T. baccata* provenant de pépinières des États-Unis est rapportée par Elsohly *et al.* (1997). Les graines et le feuillage de *Taxus baccata* sont riches en alcaloïdes toxiques (Miller, 1980), toutes les parties étant toxiques. Ils contiennent de la taxine, un mélange complexe d'alcaloïdes qui sont rapidement absorbés par la digestion et interfère avec l'action du cœur (Cooper & Johnson, 1984). Toutes les parties, à l'exception des cônes contiennent de glycoside cyanogène-taxiphyllin (Cooper & Johnson, 1984 ; Barnea *et al.*, 1993), mais les propriétés toxiques de l'if sont principalement dus à la taxine (alcaloïde) (Clarke *et al.* 1981). Erdemoglu et Sener (2001) ont constatés que les extraits éthanolique de bois de cœur de l'if recueillis en Turquie exhibaient une activité significative contre certaines bactéries (gram-négatives), mais pas contre les bactéries gram-positives. Il a également montrés des propriétés anti-fongiques contre cinq espèces des champignons d'importance médicale. Les huiles de soja et les protéines de stockage de graines de *Taxus baccata* ont été analysées et décrites par Wolff *et al.* (1996) et Allona *et al.* (1994), respectivement.

Charrière-Ladreix (1973) a étudié la sécrétion flavonoïdique des bourgeons de *Populus nigra* L. le même auteur en 1976 a montré la répartition intracellulaire du secrétât flavonique de *Populus nigra* L. Outre, Popova *et al.*, (2005) ont évalués l'activité antibactérienne de la propolis noire de Turquie et sa composition chimique qualitative et quantitative. L'effets insecticides du *Populus simonii* transgénique x *P. nigra* L. a été étudié par Cao *et al.*, (2010) sur *Lymantria dispar* L. Salle et Andary (1990) ont Présentés l'importance des polyphénols sur les Mécanismes de résistance de quatre cultivars de peuplier en réponse à l'attaque du gui, *Viscum album* L. L'activité anti-xanthine oxydase et anti-radicalaire des extraits de bourgeons de *populus nigra* et des feuilles de *fraxinus angustifolia* a été évalué par Adrar en 2009. Nef (2007) a présenté le rôle des polyphénols dans les stratégies de défense et de compétition de peupliers forestiers et de peupliers pionniers. Ouaritini, *et al.*, (2013). ont étudiés l'impact toxicologique du lessivage des feuilles et des aiguilles mortes de *Populus nigra* sur la qualité biologique du milieu aquatique récepteur. Egalement en Algérie, Miara, *et al.*, (2013) ont été étudiés l'importance de *Populus nigra* dans l'ethnopharmacologie Phytothérapie et taxonomie des plantes médicinales spontanées dans la région de Tiaret.

# **CONCLUSION**

## Conclusion

---

Parallèlement au développement des populations de *Thaumetopoea pityocampa* schiff. Une diversité de parasitoïdes se développe aux dépens des stades de développement de l'insecte particulièrement au stade embryonnaire. Pour mieux interpréter l'état et l'évolution de la gradation de la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* dans la cédraie de Chréa, une étude biométrique des pontes et un dénombrement des œufs ont été effectués durant deux années 2014 et 2015.

L'analyse biométrique des longueurs des pontes de la processionnaire du pin, *T. pityocampa*, récoltées sur le cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica*, sur la même station, n'a pas montré de différence significative. Sur les deux années 2014 et 2015 considérées la longueur moyenne des pontes est de l'ordre de 2,6 cm.

L'analyse des effectifs des œufs des pontes dans la station étudiée met en évidence le nombre moyen d'œufs par ponte de 254+53 en 2014 et de 251+41 pour l'année 2015. Trois classes de femelles pondueuses sont notées dans la station prospectée en 2014 et en 2015, avec une concentration de plus de 65% pour chaque année. L'analyse de la régression linéaire montre que la longueur des pontes et le nombre d'œufs sont corrélés positivement. Les éclosions des œufs se sont échelonnées du 20 juillet jusqu'au 15 août 2015 avec un retard de 4 jours par rapport l'année 2014.

Le dénombrement des différentes catégories des œufs (œufs parasités, œufs éclos et œufs non éclos) dans les deux années démontre des nombres non significatives. Les œufs éclos de la processionnaire du pin en 2014 représentent un taux de 68%. Parallèlement en 2015, le taux des éclosions des œufs est de 52%. Le taux des œufs non éclos est sensiblement le même pour les deux années 2014 et 2015 avec un taux respectivement de 20% et 17% d'œufs non éclos.

Une diversité entomologique de trois parasitoïdes embryonnaires a été identifiée ; *Baryscapus servadeii*, *Ooencyrtus pityocampae* et *Trichogramma embryophagum*, rencontrés dans la station étudiée à la cédraie de Chréa. Sur l'ensemble des pontes analysées une fréquence de présence de *Baryscapus servadeii* dans la station est notée sur plus de 85% des cas en 2014 et de 70% pontes en 2015. Pour *Ooencyrtus pityocampae*, elle est de l'ordre de 27% en 2014 et de 24% cas en 2015.

Le taux de présence de *Trichogramma embryophagum* reste très faible pour l'année 2014 avec seulement 9% cas. Par contre en 2015, le taux de présence de *Trichogramma embryophagum* est élevé de l'ordre de 20% sur un effectif de 100 pontes récoltées sur le Cèdre de l'Atlas. L'importance des parasitoïdes sur les œufs de la processionnaire montre un taux de parasitisme global en 2014 de l'ordre de 12%. Par contre en 2015 le taux de parasitisme des œufs s'est élevé à 31%.

Les résultats obtenus par l'utilisation de six extraits végétaux du *Taxus baccata* et *Populus nigra* sur les larves de la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa*, ils montrent que les extraits Populus-Méthanol pure et Populus-Méthanol-Chloroforme sont plus actifs que les autres extraits, qui se sont avérés le plus toxiques avec des taux élevés. Et avec des DL50 plus faibles de 1,8 mg/ml et de 3,7mg/ml, respectivement.

Les résultats qualitatifs de screening phytochimique des deux plantes *Taxus baccata* et *Populus nigra*, montrent la présence des familles chimiques dans les deux plantes à différentes doses, telle que, les Alcaloïdes, les flavonoïdes et glucosides. Ces substances sont connues par leurs activités insecticides sur plusieurs ravageurs des cultures.

L'impact des parasitoïdes embryonnaires sur le niveau des populations de la processionnaire du pin nécessite une étude plus approfondie sur la chronologie de développement de chaque espèce et sa répartition.

Parmi le cortège parasitaire des œufs de la processionnaire, l'espèce polyphage, *Trichogramma embryophagum* ouvre une large perspective de recherches et des possibilités de son élevage et de son application à grande échelle sylvicole.

Il faudrait également envisager de conduire au préalable des essais dans les conditions naturelles au Forêt en vue d'évaluer l'efficacité réelle de ces extraits sur la préservation des forêts et l'identification des composés responsables de l'activité larvicide sont en cours. Les extraits en question peuvent être intégrés dans un programme de lutte biologique de *Thaumetopoea p.* avec l'association des auxiliaires antagonistes.

# **REFERENCE**

## Reference

---

1. **Abbott, W. 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* V. 18, pp. 265–267.
2. **Adrar, S., 2009.** Évaluation des activités anti-xanthine oxydase et anti-radicalaire des extraits de bourgeons de *Populus nigra* et des feuilles de *fraxinus angustifolia*, Doctoral dissertation, Université Abderrahmane Mira de Béjaia. pp. 12-145.
3. **Aidrour-Larbi A., 2007.** Exploration de la variabilité géographique des cèdres méditerranéens, Thèse magi., Inst. Nati. Agro., El-Harrach, Alg., pp. 1-105.
4. **Allona, I., Collada, C., Casado, R. & Aragoncillo, C., 1994.** Electrophoretic analysis of seed storage proteins from gymnosperms. *Electrophoresis*, V. 15, pp. 1062–1067.
5. **Arkam M., 2011.** Caractéristiques biologiques des pontes de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* et importance des parasitoïdes embryonnaires en cédraie et en pinède. Essai d'élevage de *Trichogramma embryophagum*, Thèse ing., Eco. Nat. Sup. agr. El Harrach, Alger, pp. 1-64.
6. **Arnaldo P.S., et Tortes L.M., 2006.** Effect of different hosts on *Thaumetopoea pityocampa* populations in northeast Portugal. *Phytoparasitica*, V. 34, pp. 523-530.
7. **Arvanitakis, L., 2013.** Interaction entre la teigne du chou *Plutella xylostella* (L.) et ses principaux parasitoïdes en conditions tropicales : approche éthologique, écologique et évolutive. pp. 21-32.
8. **Atay-Kadiri, Z., Semlali, A., Benhsain, N., & Villemant, C., 2002.** Action de l'extrait de *Melia azedarach* (Meliaceae) sur le développement et la reproduction de *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera, Lymantriidae). Integrated protection in Oak forest. *IOBC Bull*, V. 25, pp. 139-146.
9. **Attia, S., Lebdi Grissa, K., Ghrabi-Gammar, Z., Mailleux, A. C., Lognay, G., Le Goff, G., & Hance, T., 2011.** Contrôle de *Tetranychus urticae* par les extraits de plantes en vergers d'agrumes. *Faunistic Entomology*, V. 4, pp. 229-235.
10. **Aubry O., 2008.** Lutte attracticide et lâchers inondatifs de trichogrammes contre le carpocapse de la pomme, *cydia pomonella* (lepidoptera: tortricidae), Mémo. Univ. Québ. Mont., pp. 1-76.
11. **Bachrouh, O., Mediouni-Ben Jemâa, J., Chaieb, I., Talou, T., Marzouk, B., and Abderraba, M., 2010.** Insecticidal activity of *Pistacia lentiscus* essential oil

- on *Tribolium castaneum* as alternative to chemical control in storage. *Tunisian Journal of Plant Protection*, V. 5, pp. 63-70.
12. **Barbaro L., Couzi L., Bretagnolle V., Nezan J., Vétillard F., 2008.** Multi-scale habitat selection and foraging ecology of the eurasian hoopoe (*Upupa epops*) in pine plantations. *Biodiversity and Conservation*, V. 17, pp. 1073-1087.
  13. **Barnea, A., Harborne, J.B. & Pannell, C., 1993.** What parts of fleshy fruits contain secondary compounds toxic to birds and why?. *Biochemical Systematics and Ecology*, V. 21, pp. 421–429.
  14. **Battisti A., 1989.** Field studies on the behaviour of two egg parasitoids of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa*. *Entomophaga*, N. 34, V. 1, pp. 29-38.
  15. **Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., 2005.** Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, N. 155, V. 6, pp. 2084–2096.
  16. **Battisti, A., 1988.** Host-plant relationships and population dynamics of the Pine Processionary Caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller). *Journal of Applied Entomology*, N. 105, V. 1-5, pp. 393-402.
  17. **Battisti, A., Larsson, S., & Roques, A., 2017.** Processionary Moths and Associated Urtication Risk: Global Change–Driven Effects. *Annual Review of Entomology*, pp. 15-45.
  18. **Bdiaga, M., 2011.** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologique de *Nauclea latifolia smith.*, une plante médicinale africaine récoltée au mali. These de doct. Mali : univ. de Bamako, 186 p.
  19. **Begum N., Sharma B. and Pandey R. S. 2010.** Toxicity Potential and Anti AchE Activity of Some Plant Extracts in *Musca Domestica*. *J. Biofertilization and Biopesticide*, N. 2, V. 2, pp. 100-108.
  20. **Biliotti, E., 1958.** Les parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.(Lepidoptera). *BioControl*, N. 3, V. 1, pp. 23-34.
  21. **Boeke, S. J., Baumgart, I. R., Van Loon, J. J. A., Van Huis, A., Dicke, M., & Kossou, D. K., 2004.** Toxicity and repellence of African plants traditionally used for the protection of stored cowpea against *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Stored Products Research*, N. 40, V. 4, pp. 423-438.
  22. **Boivin G., 1999.** La recherche sur les entomophages: état de la situation. *Annales de la Société Entomologique de France*, V. 35, pp. 348-355.

23. **Bonnet K., Marin J.C., et Mazert R., 2008.** La processionnaire du pin, *Annale de la nature stantari*, V. 14, pp. 29-34.
24. **Bouchou, L., 2015.** Les parasitoïdes embryonnaires de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa Schiff* et leur importance dans quelques peuplements de pin et de cèdre du Nord de l'Algérie. These Doct. E.N.S.A., El-Harrach, p. 122.
25. **Boudrou M., 1989.** Forest et sylviculture appliquée, *les presses agronomiques de Gembloux*, Belgique, 248 p.
26. **Boudy P., 1952.** Guide du forestier en Afrique du Nord. Les essences Forestières. *Edition la maison rustique*, 505 p.
27. **Bovet R., 2008.** La chenille processionnaire : un problème de santé publique. *Le journal des médecins libéraux PACA*, N. 29, pp. 12-15.
28. **Breuer, M., & Devkota, B., 1990.** Studies on the importance of nest temperature of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae). *Journal of Applied Entomology*, N. 109, V. (1-5), pp. 331-335.
29. **Bruneton J., 2009.** Pharmacogonie, phytochimie, plantes medicinales. Lavoisier, 4<sup>ème</sup> ed., Paris, 1292 p.
30. **Cao, C. W., Liu, G. F., Wang, Z. Y., Yan, S. C., Ma, L., & Yang, C. P., 2010.** Response of the gypsy moth, *Lymantria dispar* to transgenic poplar, *Populus simonii x P. nigra*, expressing fusion protein gene of the spider insecticidal peptide and Bt-toxin C-peptide. *Journal of Insect Science*, N. 10, V. 200, pp. 1-13.
31. **Catier, O., Roux, D., 2007.** *Botanique, pharmacogonie, Phytothérapie : Cahiers du préparateur en pharmacie*. 3<sup>ème</sup> ed. France. 10 p.
32. **Cebeci, H., Oymen, R. T. and Acer, S., 2010.** Control of pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* with *Bacillus thuringiensis* in Antalya, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, N. 31, V. 3, pp. 357-361.
33. **Charrière-Ladreix, Y., 1973.** Etude de la sécrétion flavonoïdique des bourgeons de *Populus nigra L.*: cinétique du phénomène sécrétoire et évolution du tissu glandulaire. *J. Microscopie*, V. 17, pp. 299-316.
34. **Charrière-Ladreix, Y., 1976.** Repartition intracellulaire du sécrétat flavonique de *Populus nigra L.* *Planta*, N. 129, V. 2, pp. 167-174.
35. **Chebil, L., 2006.** Acylation des flavonoids par lipases de *Candida antarctica* et *pseudomonas cepacia* : etudes cinetrique, structurale et conformationnelle. These de doct. Lorraine: INPL. 214 p.

36. **Christelle, R. and Alain, R. 2010.** Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative zoology journal*, V. 5, pp. 132 – 142.
37. **Claessens, H., 2016.** Quelques considérations pour adapter nos forêts aux changements climatiques. *Silva Belgica*, pp. 20-29.
38. **Clarke, M.L., Harvey, D.G. & Humphreys, D.J., 1981.** *Veterinary Toxicology*, 2<sup>nd</sup> ed., Tindall, London, UK. 124 p.
39. **Cloutier C., 1992.** Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures, pp. 19-88.
40. **Coffi, A., Philippe, R., Zannou Boukari, E. T., & Glitho, I., 2012.** Efficacité des composés métabolites secondaires extraits des folioles du palmier à huile contre les larves de la mineuse des feuilles, *Coelaenomenodera lameensis* (Coleoptera: Chrysomelidae). Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin, pp. 56-65.
41. **Collin, G. et Garneau, 2011.** F.-X. Laseve\_uqac' Chicoutimi, Québec, pp. 125-135.
42. **Cooper, M.R. & Johnson, A.W., 1984.** Poisonous Plants in Britain and their Effects on Animals and Man. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, HMSO, London, UK. Reference Book, 161 p.
43. **Corine L. C., 2010.** Expansion de la chenille processionnaire du pin\_ État de la biodiversité ordinaire et remarquable. « Le réchauffement climatique et le transport accidentel par l'homme responsables de l'expansion de la chenille processionnaire du pin », *Forêt Wallonne*, N. 108, septembre/octobre, 19 p.
44. **Crozier, A., Jaganath, I. B., & Clifford, M. N., 2009.** Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Natural product reports*, N. 26, V. 8, pp. 1001-1043.
45. **D.G.F. 2004.** Directorate General of the forests. Politique forestière national et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières. The interim document, Algeria, 21 p.
46. **D.G.F. 2007.** Directorate General of the forests. Politique forestière national et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières. The interim document, Algeria, pp. 1-37.
47. **Dagnelie P., 2007.** *Statistique théorique et appliquée* : Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique. Tome 1. Bruxelles, De Boeck et Larcier, 511 p.
48. **Dajoz R., 1980.** Ecologie des insectes forestiers, Ed. Bordas, 489 p.

49. **Dajoz R., 2007.** Les insectes et la forêt- Rôle et diversité des insectes dans un milieu forestier. Ed. Lavoisier, Paris, pp. 271 -279.
50. **Daniewski, W. M., Gumulka, M., Anczewski, W., Masnyk, M., Bloszyk, E., & Gupta, K. K., 1998.** Why the yew tree (*Taxus baccata*) is not attacked by insects. *Phytochemistry*, N. 49, V.5, pp. 1279-1282.
51. **Darné, G., & Madero-Tamargo, J., 2016.** Mise au point d'une méthode d'extraction des lipides solubles totaux, des glucides solubles totaux et des composés phénoliques solubles totaux des organes de la vigne. *VITIS- Journal of Grapevine Research*, N. 18, V.3, 221 p.
52. **Delobel, A. et Malonga, P., 1987.** Insecticidal properties of six plant materials against *Caryedon serratus* (DL.) Coleoptera: Bruchidae. *J. Stored Prod. Res.*, 23, pp. 173-176.
53. **Démolin G., 1965.** Grégarisme et subsocialité chez *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Nids d'hiver - activité de tissage. *Actes du 5ème Congrès U.I.E.I.S.*, pp. 69-77.
54. **Démolin G., 1971.** Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera) pendant la période des processions de nymphose. Répercussion sur l'efficacité des parasites. *Annales de Zoologie, Ecologie Animale La lutte biologique en forêt*, pp. 1-56.
55. **Demolin G., 1987.** La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., au mont Ventoux. *Etudes vauclusienne* ; Bul. Sem. Du dépt. D'histoire et de géo. De la faculté d'Avignon 3, pp. 157-173.
56. **Démolin G., 1969a.** Bioécologie de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Incidences des facteurs climatiques. *Boletin del Servicio de plagas Forestales*, 23, pp. 1-14.
57. **Demolin G., 1969b.** Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique. *Ann. Sci. For.* 26, pp. 81-102.
58. **Demolin G., 1970.** Programa ecologio internacional sobre la procesionaria del pino Mora de rubielos. *Bol. Serv. Plage. Forest. Madrid*. N.13, V. 26, pp. 111-117.
59. **Demolin G., 1986.** Intensification de la protection phytosanitaire des forêts en Algérie. Rapport scientifique, 27 p.
60. **Démolin G., Delmas J., 1967.** Les éphippigères (Orthoptères Tettigonidae) prédateurs occasionnels, mais importants de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Entomophaga* 12, pp. 399-401.

61. **Demolin G., Frerot B., Chambon J.P. Et Martin J.C., 1994.** Reflexions biosystematiques sur toutes les processionnaires du genre *Thaumetopoea* Lep. *Thaumetopoeidae*, considerées comme ravageurs importants des cédres *Cedrus libani* Barel et *Cedrus atlantica* Manetti sur le pourtour du bassin méditerranéen. *Ann. Rech. For. Maroc*, T(27), pp. 577- 581.
62. **Demolin G., Frerot B., Dalisson B., Lesgourgues Y., Maris C. et Liarcou J.R. 2004.** A l'école de la forêt : *Guide pour des actions pédagogiques*, Ed. République Française, N° ISBN 2-906964-14-X, 58 p.
63. **Déogratias, M. N., Emery, K. M., Marsi, M. K., & Mira, N. M., 2015.** Etude phytochimique de quelques légumes consommés dans le Haut-Katanga (RD Congo) et évaluation de leur activité antioxydante [Phytochemical study of some vegetables consumed in Haut-Katanga (DR Congo) and their antioxidant activity evaluation]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, N.10, V.1, 393 p.
64. **Derridj A., 1990.** Etudes des populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse Doc. Uni. Paul Sabatier. Toulouse, France, 122 p.
65. **Deshayes, M., 2013.** Contribution à la connaissance chimique et évaluation du potentiel biologique de *Ludwigia leptocarpa* (Onagracées) des Antilles françaises (Doctoral dissertation, Antilles-Guyane), 194 p.
66. **Djazouli Zahr-Eddine, Zahraoui A. A., Daniel P., 2014.** Phytochemical variations of black poplar (*populus nigra*), metabolic answers and populational structure of the aphid *chaitophorus leucomelas* (koch, 1854) (homoptera: aphididae). *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*, 4(3), pp. 73-78.
67. **Doutt R.L., Annecke D.P., Tremblay E., 1971.** Biology and host relationships of parasitoids. Ed. Dans Huffaker, New York, 511 p.
68. **Du Merle P., 1988.** Quelques problèmes de diagnostic posés par les insectes défoliateurs forestiers. *Rev. For. Fr.* XL.118 p.
69. **Dulaurent A. M., 2010.** Effet de la diversité des essences forestières sur les niveaux de population de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), à différentes échelles spatiales, dans la forêt des Landes de Gascogne. Thèse Doc. Bord. N. 4176, pp. 9-151.
70. **Durand-Gillmann, M., 2014.** Interactions plantes-insectes dans deux écosystèmes forestiers méditerranéens contrastés: le cas des scolytes (Coleoptera Curculionidae

- Scolytinae) en région méditerranéenne (Doctoral dissertation, Aix-Marseille), pp.33-145.
71. **Echenwalder J.E., 1996.** Systematics and evolution of Populus. Biology of Populus. Stettler R.F., Bradshaw H. D., Heilman P. E. et Hinckley T. M., Eds. *NRC research press*, pp. 7-32.
  72. **Eggleton P., Gaston K.J., 1990.** "Parasitoid" species and assemblages: convenient definitions or misleading compromises, *Oikos*, 59, pp. 417-421.
  73. **EL Yousfi M., 1994.** La sante du cedre de l'atlas au maroc, *Ann. Rech. For. Maroc*, T.(27), pp. 593-611.
  74. **Elsohly, H.N., Croom, E.M. Jr, Kopycki, W.J., Joshi, A.S., Elsohly, M.A. & Mc-Chesney, J.D., 1997.** Taxane contents of Taxus cultivars grown in American nurseries. *Journal of Environmental Horticulture*, V. 15, pp. 200–205.
  75. **Erdemoglu, N. & Sener, B., 2001.** Antimicrobial activity of the heartwood of Taxus baccata. *Fitoterapia*, N. 72, pp. 59–61.
  76. **Fabre J.H., 1994.** Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaires de l'aire naturelle des cedres parvenus en france, colonisation par les insectes d'un nouvel ecosysteme forestier, *Ann. Rech. For. Maroc*, T(27), pp. 539-551.
  77. **Fabre J.H., 1999.** Les ravageurs du cèdre de l'Atlas en Afrique du nord, *Rev. For. Médi.* Tome XX, N. 4, pp. 37-41.
  78. **FAO., 2010.** Evaluation des ressources forestières mondiales, rapport principal. Ed. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, pp. 53-114.
  79. **FAO., 2015.** Evaluation des ressources forestières mondiales, rapport principal. Ed. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, pp. 1-247.
  80. **Fiehn, O., Kopka, J., Dörmann, P., Altmann, T., Trethewey, R. N., & Willmitzer, L., 2000.** Metabolite profiling for plant functional genomics. *Nature biotechnology*, 18(11), pp. 1157-1161.
  81. **Forkmann, G., Martens, S., 2001.** Metabolic engineering and applications of flavonoids. *Current opinion in Biotechnology*, vol., 12. N. 2, pp. 155-160.
  82. **Fraval A., 2007.** Les Processionnaires - 1ère partie La Processionnaire du pin. *Insectes* 35, N.147, V.4, pp. 35-39.

83. **Gachi M., 1994.** Note sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre: *Thaumetopoea bonjeani* Powell (Lepidoptera; Thaumetopoeidae), Ann. Rech. For. Maroc, T(27), pp. 527-537.
84. **Gachi M., 1996.** La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Conference Journée d'étude en protection des forêts C.F.A.T.S. Jijel, 17 p.
85. **Gachi, M., Khémici, M., & Zamoum, M., 1986.** Sur la présence en Algérie de la processionnaire du cèdre *T. bonjeani* Powell (Lepidoptera Thaumetopoeidae). *Annales de la Recherche Forestière en Algérie*, N.1, pp. 53-63.
86. **Garneau F. X., Zamir L., 1995.** L'if arbre de la mort : un espoir de vie, not. 2p.
87. **Gaussen H., 1967.** Les gymnospermes actuelles et fossiles. Les Taxodiacees. Trav. Lab. forest. Toulouse II, 1p.
88. **Géri C., 1980.** Application des méthodes d'études démécologiques aux insectes défoliateurs forestiers. Cas de *Diprion pini* l. (Hyménoptère Diprionidae). Dynamique des populations de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lépidoptère Thaumetopoeidae) dans l'île de Corse, Thès. Doct., University of Paris-Sud, Paris, pp. 143-184.
89. **Godfray H.C.J., 1994.** Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology. *Princeton University Press*, 488p.
90. **Goubault M., 2003.** Exploitation des hôtes chez un hyménoptère parasitoïde solitaire : conséquences adaptatives de la compétition intraspécifique sur les stratégies comportementales des femelles, Thèse Doct. Univ., Renne I, 265p.
91. **GRAIT, S., 2015.** Etude du pouvoir antioxydant d'une plante médicinale (*Urginea maritima* L) (Doctoral dissertation), 208p.
92. **Grojean A.L., DE Baudouin C., Flamant S., 2006.** Incidences environnementales et sanitaires des chenilles processionnaires et de leurs traitements en France, Atelier Santé Environnement IGS Promotion, Eco. Nati. Santé Publique, Renne I, pp. 3-15.
93. **Guillain, P. E., & Silvain, J. F., 2016.** FFE : Où vont les sciences de la biodiversité?. In *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, N. 3, pp. 23-28.
94. **Hartzell H., 1991.** Conservation and pharmaceutical interests: The case of Yew trees. *Society for conservation biology*. V.6, N. 1, pp.152-153.
95. **Hendrichs J. et Robinson A., 2009.** La lutte biologique et les trichogrammes. Ed. Le Manuscrit, Paris, pp. 23-95.

96. **Hoch G., Toffolo E. P., Netherer S., Battisti A., Schopf A., 2009.** Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion, *Agricultural and Forest Entomology* 11, pp. 313-320.
97. **Hochberg M. E., 1991.** Intra-host interactions between a braconid endoparasitoid, *Apanteles glomeratus*, and a baculovirus for larvae of *Pieris brassicae*. *Journal of Animal Ecology* 60, pp. 51-63.
98. **Hodar, J. A., Zamora, R., & Castro, J., 2002.** Host utilisation by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three *Pinus* species. *Ecological Entomology*, N.27, V.3, pp. 292-301.
99. **Hopkins, W. G., 2003.** Physiologie végétale. 1ere ed. Bruxelles : De Boeck et Larcier s. a. 24 p.
100. **Huchon, H and Demolin, G. 1970.** La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle, dispersion actuelle. ENGREF, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, Nancy France, pp. 220-233.
101. **Imbault, V., Garcia, J., Lamant, T., Robinet, C., Roques, A., Dowkiw, A., ... & Rousselet, J., 2013.** Inventaire des arbres-hôtes de la processionnaire du pin à l'interface ville-forêt-champs. In 3. AFPP. Conférence sur l'Entretien des Espaces Verts, Jardins, Gazons, Forêts, Zones Aquatiques et Autres Zones Non Agricoles. 1p.
102. **Jactel, H., Barbaro, L., Battisti, A., Bosc, A., Branco, M., Brockerhoff, E., ... & Mateus, E., 2015.** Insect–tree interactions in *Thaumetopoea pityocampa*. In Processionary Moths and Climate Change, *Springer Netherlands*, pp. 265-310
103. **Jean F. I., Garneaux F. X., 1992.** Analyse de produits naturels de *Taxus canadensis*. Thèse Mait. Ressources renouvelables, Univ. De Quebec, Canada, 104 p.
104. **Judd, w., s., Campbell, c. s., Kellogg, E. A., Stevens, P., 2002.** Botanique systématique : une perspective phylogenetique. 1ere ed. Paris : de Boeck supérieur, 15p.
105. **Kanat, M., & Alma, M. H., 2004.** Insecticidal effects of essential oils from various plants against larvae of pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Pest management science*, N.60, V.2, pp. 173-177.

106. **Kerdelhué, C., Zane, L., Simonato, M., Salvato, P., Rousselet, J., Roques, A., & Battisti, A., 2009.** Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evolutionary Biology*, N.9, V.1, 220 p.
107. **Kesdek, M., Kordali, S., Coban, K., Usanmaz, A., & Ercisli, S., 2014.** Larvicidal effect of some plant extracts on the Pine Processionary Moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller) in laboratory conditions. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus*, V.13, pp.145-162.
108. **Kestenhof C., Stevenson P. C. and Belmain S.R., 2007.** Comparative study of field and Laboratory evaluations of the ethnobotanical *Cassia sophera* L. (Leguminosae) for bioactivity against the storage pests *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 43, pp. 79–86.
109. **Kherroubi M., 2012.** Biométrie et écologie des pontes et des nymphes de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller, 1775) sur le cèdre de l'Atlas (Blida). Thèse Ing. E.N.S.A. El-Harrach, pp. 1-85.
110. **Krief, S., 2003.** Métabolites secondaires des plantes et comportement animal : Surveillance sanitaire et observations de l'alimentation de chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées. Thèse de doct. Gif-sur-Yvette : MNHN., 221 p.
111. **Kumer R., 1991.** La lutte contre les insectes ravageurs, la situation de l'agriculture africaine, Ed. Karthala et CTA, pp. 13- 26.
112. **Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M., 2000.** Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual review of entomology*, 45(1), pp.175-201.
113. **Le Houérou H. N., et Hoste, C. H., 1977.** Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean Basin and in the African Sahelo-Sudanian zone. *Journal of Range Management*, pp.181-189.
114. **Leblond, A. 2009.** Inventaire et évaluation des méthodes de lutte contre la processionnaire du pin. Master Envir. Right, University Reindeer I, 64p.
115. **Leutreuch B. N., 1991.** Les reboisements en Algérie et leur perspectives d'avenir, Alger. V. 1 et 2. OPU, 294p.
116. **Lopez-Sebastian E., Tschorsnig H.P., Pujade-Villar J., Guara M., Selfa J., 2007.** Sobar los parasitoides asociados a las fases de larva y pupa de la

- procecionaria del pino en cuatro bosques mediterràneos, Bol. San. Veg. Plagas. España, 54 p.
117. **Macheix, J. J., 1996.** Les composés phénoliques des végétaux : quelles perspectives à la fin du XXème siècle. *Acta botanica gallica*, 143(6), pp. 473-479.
  118. **Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C., 2005.** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR Presses polytechniques, pp. 129-254.
  119. **Madaoui H., 2003.** La forêt Algérienne. Bull. A. I. F. M., N.11, pp.4-5.
  120. **Mahmoudi, S., Khali, M., & Mahmoudi, N., 2013.** Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.). Nature & Technology, N.9, 35 p.
  121. **Markussen M.D.K. and Kristensen M., 2010.** Low expression of nicotinic acetylcholine receptor subunit Mda2 in neonicotinoid-resistant strains of *Musca domestica* L., Pest Manag. Sci. N.66, pp. 1257–1263.
  122. **Martin J.M., 2005.** La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*. Biologie, complexe parasitaire et protection des forêts, Ed. INRA. France, pp 9-31.
  123. **Martin, J. C., & Brinquin, A. S., 2014.** Programme ALTERPRO. Mise au point de stratégies de piégeage combinées pour la gestion de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, appliquées aux Zones Non Agricoles, 21p.
  124. **Masutti L., 1964.** Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., Ann. Centro Econom. Mont. Venezie 4, pp. 205–271.
  125. **Masutti L., Battisti A., Milani N., Zanata M., Zanazzo G., 1993.** In vitro rearing of *Ooencyrtus pityocampae* [Hym., Encyrtidae], an egg parasitoid of *Thaumetopoea pityocampa* [Lep., Thaumetopoeidae]. *Entomophaga* issn 0013-8959 coden etpgay. V.38, N.3, pp. 327-333.
  126. **Meddour R., 1994.** Cédraies de l'Atlas Blidéen, bioclimatologie, syntaxonomie et dynamique. Séminaire sur le Cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc, 7-11 juin 1993). Ann. Rech. For. Maroc., 27(numéro spécial), Vol.1. Edité par M'Hirit, O., Samih, A. et Malagnoux, M., pp. 106-127.
  127. **Meddour R., 2010.** Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en algérie (exemple de groupements forestiers et preforestières de Kabylie djurdjurenne). These Doct., en Agro., Option : Foresterie. Uni. Mouloud Memmari, Tizi Ouzou. 397p.

128. **Meriç K., 2005.** Études sur les composés polyphénoliques en relation avec l'alimentation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)), Thèse Doc, sciences forestières. Univ. Laval, 218p.
129. **Miara, M. D., Hammou, M. A., & Aoul, S. H., 2013.** Phytothérapie et taxonomie des plantes médicinales spontanées dans la région de Tiaret (Algérie). *Phytothérapie*, 11(4), pp. 206-218.
130. **Michel B., Bournier J.P., 1997.** Les auxiliaires dans les cultures tropicales. Ed. Cirad, Paris, pp. 7-82.
131. **Miller, R.W., 1980.** A brief survey of Taxus alkaloids and other taxane derivatives. *Journal of Natural Products*, N.43, pp. 425–437.
132. **Mondé, A. A., Michel, F., Carbonneau, M. A., Konan, E., Diabate, S., Sess, D., & Cristol, J. P., 2014.** Quantification et identification des composés phénoliques extraits de formes variétales d'huiles de palme rouge brute de Côte d'Ivoire. *Pharmacopée et médecine traditionnelle africaine*, N.17, V.1, pp. 43-49.
133. **Moneo, I., Battisti, A., Dufour, B., García-Ortiz, J. C., González-Muñoz, M., Moutou, F., ... & Roques, A., 2015.** Springer Netherlands: Medical and veterinary impact of the urticating processionary larvae. In *Processionary Moths and Climate Change*, pp. 359-410.
134. **Morel. 2008.** la chenille processionnaire du pin et ses parasitoïdes vers un moyen de lutte biologique, training course, Ecol., Gest. Biodiversity. University Montpellier II, pp. 1- 30.
135. **Morreel K, Goeminne G, Storme V, Sterck L, Ralph J, Coppieters W, Breyne P, Steenackers M, Georges M, Messens E, Boerjan W., 2006.** Genetical metabolomics of flavonoid biosynthesis in *Populus*: a case study. *Plant J.*, V.47, pp. 224-37.
136. **Morsli S., 2005.** Ecologie des pontes et des nids de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Denis et schiffermüller (Lep., Thaumetopoeidae) dans la cédraie du parc national de Chréa, et dans la pinède de la région de Djelfa, thèse ing. Ins. Nat. Agr. El Harrach, Alg., pp. 1-60.
137. **Moss, G. P., 2000.** Nomenclature of lignans and neolignans (IUPAC Recommendations 2000). *Pure and Applied Chemistry*, V. 72, N.8, pp. 1495-1523.
138. **Mundry, I. & Mundry, M., 2001.** Male cones in Taxaceae s.l. an example of Wettstein's pseudanthium concept. *Plant Biology*, V.3, pp. 405–416.

139. **Ndomo AF., Tapondjou A.L., Tendonkeng F. et Mbiopo Tchouanguép F. 2009.** Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae). *Tropicultura*, 27(3), pp.137-143.
140. **Nef, L., 2007.** Stratégies de défense et de compétition de peupliers forestiers et de peupliers pionniers, pp. 15-21.
141. **Noldus L.P.J.J., 1989.** Semiochemicals, foraging behavior and quality of entomophagous insects for biological control, *J. Appl. Entomol.* N.108, pp. 425-451.
142. **Nondenot Aboua L.R., Seri-Kouassi B.P. and Kouakou Koua H. 2010.** Insecticidal activity of Essential Oils from Three Aromatic Plants on *Callosobruchus Maculatus* F. in Côte D'ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 39 (2), pp. 243-250.
143. **Ouakid, M. L., Farine, J. P., & Soltani, N., 2005.** Effets des extraits de plantes associées au chêne-liège sur l'attraction en enceinte des chenilles de *Lymantria dispar*. *IOBC/wprs Bull*, 28(8), pp.171-178.
144. **Ouaritini, Z. B., Chergui, H., & Derwich, E. H., 2013.** Impact toxicologique du lessivage des feuilles et des aiguilles mortes sur la qualité biologique du milieu aquatique récepteur. *Nature & Technology*, (9), 29p.
145. **Owen, R. W., Haubner, R., Hull, W. E., Erben, G., Spiegelhalder, B., Bartsch, H., & Haber, B., 2003.** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre. *Food and Chemical Toxicology*, 41(12), pp. 1727-1738.
146. **Paul U. V., Lossini J.S., Edwards P. J. and Hilbeck A. 2009.** Effectiveness of products from four locally grown plants for the management of *Acanthoscelides obtectus* (Say) and *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (both Coleoptera: Bruchidae) in stored beans under laboratory and farm conditions in Northern Tanzania. *Journal of Stored Products Research* 45, pp.97–107.
147. **Pelosato A., 1998.** *Ecologie et civilisation*. Ed. Naturellement, Paris, pp. 171-178.
148. **Pimentel, C. S. M. G. 2004.** Pine Processionary Moth (***Thaumetopoea pityocampa***) and Great Tit (*Parus major*) in Portugal: Population Dynamics and Interactions. These Doct. University Nova de Lisboa, Portugal, 267p.

149. **Plantegenest M., Outreman Y., Goubault M. et Wajnberg E., 2004.** Parasitoids flip a coin before deciding to superparasitize. *Journal of Animal Ecology*, 73, pp. 802-806.
150. **Popova, M., Silici, S., Kaftanoglu, O., & Bankova, V., 2005.** Antibacterial activity of Turkish propolis and its qualitative and quantitative chemical composition. *Phytomedicine*, 12(3), pp. 221-228.
151. **Pourciel-Gouzy, M. L., 2004.** Développement d'interfaces adaptées aux analyses biochimiques et biologiques. Application aux capteurs chimiques, Doctoral dissertation, INSA de Toulouse, pp. 72-193.
152. **Préau, C., & Beaune, D., 2016.** Changements climatiques dans le pays Châtelleraudais : impacts et adaptation, Vouneuil-sur-Vienne: Réserve naturelle nationale du Pinail, GEREPI. 65p.
153. **Putod R., 1979.** Le ceder de l'Atlas en France. Bull. du vulgarisation, pp. 1-17.
154. **Quezel P, et Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. Centre national de la recherche scientifique. Paris, pp. 558-559.
155. **Quezel P., 1976.** Les forêts du pourtour méditerranéen. In Forêts et maquis méditerranéens : écologie, conservation et aménagement. Note technique MAB., UNESCO, Paris., 2., pp. 9-33.
156. **Rajapakse R. and Van Emden H. F. 1997.** Potential of Four Vegetable Oils and Ten Botanical Powders for Reducing Infestation of Cowpeas by *Callosobruchus maculatus*, *C. chinensis* and *C. rhodesianus*. *J. sfored Prod. Res.* 33(1), pp. 59-68.
157. **Rajendran S. and Sriranjini V. 2008.** Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research*, 44, pp. 126–135.
158. **Regnault-Rger C., et Hamroui A. 1997.** Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leurs molécules allélochimiques, Ed Acta bot. Gallica, pp. 401-412.
159. **Ribéreau-Gayon, P., & Gautheret, R. J., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Paris: Dunod, 3p.
160. **Ribereau-Gayon, P., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Paris, 34p.
161. **Ris N., Allemand R., Fouillet P., Fleury F., 2004.** The joint effect of temperature and host species induces complex genotype-by-environment interactions in the larval parasitoid of Drosophila, *Leptopilina heterotoma* (Hymenoptera: Figitidae), *Oikos* 106, pp. 451-456.

162. **Roberts, M. F., Wink, M., 1998.** Alkaloids: Biochemistry, ecology and medicinal applications. New York: plenum press. 78p.
163. **Ronzon B., 2006.** Biodiversité et lutte biologique : Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée pour prévenir contre le puceron de la salade. Thèse Biol. ENITA, Clermont Ferrand, pp.1-13.
164. **Roques, A., Rousselet, J., Avci, M., Avtzis, D. N., Basso, A., Battisti, A., ... & Branco, M., 2015.** Climate warming and past and present distribution of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.) in Europe, Asia Minor and North Africa. In *Processionary Moths and Climate Change*, Springer Netherlands, pp. 81-161.
165. **Rousselet, J., 2011.** La chenille processionnaire du pin l'arbre en ville : un hôte pour des invités non désirés. In *L'arbre, élément majeur du paysage* journée à thème de la SNHF., Bourges, FRA. SNHF-Société Nationale d'Horticulture de France. 23p.
166. **Salle, G., & Andary, C., 1990.** Mécanismes de résistance de quatre cultivars de peuplier en réponse à l'attaque du gui (*Viscum album* L). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie*, 311(12), pp.439-444.
167. **Samalens, J. C. 2009.** Stratégies d'échantillonnage des dommages forestiers à l'échelle du paysage : Application aux forêts cultivées de pin maritime (*pinus pinaster*, aït.). Doct. Thesis. University Bordeaux I, 12p.
168. **Sanon A. et al., 2005.** Combining *Boscia senegalensis* Lamarck (Capparaceae) leaves and augmentation and the larval parasitoid *Dinarmus basalis* Rondani (Hymenoptera: Pteromalidae) for bruchids control in stored cowpea. *J. Entomol.*, 2(1), pp. 40-45.
169. **Sbabdji M., 1997.** Contribution à l'étude de perte de croissance de *Cedrus atlantica* Manetti suite aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Thèse Magi., Ins. Nat. Agr., El-Harrach, pp. 21-97.
170. **Schmidt G.H., Mirchev R., et Tsankov G., 1997.** The Egg Parasitoids of *Thaumetopoea pityocampa* in the Atlas Mountains near Marrakech (Morocco). *Phytoparasitica* 25(4), pp. 275-281.
171. **Schmidt J.M., Smith J.J.B., 1987.** Host volume measurement by *Trichogramma*: Mechanism and application to biological control. *Trichogramma and other egg parasites*. 2nd International symposium. Guangzhou, Chine, 239p.
172. **Sebti S., 2011.** Caractéristiques biologiques et écologiques de la processionnaire, *Thaumetopoea pityocampa* schiff. (Lepidoptera :Thaumetopoeidae) sur le cèdre de

- l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti dans le parc national de Chr ea, Th ese doct. Univ. Saad'Dahlab, Blida. pp. 1-128.
173. **Seck, D., Lognay, E., Haubruge, M. Marlier et Gaspar, C., 1996.** Alternative Protection of Cowpea Seeds against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) using Hermetic Storage alone or in Combination with *Boscia senegalensis* Pers. Lam. Ex. Poin. J Stored Prod. Res., 32. pp. 39-44.
174. Seigue A., 1985- La forêt circumm diterran enne et ces problèmes, Techniques agricoles et productions méditerranéennes, Ed. G. P. Maisonneuve et Larose, Paris, pp : 384-385.
175. **Selfa J., Lopez-Sebastian E., Bubl P. N., Pujade J., Tormos J., Guara M., 2009.** A new species of *Telenomus haliday* (Hymenoptera: Scelionidae) associated with egg batches of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Dennis et Schiffermuller, 1775) (Lepidoptera: Notodontidae), from peninsular Spain. Entomological News 120(2), pp. 31-135.
176. **Singer, B., 2015.** L'homme et les forêts tropicales, une relation durable. Editions Quae. 43p.
177. **Singh, S., Tiwari, T. N., Srivastava, R. P., & Singh, G. P., 1998.** Effect of potassium on stomatal behaviour, yield and juice quality of sugarcane under moisture stress conditon. Indian Journal of Plant Physiology, 3(4), pp. 303-305.
178. **Soe, M. M., Ocampo, V. R., Caoili, B. L., Javier, P. A., & Rebancos, C. M., 2014.** Superparasitism and multiparasitism of *Idioscopus niveosparus* (Lethierry) by *Halictophagus fulmeki* (Hofeneder) and *Callipharixenos Philippines* Kathirithamby and McMahan. *Philippine Entomologist* (Philippines), pp. 143-165.
179. **St ockigt, J., Sheludk, Y., Unger, M., Gerasimenko, I., Warzecha, H., St ockigt, D., 2002.** High-performance liquid chromatographic, capillary electrophoretic and capillary electrophoretic-electrospray ionisation mass spectrometric analysis of selected alkaloid group. *Journal of chromatography A*, vol. 967, N. 1, pp. 85-113.
180. **St tzel, T. & R wekamp, I., 1999.** Female reproductive structures in Taxales. *Flora*, V.194, pp. 145–157.
181. **Suty L., 2010.** La lutte biologique vers de nouveaux équilibres écologiques. Ed. Quae, France, pp. 30-65.
182. **Tapondjou, L.A., Adler, C., Bouda, H. and Fontem, D.A. 2003.** Bioefficacit  des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et

- Eucalyptussaligna à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera, Bruchidae). *Cahiers Agricultures*, 12(6), pp.401-407.
183. **Thiéry, D., Derridj, S., Calatayud, P. A., Maher, N., & Marion-Poll, F., 2013.** L'insecte au contact des plantes. Interactions insectes-plantes, partie 4, pp. 347-368.
184. **Thomas F., Guegan J.F., Renaud F., 2007.** Ecologie et évolution des systèmes parasités. Ed. de Boeck, Paris, pp. 162-170.
185. **Tiberi R., Niccoli A., Sacchetti P., 1994.** Esperienze di lotta biologica contro la processionaria del pino con di *Ooencyrtus pityocampae* allevato su nezera viriduila. MIRAFAF - Cconvegno (Innovazioni e prospettive nella difesa fitosanitaria), Ed. ist Sper. Pat. Veg. Roma, pp. 329-332.
186. **Tiberi, R., 1990.** Egg parasitoids of the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) in Italy: distribution and activity in different areas. *Journal of applied entomology*, 110(1-5), pp. 14-18.
187. **Tiberi, R., Niccoli, A., Curini, M., Epifano, F., Marcotullio, M. C., & Rosati, O., 1999.** The role of the monoterpene composition in Pinus spp. needles, in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica*, 27(4), pp. 263-272.
188. **Toth J., 1980.** Le cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grande importance forestière. *Forêt Médit.* II (1). 65p.
189. **Tsankov G., Douma- Petridou E., Merchev P., Georgie G., et Koutsaftikis A., 1999.** Spectrum of egg parasitoids and rate of parasitism of egg batches of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) in the northern Peloponnes/ Greece. *J. Ent. Soc. Res.* 1(2), pp.1-8.
190. **Tsankov, G., Schmidt, G. H., & Mirchev, P., 1995.** Impact of parasitoids in egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) in Algeria. *Boll Zool Agrar Bachic*, 27, pp.53-60.
191. **Tsankov, G., Schmidt, G. H., & Mirchev, P., 1996.** Parasitism of egg-batches of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.)(Lep., Thaumetopoeidae) in various regions of Bulgaria1. *Journal of Applied Entomology*, 120(1-5), pp. 93-105.

192. **Turlings T. C. J., Tumlinson J. H., Lewis W. J., 1990.** Exploitation of herbivore- induced plant odors by host seeking parasitic wasps. *Science*, 250, pp. 1251-1253.
193. **Turner, g., Gershenzon, J., Nielson, E. E., Froehlich, J. E., Croteau, R., 1994.** Limonene synthase, the enzyme responsible for monoterpene biosynthesis in peppermint, is localized to leucoplasts of oil gland secretory cells. *Plant physiology*, V.120, N. 3, pp. 879-886.
194. **Upadhyay R. K. 2011.** Insecticidal potential of *Capparis deciduas* on biochemical and enzymatic parameters of *Tribolium castaneum* (Herbst). *Agriculture and Environment*, 3, pp. 45-67.
195. **Van Alphen J. J. M., Visser M.E., 1990.** Superparasitism as an adaptive strategy for insect parasitoids. *Annual Review of Entomology* 35, pp. 59-79.
196. **Van Driesche, R. G., Bellows, T. S. Jr., 1996.** Biological control. Chapman et Hall. Toronto, 539p.
197. **Vandenbrouck P., 2007.** La chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa*) sur l'île de Porquerolles, Etat des connaissances et préconisations, Parc National de Port-Cros – Porquerolles, pp. 2-4.
198. **Vesela, D., Saman, D., Valterova, I. & Vanek, T., 1999.** Seasonal variations in the content of taxanes in the bark of *Taxus baccata* L. *Phytochemical Analysis*, 10, pp. 319–321.
199. **Vinson S.B., Iwantsch G.F., 1980a.** Host suitability for insect parasitoids. *Annual Review of Entomology* 25, pp. 397-419.
200. **Vinson S.B., Iwantsch G.F., 1980b.** Host regulation by insect parasitoids. *Quarterly Review of Biology* 55, pp. 143-165.
201. **Vivas de Gaulejac, N., 2001.** Vin et santé. Les bases scientifiques du french paradox. Bordeaux : féret . 3p.
202. **Vivas de Gaulejac, N., 2002.** Manuel de tonnellerie. Bordeaux : Feret, 2p.
203. **Vivas, N., De Gaulejac, N. S. C., & Glories, Y., 2015.** Influence de SO<sub>2</sub> et de l'acide ascorbique sur l'activité antiradicalaire des tanins, mesurée sur l'anion superoxyde. Application aux vins rouges. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 36(2), 91p.
204. **Waage J., sep. 2000.** Biological control - The struggle for sustainable options, parudans Pesticide News, (45), 1p.

205. **Weinzierl, R. A., & Jones, C. J., 1998.** Releases of *Spalangia nigroaenea* and *Muscidifurax zaraptor* (Hymenoptera: Pteromalidae) Increase Rates of Parasitism and Total Mortality of Stable Fly and House Fly (Diptera: Muscidae) Pupae in Illinois Cattle Feedlots. *Journal of economic entomology*, 91(5), pp. 1114-1121.
206. **Winkel-Shirley, B., 2002.** Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current opinion in Plant Biology*, V. 5, N. 3, pp. 218-223.
207. **Wolff, R.L., Deluc, L.G. & Marpeau, A.M., 1996.** Conifer seeds: oil content and fatty acid composition. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 73, pp. 765-771.
208. **Yang X., Mac X., Yang L., Yu D., Qian Y. and Ni H. 2009.** Efficacy of Rheum officinale liquid formulation on cucumber powdery mildew. *Crop Protection* 28, pp. 1031-1035.
209. **Zamoum, M. 1998.** Données sur la biécologie, les facteurs de mortalité et dynamique des populations de *Thaumetopoea pityocampa*, Denis et Schiffermüller (Lep., Thaumetopoeidae) dans les pineraies subsahariennes de la région de Djelfa, Algeria. Doct. thesis, University of Sciences of Rennes I, France, 247 p.
210. **Zamoum, M. 2002.** Quelques éléments pour la préservation de la santé des forêts en Algérie, rev. For. Alger., N. 4, pp. 4-7.
211. **Zamoum, M. 2008.** La chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller. Guide health of the drills: insectes ravageurs et champignons pathogènes. INRF, pp. 7-18.
212. **Zenk, m. h., Juenger, M., 2007.** Evolution and current status of the phytochemistry of nitrogenous compounds. *Phytochemistry*, V. 68, N. (22-24), pp. 2757-2772.
213. **Zhang Q.H., Schlyter F., Battisti A., Birgersson G., Anderson P., 2003.** Electrophysiological responses of *Thaumetopoea pityocampa* females to host volatiles: implications for host selection of active and inactive terpenes. *Anzeiger fur Schadlingskunde*, V. 76, pp. 103-107.
214. **Zong L. B., Zhong C., Chaoliang L., 1986.** Studies on Trichogramma (Hymenoptera, Trichogrammatidae): Classification and geographical distribution in Hudei province of China. Trichogramma and other egg parasitoids. *2nd International Symposium*. Guangzhou, Chine, 57p.

215. **Zovi D., Stastny M., Battisti A., Larsson A. S., 2008.** Ecological costs on local adaptation of an insect herbivore imposed by host plants and enemies, *Ecology, Ecological Society of America*, 89(5), pp. 1388-1398.