

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ BATNA 1 – EL HADJ LAKHDAR

INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES



LABORATOIRE D'AMELIORATION DES TECHNIQUES DE PROTECTION PHYTOSANITAIRE  
EN AGROSYSTEMES MONTAGNEUX : CAS DES AURES - LATPPAM -

## THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de  
DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option

*Entomologie Agricole et Forestière*

Présentée par  
Mr BEGHAMI Riadh

## THEME

**ETUDE DES INSECTES XYLOPHAGES ASSOCIES  
AU DEPERISSEMENT DU CEDRE DE L'ATLAS  
(*Cedrus atlantica* M.) DANS LES CEDRAIES DES  
AURES.**

Devant la commission du jury constituée par :

Mme Lombarkia Nadia : Professeur ; Université Batna 1

Mr Bertella Nabil : Maitre de conférences A, Université Batna 2

Mr Laamari Malik : Professeur, Université Batna 1

Mr Benchabane Messaoud : Professeur, Université Blida 1

Mr Si bachir Abdelkrim : Professeur, Université Batna 2

Mr Meradsi Fouad : Maitre de conférences A, Université Batna 2

Présidente

Directeur de thèse

Co- Directeur de thèse

Examineur

Examineur

Examineur

Année Universitaire 2019 / 2020

# Dédicace

Au soleil de ma vie, ma chère femme **Amina** qui m'a épaulée, soutenue, encouragée quand j'avais besoin et qui s'est sacrifiée pour que je puisse faire aboutir ce travail ;

Aux prunelles de mes yeux, mes deux bijoux **Baha eddine** et **Massil** ;

A ma grande mère **Serfa** que **Dieu** la garde ;

A mes parents ; et à mes frères ;

A mes beaux-parents et mes beaux-frères ;

A la mémoire de mon grand-père ;

A la mémoire de **Djeda Satna** et de mon oncle **Mohamed Echarif** ;

A mes enseignants.



## REMERCIEMENTS

Louange à ALLAH le Tout Puissant qui m'a donné la santé, la force, le courage, et surtout la patience et l'endurance pour faire aboutir ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements, et en premier lieu, à mon directeur de thèse, **Mr Bertella Nabil**, maître de conférences à l'Université Batna 2 pour ses conseils et surtout pour la confiance qu'il m'a accordée depuis la deuxième année de ma graduation, pour ses précieux encouragements, car il n'a jamais cessé de me pousser afin que je puisse terminer ce travail.

Mes sincères remerciements sont exprimés à **Mme Lombarkia Nadia**, professeur à l'université Batna 1 qui a acceptée avec bon cœur de présider la commission de jury ainsi que pour ses précieux encouragements.

Ma gratitude est exprimée à **Mr Laamari Malik**, professeur à l'Université Batna 1 qui a co-dirigé ce travail et qui toujours été présent pour me conseiller quand le moral été au plus mal.

Mes respectueux remerciements sont exprimés à **Mr Benchabane Messaoud**, professeur de l'université Blida 1, à **Mr Si Bachir Abdelkrim**, professeur à l'Université Batna 2 et **Mr Meradsci Fouad**, maître de conférences à l'Université Batna 2 pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail.

Je tiens à remercier **Mr Beghami Yacine**, professeur à l'Université Batna à l'université de Batna 1, pour ses conseils, ses encouragements ainsi que son soutien moral et technique.

Ma reconnaissance particulière est adressée à mes collègues et amis **Mr Bensasi Oussama** et **Mr Berdja Rafik**, maîtres de conférences à l'université Batna 1 pour leurs apports techniques lors de la réalisation du présent manuscrit.

Je remercie **Mr. Hervé Brustel** du laboratoire d'Entomologie et de Biologie de Conservation de l'Ecole d'Ingénieurs de Purpan de l'université de Toulouse (France), **Mr. Thierry Noblecourt**, responsable du laboratoire national d'entomologie forestière et Animateur du réseau Entomologie à l'office national des forêts à Quillan (France), **Mr Christian Cocquempot**, spécialiste en écologie et en Zoologie agricole à l' ENSA-INRA de Montpellier (France); **Mr Pablo Bercedo-Paramo**, spécialiste en taxonomie des Buprestidae (Espagne); **Mr Jean, Pelletier** expert en taxonomie des Curculionidae, (France) pour les efforts qu'ils ont fournis afin d'identifier les spécimens récoltés.

Un grand merci est exprimé à **Mr Aurélien Sallé**, Maître de Conférences et membre du laboratoire de biologie des ligneux et des grandes cultures de l'université d'Orléans, pour ces conseils et ces directives.

Mes respects sont adressés à **Mr Badreddine Abdehakim** ainsi que **Mme Bessa Anissa** pour le soutien moral et les encouragements dont ils m'ont comblé.

Au personnel de la conservation de Batna et de Khenchela en l'occurrence la famille de la circonscription des forêts, d'Arris, de Bouhmama et de Kais. Sans oublier les gardiens et les bergers qui ont protégés les dispositifs expérimentaux placés sur terrain.

A mes amis et collègues : Noui Yassine, Lekbir Adel, Ghaouti Kerrache, Aissi Abdeldjalil, Yahiaoui Youcef, El Maharat Yazid, Allaoui Farouk, Belbacha Mounir, Benkhelif Ridha, Benakcha Mohyeddine, Maameri Youcef et le phénomène Banamor Abdelhak.

Liste des tableaux .....	i
Liste des figures .....	ii
INTRODUCTION GENERALE .....	1
<b>Chapitre 1 : Aperçu bibliographique sur les xylophages des conifères et sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas</b>	
1.1 Les insectes xylophages .....	3
1.1.1 Aperçu Historique .....	3
1.1.2 Régimes trophiques des xylophages .....	5
1.1.3 Principales familles xylophages des conifères .....	7
1.1.3.1 Scolytidae.....	7
1.1.3.1.1 Biologie des scolytes .....	7
1.1.3.1.2 Caractéristiques morphologiques et taxonomiques .....	9
1.1.3.2 Buprestidae .....	10
1.1.3.2.1 Biologie des Buprestidae .....	10
1.1.3.2.2 Caractéristiques morphologiques .....	10
1.1.3.3 Cerambycidae .....	12
1.1.3.3.1 Biologie des Cérambycides .....	12
1.1.3.3.2 Caractéristiques morphologiques .....	12
1.1.3.4 Autres groupes d'insectes xylophages .....	12
1.1.3.4.1 Groupes coléoptères .....	12
1.1.3.4.2 Groupes non-coléoptères .....	14
1.1.4 Relation plantes hôtes-xylophages .....	14
1.1.4.1 Localisation des plantes-hôtes par les insectes xylophages .....	14
1.1.4.2 Mécanismes de défenses des conifères aux xylophages .....	16
1.1.4.2.1 Défenses préformées (structurales ou passives).....	18
1.1.4.2.2 Défenses induites (Actives).....	20
1.2 Dépérissement du cèdre de l'Atlas .....	20
1.2.1 Définitions, symptomatologie et facteurs du dépérissement forestier .....	20
1.2.2 Dépérissement du cèdre de l'Atlas .....	21
1.2.3 Xylophages associés au déclin du cèdre de l'Atlas.....	24

## **Chapitre 2 : Chorologie et éthologie des insectes xylophages associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas au niveau des cédraies des Aurès**

2.1	Introduction .....	27
2.2	Présentation du contexte physique .....	28
2.2.1	Situation géographique .....	28
2.2.2	Cadre lithologique de la cédraie des Aurès .....	29
2.2.3	Cadre climatique .....	29
2.3	Matériels et méthodes .....	30
2.3.1	Matériel végétal .....	30
2.3.2	Matériel animal .....	30
2.3.3	Stations prospectées .....	31
2.3.4	Modalité d'échantillonnage du bois .....	31
2.3.5	Etude des fréquences d'attaques .....	35
2.3.6	Taux d'infestation des espèces xylophages majeures .....	35
2.3.7	Etude des successions des attaques .....	36
2.3.8	Tests statistiques .....	37
2.4	Résultats et Discussions .....	39
2.4.1	Diversité fréquence des attaques de de l'entomofaune xylophage associée au cèdre de l'Atlas .....	39
2.4.1.1	Résultats .....	39
2.4.1.2	Discussion .....	42
2.4.2	Variations temporelles des émergences .....	44
2.4.2.1	Résultats .....	44
2.4.2.2	Discussion .....	45
2.4.3	Densité des attaques des principales espèces xylophages .....	47
2.4.3.1	Résultats .....	47
2.4.3.2	Discussion .....	48
2.4.4	Taux d'infestation des espèces xylophages majeures .....	50
2.4.4.1	Résultats .....	50
2.4.4.2	Discussion .....	51
2.4.5	Stratification des xylophages du cèdre de l'Atlas .....	53
2.4.5.1	Résultats .....	53
2.4.5.2	Discussion .....	56
2.4.6	Successions des attaques des xylophages .....	57
2.4.6.1	Résultats .....	57
2.4.6.2	Discussion .....	58

2.4.7	Etude de l'état sanitaire des cédraies des Aurès en relation avec les xylophages du cèdre de l'Atlas.....	60
2.4.7.1	Résultats.....	60
2.4.7.2	Discussion.....	60

### **Chapitre 3 : Bioécologie des Principales Espèces Xylophages associées au dépérissement du cèdre de l'Atlas**

3.1	Introduction .....	63
3.2	Matériels et méthodes .....	63
3.2.1	Matériel végétale .....	63
3.2.2	Matériel animale.....	64
3.2.3	Matériels d'échantillonnage .....	64
3.2.4	Modalités d'échantillonnage .....	66
3.2.4.1	Suivi des cycles biologiques.....	66
3.2.4.1.1	Chronologie des émergences .....	66
3.2.4.1.2	Etude du voltinisme des principales espèces xylophages .....	66
3.2.4.1.3	Durée de développement.....	67
3.2.4.2	Etude de l'entomofaune auxiliaire associée aux principales espèces xylophages du cèdre de l'Atlas .....	67
3.3	Analyses statistiques .....	68
3.4	Résultats et discussions .....	68
3.4.1	Etude de la bioécologie de de <i>Cryphalus numidicus</i> Eichhoff, 1878.....	68
3.4.1.1	Résultats.....	68
3.4.1.2	Discussion.....	71
3.4.2	Etude de la bioécologie de de <i>Scolytus numidicus</i> Brisout, 1883 .....	74
3.4.2.1	Résultats.....	74
3.4.2.2	Discussion.....	76
3.4.3	Etude de la bioécologie de de <i>Phloeosinus cedri</i> Brisout, 1883 .....	79
3.4.3.1	Résultats.....	79
3.4.3.2	Discussion.....	81
3.4.4	Etude de la bioécologie de de <i>Melanophila marmottani</i> Fairmaire, 1868 .....	83
3.4.4.1	Résultats.....	83
3.4.4.2	Discussion.....	85
3.4.5	Etude de l'entomofaune auxiliaire des xylophages.....	87
3.4.5.1	Résultats.....	87
3.4.5.2	Discussion.....	89



## Chapitre 4 : Etude des champignons ophiostomatoïdes annexés aux xylophages du cèdre de l'Atlas dans les Aurès

4.1	Introduction .....	91
4.2	Revue bibliographique sur les champignons ophiostomatoïdes annexés au xylophages.....	91
4.2.1	Relations insectes-champignons .....	91
4.2.2	Intérêt de l'association scolytes-champignons .....	92
4.2.3	Ecologie des champignons ophiostomatoïdes.....	93
4.2.4	Dispersions des champignons ophiostomatoïdes .....	93
4.3	Matériels et méthodes .....	95
4.3.1	Modalité d'échantillonnage.....	95
4.3.1.1	Prélèvement à partir des insectes .....	95
4.3.1.2	Isolement à partir des fragments des galeries .....	96
4.3.1.3	Isolement à partir de la résine des trous de sortie .....	96
4.3.2	Identification des structures fongiques.....	96
4.3.3	Paramètres étudiés.....	96
4.3.3.1	Fréquence d'occurrence .....	96
4.3.3.2	Indice de constance .....	98
4.4	Résultats et discussion.....	98
4.4.1	Associations xylophages-champignons observées.....	98
4.4.2	Discussion .....	99
4.5	Occurrences des principaux mycotaxons ophiostomatoïdes associés aux xylophages 101	
4.5.1	Résultats .....	101
4.5.2	Discussion .....	103
4.6	Présences des association xylophages-ophiostotatoïdes.....	103
4.6.1	Résultats .....	103
4.6.2	Discussion .....	104
	CONCLUSION GENERALE.....	105
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	109
	ANNEXES.....	134

## LISTE DES TABLEAUX

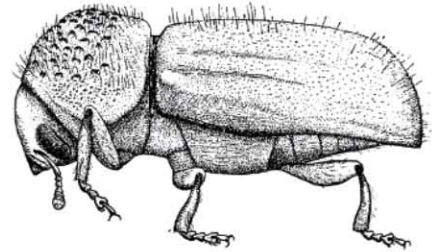
	Pages
<b>Tableaux 1.</b> Principales catégories trophiques des xylophages.....	6
<b>Tableaux 2.</b> Séquences majeures du comportement de sélection des plantes-hôtes par les adultes des insectes xylophages du genre <i>Dendroctonus</i> et <i>Ips</i> .....	15
<b>Tableaux 3.</b> Listing des espèces xylophage (lato sensu) associé au cèdre de l'Atlas.....	25
<b>Tableaux 4.</b> Localisation des stations d'échantillonnages.....	31
<b>Tableaux 5.</b> Fréquence d'attaques (FA%) des rondins du cèdre de l'Atlas par les espèces xylophages en fonction des sections de hauteur et classe de dépérissement.....	40
<b>Tableaux 6.</b> Variation des émergences moyennes par rondin des xylophages associés au cèdre de l'Atlas en fonction des années d'échantillonnage.....	45
<b>Tableaux 7.</b> Surface cambiale infestée par les trois principales espèces xylophages associées au cèdre de l'Atlas durant les trois campagnes d'échantillonnage.....	51
..	
<b>Tableaux 8.</b> Phi de cramer obtenus après le test $\chi^2$ sur tableau de contingence indiquant l'affinité des émergences des adultes des principales espèces de xylophages selon les sections de hauteur et de classes de déclin.....	53
<b>Tableaux 9.</b> Effectifs des adultes espèces xylophages du cèdre de l'Atlas à partir des éclosaires de terrain.....	58
<b>Tableaux 10.</b> Durée de développement des deux générations de <i>Cryphalus numidicus</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	70
<b>Tableaux 11.</b> Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de <i>Cryphalus numidicus</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	71
<b>Tableaux 12.</b> Durée de développement de <i>Scolytus numidicus</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	76
.	
<b>Tableaux 13.</b> Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de <i>Scolytus numidicus</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	76
<b>Tableaux 14.</b> Durée de développement de <i>Phloesinus cedri</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	79
.	
<b>Tableaux 15.</b> Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de <i>Phloesinus cedri</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	81
<b>Tableaux 16.</b> Durée de développement de <i>Melanophila marmottani</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	83
<b>Tableaux 17.</b> Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de <i>Melanophila marmottani</i> au niveau des cédraies des Aurès.....	85

<b>Tableaux 18.</b> Emergences moyennes des auxiliaires associés aux xylophages du cèdre de l'Atlas.....	88
<b>Tableaux 19.</b> Associations xylophages-ophiostomatoïdes observées au niveau des cédraies des Aurès.....	98
<b>Tableaux 20.</b> Fréquences d'occurrence (%) des différents mycotaxons associés aux xylophages au niveau des cédraies prospectées.....	101
<b>Tableaux 21.</b> Indice de constance (P%) des mycotaxons isolés à partir des principales espèces xylophages associées au dépérissement du cèdre de l'Atlas.....	103

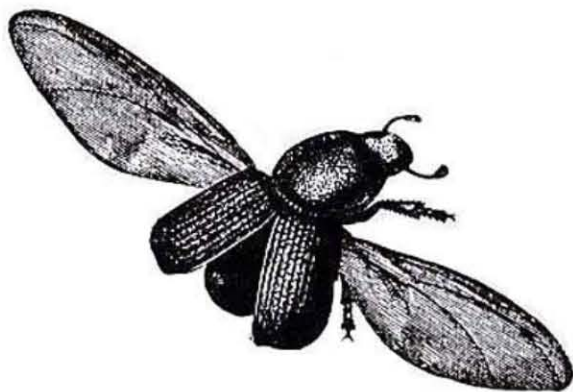
## LISTE DES FIGURES

	Pages
<b>Figure 1.</b> Quelques espèces de xylophages primitifs.....	4
<b>Figure 2.</b> Arbre phylogénétique de Scolytinae indiquant des associations avec des plantes hôtes de feuillus et de conifères.....	4
<b>Figure 3.</b> Morphologie des Xyleborini (Coleoptera : Scolytidae). Structure globale du corps.....	8
<b>Figure 4.</b> Caractéristiques morphologiques des Bupretidae.....	11
<b>Figure 5.</b> Caractéristiques morphologiques des Cerambycidae.....	13
<b>Figure 6.</b> Variation de la pression osmotique en fonction de la hauteur d'un arbre d'épicéa.....	17
<b>Figure 7.</b> Principales défenses structurelles des tiges de conifères.....	19
<b>Figure 8.</b> Aspects du dépérissement du cèdre de l'Atlas au niveau des cédraies des Aurès.....	23
<b>Figure 9.</b> Localisation de la zone d'étude.....	28
<b>Figure 10.</b> Localisation géographique des stations d'échantillonnage.....	32
<b>Figure 11.</b> Dispositifs d'échantillonnage des xylophages du cèdre de l'Atlas.....	34
<b>Figure 12.</b> Dispositifs d'étude des successions des attaques et des systèmes de galeries des xylophages du cèdre.....	38
<b>Figure 13.</b> Appartenances taxonomiques des espèces capturées durant les trois campagnes d'échantillonnage.....	39
<b>Figure 14.</b> Densité moyennes d'infestation des principales espèces xylophages du cèdre de l'Atlas durant les trois campagnes d'échantillonnage.....	47
<b>Figure 15.</b> Corrélation entre la densité des attaques des principales espèces de scolytes est l'épaisseur de l'écorce du cèdre de l'Atlas.....	54
<b>Figure 16.</b> Corrélation entre la densité des attaques des principales espèces de Buprestes, Cérambycides et Ciides est l'épaisseur de l'écorce du cèdre de l'Atlas.....	55
<b>Figure 17.</b> Analyse factorielle des correspondances (AFC) démontrant la tendance de distribution des principales espèces xylophages en relation avec les stations d'échantillonnage.....	61
<b>Figure 18.</b> Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique (CAH) des stations d'échantillonnage selon l'activité des principales espèces xylophage.....	61
<b>Figure 19.</b> Piège d'interception multidirectionnel.....	65
<b>Figure 20.</b> Emergences journalière de <i>Cryphulus numidicus</i> au laboratoire pour les trois campagnes d'échantillonnage .....	69
<b>Figure 21.</b> Emergence moyenne de <i>Cryphulus numidicus</i> dans les pièges vitres pour les trois campagnes d'échantillonnage.....	70
<b>Figure 22.</b> Principales écophases de <i>Cryphulus numidicus</i> .....	72
<b>Figure 23.</b> Emergences moyennes des adultes de <i>Scolytus numidicus</i> lors des trois campagnes d'échantillonnage.....	75

<b>Figure 24.</b>	Photos des principales écophases de <i>Scolytus numidicus</i> .....	78
<b>Figure 25.</b>	Emergences des adultes de <i>Phloeosinus cedri</i> au niveau du laboratoire pour les trois compagnes d'échantillonnage.....	80
<b>Figure 26.</b>	Emergences des adultes de <i>Phloeosinus cedri</i> sur terrain lors les trois compagnes d'échantillonnage.....	80
<b>Figure 27.</b>	Principales écophases de <i>Phloeosinus cedri</i> .....	82
<b>Figure 28.</b>	Emergences des adultes de <i>Melanophila marmottani</i> au laboratoire pour les trois compagnes d'échantillonnage.....	84
<b>Figure 29.</b>	Emergences des adultes de <i>Melanophila marmottani</i> sur terrain pour les trois compagnes d'échantillonnage.....	84
<b>Figure 30.</b>	Principales écophases de <i>Melanophila marmottani</i> .....	86
<b>Figure 31.</b>	Photos de deux prédateurs dans les galeries des Scolytes.....	89
<b>Figure 32.</b>	Assises d'hyphes dans les galeries des xylophages.....	94
<b>Figure 33.</b>	Mycangium d'une femelle of <i>Scolytoplatypus blandfordi</i> .....	94
<b>Figure 34.</b>	Mise en culture des champignons ophiostomatoïdes .....	97
<b>Figure 35</b>	Coloration et mise préparations des structures fongiques pour identification..	97



# INTRODUCTION GENERALE



## INTRODUCTION GENERALE

**L**es écosystèmes forestiers méditerranéens constituent des milieux naturels fragiles, profondément perturbés depuis le Néolithique, cette vulnérabilité est fortement prononcée dans les biosphères forestières de la rive sud qui subissent des agressions considérables en termes de fréquences et d'intensités (QUEZEL et BARBERO 1990). Ce constat est attesté par l'état phytosanitaire préoccupant de certains peuplements forestiers tels que des formations à *Tetraclinis articulata*., *Juniperus thurifera* et *Cedrus atlantica* (BENTOUATI et BARITOU 2006, HAMMI et al. 2007, ROCHE et al. 2008, BEGHAMI 2012).

*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière l'un des résineux endémiques les plus précieux et nobles de l'Afrique du nord, tant du point de vue écologique, qu'économique, esthétique et culturel, démontre un état sanitaire alarmant depuis la fin du 20<sup>ème</sup> siècle ; En Algérie, cette dégradation accélérée est notable dans les cédraies méridionales des Aurès et du Belezma où les taux de dépérissements atteignent 95% dans certains faciès (BENTOUATI 2008, BEGHAMI 2012).

Le déclin des cédraies est un phénomène complexe dont les facteurs responsables peuvent être très diversifiés, spatio-temporellement interchangeable, difficilement identifiables et hiérarchisables (MANION 1987, MOUNA 2009),

TOUCHAN (2008-2011), ALEN et al. (2010), BEGHAMI (2010) ainsi que WILLIAMS et al. (2013) indiquent que la sécheresse joue un rôle déclenchant de premier ordre vu la synchronisation des épisodes secs dans la région des Aurès avec l'enregistrement des épisodes de dépérissement, mais la présence d'espèces ligneuses écologiquement plus exigeantes tel que l'if commun (*Taxus baccata* L.) témoigne de l'action d'autres facteurs qui induisent une sénescence collective et synchrone du cèdre de l'Atlas (BEGHAMI 2012).

Les insectes sont reconnus actuellement comme d'importants agents de perturbation des forêts, influençant la structure, la fonction et la dynamique des écosystèmes, de l'échelle locale à l'échelle mondiale surtout avec les changements climatiques. Les prospections réalisées au niveau des cédraies naturelles témoignent du rôle primordial des insectes dans les processus du déclin en étant considérés comme facteurs prédisposants (tel que les chenilles processionnaires et des tordeuses), déclenchants (comme les Scolytes primaires, buprestes) et d'achèvement (scolytes secondaires, buprestes, cérambycidés et termites) (CHARARAS 1962, MANION 1987, DAJOZ 1996).

Les épisodes épidémiques des insectes xylophages (*lato sensu*) sont considérés comme étant l'un des plus importants processus perturbateurs du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les xylophages affectent les processus biogéochimiques, perturbent les processus physiologiques, transmutent des mycoses et des nématodes aux essences attaquées. En plus, ils affectent les processus de transformation de la matière et de l'orientation des flux d'énergie en écosystèmes forestiers (ECKHARDT et al. 2007, JACOBI et al. 2007, WERMELINGER et al. 2007, TOGASHI 2008).

Plusieurs études sont consacrées à l'inventaire des xylophages associés au cèdre de l'Atlas en Algérie et au Maroc (DE PEYERIMHOFF 1917-1919-1933, VILLIERS 1946, BALACHOWSKY 1963-1969, CHARARAS 1962, MOUNA et al. 1985, FABRE 1994, BENHALIMA 2004, MOUNA et FABRE 2005, BEGHAMI 2010, TALBI 2010, MOUNA et AVCI 2016) mais aucune de ces études ne sont sorties du cadre descriptif de l'entomofaune xylophage du cèdre.

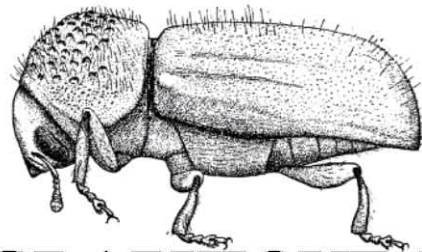
A ce propos se justifie notre étude et qui a pour objectif :

- Inventorier, caractériser et estimer la diversité de l'entomofaune xylophage associée au dépérissement du cèdre de l'Atlas au niveau des principales cédraies des Aurès, de comprendre les associations possibles et de mettre à jour les relations cèdre-xylophages-et xylophages-faune auxiliaires.
- Etudier la bioécologie des principales espèces xylophages annexées au dépérissement du cèdre de l'Atlas notamment *Cryphalus numidicus*, *Scolytus numidicus*, *Phloeosinus cedri*, *Melanophila marmottani* et *Cisdygma corioli* afin de donner les éléments clés pour l'élaboration des plans d'aménagement et de gestion sanitaires des cédraies des Aurès.
- Mettre à jour les relations xylophages du cèdre de l'Atlas-champignons ophiostomatoïdes tout en mettant l'accent sur le rôle de ces mycotaxons symbiotiques dans les processus de colonisation et d'altération de la qualité du bois.

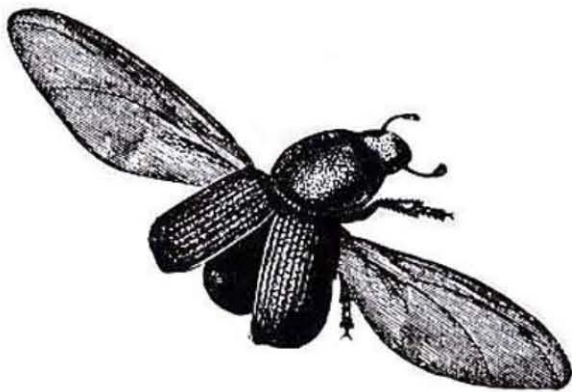
Le présent document est présenté en quatre chapitres, le premier est un bref aperçu bibliographique sur les xylophages des conifères et le dépérissement du cèdre de l'Atlas. Le second chapitre traite de la chorologie et de l'éthologie des insectes xylophages associés au dépérissement des cédraies des Aurès. Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la bioécologie des principales espèces xylophages. Enfin le dernier chapitre est consacré à la présentation des champignons ophiostomatoïdes symbiotiques des xylophages du cèdre de l'Atlas dans les Aurès.



## Chapitre 1



# APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES XYLOPHAGES DES CONIFERES ET SUR LE DEPERISSEMENT DU CEDRE DE L'ATLAS



## Chapitre 1 : Aperçu bibliographique sur les xylophages des conifères et sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas

### 1.1 Les insectes xylophages

#### 1.1.1 Aperçu Historique

Etymologiquement, la terminologie d'insectes xylophages dérive du grec ancien ξυλοφάγος ou xulophágos (xulo qui signifie bois et phágos signifiant manger), le terme xylophages désigne donc l'entomofaune qui s'alimente de bois *-lato sensu-* au moins au cours d'une écophase de leur développement (LIEUTIER 2007, RAFFA *et al.* 2015).

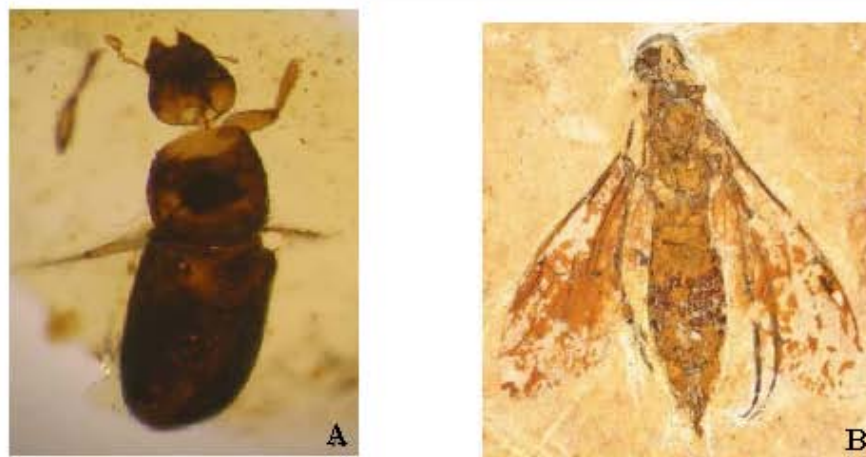
Du point de vu systématique, cette terminologie engobe ainsi des insectes appartenant à l'ordre des coléoptères notamment les Scolytidae "bark beetles" et les Platypodidae "pinhole borers", les Buprestidae "jewel beetles", les Cerambycidae "longhorn beetles", en plus de quelques espèces non-coléoptères appartenant aux ordres des Hyménoptères, des Diptères, des Lépidoptères et des Isoptères (KNIZEK et BEAVER 2007, RESH et CARDE 2009, RAFFA *et al.* 2015, PAINE et LIEUTIER 2016, SALLE 2016).

L'air d'apparition des xylophages<sup>1</sup> n'a pas été située avec certitude, néanmoins les études paléontologiques modernes indiquent que la xylophagie des familles citées dans le paragraphe précédent résulte de la conotrophie pour les hyménoptères (figure 1.a) et de la xylomycetophagie pour les coléoptères (figure 1.b). En effet l'apparition des principales espèces xylophages récentes (scolytes, buprestes et cérambycidés) a été enregistrée au début du mésozoïque –probablement au Triasique correspondant à la prolifération des conifères- et devenue fréquente au créacé avec l'apparition des angiospermes (figure 2) (BELAYEVA *et al.* 2002, GRIMALDI et ENGEL 2005, WANG *et al.* 2013).

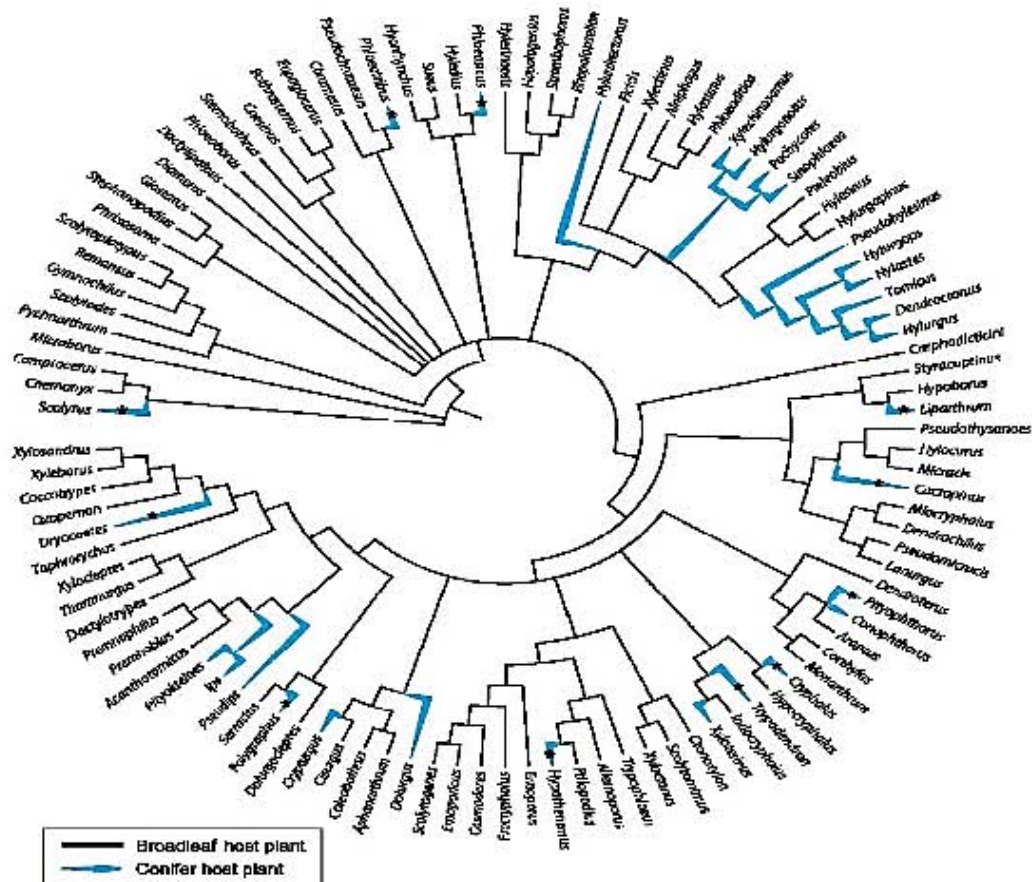
Les premiers scolytes officiellement décrits comme des espèces zoologiques furent quatre espèces européennes communes, répertoriées dans la 10<sup>ème</sup> édition de "*Systema Naturae*", il s'agit en l'occurrence de : *Pityophthorus micrographus*, *Polygraphus poligraphus*, *Ips typographus* et *Tomicus piniperda* (LINNAEUS 1758 *in* HULCR *et al.* 2015).

---

<sup>1</sup> La terminologie « xylophages » employé lors du présent document désignes au sens large l'entomofaune qui s'attaque aux parties ligneuses des essences forestières.



**Figure 1.** Quelques espèces de xylophages primitifs. **A** : *Cylindrobrotus pectinatus* scolytes du crétacé prélevé au Liban ; **B** : *Prosyntexis gouleti*, hyménoptère primitif du bois de la famille actuelle des Anaxyelidae prélevé au Brésil, spécimen du crétacé (120 millions d'années) (GRIMALDI et ENGEL 2005, KIREJTSHUK et al. 2009. Figure reproduite sous permission d'Elsevier et John Wiley and Sons).



**Figure 2.** Arbre phylogénétique de Scolytinae indiquant des associations avec des plantes hôtes de feuillus et de conifères. (JORDAL et al. 2008 ;2011, JORDAL et COGNATO 2012 in VEGA et HOFSTETTER 2015. Figure reproduite sous permission d'Elsevier).

Du point de vu diversité biologique, les coléoptères renferment plus de 90% des espèces xylophages. Actuellement près de 247 genres de scolytes sont identifiés, En termes du nombre d'espèces, 79% de scolytes colonisent principalement les écosystèmes tropicaux ou subtropicaux et près de 6000 espèces de Scolytinae tuent régulièrement des arbres sains sur pieds (KIRKENDALL et al., 2015).

Les buprestes comptent près de 15 000 espèces essentiellement localisées dans les régions tempérées. Coléoptères apparus à la fin de jurassique, ils sont considérés comme étant des insectes secondaires s'installant sur des hôtes affaiblis et/ou morbides. Les adultes sont reconnaissables à leurs reflets métalliques, alors que les larves sont facilement discernables à leur corps moue et leur thorax élargi (larves marteaux). Les larves forent des galeries sous corticales entravant ainsi la circulation de la sève brute (SCHÖNHERR 1974, BILÝ 1982 in EVANS et al. 2004).

La famille des cérambycidés compte plus de 35 000 espèces réparties en 4 000 genres, coléoptères de la fin du jurassique. caractérisés par des antennes dépassant souvent la longueur du corps et maintenus à plats sur le thorax et l'abdomen, les larves s'alimentent à partir de phloème ou de xylème du cœur des arbres nouvellement abattues (HELLRIGL 1974 , BENSE 1995 , DAJOZ 2000 in EVANS et al. 2004, WANG 2017)

D'autres catégories d'insectes qualifiés comme étant des xylophages non coléoptères "non-coleopteran pests" ont été signalés sur les essences forestières à travers le monde. Ces insectes peuvent provoquer des déformations des tiges et des branches induisant une diminution de la qualité du bois exemple de quelques microlepidoptères du genre *Pristiphora* et *Nematus* ou encore réduire la qualité technique du bois attaqué exemple des dégâts occasionnés par les *Sesiidae* et les *Cossidae* (LASTUVKA et LASTUVKA 2001, TRIPLEHORN et al. 2005, CIESLA 2011).

### 1.1.2 Régimes trophiques des xylophages

En réalité, les xylophages s'alimentent sur une large gamme de tissus de végétaux, le comportement alimentaire des xylophages se divise selon la catégorie d'aliments consommés par les larves et les adultes, sept grandes catégories trophiques furent mises en évidence notamment après les travaux de WOOD (1982, 1986, 2007) (Tableau 1).

**Tableau 1.** Principales catégories trophiques des xylophages (WOOD 1982 ; 1986 ; 2007 ,  
SCHEDL 1958 in HULCR et al. 2015. Sous permission d'Elsevier).

Mode d'alimentation	Caractéristiques	Nombre de genres <sup>2</sup> représentatifs
Phloeophagie	Se nourrissant dans les tissus du phloème (écorce interne), bien que certaines larves gravent l'aubier externe , peut ou non être régulièrement associé à des champignons qui augmentent la valeur nutritive du substrat.	121
Xylomycetophagie	S'alimentent de champignons écosymbiotiques "d'élevage" qui se développent dans le bois , les larves de certaines espèces ingèrent également du bois. Définition originale de Schedl (1958) : "Insectes dont l'alimentation est réalisée sur les mycéliums de champignons cultivés sur les parois de leurs tunnels."	63
Xylophagie stricte	Alimentation dans les tissus du xylème (aubier, jamais bois de cœur) mais ne cultivant pas de champignons symbiotiques.	21
Herbiphagie	Se nourrissent de tissus végétaux charnus frais ou secs, y compris les tiges de plantes herbacées, les pétioles de feuilles et les tiges d'espèces herbacés.	17
Myelophagie	Les espèces de cette catégorie se nourrissent de moelle de rameaux, de petites branches ou de petites tiges, y compris de petits ceps (p. ex., <i>Dendrocranulus</i> dans les cucurbitacées).	14
Spermatophagie	Se nourrissant d'un grand nombre de graines dures et des tissus fruitiers qui les entourent.	9
Mycophagie	Alimentation en structures fongiques libres (non cultivés).	2

<sup>2</sup> Le nombre inclue uniquement les scolytidae et les Platypodidae

### 1.1.3 Principales familles xylophages des conifères

#### 1.1.3.1 Scolytidae

Le terme scolytes ou "Bark beetle" est un terme général qui regroupe un large panel de coléoptères endophytes, qui colonisent les tissus des plantes durant la majorité de leur cycle biologique (excepté le stade adulte). Appartenant à la superfamille des Curculionoidea<sup>3</sup>, plus précisément la famille des Scolytidae, ils occupent pour la majorité la strate sous corticale des plantes hôtes (nous excluons les Platypodidae qui sont généralement des mycoxylophages qui s'attaquent aux angiospermes) (VEGA et HOFSTETTER 2015).

##### 1.1.3.1.1 Biologie des scolytes

Les principales caractéristiques du cycle biologique des scolytes ont été largement abordées par de nombreux auteurs (DE PEYERIMHOFF 1933; 1919, BALACHOWSKY 1949, CHARARAS 1962, CIESLA et DONAUBAUER 1994, WOOD 1982; 1986; 2007). Le développement des scolytes est basé sur trois phases majeures : reproduction, développement et maturation, dispersion.

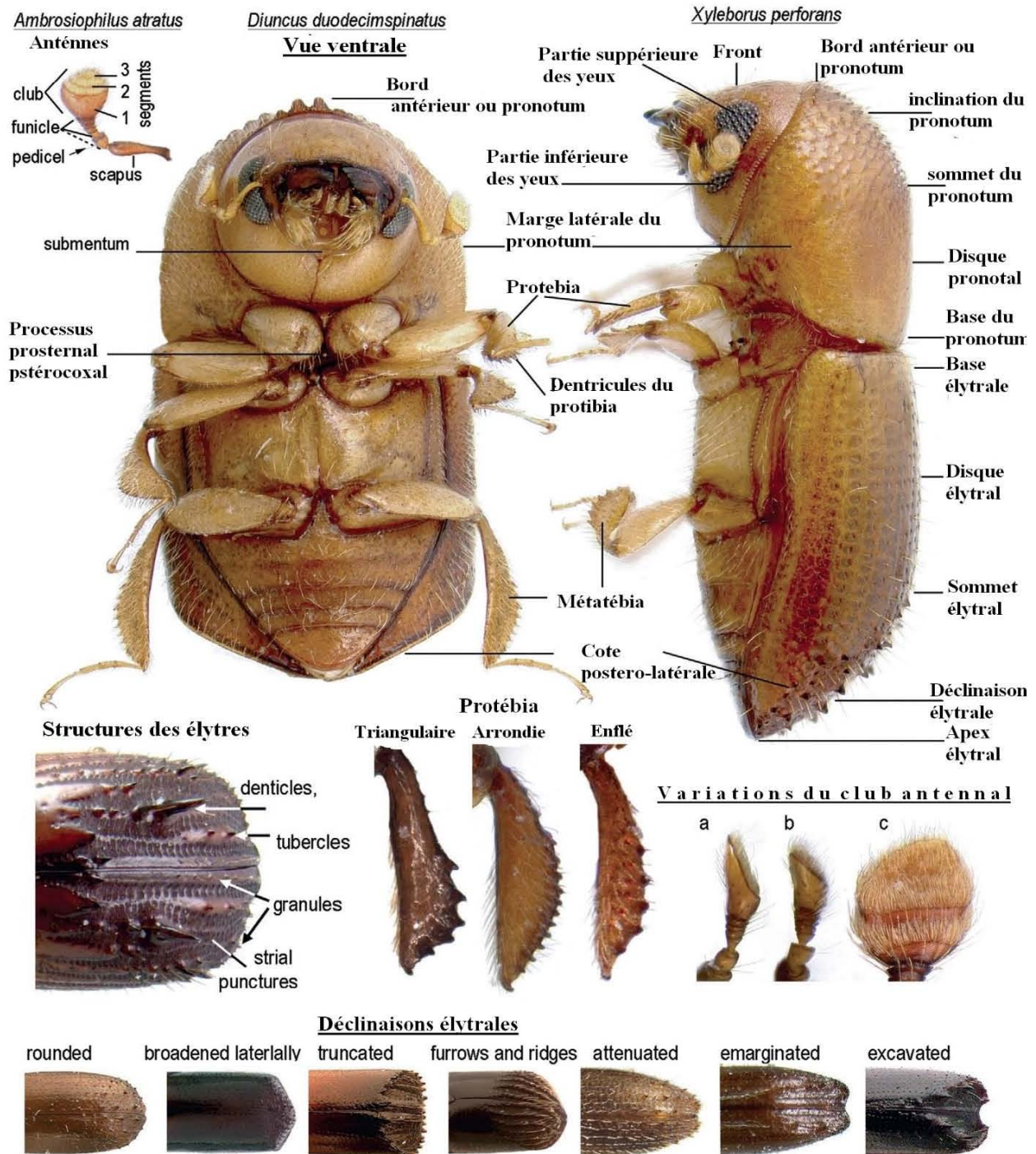
La phase de reproduction débute avec l'installation des adultes sur la plante hôte. Ce processus est régi essentiellement par l'émission de phéromones (sexuelle et d'agrégation) en plus des stimuli acoustiques, mais rarement par les substances allélochimiques. Pour les espèces polygames les mâles se chargent de creuser les trous d'entrées et des chambres nuptiales, le sex-ratio est de 1 pour 4 en moyenne, alors que pour les espèces monogames la femelle s'en charge de creuser la totalité du système de galeries (PAYNTER et al. 1990, LIEUTIER 2007).

Chaque espèce creusent un modèle de galeries caractéristiques, pour les espèces phléophages le système de galerie peut être longitudinal (*Tomicus piniperda*, *Scolytus scolytus*), transversal (*Tomicus minor*, *Leperesinus varius*) en rayons (*Ips typographus*, *Pityophthorus pityographus*), circulaire (*Cryphalus piceae*) (PAYNTER et al. 1990, VEGA et HOFSTETTER 2015).

La vie larvaire est exclusivement endophytiques passant par 3 à 5 stades larvaires, chaque larve creuse sa propre galerie qui se termine par une loge de nymphose, les espèces xylomycetophages se développent dans les galeries maternelles ou elles se nourrissent de mycéliums fongiques symbiotiques inoculés par les femelles (LIEUTIER 2007).

---

<sup>3</sup> Superfamille créée par Latreille, (1807) représentant la mixture des taxons monophyletiques, paraphyletiques et polyphylétiques adoptée par les taxonomistes modernes.



**Figure 3.** Morphologie des *Xyleborini* (Coleoptera : Scolytidae). Structure globale du corps , nomenclature de l'armature élytrale , variation des protibias , variation du club antennal. (HULCR et al. 2015. Photos reproduites sous permission d'Elsevier).

Après la phase de développement, les adultes nouvellement formés ont besoin d'une période de maturation avant d'être aptes à la reproduction, cette période permet l'achèvement de la sclérotinisation, la formation d'ailes et de génitalia fonctionnelles ainsi que l'accumulation de réserves d'énergies. Cette maturation s'acquiert en pratiquant une alimentation soit sur le phloème, sur les champignons symbiotiques (à l'intérieur des galeries larvaires et maternelles) soit sur les tissus méristématiques (bourgeons des apicaux, floraux...) (WOOD 2007).

La succession des générations est fonction des conditions climatiques (température...) et trophiques (qualité et quantité de l'alimentation, action des auxiliaires...), alors que la diapause est généralement imaginaire (EVANS *et al.* 2004).

Le cycle simple sus décrit peut-être compliqué par l'existence de générations sœurs. En effet, après la ponte, les femelles peuvent pratiquer une alimentation de re-maturation et pondre de nouveau (CHARARAS 1962).

#### **1.1.3.1.2 Caractéristiques morphologiques et taxonomiques**

Les scolytes affichent une haute adaptation à la niche écologique qu'ils occupent, leur corps est trapu de petite taille (1 à 4 mm en moyenne) et cylindrique 2 à 3 fois plus long que large, la tête comprimée, mobile affichant plusieurs postures selon l'aspect du pronotum de l'espèce (WOOD 2007).

Les yeux composés ne dépassent jamais la tête (caractère utilisé pour les différencier des Bostrichidae) sont caractérisés par la présence d'un sillon longitudinal dans lequel se rabattent les deux antennes (Figure 3). Les pièces buccales sont caractérisées par des mandibules puissantes et fortement chitinisées adaptées à leur régime alimentaire composé essentiellement de cellulose et de lignine (GILLET *et al.* 2014).

Le corps des scolytes est orné de soies chitinisées notamment sur les pattes et les élytres (allure des soies et denticules des protibias, stries, interstries ainsi que les inclinaisons élytrales sont des caractères taxonomiques des scolytes). Ces structures sont très importantes pour l'agrippement de l'insecte lors du processus de forage du bois (WOOD 2007).



### 1.1.3.2 Buprestidae

#### 1.1.3.2.1 Biologie des Buprestidae

Les Buprestidae sont généralement oligophages, les femelles déposent leur œufs séparément dans les anfractuosités des écorces, les larves sont endophytiques s'attaquant aux tissus de phloème et de xylème des plantes affaiblies mais non mort (Figure 5-C) (ARNETT et THOMAS 2001, EVANS et *al.* 2004, LIEUTIER 2007).

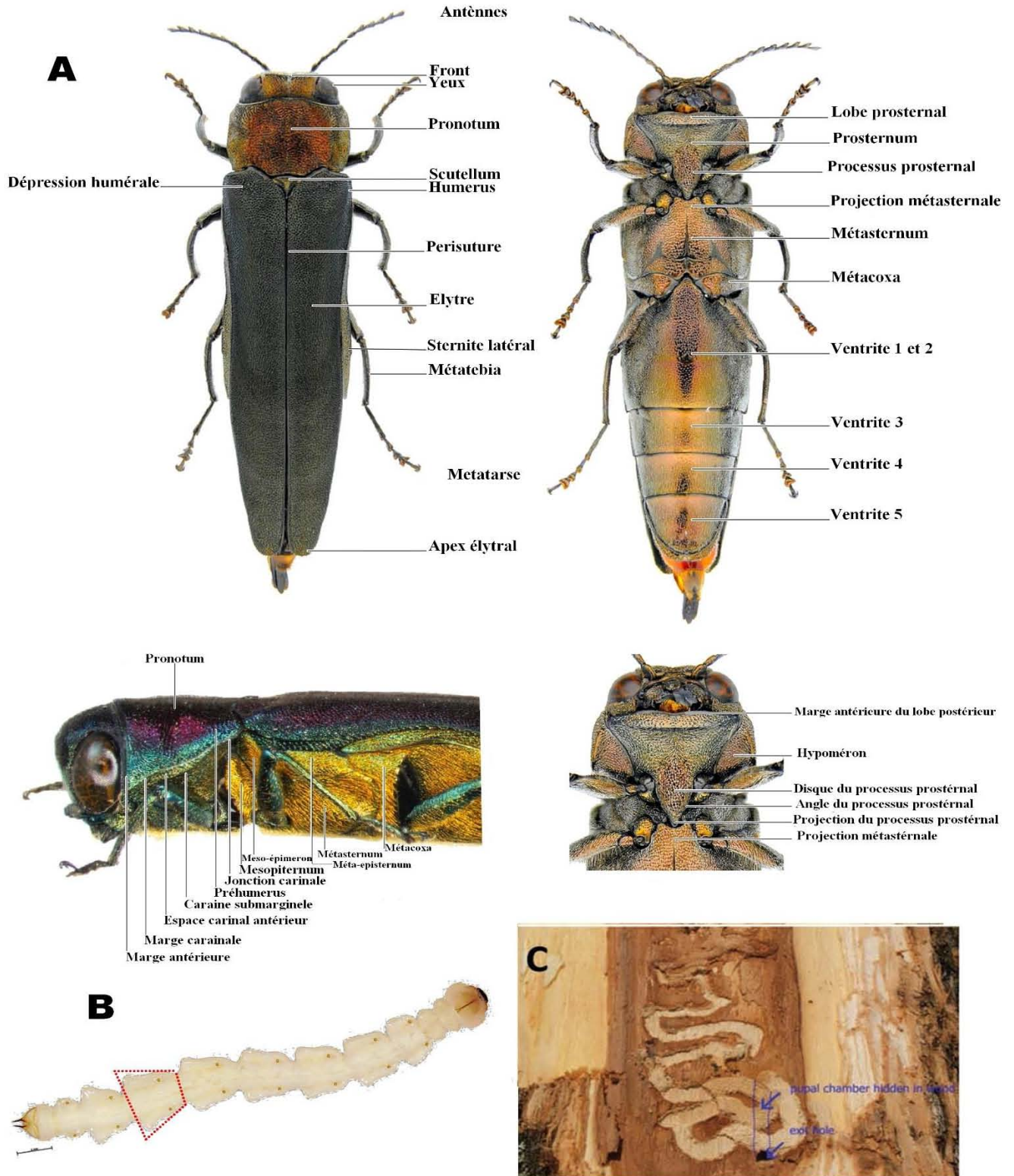
Le cycle biologique dure généralement une année rarement 2 années, les adultes ont une activité diurne qui commence dès le début du printemps, les trous d'émergence sont caractéristiques en "D", les adultes se nourrissent généralement de nectar ou de pollen (EVANS et *al.*, 2004).

Les femelles détectent les arbres affaiblis et même les parties dépérissantes d'un arbre et déposent leurs œufs, ces derniers après éclosion regagnent les tissus internes des plantes hôtes et commencent à s'y alimenter en formant des galeries singulières, ondulées qui s'élargissent avec le développement larvaire qui passe par 4 stades en générale. Au début de l'hiver les larves forment des cocons pour donner des adultes au printemps (LIEUTIER 2007).

#### 1.1.3.2.2 Caractéristiques morphologiques

La famille des Buprestidae (superfamille des Buprestoïdea) compte près de 15 000 espèces décrites, de différentes formes et couleurs à reflets métallique. Les adultes mesurant de 3 à 100 mm de long possèdent une tête peu développée parallèle à l'axe du corps (Figure 4-A), les pièces buccales bien développées, les antennes sont modérément longues avec 11 articles, les yeux composés dépassent rarement le contour de la tête. Chez la plupart des espèces, l'abdomen est complètement recouvert par les élytres qui ont des rainures longitudinales, des rangées de perforations ou d'excroissances modérés (ARNETT et THOMAS 2001, LIEUTIER 2007).

Les larves des Buprestides sont dorso-ventralement aplaties (Figure 4-B), segmentées, presque glabres, généralement avec la partie thoracique du corps très élargie. Des différences morphologiques mineures entre les deux sexes sont fréquentes et peuvent exceptionnellement être très prononcées (ARNETT et THOMAS 2001, SALLE 2016).



**Figure 4.** Caractéristiques morphologiques des Bupretidae. (A : adulte face dorsale, ventrale et latérale, B : Larve, C : galeries sous corticales. Photo reproduite sous permission de Pensoft Publishers).

### 1.1.3.3 Cerambycidae

#### 1.1.3.3.1 Biologie des Cérambycidés

Les cerambycides peuvent être oligophages, monophages ou polyphages mais affichent une spéciation compte à l'organe attaqué, de plus d'une adaptation aux conifères ou aux feuillus (RESH et CARDE 2009).

Les adultes sont généralement floricoles ou xylophages. Les femelles insèrent leur œufs (individuels ou en groupes) soit dans les crevasses des écorces soit sous l'écorce externe. Elles choisissent des plantes hôtes en voie de dépérissement ou complètement dépériées. Le développement larvaire dure de 1 à 3 années (dépassant 14 stades en laboratoire pour *Anoplophora glabripennis*) aboutissant à une chrysalide (Figure 5-D) qui donne un adulte dont l'activité est généralement printano-estivale (ARNETT et THOMAS 2001, EVANS *et al.* 2004, WANG 2017).

#### 1.1.3.3.2 Caractéristiques morphologiques

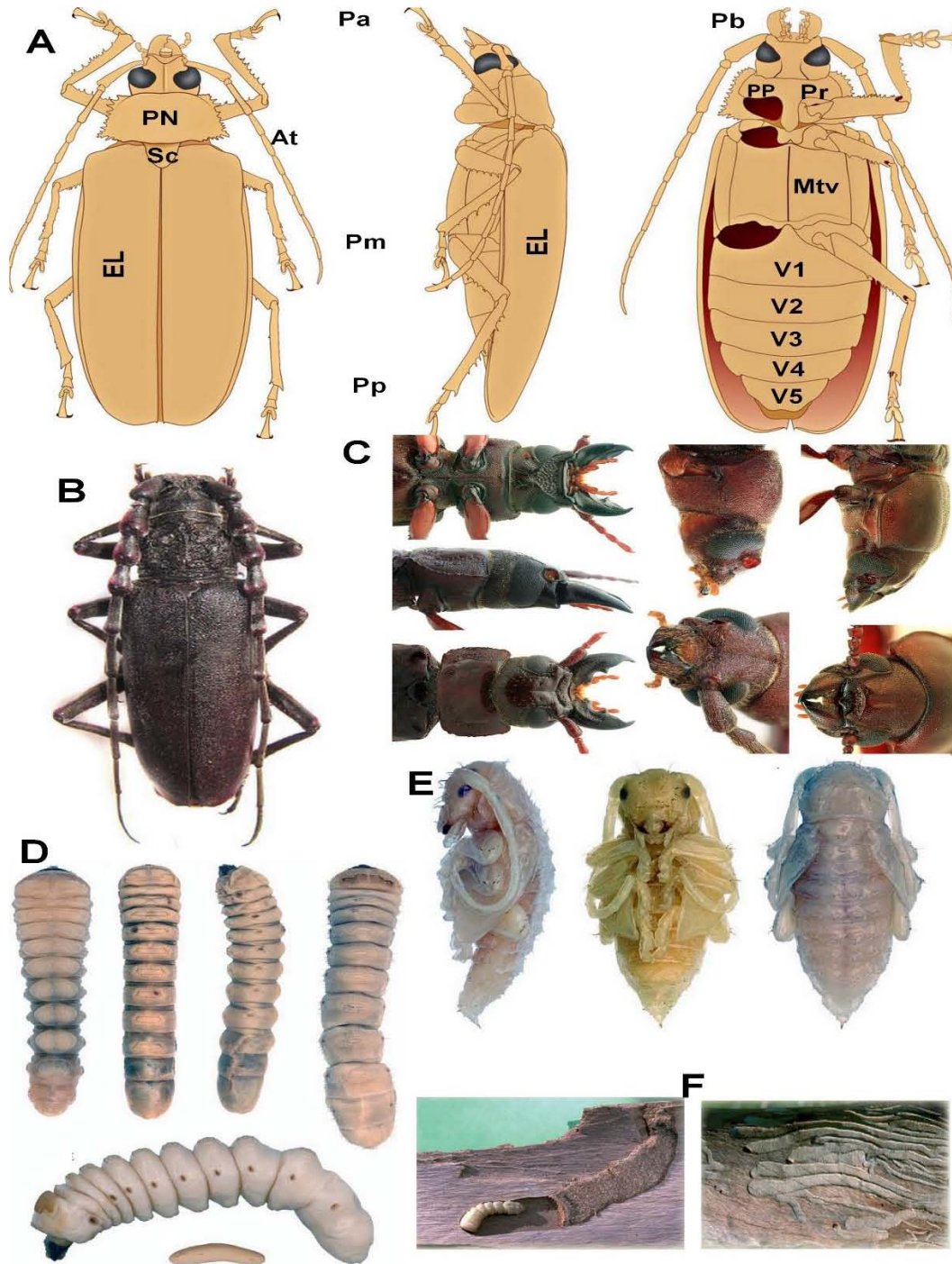
Les Cérambycidés (superfamille Chrysomeloidea) appelés communément longicornes comptent 36 300 espèces groupés dans 5 300 genres. Les adultes mesurent entre 2 à 170mm de long (*Titanus giganteus*), tête allongée caractérisée par des antennes atteignant 2 fois la taille du corps spécialement pour les mâles, le nombre de segments antennaires varie entre 11 et 25, Les pièces buccales bien chitinisées et fonctionnelles (Figures 5-A, 5-B, 5-C) (Wang, 2017).

Les larves (Figure 5-D) ont un tégument mou et dépigmenté et les pattes sont réduites ou absentes. Les larves de cérambycidés qui vivent dans le phloème sont plus au moins comprimées comme celles des buprestes, alors que celles qui forent leurs galeries dans le xylème ont un corps cylindrique (EVANS *et al.* 2004, WANG 2017).

#### 1.1.3.4 Autres groupes d'insectes xylophages

##### 1.1.3.4.1 Groupes coléoptères

En écosystème forestier, d'autres espèces de coléoptères peuvent s'installer sur bois frais ou sec, il s'agit notamment d'Anobiidae (ex. *Xyletobius walsinghami*), de Lactidae (ex. *Lyctus brunneus*), Lymexyloidae (ex. *Hylecoetus dermestoides*), Anthrididae (ex. *Platyrhinus resinus*), Elateridae (ex. *Ampedus sp*) (DAJOZ 2007, NAGELEISEN *et al.* 2010).



**Figure 5.** Caractéristiques morphologiques des Cerambycidae.

(A : morphologie générale des adultes , B : *Cerambyx cerdo* , Capsule céphalique et thorax des cérambycydes , Larves de *Stomatium barbatum* , *Cnemoplites* sp. , *Anoplophora glabripennis* , E : Cystalides de *Somatidia* sp , F : galeries typiques des cerambycides. At : antennes , Pa : Patte antérieure , Pm : Patte médiane , Pp : Patte postérieure , El : Elytres , PN : pronotum , Pb : pièces buccales , Sc : Scutellum , Pr : Prosternum , Pp : Processus prosternal , Mtv : Metaventre , V1-V5 : Ventrites abdominales. Photo reproduite sous permission de CSIRO Publishing).

#### 1.1.3.4.2 Groupes non-coléoptères

La xylophagie n'est pas une caractéristique exclusive de l'ordre coléoptères, la littérature relate de nombreux exemples d'insectes xylophages au sens large dont le plus connu sont *Sirex noctilio*, *S. gigas*, *S. phantoma* et *Urocerus gigas* (Hymenoptera, Siricidae), *Zeuzera pyrina* et *Cossus cossus* (Lepidoptera, Cossidae), *Ctenophora ornata* (Diptera, Tipulidae) ainsi que *Rhinotermites santonensis* (Isoptera, Rhinotermitidae) (DAJOZ 2007, LIEUTIER 2007).

#### 1.1.4 Relation plantes hôtes-xylophages

La nature des interactions biologiques de l'association insectes-plantes hôtes est l'un des sujets contemporains les plus traités depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, DETHIER (1947) in MILLER et al. (2014), indique qu'aucun attractif ne peut à lui seul guider un insecte vers sa plante-hôte, sa nourriture ou son homologue, le but recherché n'est atteint que par un ensemble complexe de stimuli (chimiques, visuelles et physiques) agissant en synergie.

##### 1.1.4.1 Localisation des plantes-hôtes par les insectes xylophages

Les xylophages sont caractérisés par leur « degré d'agressivité » définie par leur tendance à s'attaquer soit au bois frais (tel qu'*Ips typographus* L. ou *Polygraphus poligraphus* L.), soit de coloniser plutôt le bois desséché ou sec (*Scolytus scolytus* F, *Tomicus piniperda* L.). En plus, cette catégorie d'insecte se différencie par leurs « aptitudes trophiques » qui leur permettent de s'attaquer à un large spectre d'espèces végétales (polyphages), à une famille botanique particulière (oligophages) ou d'être spécifique à une espèce ou un genre unique (monophages). Ces caractéristiques régissent les processus de section des plantes-hôtes (PAYNTER et al. 1990, BYERS 1995, MILLER et al. 2014).

Il a été constaté que les insectes présentent un "comportement programmé" et des séquences stéréotypées et prévisibles d'actes comportementaux (tableau 2), appelés chaînes de réaction. A chaque étape un ensemble de comportements sont induits par des stimuli d'origine physico-chimiques propres aux mœurs de l'espèce xylophage (MILLER et al. 2014).

L'attraction primaire implique des stimuli visuels en particulier la silhouette des plantes-hôtes, ainsi que des substances sémiochimiques qui jouent également un rôle primordial dans les processus de localisation à distances des essences forestières par les xylophages (MILLER et al. 2014).

Les monoterpènes émis par les pinacées jouent le rôle de kairomones, la diversité et l'intensité de l'émission de ces substances est fonction de leur statut phytosanitaire. Les chimiorécepteurs des xylophages –précurseurs- interceptent les monoterpènes spécifiques à leur plantes-hôtes par exemple *Tomicus piniperda* démontre une attraction vis-à-vis du complexe [(R)-(+)- $\alpha$ -pinène, (S)-(-)- $\alpha$ -pinène, (S)-(+)-3-carene en plus du terpinolène]. *Dendroctonus valens* est attirée par les composés (S)-(-)- $\beta$ -pinène, (R)-(+)- $\alpha$ -pinène, et le (S)-(+)-3-carene séparément, d'autres xylophages sont attirés par un composé terpénique spécifique tel le cas *Dendroctonus ponderosae* pour le  $\gamma$ -terpinène et *Ips pini* pour le  $\beta$ -phellandrène (MILLER et MILLER 1986, BYERS 1995, SEYBOLD et al. 2006, FAN et al. 2007, LIEUTIER 2007, FRANCARDI et al. 2009).

**Tableau 2.** Séquences majeures du comportement de sélection des plantes-hôtes par les adultes des insectes xylophages du genre *Dendroctonus* et *Ips* (● : bien documenté pour plusieurs espèces, ○ : suggéré ou probable, # : étape réalisée en absence de répulsifs ou de dissuasifs) (Schoonhoven et al., 1998, Sous permission de Springer).

Phases/événements	Comportement	Types d'informations			
		Visuelles	Olfactifs	Mécano-sensorielle	Gustatif
Dispersion	Vol aléatoire				
Recherche	Atterrissage sur les troncs des essences	●	●		
<b>Contact avec la plante</b>					
Contacte et évaluation	Exploration/marche sur l'écorce		○	○	
	Morsures de teste			○	●
Acceptation	Poursuite de l'alimentation				●
	Elongation des galeries après diagnostics de l'hôte		● <sup>#</sup>		● <sup>#</sup>

Lors de l'étape de contact et d'évaluation, les xylophages ont recours aux chimiorécepteurs olfactifs et gustatifs pour l'appréciation de la viabilité de la plante hôte, et compte tenu du rapport de taille entre la plante-hôte et les xylophages (1/10<sup>8</sup> et même plus), une action

simultanée et coordonnée d'une centaine d'individus dans un laps de temps court est nécessaire à la réussite des attaques (VEGA et HOFSTETTER 2015).

Les composés terpéniques jouent également un rôle synergique avec la phéromone d'agrégation après acceptation. Cette synergie se traduit par l'augmentation du taux d'attaque et/ou d'oviposition (exemple de l'effet positif de l'addition du camphène, limonène, et myrcène sur *Ips grandicollis* après initiation des attaques vis-à-vis de *Pinus taeda*) (HUBER et BORDEN 2001, SEYBOLD et al. 2006).

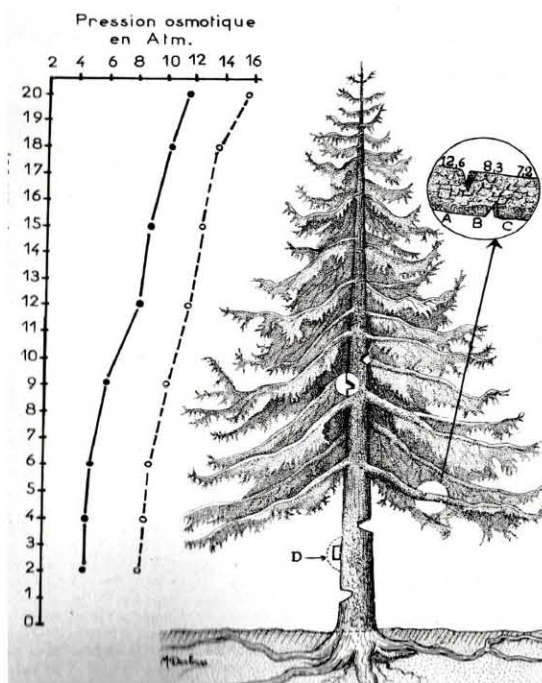
La réussite de l'attaque des xylophages est augmentée par l'inoculation de champignons ophiostomatoïdes (traité lors du dernier chapitre du présent manuscrit) qui contribuent à réduire les défenses primaires et secondaires des plantes-hôtes (BYERS 1995, SEYBOLD et al. 2006, MILLER et al. 2014).

L'acceptation de la plante hôte et la réussite des attaques des xylophages induit généralement la poursuite des processus d'alimentation, de forage des galeries maternelles ainsi que l'oviposition par les femelles (MILLER et MILLER 1986, MILLER et al. 2014).

De plus, les blessures infligées par les précurseurs induisent une diminution localisée de la pression osmotique (figure 6) au niveau des points d'attaques, induisant l'inhibition de la transmission des métabolites cellulaires par osmose –suite à la perte de l'hémipermeabilité cellulaire- provoquant ainsi la sénescence des cellules et la libération des oléorésines riches en composés terpéniques rendant l'essence forestière propice aux attaques des xylophages (secondaires et/ou tertiaires) (CHARARAS 1962).

#### **1.1.4.2 Mécanismes de défenses des conifères aux xylophages**

Les conifères représentent l'un des anciens taxons ubiquistes du règne des *Plantae* qui ont démontré une grande résistance vis-à-vis des stratégies d'attaques des différents bioagresseurs, Cette résistance implique une panoplie réactions physicochimiques qui entraînent la préservation et l'intégrité des différents processus physiologiques vitaux de la plante (KROKENE 2015)



**Figure 6.** Variation de la pression osmotique en fonction de la hauteur d'un arbre d'épicéa (Trait discontinue : mesure avant blessures expérimentales, Trait continu : mesures après blessures) (CHARARAS 1962).

Il est constaté tout d'abord que la "résistance des plantes" comprend tous les caractères des plantes qui diminuent la performance ou la préférence d'un bioagresseur, tandis que la "défense des plantes" peut être définie comme étant le sous-ensemble des caractères de résistance des plantes qui bénéficient réellement à la plante et augmentent son aptitude à lutter contre les attaques des déprédateurs (KARBAN et MYERS 1989).

La définition de la résistance/défense des plantes dépend donc du contexte, puisqu'elle se concentre sur les effets négatifs d'une résistance ou d'un trait de défense supposé sur un organisme attaquant (WAGNER 2002).

La première ligne de défense des conifères contre les attaques des xylophages implique la mise en place d'une résistance dite structurelle ou constitutive (avec des modes d'action physiques et/ou chimiques), si cette dernière se révèle insuffisante une résistance induite est déclenchée (figure.7). La mise en place de ces systèmes de défenses implique un drain de photosynthétats essentiels aux autres processus primordiaux des conifères tels que croissance et régénération (VEGA et HOFSTETTER 2015).



D'après WAGNER (2002), EYLES et *al.* (2010) le succès des réactions de défenses des conifères passent par quatre étapes, la première est une réaction constitutive, si les xylophages parvenaient à passer, les mécanismes de résistance induite prennent le relais. La troisième étape de défense consiste à sceller et à réparer la zone endommagée pour s'assurer que les processus physiologiques de l'arbre fonctionnent normalement et pour prévenir les infections secondaires par des organismes opportunistes. Enfin, la résistance acquise peut être induite localement et de manière systémique afin que les attaques futures puissent être traitées plus efficacement (SCHOONHOVEN et *al.* 1998).

Vu la complexité des systèmes de défense des conifères et les aspects utilisés pour caractériser ses processus, nous présentons ici que l'essentiel des mécanismes et des structures impliqués dans la réponse des conifères aux agressions des xylophages.

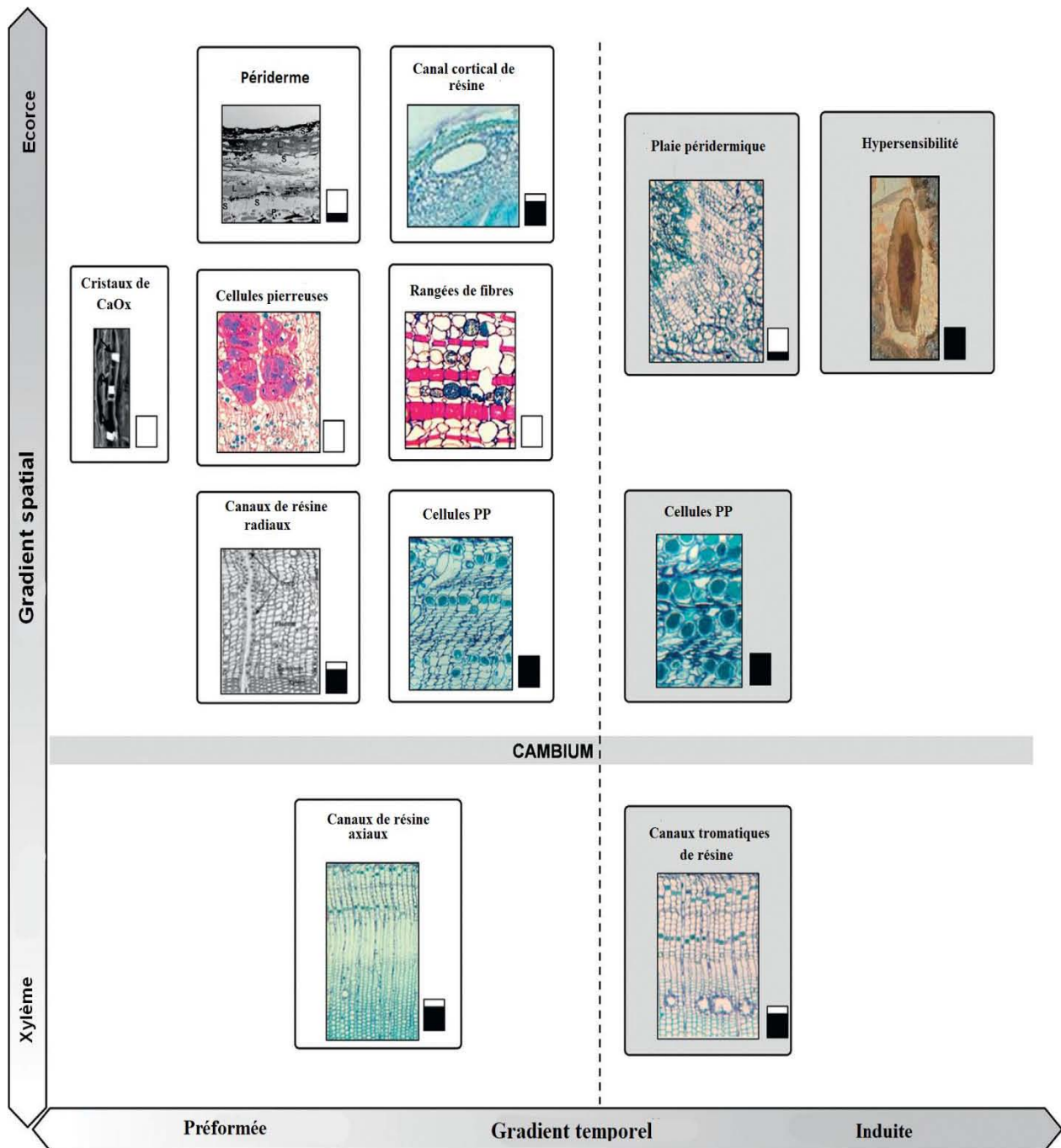
#### **1.1.4.2.1 Défenses préformées (structurales ou passives)**

La défense préformée est considérée comme étant le premier rempart contre les agressions d'origines biotiques et abiotiques. Les différents processus intervenant sont présents naturellement sans induction exogène et impliquant des propriétés structurales physiques et/ou chimiques préformés (BYERS, 1995, SCHOONHOVEN et *al.* 1998, WAGNER 2002).

Le périoderme représente la première ligne de défense grâce ses caractéristiques structurales notamment la présence de cellules sclérenchymateuses lignifiées «cellules pierreuses » en plus des cristaux d'oxalate de calcium intracellulaire peuvent dissuader les insectes xylophages (WAGNER 2002, VEGA et HOFSTETTER 2015).

En plus, lorsqu'une attaque est initiée par un xylophage un écoulement passif de la résine préformée des conduits axiaux de l'aubier vers les sites d'attaque de l'écorce par les canaux radiaux est déclenché. Les caractéristiques de la résine préformée (quantité, composition chimique, pression d'exsudation et taux de cristallisation) sont en corrélation avec la résistance variétale de l'essence forestière et le taux d'attaque des xylophages (VEGA et HOFSTETTER 2015).

A ces mécanismes s'ajoute l'action des composés polyphénols sécrétés et stockés par les cellules polyphénoliques du parenchyme (PP) localisées dans le phloème secondaire qui inhibent la progression des symbiotes fongiques des xylophages (MILLER et *al.* 2014).



**Figure 7.** Principales défenses structurelles des tiges de conifères. Classées selon un gradient spatial (de la surface de l'écorce à l'aubier) et temporel (préformées à inductibles). Les petites cases noires et blanches indiquent dans quelle mesure le mode d'action d'une structure de défense est mécanique (blanc) ou chimique (noir).

(VEGA et HOFSTETTER 2015. Photo reproduite sous permission d'Elseiver)

### 1.1.4.2.2 Défenses induites (Actives)

Outre les défenses préformées, les conifères ont la capacité d'inférer des mécanismes supplémentaires suite aux agressions répétées des xylophages, la durée d'activation de ces processus peut être de quelques heures pour l'augmentation des protéines liées à la pathogenèse, ou de plusieurs semaines pour la formation des canaux traumatiques de résine (MILLER et MILLER 1986).

Au niveau organisationnel le plus simple, les réponses de défense induite conduit à la modification du métabolisme des cellules préexistantes, comme la lignification de la paroi cellulaire, l'induction de la production de résine dans les canaux de résine existants et l'activation de l'hypersensibilité. Au niveau plus complexe sont impliqués des changements dans la division et la différenciation cellulaire, conduisant à la formation de canaux résinifères traumatiques de résine par voie active (Résinose induite), cicatrices péridermiques ainsi que la formation et l'activation des cellules (PP) (SCHOONHOVEN *et al.* 1998, VEGA et HOFSTETTER 2015).

La formation d'un périderme de plaie est une étape finale essentielle dans une réaction de défense réussie afin de protéger la région endommagée des tissus et rétablir une barrière de surface continue. Ces plaies sont produites par activation des cellules PP existantes, qui commencent à se diviser pour former un nouveau cambium du liège (KARBAN et MYERS 1989, VEGA et HOFSTETTER 2015, PAINE et LIEUTIER 2016).

Il est établis que les essences forestières qui démontrent une résistance induite performante sont les plus résistants aux attaques des xylophages, cependant ce mécanisme est aussi tributaire des conditions nutritionnel et stationnaires (abiotiques en l'occurrence) (FRANCARDI *et al.* 2009).

## 1.2 Dépérissement du cèdre de l'Atlas

### 1.2.1 Définitions, symptomatologie et facteurs du dépérissement forestier

"Decline, diebak" ou encore "waldsterben" sont des termes désignant un déséquilibre physiologique temporellement et progressif touchant en premier lieu les feuilles ou les aiguilles (microphylie) d'une essence forestière. Ce déséquilibre traduit un stress notable, un ralentissement de la croissance et un dessèchement des bourgeons et des branches sommitales qui se généralise progressivement aboutissant à une senescence anormale de l'essence forestière (MANION 1987, MANION *et al.* 1992, GERING et CRIST 2000).

La définition de déclin forestier se prolonge dans l'espace à l'échelle du peuplement comme étant une mort synchrone des essences forestières d'abord isolément puis en taches ou en bandes, qui s'étend par la suite au faciès ou aux versants induisant une chute de la productivité primaire et secondaire de l'écosystème forestier atteint (AUCLAIR *et al.* 1997, SKELLY 1989, MANION *et al.* 1992).

Les dépérissements sont définis encore comme des phénomènes causés par un ensemble de facteurs interagissant et se succédant d'une façon particulière, qui entraînent une détérioration générale (portant notamment sur l'aspect et la croissance) et graduelle, se terminant souvent par la mort de l'arbre. Le phénomène de déclin se distingue ainsi des maladies qui sont dues à un seul facteur (MANION 1987).

Les travaux de SINCLAIR (1965), HOUSTON (1967), MANION (1987), SKELLY (1989), MANION *et al.* (1992), ont permis de catégoriser les multiples agents biotiques et abiotiques impliqués dans le processus du déclin forestier en trois paliers majeurs :

- **Facteurs prédisposants** regroupant des agents perturbateurs agissant sur une essence saine de façon permanente à petite intensité durant un grand laps de temps exemple des stress hydriques et édaphiques, pressions anthropiques et des actions parasitaires primaires.
- **Facteurs incitants** englobent les agents qui altèrent les processus physiologiques de l'arbre à grande intensité mais en temps court, se regroupent sous cette catégorie les insectes et les mycoses secondaires (de faiblesse), les pollutions et les accidents climatiques.
- **Facteurs aggravants** qui interviennent dans la phase finale du processus de déclin accélérant la mort de l'essence déjà en déficience, ces facteurs sont essentiellement d'origine biotique dont on cite l'action des insectes saproxyliques, des champignons de faiblesse (vasculaires, pourritures...).

### 1.2.2 Dépérissement du cèdre de l'Atlas

Le dépérissement du cèdre de l'Atlas dans son aire naturelle n'est pas un phénomène récent. BOUDY (1950), TOUCHAN *et al.* (2011) ont indiqué que les sécheresses exceptionnelles de 1557 à 1561 et 1875 à 1888 auraient occasionnées d'importants dégâts sur les peuplements de Cèdres. Les

études dendrochronologies récentes indiquent une troisième période de sécheresse enregistrée de 1998 à 2002 coïncidant ainsi avec le dernier épisode de dépérissement (KHERCHOUCHE et *al.* 2013).

Physionomiquement, la symptomatologie du dépérissement du cèdre est entamée par un dessèchement des parties sommitales qui s'exprime par un jaunissement et une chute des aiguilles de l'arbre et descend progressivement pour se généraliser vers le bas. Les arbres concernés présentent des signes d'affaiblissement au niveau des rameaux qui s'amollissent et qui pendent (BENTOUATI 2008).

A l'heure actuelle et en Algérie, le dépérissement du cèdre de l'Atlas est prononcé au niveau des cédraies des Aurès, du Belezma ainsi que celles de Theniet El Had. Ce phénomène a commencé dès l'entame des années 80 du dernier siècle et s'est amplifié depuis les années 2002 (BEGHAMI 2005 ; 2010, BENTOUATI et BARITEAU 2006, BEGHAMI 2012, KHERCHOUCHE 2014).

Au Bélezma, le dépérissement est massif en certains endroits tel que le versant sud du Djebel Boumerzoug où 90% du peuplement de cèdre a totalement dépérié et les versants sud et sud-Est du mont Tuggurt qui enregistrent des pertes allant à 40%. Ces stations sont souvent localisées sur des pentes assez fortes, essentiellement sur substrats marneux, se caractérisent par des sols superficiels à litière peu épaisse (BENTOUATI et BARITEAU 2006).

Au niveau des cédraies des Aurès (figure 8), le déclin du cèdre de l'Atlas s'est accentué sur les versants orientés sud. Au Chélia, le dépérissement est prononcé sur les lignes de crêtes, apparaît tantôt en lambeaux discontinus le long du versant, tantôt par bouquets de vieux arbres (BENTOUATI et BARITEAU 2006, BENTOUATI 2008, BEGHAMI 2012).

D'après BENTOUATI et BARITEAU (2006), le déclin du cèdre de l'Atlas au niveau de la forêt de Ouled Yagoub est moins spectaculaire, cependant, lors de la réalisation du présent travail, le dépérissement a continué de prendre de l'ampleur particulièrement au niveau de la cédraie du Djebel Feraoune et de Noughisse.



**Figure 8.** Aspects du dépérissement du cèdre de l'Atlas au niveau des cédraies des Aurès. (a : dépérissement de la cédraie de Chélia , b : dépérissement d'un sujet âgé en peuplement mixte , c : déclin de jeunes sujets en peuplement pure) (Originelles, 2016).

La situation sanitaire des cédraies méridionales notamment celle de S'gag, Guetiane, Taghda et Djebel Lazreg est plus inquiétante du fait de la superficie restreinte qu'elles occupent et des influences du climat aride qu'elles subissent et qui fragilisent les peuplements de cèdre (BENTOUATI et BARITEAU 2006, BEGHAMI 2010, KHERCHOUCHE 2014).

Au niveau de la cédraie de Thniet El Had le phénomène de dépérissement du cèdre a davantage marqué les sujets qui se trouvent sur fortes pentes et aux expositions ensoleillées et chaudes des limites inférieures (ABDELHAMID et al. 2017).

Au Maroc, le dépérissement du cèdre de l'Atlas est signalé depuis le début des années 1940, où des milliers d'hectares de cèdre ont déjà dépéris au Moyen Atlas (région d'Ifrane) et dans le Rif. Les arbres touchés appartiennent à toutes les classes d'âges, avec des degrés divers de dépérissement aussi bien en termes de sévérité que de répartition spatiale (DERAK et al. 2008, MOUNA 2009).

### 1.2.3 Xylophages associés au déclin du cèdre de l'Atlas

Les xylophages des conifères jouent un rôle primordial dans les forêts méditerranéennes par leur implication dans les différents processus écologiques. La diversité et la densité de ces espèces témoignent de la situation sanitaire des peuplements forestiers (MOUNA 2009).

Il a été constaté que la majorité des espèces xylophages méditerranéennes sont "secondaires" ne s'installent que sur des essences physiologiquement affaiblies. Au contraire des espèces primaires en régions tempérées et boréales en Europe (ex. *Ips typographus*) ou en Amérique du nord (ex. *Dendroctonus ponderosae*). En revanche, dans le cas d'épisodes épidémiques, les espèces xylophages dites secondaires peuvent s'attaquer aux sujets en bon état physiologique et engendrent par conséquent de graves préjudices à des formations forestières déjà affaiblies (PIANE et LIEUTIER 2016).

Les prospections réalisées indiquent que la sévérité des dégâts des xylophages méditerranéens varie en fonction de l'essence forestière, des années, et des stations. Les épisodes épidémiques de ces espèces sont aggravés par des caractéristiques bioécologiques propres à ce groupe tels que l'existence de générations sœurs et le développement tout au long de l'année permettant un polyvoltinisme et un prolongement de la durée et l'intensité des dégâts. (LIEUTIER 2007).

**Tableau 3.** Listing des espèces xylophage (*lato sensu*) associé au cèdre de l'Atlas  
(Les espèces figurant dans le présent tableau sont cités au moins par deux auteurs sur cèdre).

Familles	Espèces	Auteurs
<b>Scolytidae</b>	<i>Cryphalus piceae numidicus</i> E.	DE PEYERIMHOFF 1919, 1933, CHARARAS 1962, BENHALIMA 2004, LIEUTIER 2007, BEGHAMI 2010, Paine 2015, Talbi 2015.
	<i>Crypturgus cedri</i> E.	De PEYERIMHOFF 1919,1933, CHARARAS 1962, LIEUTIER 2007, BEGHAMI 2010, TALBI 2015.
	<i>Hylastes batnensis batnensis</i> B.	DE PEYERIMHOFF 1933, CHARARAS 1962, M'HIRIT et BENZYANE 2006.
	<i>Hylurgops bonvouloiri</i> C.	De PEYERIMHOFF 1919,1933, CHARARAS 1962, LIEUTIER 2007, Paine 2015.
	<i>Kissophagus novaki</i> R.	CHARARAS 1962, BENHALIMA 2004, M'hirit et BENZYANE 2006.
	<i>Phloeosinus cedri</i> B.	CHARARAS 1962, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006, LIEUTIER 2007, BEGHAMI 2010, PAINE 2015, TALBI 2015.
	<i>Scolytus carpini</i> R.	BALACHOWSKY 1949, CHARARAS 1962, MOUNA 1994.
	<i>Scolytus numidicus</i> B.	De PEYERIMHOFF 1919, 1933, CHARARAS 1962, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006, LIEUTIER 2007, BEGHAMI 2010, Paine 2015, TALBI 2015.
	<i>Xyleborus saxeseni</i> R.	De PEYERIMHOFF 1933, BALACHOWSKY 1949.
	<i>Xyloterus lineatus</i> O.	De PEYERIMHOFF 1933, BALACHOWSKY 1949, MOUNA 1994.
<b>Buprestidae</b>	<i>Acmaeodera degener multipunctata</i> L.	FABRE et al. 1999, BENHALIMA 2004, TALBI 2015.
	<i>Anthaxia corsica maroccana</i> S.	MOUNA 1994, FABRE et al. 1999, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006.
	<i>Anthaxia ludovicae</i> A.	De PEYERIMHOFF 1933, MOUNA 1994, Fabre et al. 1999, BENHALIMA 2004. M'HIRIT et BENZYANE 2006.
	<i>Anthaxia marmottani</i> B.	DE PEYERIMHOFF 1933, MOUNA 1994, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006.
	<i>Anthaxia martini</i> B.	BALACHOWSKY 1949, BENHALIMA 2004.
	<i>Anthaxia sepulchralis</i> F.	De PEYERIMHOFF 1933, MOUNA 1994.
	<i>Melanophila marmottani</i> F.	De PEYERIMHOFF 1933, CHARARAS 1962, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006, LIEUTIER 2007, BEGHAMI 2010, Paine 2015, TALBI 2015.



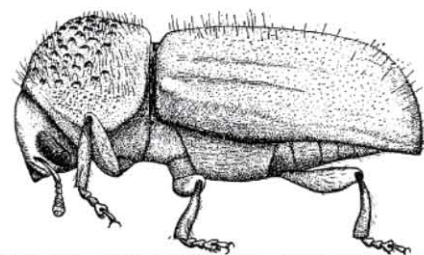
<b>Cerambycidae</b>	<i>Callidium cedri</i> P.	De PEYERIMHOFF 1933, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006, LIEUTIER 2007, Paine 2015.
	<i>Ergates faber</i> L.	De PEYERIMHOFF 1933, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006, LIEUTIER 2007.
	<i>Pogonochaerus cedri</i> P.	De PEYERIMHOFF 1933, LIEUTIER 2007.
	<i>Semanotus russica algerica</i> F.	De PEYERIMHOFF 1933, BENHALIMA 2004, M'HIRIT et BENZYANE 2006, LIEUTIER 2007, Paine 2015.
<b>Cuculionidae</b>	<i>Magdalis leucopleura</i> F.	DE PEYERIMHOFF 1933, FABRE et al. 1999
	<i>Rhyncholus poreatus</i> G.	DE PEYERIMHOFF 1933, MOUNA 1994, FABRE et al. 1999, BENHALIMA 2004.
<b>Bostrychidae</b>	<i>Bostrychus ficus bicolor</i> H.	DE PEYERIMHOFF 1933, BENHALIMA 2004.
<b>Anobiidae</b>	<i>Anobium striatum</i> O.	BENHALIMA 2004, UNAL et al. 2009.
	<i>Stegobium paniceum</i> L.	BENHALIMA 2004, ATAY et al. 2012.
<b>Siricidae</b>	<i>Urocerus augur</i> K.	CHARARAS 1962, BENHALIMA 2004, BEGHAMI 2010.

A ces caractéristiques écologiques s'ajoute la spéciation des attaques des xylophages méditerranéens. En effet, la dispersion éparse et montagnarde des grandes formations forestières -surtout dans la partie sud de la méditerranée- à induit des espèces monophages tels que *Phloeosinus cedri* sur cèdre, et *Hylurgus sp.* sur sapin et plus d'un taux d'endémisme remarquable et caractéristique (LIEUTIER 2007).

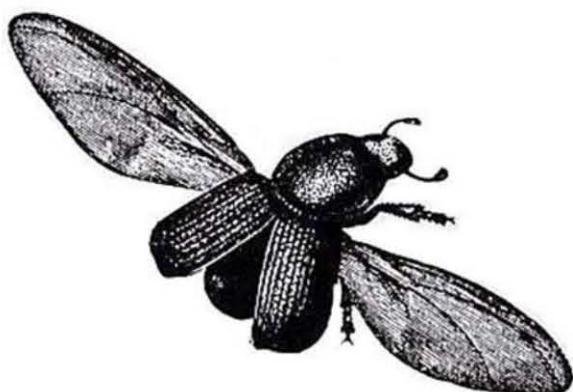
En ce qui concerne les xylophages du cèdre, les inventaires relatent une dizaine d'espèces à intérêt économique de premier ordre, ces espèces sont cantonnées principalement dans les familles de Scolytidae, Bupretidae, Cerambycidae, Curculionidae et Siricidae (Tableau 3).

Les Scolytidae et les Buprestidae représentent les taxons les plus abondants au niveau de la strate sous-corticale du cèdre de l'Atlas, ces espèces s'installent généralement sur des sujets dépérissants ou totalement dépériés, la distribution spatio-temporelle de ces espèces varie en fonction de l'épaisseur de l'écorce et des caractéristiques physico-chimiques du bois. Les Cerambycidae, Cuculionidae, Bostrychidae, Anobiidae et les Siricidae s'attaquent plus au xylème et s'installent sur les sujets complètement dépériés (partie développée au cours des chapitres II et III).

## Chapitre 2



# CHOROLOGIE ET ETHOLOGIE DES INSECTES XYLOPHAGES ASSOCIES AU DEPERISSEMENT DU CEDRE DE L'ATLAS AU NIVEAU DES CEDRAIES DES AURES



## Chapitre 2 : Chorologie et éthologie des insectes xylophages associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas au niveau des cédraies des Aurès

### 2.1 Introduction

Les insectes xylophages sont considérés comme étant l'un des principaux facteurs biotiques incitant et aggravant le processus de dépérissement en écosystèmes forestiers (WARGO 1996, SALLE et *al.* 2014).

Les dommages irréversibles causés par ces insectes sont plus intenses sur les écosystèmes forestiers méditerranéens qui sont affaiblis par l'action combinée des facteurs abiotiques tels que les sécheresses épisodiques intenses et prolongées, les sols squelettiques ainsi que certains paramètres biotiques prépondérants comme les attaques de défoliateurs tels que les chenilles processionnaires ou les actions anthropozoogènes (LIEUTIER 2007, MHIRIT 2008, SALLE et *al.* 2014).

De plus, ce groupe d'insectes présente des défis particuliers pour les chercheurs du monde entier, car leurs préjudices sont indirectement visibles sur les hôtes en affectant les processus biogéochimiques, perturbant les processus physiologiques, inoculant des taxons fongiques et transmettant des nématodes aux essences forestières affaiblies (GEBHARDT et *al.* 2004, DAJOZ 2007 ; ECKHARDT et *al.* 2007, JACOBI et *al.* 2007, LIEUTIER 2007, MHIRIT 2008, TOGASHI 2008, WERMELINGER et *al.* 2008, NAGELEISEN et *al.* 2010, ELBERG et *al.* 2012, SALLE et *al.* 2014, RAFFA et *al.* 2016).

Dans ce contexte, nous avons entrepris des prospections aux niveaux de huit stations représentatives des cédraies des Aurès afin d'établir (i) un listing plus au moins précis des espèces xylophages associées au dépérissement du cèdre de l'Atlas, (ii) d'estimer l'ampleur d'attaque des insectes, (iii) déterminer les modalités de leur distributions, (iv) de mettre à jour les associations et les successions possibles des espèces xylophages dans un cadre spatio-temporel au cours de trois campagnes 2010, 2013 et 2016 et enfin (v) tenter de comprendre et d'expliquer l'effet des insectes xylophages sur l'état phytosanitaire des cédraies des Aurès et d'en extraire la possible relation insectes xylophages-dépérissement forestier.

## 2.2 Présentation du contexte physique

### 2.2.1 Situation géographique

Les massifs montagneux des Aurès «*Mons Aurasius*» (figure 9) sont constitués par un ensemble de chaînons parallèles, aux reliefs très contrastés, dirigés du sud-ouest au nord-est à la partie orientale de l'Atlas saharien de l'Algérie. Cette zone correspondant à l'aire comprise entre les latitudes 35°10' et 35°30' nord et les longitudes 6°30' et 7°10' Est (BUSSON 1900 *in* BEGHAMI 2012).

Il est à signaler toutefois, le demi-anticlinal du Chélia a été décroché de celui de celui d'Ichemoul, en provoquant son déplacement horizontal vers le Sud, alors que la plaine de Ain Touta et Batna séparent les massifs des Aurès des mots de Belezma (BELLION 1976 *in* BENMESSAOUD 2009).

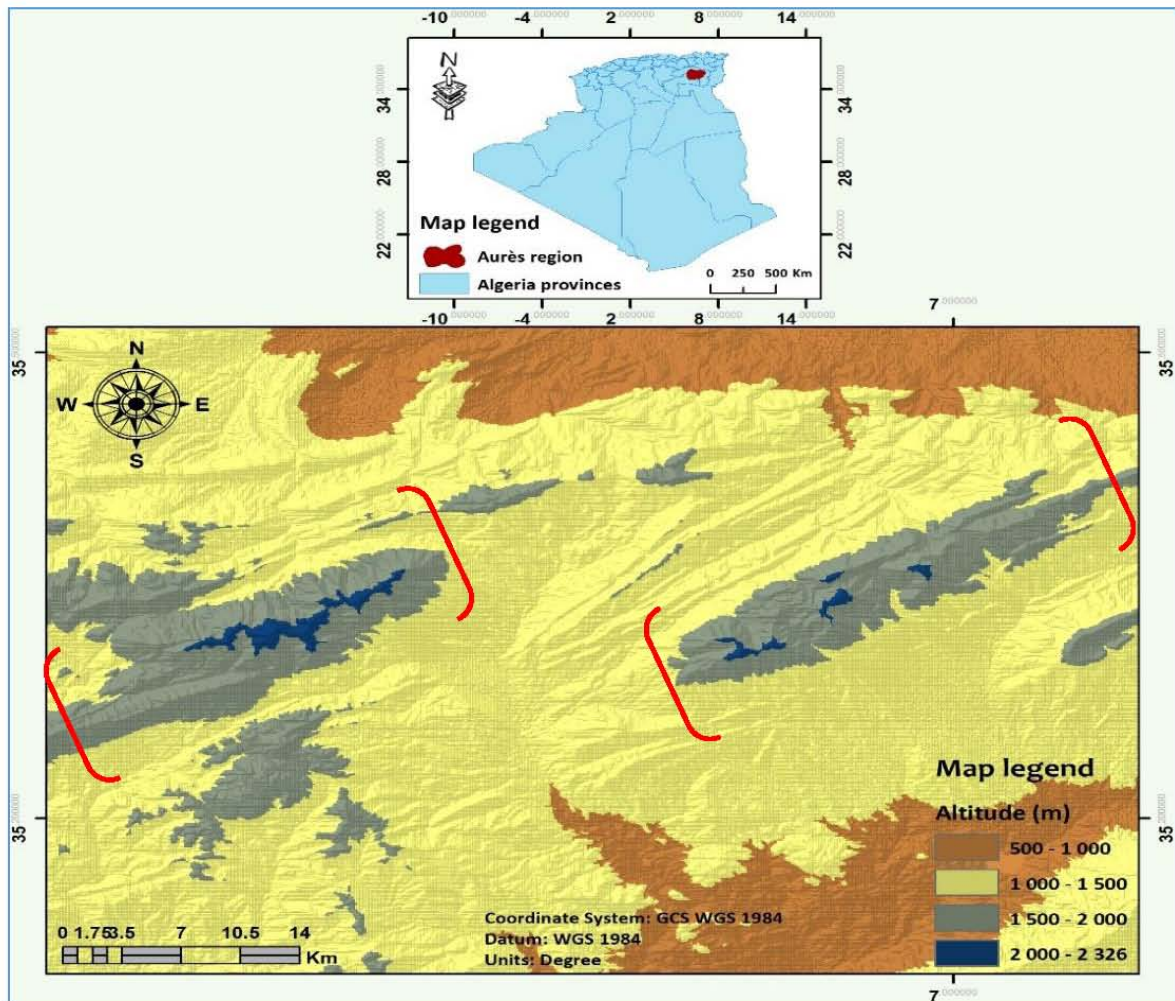


Figure 9. Localisation de la zone d'étude.

**2.2.2 Cadre lithologique de la cédraie des Aurès**

Plus des 2/3 des cédraies des Aurès évoluent sur des grès et sur dolomies essentiellement du crétacé inférieur notamment du Barrémien, de l'Aptien et de l'Albien donnant naissance à des sols légers, meubles bruns et peu calcaires observés notamment sur les hauteurs du monts Chélia et Ouled Yagoub (ABDESSEMED 1981).

SCHOENBERGER (1970) , ABDESSEMED (1981), indiquent que les sols des cédraies de Chélia et Ouled Yagoub sont caractérisés par :

- Une jeunesse relative et faible épaisseur ;
- Un faible degré d'évolution ;
- Un horizon A<sub>0</sub> très mince dépassant rarement 4cm ;
- Absence de lessivage et d'un horizon B du fait que les cédraies se trouvent sur des pentes assez fortes ;
- Un pH variant entre 7,6 à 7,9 ;
- Un humus de type mull-calciq.

**2.2.3 Cadre climatique**

Les composantes du climat exercent une double influence -directe et indirecte- sur l'écobiologie des insectes en écosystème forestier. En effet, le climat agit indirectement en conditionnant dans le temps et dans l'espace, les stades phénologiques (floraison, fructification, défoliation et germination), la stratification et la diversité des formations sylvatiques ainsi que le déroulement des processus physiologiques des essences forestières (CHARARAS 1962 ; DAJOZ 2007).

L'influence directe du climat sur l'arthropodofaune s'exprime sur divers processus particulièrement sur la durée des écophases et par conséquent sur le voltinisme ainsi que sur les processus de dispersion (horizontale ou verticale) notamment chez les xylophages.

Les travaux de SELTZER (1946), ABDESSEMED (1981), KHENFOUSSI (2005), BENTOUATI (2006), BENMESSAOUD (2009), BEGHAMI (2010), BEGHAMI (2012), KHERCHOUCHE (2014) indiquent que le climat de la région des Aurès est typiquement méditerranéen continental montagnard, caractérisé par un régime pluviométrique du type APHE sur les versants sud et PAHE

sur les versants nord, avec une alternance des cycles secs et humides qui durent entre 10 à 20 années.

L'étude des températures annuelles moyennes démontre des alternances de cycles frais et chauds et une tendance à l'augmentation de l'ordre de 1,5°C depuis les années 1960 (Kherchouche 2014).

La période sèche dans les cédraies des Aurès dure près de six mois et demi allant de la mi-mai au début de novembre. L'étude du quotient pluviothermique d'EMBERGER située dans l'étage bioclimatique à végétation semi-aride froid les basses cédraies des monts Chelia et de Ouled Yagoub des versants sud et dans l'étage subhumide froid selon l'altitude, de 1600m à 1700m pour le versant nord et 1600 à 2000m d'altitude pour le versant sud. L'étage bioclimatique à végétation humide caractérise les hautes cédraies des versants nord au-dessus de 1800m (BEGHAMI 2010, BEGHAMI 2012, KHERCHOUCHE 2014).

## **2.3 Matériels et méthodes**

### **2.3.1 Matériel végétal**

Le cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Manetti ex Carrière est une Pinacée endémiques des montagnes de l'Afrique du nord (voir annexe 1), adaptée aux conditions climatiques méditerranéennes notamment au stress hydrique estival. En plus de leurs importances socioéconomiques, les cédraies de l'Afrique du nord revêtent une importance écologique de premier ordre en abritant des écosystèmes inédits et diversifiés (BEGHAMI 2012).

Classé dans la liste rouge de l'union internationale pour la conservation de la nature comme espèce en danger, la situation phytosanitaire du cèdre de l'Atlas ne cesse de se dégrader depuis l'entame des années 1980 (BENTOUATI 2008, THOMAS 2013).

Les prospections réalisées dans ce présent travail sont effectuées sur les parties ligneuses aériennes du cèdre de l'Atlas considérées comme niches écologiques des espèces xylophages primaires et secondaires.

### **2.3.2 Matériel animal**

La présente partie du manuscrit est consacrée à l'étude de la diversité, l'éthologie et la chorologie de l'entomofaune xylophage associées au dépérissement du cèdre de l'Atlas.

Les xylophages du cèdre de l'Atlas appartiennent essentiellement à deux ordres systématiques, les coléoptères -qui sont majoritaires- et les hyménoptères (BENHALIMA 2004 , MOUNA 2009 , BEGHAMI 2010 , ABDELHAMID *et al.* 2017).

### 2.3.3 Stations prospectées

La présente étude fut réalisée au niveau des cédraies de Chélia (7000ha) et Ouled Yagoub (3000 ha), les placettes choisies sont composées de cèdres purs d'un âge moyen compris entre 55 et 65 ans respectivement aux monts Chélia et Ouled Yagoub, avec des *associations Cedro atlanticae - Ranunculium spicatii* (ABDESSEMED 1981).

En suivant les protocoles établis par MARTIKAINEN *et al.* (1999), GERING et CRIST (2000) huit stations d'échantillonnages (cinq au niveau du massif de Chélia et trois au Ouled Yagoub) d'une superficie d'un hectare chacune furent choisies (Tableau 4 ; Figure 10) pour représenter l'ensemble des cédraies des Aurès. Ces placettes démontrent des sujets de différentes classes de dépérissement avec une prévalence nette pour les essences dépériées au niveau des cédraies des Ouled Yagoub.

**Tableau 4.** Localisation des stations d'échantillonnages

Massifs	Stations	Latitude	Longitude	Altitude	Exposition
Chelia	Station 1	35°18'35" N	6°37'24" E	1881m	Sud
	Station 2	35°19'13" N	6°37'30" E	2045m	Sud
	Station 3	35°19'32" N	6°38'15" E	2137m	Nord-ouest
	Station 4	35°18'09" N	6°38'39" E	1771m	Nord
	Station 5	35°18'26" N	6°39'02" E	1735m	Est
Ouled Yagoub	Station 6	35°18'42" N	6°51'36" E	1635m	Nord
	Station 7	35°22'40" N	6°56'46" E	1942 m	Sud
	tation 8	35°20'25" N	6°56'06" E	2013m	Nord-ouest

### 2.3.4 Modalité d'échantillonnage du bois

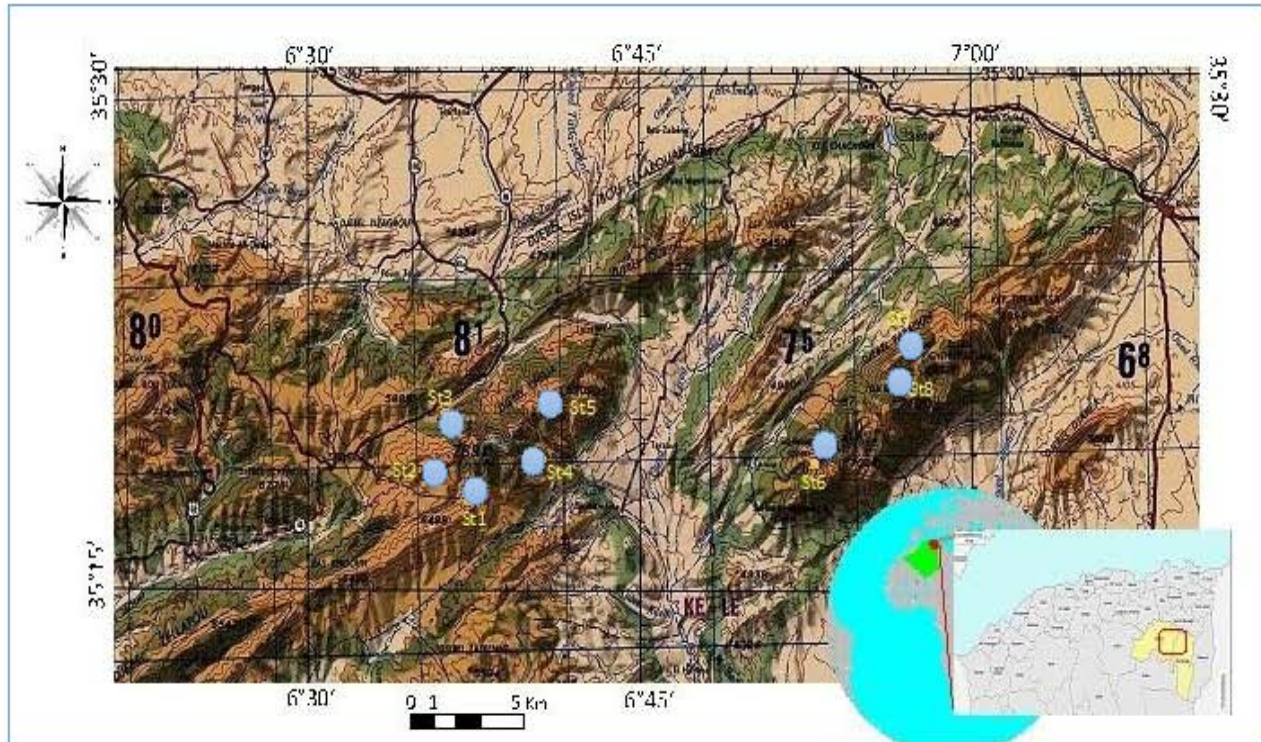
L'étude et le suivi précis des xylophages associées du cèdre de l'Atlas nécessitent des rondins de bois<sup>4</sup> issus de différentes classes de dépérissement. Trois classes d'arbres<sup>5</sup> représentants trois catégories de dépérissement furent choisis selon le degré de dessèchement des aiguilles.

L'échantillonnage des arbres a été réalisé selon la méthodologie de BENHALIMA (2004), ROUAULT (2006), SAMALENS (2009) et BEGHAMI (2010), les pieds sains (**D<sub>0</sub>**)

<sup>4</sup> Dans le présent document le bois désigne les parties ligneuses aériennes du cèdre de l'Atlas

<sup>5</sup> La dénomination arbres fait référence aux pieds du cèdre de l'Atlas.

correspondent aux sujets en bonne état physiologique et présentant un feuillage normal, les sujets dépérissant ( $D_{50}$ ) présentent un dessèchement de 50% du feuillage depuis la cime, alors que la classe des arbres dépéris ( $D_{100}$ ) présente des feuilles sèches à 100%.



**Figure 10.** Localisation géographique des stations d'échantillonnage

Le choix de ces classes se justifie par l'absence de différence significative entre l'entomofaune émergente des classes qui présentent un dépérissement entre 40 et 80% (WERMELINGER *et al.* 2008).

Dans chaque station, un arbre fut découpé au ras du sol pour chaque bloc de dépérissement précité ( $D_0$ ,  $D_{50}$  et  $D_{100}$ ). Cette opération fut réalisée en trois périodes fin janvier; Mai et septembre (voir tableau-annexe2) pour chaque campagne d'échantillonnage (soit un total de 24 arbres/an) afin de suivre la dynamique saisonnière ainsi que la succession des attaques des xylophages (OKLAND 1996, KELSEYA et GLADWIN 2001, BENHALIMA 2004, JOHANSSON *et al.* 2007).

Ces périodes ont été définies grâce aux prospections préalables de BENHALIMA (2004), BEGHAMI 2010, TALBI (2010) soutenus par un suivi des émergences des



principales espèces xylophages par la méthode de pièges vitres multidirectionnels (voir chapitre III).

Selon la méthodologie de JOHANSSON *et al.* (2007), KELSEYA et GLADWIN (2001) les arbres sont tronçonnés en trois sections de 5 mètres en moyenne correspondant aux parties bases (**B**), moyennes (**M**), cimes (**C**) en plus des branches primaires (**Br**) (Figure 11a-b).

Deux billons d'une superficie latérale moyenne de 42dm<sup>2</sup> chacun (correspondant à des buches mesurant en moyenne 0,45m de long et 0,3m de circonférence) de chaque section de hauteur furent prélevés et mis dans des éclosoirs. Au total 192 billons ont été prélevés chaque saison soit 576 pour chaque campagne<sup>6</sup> d'échantillonnage.

Afin d'étudier avec exactitude la biodiversité et la chorologie des insectes xylophages suspectés d'être en relation avec le processus de dépérissement du cèdre de l'Atlas, les protocoles de SPEIGHT (2005) et BONNEIL (2009) furent adoptés en réalisant trois campagnes d'échantillonnage en 2010, 2013 et 2016 dans les mêmes stations d'observation.

Les billons prélevés sont placés dans des éclosoirs (Figures 11c-d) dont le fondement est le même que celui des « extraction cylinder » et des « photo-electors » et des « totholz eklektor » (ALBRECHT 1990 ; SCHMITT 1992 ; OKLAND 1996). Le principe de récolte se base sur l'attraction montrée par les insectes pour la lumière (WERMELINGER *et al.* 2008, SHIMODA et HONDA 2013).

Les éclosoirs sont confectionnés par des boîtes en carton tapissées à l'intérieur par un film plastique sombre, sur une face un orifice de sortie permettant le passage de la lumière débouche vers un dispositif de récolte, à l'intérieur de l'éclosoir un gobelet rempli d'eau faisant office d'un humidificateur est périodiquement remplis au 2/3 grâce à un trop-plein (MCCLELLAND *et al.* 1978, OKLAND 1996, BENHALIMA 2004, BEGHAMI 2010, TALBI 2015, BEGHAMI *et al.* 2020).

---

<sup>6</sup> Une campagne d'échantillonnage dure deux années et correspond aux trois périodes de prélèvement réalisées en fin janvier- Mai et septembre en plus de l'année du suivi de l'arrêt cinétique des émergences des xylophages au laboratoire.



**Figure 11.** Dispositifs d'échantillonnage des xylophages du cèdre de l'Atlas (Photos personnelles).

(a : Tronçonnage des arbres, b :transport des billons, c : Eclosoir, d : Eclosoir ouvert).

Selon les méthodes de McCLELLAND *et al.* (1978), BENHALIMA (2004), SPEIGHT (2005), BEGHAMI (2010), NAGELEISEN *et al.* (2010), BEGHAMI *et al.* (2020) un suivi journalier des émergences durant une année depuis la mise en éclosoir des billons fut réalisé afin de suivre la chronologie de sortie des principales espèces xylophages. Les billons furent ensuite décortiqués après un séjour en immersion dans l'eau afin de ramollir leur écorce en vue d'étudier la fréquence et la densité des attaques ainsi que la fécondité réelle des principales espèces xylophages

### 2.3.5 Etude des fréquences d'attaques

Les insectes récoltés sont identifiés et inventoriés selon l'appartenance taxonomique au niveau du laboratoire de phytopharmacie sis au département d'agronomie de l'université de Batna 1. L'identification des insectes a été facilitée grâce à la collection obtenue au pare avant lors de l'étude de magister avec la contribution de M. Cocquempot Christian, spécialiste en écologie animale et en zoologie agricole à l'ENSA-INRA de Montpellier, M. Brustel Hervé de l'école des ingénieurs de Purpan à Toulouse, M. Migeon Alain du centre de biologie et management des populations au niveau de l'INRA de Montpellier (France), M. Pelletier Jean, expert dans la taxonomie des of Curculionidae, (France), M. Pablo Bercedo-Péramo spécialiste dans la taxonomie des Buprestidae (Espagne) et M. Orélian Sallé de l'université d'Orleans (France).

La fréquence des attaques (FA%) des différents taxons xylophages est calculée selon la formule  $FA\% = \frac{Ns}{Nt}$  où Ns est le nombre de rondins attaqués l'espèce « s » et Nt est le nombre total des rondins prélevés dans chaque station (GRODZKI 1996, GRODZKI 1997, BENHALIMA 2004, STARZYK *et al.* 2008), ce paramètre est calculé en fonction des classes de dépérissements et des classes de hauteurs. Densité des attaques des principales espèces xylophages

Pour les 8 espèces abondantes et dont densité d'attaque (DH) est estimée à partir du nombre des galeries maternelles (mc) par  $dm^2$ . Ce paramètre est ménagé en fonction de la hauteur et des stations puis corrélé à l'épaisseur de l'écorce selon la méthode de BENHALIMA 2004 ainsi que SIMON et FORSTER (2011).

### 2.3.6 Taux d'infestation des espèces xylophages majeures

Afin d'avoir une estimation précise sur le rôle des principales espèces xylophage dans le processus de déclin du cèdre de l'Atlas, une estimation de la surface de l'assise sous corticale est estimée selon la formule :  $Ta (\%) = \frac{Sai}{St} \times 100$ , où  $Sai = [Lgm \times lgm] \times Ngm + [Lgl \times lgl] \times Ngl$ , où Ta (%) est le taux d'attaque pour l'espèce x, Sai est la superficie d'attaque de l'espèce x,

Lgm et la lgm sont respectivement la longueur et la largeur de la galerie maternelle, Ngm représente le nombre de galeries maternelles pour les espèces polygames, Lgl et lgl représentent la longueur et la largeur moyenne des galeries larvaires et Ngl est le nombre de galeries larvaires.

Pour avoir une estimation représentative et proche de la réalité de ces paramètres, seules 4 espèces les plus actives (*Cryphalus numidicus*, *Scolytus numidicus*, *Melanophila marmottani* et *Cis corioli*) sont prises en considération. De chaque station 12 rondins de la campagne estivale de 2016 (un de chaque classe de hauteur et de chaque classe de dépérissement) furent minutieusement écorcés.

Les écorces des rondins préalablement ramollies après un séjour de deux mois en immersion dans l'eau sont détachées du bois puis photographiées à l'aide d'un appareil photo (résolution 12 méga pixels près d'une règle graduée pour garder l'échelle des mesures), les photos sont traitées avec le logiciel ImageJ® (NHI) (disponible sur <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>) annexé au package SmartRoot (Figure 12-b) après calibrage pour mesurer la longueur et la largeur des galeries maternelles et larvaires (BENHALIMA 2004, BEGHAMI 2010, BEGHAMI *et al.* 2020).

### **2.3.7 Etude des successions des attaques**

L'étude des successions des attaques a été entreprise selon la méthode BENHALIMA (2004) que nous avons modifiée selon la méthode de ULYSHEN ET HANULA (2010), suite au refus des administrations des forêts de nous octroyer l'autorisation à couper davantage de sujets sains.

Sur terrain douze billons de la section médiane « I » appartenant à la classe de dépérissement D<sub>0</sub> et D<sub>50</sub> issus de la campagne hivernale réalisée fin janvier (ayants les mêmes dimensions que les billons transposés au laboratoire) dans les stations 1, 4 et 7 furent laissés sur place, cachés sous les branches de cèdre. Des visites bimensuelles durant deux années ont été réalisées (soit 12 visites au total) afin d'observer les successions des attaques des principales espèces xylophages

A chaque visite, un billon de chaque classe de dépérissement fut mis dans un éclosoir-*in situ* (Figure 12-a) ce dernier est un sac en plastique de 10l débouchant à une bouteille en PVC transparent contenant de l'eau salée à 30g/l faisant office de dispositif de collecte.

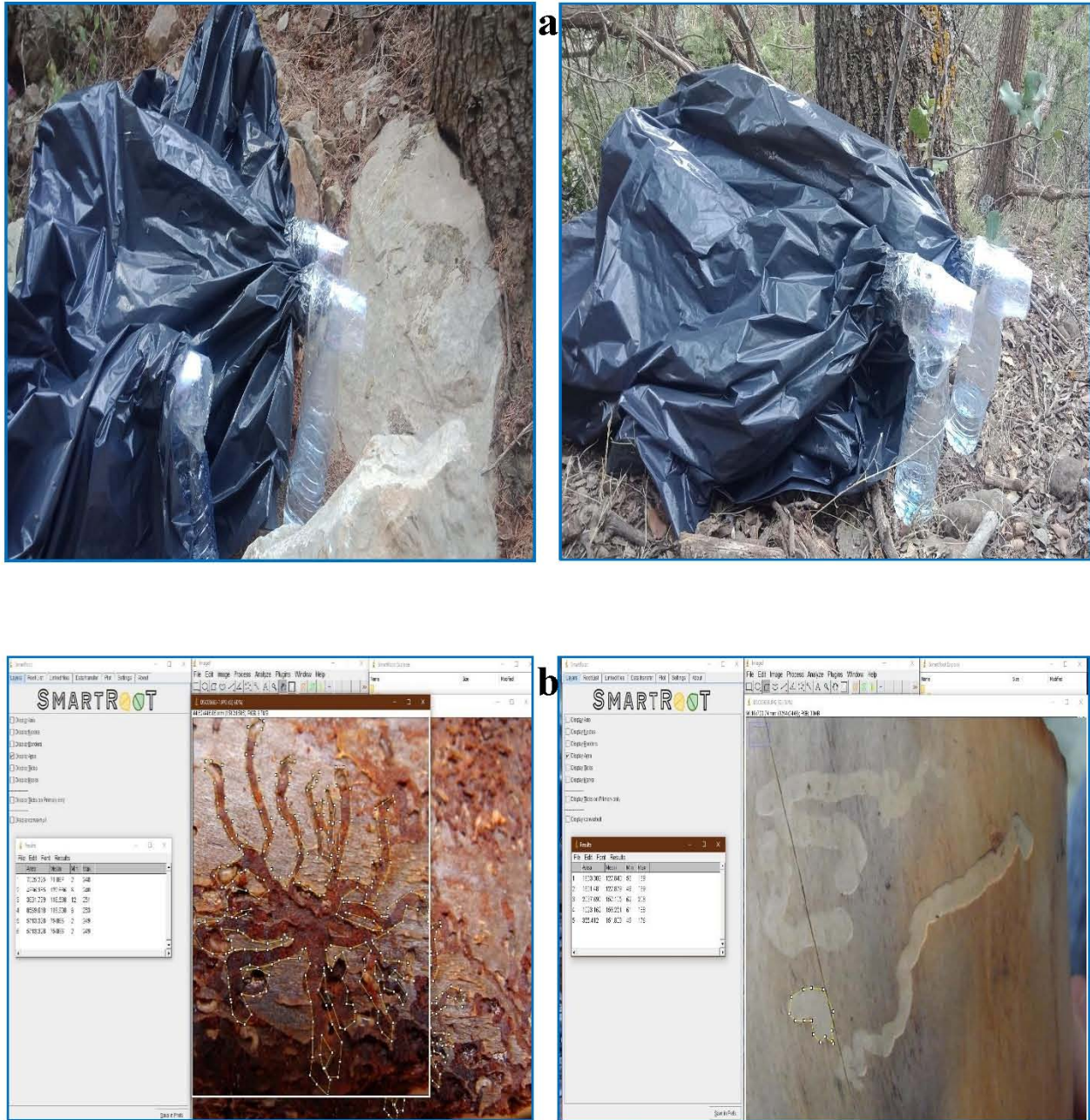
Au total 72 billons furent mis dans ce type d'éclosoirs et laissés sur terrain, à chaque visite les insectes échantillonnés furent collectés et transportés au laboratoire pour être comptés et identifiés séparément.

### **2.3.8 Tests statistiques**

Une analyse de la variance (ANOVA) fut réalisée pour déterminer les variations spatiotemporelles sur les émergences moyennes, la densité d'infestation et la surface d'attaque. De plus, le test de  $\chi^2$  suivi par le calcul du Phi de Cramer fut réalisé afin d'apprécier la distribution verticale des espèces xylophages en fonction des classes de dépérissement. Alors que pour la distribution horizontale un test de corrélation entre l'épaisseur de l'écorce et l'émergence des adultes des xylophages fut effectué.

L'affinité de l'activité des principales espèces xylophages en fonction des stations d'échantillonnages ont été caractérisées par une Analyse factorielle des correspondances (AFC).

Les analyses statistiques furent réalisées via le module XLSTAT version 2016 de Microsoft Office, le logiciel PAST (disponible sur <http://folk.uio.no/ohammer/past/>) et SPSS Version 22.0 (IBM®, Corp, USA).



**Figure 12.** Dispositifs d'étude des successions des attaques et des systèmes de galeries des xylophages du cèdre (a : éclosoir de terrain (*in-situ*) ; b : Mesure des surfaces infestées par les principales espèces xylophages avec le package Smartroot annexé au logiciel ImageJ®)

(Photos personnelles).

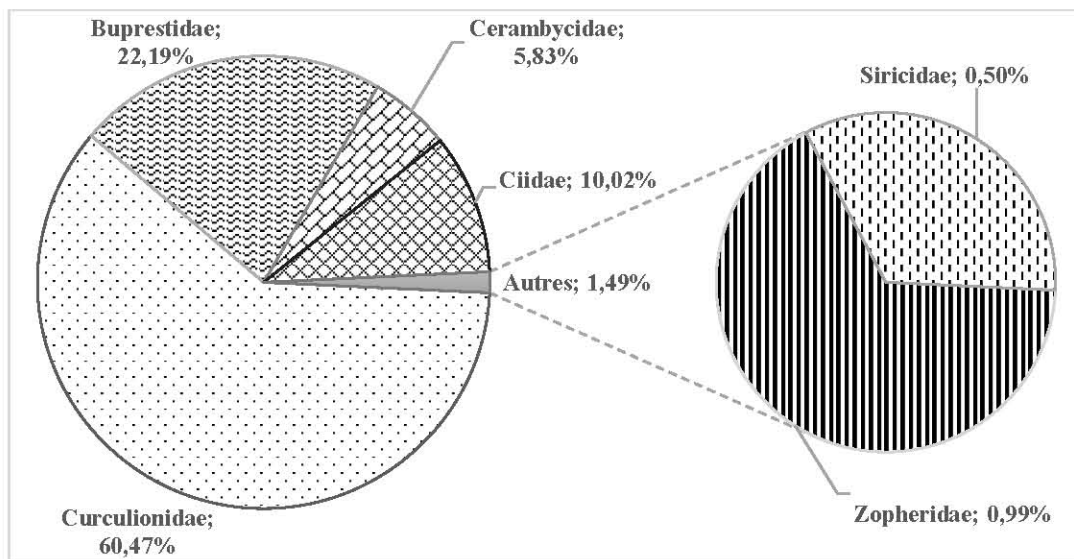
## 2.4 Résultats et Discussions

### 2.4.1 Diversité fréquence des attaques de de l'entomofaune xylophage associée au cèdre de l'Atlas

#### 2.4.1.1 Résultats

Les dispositifs d'échantillonnage entrepris durant les trois campagnes ont permis de collecter 23 879 spécimens groupés systématiquement en 23 espèces appartenant à 7 familles et 2 ordres. A ces espèces s'ajoute 374 spécimens classés en 8 espèces groupées en 6 familles et 2 genres, ces espèces sont identifiées comme étant des auxiliaires des xylophages (Chapitre III).

Les coléoptères sont majoritaires avec 99,5% des captures, Les Curculionidae avec 60,47% est le taxon le plus capturé avec 10 espèces, les Buprestidae avec 6 espèces représentent 22,19% des captures, alors que la famille des Ciidae avec une seule espèce représente près de 10% des émergences totales. Enfin, les Cerambycidae et les Zopheridae représentent respectivement 5,83% et 0,99% des espèces échantillonnées (Figure 13).



**Figure 13.** Appartenances taxonomiques des espèces capturées durant les trois campagnes d'échantillonnage.

Par ailleurs, la famille des Siricidae appartenant systématiquement à l'ordre des Hyménoptères est la seule famille non-coléoptère xylophage obtenue, avec une seule espèce qui représente 0,5% des émergences.

Ainsi, l'analyse de l'appartenance trophique des taxons échantillonnés indique une prédominance des xylophages sous-corticaux au niveau de toutes les stations prospectées.

**Tableau 5.** Fréquence d'attaques (FA%) des rondins du cèdre de l'Atlas par les espèces xylophages en fonction des sections de hauteur et classe de dépérissement.

Ordres	Familles	Espèces	Fréquence des attaques						
			Par classe de hauteur			Par classe de dépérissement			
			B	M	C	Br	D <sub>0</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>100</sub>
COLEOPTERA	Curculionidae	<i>Scolytinae</i>							
		<i>Hylastes batnensis</i> Brisout, 1883	23,01	43,29	18,84	20,46	7,08	37,43	60,76
		<i>Cryphalus numidicus</i> Eichhoff, 1878	58,33	98,84	57,87	63,43	48,78	79,69	61,98
		<i>Scolytus numidicus</i> Brisout, 1883	48,61	94,21	52,31	65,74	41,32	73,78	61,81
		<i>Crypturgus cedri</i> Eichhoff, 1867	32,41	68,52	34,03	46,30	23,26	48,09	47,40
		<i>Xyleborus dryographus</i> Ratzeburg, 1837	16,67	30,19	12,73	19,44	2,78	32,64	22,40
		<i>Orthotomicus erosus</i> Wollaston, 1857	14,12	31,71	10,65	7,18	1,04	24,65	18,40
		<i>Phloeosinus cedri</i> Brisout, 1883	14,12	34,81	29,82	14,12	27,23	22,43	09,72
		<i>Hylurgops bonvouloiri</i> Wood & Bright, 1992	9,72	31,43	10,65	12,96	2,08	21,53	24,65
		<i>Entiminae</i>							
	<i>Brachyderes pubescens</i> Boheman, 1833	13,19	27,31	9,26	8,80	4,17	20,66	14,24	
	<i>Pachyrhinus raffrayi</i> Desbrochers, 1871	8,56	27,55	13,89	10,88	1,22	18,23	19,79	
	Buprestidae	<i>Melanophila marmottani</i> Fairmaire, 1868	47,22	75,23	29,63	49,54	31,94	52,60	51,56
		<i>Chrysobothris solieri</i> Laporte et Gory, 1839	19,68	28,24	7,18	14,12	1,04	18,58	27,26
		<i>Acmaeodera (Acmaeotethya) degener</i> Scopoli, 1763	12,73	25,46	10,19	18,06	0,17	22,20	22,42
		<i>Acmaeodera (Plaeotethya) bipunctata</i> Olivier, 1790	13,19	29,40	7,87	12,50	1,39	18,92	24,48
		<i>Anthaxia martini</i> Brisout, 1883	31,71	44,75	14,81	25,93	20,66	39,93	21,88
		<i>Anthaxia (Haplantaxia) umbellatarum</i> Fabricius, 1787	18,52	43,91	17,59	26,39	0,69	26,04	41,49
		Cerambycidae	<i>Trichoferus griseus</i> Frivaldsky, 1838	16,44	30,56	10,88	13,89	2,43	21,01
	<i>Ergates faber</i> Linnaeus, 1760		11,57	22,69	1,39	9,03	0,52	14,24	15,63
	<i>Alocerus moesiacus</i> Frivaldsky, 1838		12,50	30,56	4,40	13,19	0,52	16,15	21,01
	<i>Callidium cedri</i> Peyerimhoff, 1918		14,22	28,35	8,12	10,35	1,23	18,62	26,43
Ciidae	<i>Cisdygma (Cis) corioli</i> Peyerimhoff, 1915	37,04	71,99	44,68	43,52	17,53	59,38	55,90	
Zopheridae	<i>Endophloeus marcovichianus</i> Piller, 1783	3,70	10,44	6,25	19,19	0,17	11,19	15,37	
HYMENOPTERA	Siricidae	<i>Urocerus augur</i> Klug, 1803	3,24	7,87	0,46	4,40	1,39	4,86	5,03



La famille des Curculionidae compte 8 espèces appartenant à la sous famille des *Scolytinae* qui représente 57,75% des émergences, *Cryphalus numidicus* Eichhoff, 1878 affiche la plus grande fréquence d'attaque retrouvé sur 98,84% des rondins des sections médianes « M » et 79,69% de la classe D<sub>50</sub>, suivie par *Scolytus numidicus* Brisout, 1883 et *Crypturgus cedri* Eichhoff, 1867 dont on enregistre respectivement un maximum de 94,21% et 68,52% sur les sections « M » et 79,69% et 73,78% sur les classes D<sub>50</sub>.

*Hylastes batnensis* Brisout, 1883 est présent sur 43,29% des billons de la section « M » mais affiche un maximum de présence sur les rondins de la classe D<sub>100</sub> avec une fréquence d'attaque de 60,76%. Tandis que *Phloeosinus cedri* Brisout, 1883 s'attaque aux sections « M » et « C » avec une (FA%) de 34,81 et 29,82% respectivement, alors que les classes D<sub>0</sub> (27,23%) et D<sub>50</sub> (22,43%) sont les plus colonisées.

En ce qui concerne *Xyleborus dryographus* Ratzeburg, 1837, *Orthotomicus erosus* Wollaston, 1857 et *Hylurgops bonvouloiri* Wood & Bright, 1992 le maximum des fréquences est observé sur des billons des section « M » avec 30,19%, 31,71% et 31,43%, les arbres de la classe D<sub>50</sub> semblent être les plus attaqués avec 32,64% 24,65% et 21,53% respectivement.

Deux espèces de moindre importance numérique appartenant aux *Entiminae* furent échantillonnées, il s'agit de *Brachyderes pubescens* Boheman, 1833 et *Pachyrhinus raffrayi* Desbrochers, 1871 dont le maximum des émergences fut enregistré sur les rondins des sections « M » avec une fréquence d'attaque de 27,31% et 27,55% respectivement.

Pour les Buprestidae, 6 espèces furent collectées représentant 22,19% des émergences, *Melanophila (Phaenops) marmottani* Fairmaire, 1868 a été échantillonnée sur 75,23% des rondins de la section « M » alors que la fréquence de ces attaques semble être sur les billons de la classe D<sub>50</sub> et D<sub>100</sub> avec 52,60% et 51,56% respectivement. *Anthaxia martini* Brisout, 1883 est la seconde espèce d'importance numérique affiche un taux d'attaque de 44,75% sur les billons de la section « M » et 39,93% sur les billons de la classe D<sub>50</sub>.

*Chrysobothris solieri* Laporte et Gory, 1839, *Acmaeodera (Acmaeotethya) degener* Scopoli, 1763, *Acmaeodera (Plaeotethya) bipunctata* Olivier, 1790 et *Anthaxia (Haplantaxia) umbellatarum* Fabricius, 1787 enregistrent des fréquences d'attaque allant de 25,46% à 43,91% sur les billons de la section « M » et de 22,42% à 41,49% des billons de la classe D<sub>100</sub>.

Les quatre espèces de Cerambycidae, *Trichoferus griseus* Frivaldsky, 1838, *Ergates faber* Linnaeus, 1760, *Callidium cedri* Peyerimhoff, 1918 et *Alocerus moesiacus* Frivaldsky, 1838 constituent 8,82% des émergences et affichent des FA allant de 22,69% à 30,56% sur les tronçons de la section « M » et de 15,63 à 25,00% sur la classe D<sub>100</sub>.

*Cis (Cisdygma) corioli* Peyerimhoff, 1915 est la seule espèce de la famille des Ciidae échantillonnée et représente 10,02% des émergences, cette espèce enregistre une FA de 71,99% sur les billons de la section « M » et de 55,90% à 59,38% respectivement sur les classes D<sub>100</sub> et D<sub>50</sub>. De même, la famille des Zopheridae (0,90% des émergences) est représentée par une seule espèce *Endophloeus marcovichianus* Piller, 1783, cette espèce affiche une FA maximale de 19,19% sur les rondins de la section « Br » et 15,37% sur la classe D<sub>100</sub>.

Finalement, *Urocerus augur* Klug, 1803 est la seule espèce non-coléoptère qui s'attaque au bois du cèdre de l'Atlas, cette espèce ne représente que 0,5% des capture enregistre une fréquence d'attaque de 7,87% sur les rondins de la section « M » et 5,03% sur ceux de la classe D<sub>100</sub>.

#### 2.4.1.2 Discussion

Les trois campagnes d'échantillonnage effectuées au niveau des cédraies de Chélia et de Ouled Yagoub ont permis de dénombrier 23 espèces xylophages dont 22 sont classés systématiquement dans l'ordre des coléoptères en plus d'une seule espèce appartenant à l'ordre des hyménoptères, la plupart de ces espèces ont été déjà cités lors de notre étude de magister en 2010 ou par TALBI (2010) au niveau de la cédraie de Belezma.

La présente étude a permis recenser deux espèces de Scolytinae : *Phloeosinus cedri* Brisout, 1883 et *Hylurgops bonvouloiri* Wood & Bright 1992, et une espèce d'Entiminae : *Brachyderes pubescens* Boheman, 1833. En plus, de la correction des lacunes rencontrées lors des études précités, notamment la rectification de l'espèce *Hylastes ater* (espèce s'attaquant aux racines des rosacées) comme étant *Hylastes batnensis* Brisout, 1883 et de l'espèce signalée étant *Scolytus amygdali* (scolytes des rosacées à noyau) qui n'est autres que *Scolytus numidicus* Brisout, 1883.

Concernant les Bupretidae, l'espèce du genre *Anthaxia* a été identifiées comme étant *A. martini*. De plus, 4 espèces furent recensées *Chrysobothris solieri*, *Acmaeodera degener*, *Acmaeodera bipunctata* et *Anthaxia umbellatarum*. Les espèces de la famille des Cerambycidae est actualisée par l'ajout de trois autres espèces *Trichoferus griseus*, *Callidium cedri* et *Ergates faber*.

La liste des ravageurs du cèdre de l'Atlas inclue une panoplie de bioagresseurs occupant différentes niches écologiques, les xylophages sont considérés comme étant le groupe le plus important vu la diversité de ces espèces, leurs dispersions et successions (LIEUTIER *et al.* 2016).

WARGO (1995), JOHNSON et MIYANISHI (2007), RAFFA *et al.* (2008) indiquent que les scolytes qui opèrent sur les conifères en région méditerranéenne démontrent un niveau élevé d'endémisme et de spéciation. Ils désignent *Crypturgus cedri*, *Phloeosinus cedri* et *Hylurgops bonvouloiri* comme étant des espèces monophages typiquement endémiques du cèdre de l'Atlas, alors que *Scolytus numidicus*, *Orthotomicus erosus* et *C. numidicus* sont évoqués comme étant des espèces polyphages s'attaquant aux résineux dans région méditerranéenne.

*Melanophila marmottani* et *Anthaxia martini* sont les principales espèces de la famille des Buprestidae originaires de la région atlanto-méditerranéenne. Ces espèces sont signalées sur plusieurs essences particulièrement les peuplements forestiers du genre *Abies*, *Cedrus* et *Cupressus* (THERY 1928, KOCHER 1969, FABRE *et al.* 1999, BENHALIMA 2004, MOUNA 2009, ILMEN et BENJELLOUN 2013, NICHANE et KHELIL 2017). Alors que Le Cerambycidae *Callidium cedri* et le Ciidae *Cisdygma corioli* sont signalés uniquement en Afrique du nord sur cèdre (DE PEYERIMHOFF 1915, VILLIERS 1946, BENHALIMA 2006, JELINEK 2008).

KROKENE (2015), LIEUTIER *et al.* (2016), indiquent que la plupart des xylophages de la région méditerranéenne sont des espèces secondaires, s'attaquant aux essences présentant des déficiences physiologiques ou au bois totalement mort comme étant des « recycleurs » de la matière organique. Cependant, plusieurs travaux entrepris au niveau des cédraies du Maghreb notamment ceux de THERY (1928), DE PEYRIMHOFF (1933), BALACHOWSKY (1949 ;1969), VILLIERS (1946), CHARARAS (1962), MOUNA *et al.* (1985), FABRE (1988), MOUNA et GRAF (1994), BENHALIMA (2004), MOUNA et FABRE (2005), BEGHAMI (2010) et TALBI (2010) attestent que les xylophages peuvent causés le dépérissement de facies entiers de forêts lors d'épisodes épidémiques ou dans des peuplements forestiers déjà fragiles.

D'ailleurs, la fréquence d'attaque élevée de la plupart des xylophages inventoriés incluant des arbres sains (D<sub>0</sub>) indique un état de faiblesse physiologique des peuplements forestiers prospectés. Cette déficience induit une altération des défenses naturelles des conifères, traduite par l'exsudation des composés terpénique (kairomones) attractifs de l'entomofaune xylophage. Sachant que la réussite des attaques des xylophages induits l'émission de la phéromone

d'agrégation commune surtout pour les scolytes (WOOD 1982, BYERS 2007, LIEUTIER et *al.* 2004, VEGA et HOFSTETTER 2015, PAINE et LIEUTIER 2016).

## 2.4.2 Variations temporelles des émergences

### 2.4.2.1 Résultats

L'étude des émergences moyennes (Tableau 6) démontre que les attaques des Scolytes prédominent, enregistrant ainsi les plus fortes émergences moyennes par billon durant toutes les campagnes d'échantillonnage. *C. numidicus* est de loin l'espèce la plus présente avec des moyennes d'émergence annuelles allant de 140 adultes/rondins à 258,12 adultes/rondins et un maximum d'émergence atteignant 281 adultes/ rondins, suivie par *S. numidicus* dont on a enregistré des émergences moyennes variant entre 60,37 et 173,37 adultes/année. Nous notons également que *H. batnensis* et *Phloeosinus cedri* enregistrent des émergences moyennes oscillant respectivement entre 68,25 et 102,62 adultes/rondins et 47,62 et 65,50%.

Pour les Buprestidae, *M. marmottani* et *A. martini* semblent être les plus actifs avec des émergences moyennes allant de 66,50 à 91 imagos/ rondin pour la première et de 30,75 à 41,62 pour la seconde. *Cisdygma corioli* est la seule espèce de la famille des Ciidae à affichée des émergences moyennes allant de 76 à 125,35 adultes par rondin.

L'analyse de la variance des moyennes des émergences durant les 3 campagnes d'échantillonnage indique que les xylophages en général et plus particulièrement les Scolytidae ont été plus agressifs lors de la campagne 2016 où le maximum des émergences a été enregistré pour *C. numidicus*, *S. numidicus* et *H. batnensis* avec des moyennes allant de 102,62 258,12 adultes/ rondins.

Par ailleurs, les résultats obtenus indiquent *P. cedri* fut échantillonnée le plus durant la campagne 2013 avec une moyenne de 65,50 imagos/rondin alors que les campagnes de 2010 et 2016 indiquent des moyennes allant de 47,62 à 49,37 adultes/rondins.

**Tableau 6.** Variation des émergences moyennes par rondin des xylophages associés au cèdre de l'Atlas en fonction des années d'échantillonnage.

Espèces	2010	2013	2016
<i>Hylastes batnensis</i>	68,25 ± 48,40 <b>b</b>	76,25 ± 19,65 <b>b</b>	102,62 ± 16,10 <b>a</b>
<i>Cryphalus numidicus</i>	140,78 ± 43,70 <b>c</b>	214,25 ± 25,68 <b>b</b>	258,12 ± 21,71 <b>a</b>
<i>Scolytus numidicus</i>	117,12 ± 30,52 <b>b</b>	60,37 ± 03,99 <b>c</b>	172,37 ± 08,24 <b>a</b>
<i>Crypturgus cedri</i>	29,62 ± 08,89 <b>c</b>	41,75 ± 08,32 <b>b</b>	50,75 ± 07,47 <b>a</b>
<i>Xyleborus dryographus</i>	30,00 ± 11,26 <b>a</b>	12,50 ± 02,07 <b>b</b>	26,62 ± 05,31 <b>a</b>
<i>Orthotomicus erosus</i>	18,50 ± 05,90 <b>a</b>	18,44 ± 03,81 <b>a</b>	18,55 ± 03,25 <b>a</b>
<i>Phloeosinus cedri</i>	47,62 ± 09,11 <b>b</b>	65,50 ± 09,33 <b>a</b>	49,37 ± 11,07 <b>b</b>
<i>Hylurgops bonvouloiri</i>	10,87 ± 03,79 <b>b</b>	15,25 ± 05,11 <b>ab</b>	19,62 ± 03,89 <b>a</b>
<i>Brachyderes pubescens</i>	08,12 ± 03,52 <b>b</b>	14,37 ± 03,37 <b>a</b>	16,37 ± 05,42 <b>a</b>
<i>Pachyrhinus raffrayi</i>	11,75 ± 03,65 <b>a</b>	16,12 ± 05,48 <b>a</b>	16,12 ± 06,33 <b>a</b>
<i>Melanophila marmottani</i>	91,00 ± 29,95 <b>a</b>	66,50 ± 27,34 <b>a</b>	86,37 ± 31,75 <b>a</b>
<i>Chrysobothris solieri</i>	17,52 ± 04,26 <b>a</b>	16,37 ± 02,61 <b>a</b>	21,62 ± 09,60 <b>a</b>
<i>Acmaeodera degener</i>	15,62 ± 02,77 <b>a</b>	17,12 ± 02,94 <b>a</b>	21,25 ± 08,11 <b>a</b>
<i>Acmaeodera bipunctata</i>	18,00 ± 08,94 <b>a</b>	13,00 ± 04,44 <b>a</b>	16,12 ± 04,85 <b>a</b>
<i>Anthaxia martini</i>	39,62 ± 18,68 <b>a</b>	30,75 ± 20,17 <b>a</b>	41,62 ± 16,07 <b>a</b>
<i>Anthaxia umbellatarum</i>	27,87 ± 08,70 <b>a</b>	25,37 ± 06,52 <b>a</b>	21,37 ± 04,27 <b>a</b>
<i>Trichoferus griseus</i>	12,00 ± 08,91 <b>b</b>	14,25 ± 05,31 <b>b</b>	23,87 ± 05,31 <b>a</b>
<i>Ergates faber</i>	07,75 ± 03,05 <b>b</b>	09,25 ± 03,10 <b>b</b>	24,12 ± 04,99 <b>a</b>
<i>Alocerus moesiacus</i>	10,12 ± 05,35 <b>b</b>	19,12 ± 04,45 <b>a</b>	11,10 ± 01,24 <b>b</b>
<i>Callidium cedri</i>	10,25 ± 03,49 <b>b</b>	18,75 ± 05,77 <b>a</b>	23,00 ± 10,05 <b>a</b>
<i>Cisdygma corioli</i>	96,50 ± 42,35 <b>b</b>	76,00 ± 13,65 <b>b</b>	125,37 ± 13,07 <b>a</b>
<i>Endophloeus marcovichiamus</i>	08,37 ± 01,06 <b>a</b>	05,00 ± 02,32 <b>b</b>	09,87 ± 02,90 <b>a</b>
<i>Urocerus augur</i>	05,81 ± 03,35 <b>a</b>	01,81 ± 01,72 <b>b</b>	03,25 ± 01,83 <b>b</b>

Les valeurs représentent la moyenne ± l'écart-type, les lettres en gras dans les mêmes lignes désignent les classes de moyennes après test LSD de Fisher au seuil de 5%.

#### 2.4.2.2 Discussion

Les résultats obtenus indiquent que les scolytes prédominent les émergences des xylophages observés durant les trois campagnes d'échantillonnage en représentant de 57,25% à 64,22% de l'effectif moyen émergeant. Les xylophages *H. batnensis*, *C. numidicus*, *S. numidicus*, *C. cedri*, *X. dryographus* et *O. erosus* semblent être significativement plus actives au cours de la campagne 2016 alors que *P. cedri* est plus active en 2013.

L'observation des émergences des espèces de buprestes ne montre pas de différence significative entre les émergences moyennes durant les trois campagnes d'échantillonnage. Par contre, les cérambycidés *T. griseus*, *E. faber*, *A. moesiacus*, *Callidium cedri* en plus de Ciide *Cisdygma corioli* affichent des émergences significativement plus importantes au cours de l'année 2016.

L'étude de BENHALIMA (2004) indique que les scolytes et plus particulièrement *C. numidicus*, *Scolytus picea numidicus* et *P. cedri* ainsi que les buprestes *Anthaxia chobauti*, *A. marmottani* et *A. ludovicae* sont les plus récoltés dans les cédraies de Ras El Ma et Aguelmane Sidi Ali au Maroc. TALBI (2010) indique une prédominance des scolytes précités dans les cédraies de Thouggar et Boumerzoug au Belezma.

Les variations spatiotemporelles des effectifs de xylophages sont sous contrôle combiné de la réussite des attaques (sur l'hôte) et du potentielle de reproduction (du bioagresseur) de chaque espèce, tout cela est régit par une multitude de facteurs biotiques et abiotiques.

Le stress hydrique<sup>3</sup> surtout en période de besoins physiologique induit des milieux favorables au développement des insecte par altérations des mécanismes de défense naturels des essences forestière, augmente la résistance des insectes les rendant plus aptes à détoxifier les composés défensifs des végétaux, en plus de la création de conditions favorables à la stimulation des organismes symbiotiques, et l'expression des caractéristiques génétiques optimales des insectes qui favorisent le développement de la population d'insectes (VITE´ 1961, RUDINSKY1966, REID et al. 1967, SMITH 1975, HODGES et al. 1979, NEBEKERET al. 1995, STROM et al. 2002, NEGRON et al. 2008).

Ces informations corroborent avec les relevées thermiques de l'année 2016 ou les précipitations furent normales alors que les températures (surtout estivales) été largement au-dessus de la moyenne (annexe 2).

Les conditions stationnaires et notamment sylvicoles et anthropozoogènes des peuplements forestiers influent sur l'activité des xylophages en offrant des niches favorables à la multiplication et à la dispersion des insectes (HEDDEN 1981, FETTIG et al. 2007). L'absence de gestion sylvicole et particulièrement du bois entreposé issu des coupes d'assainissement réalisées de 2014 à 2016 au niveau des cédraies des Aurès (CFA 2018) peuvent éventuellement expliquer les attaques de 2016.

---

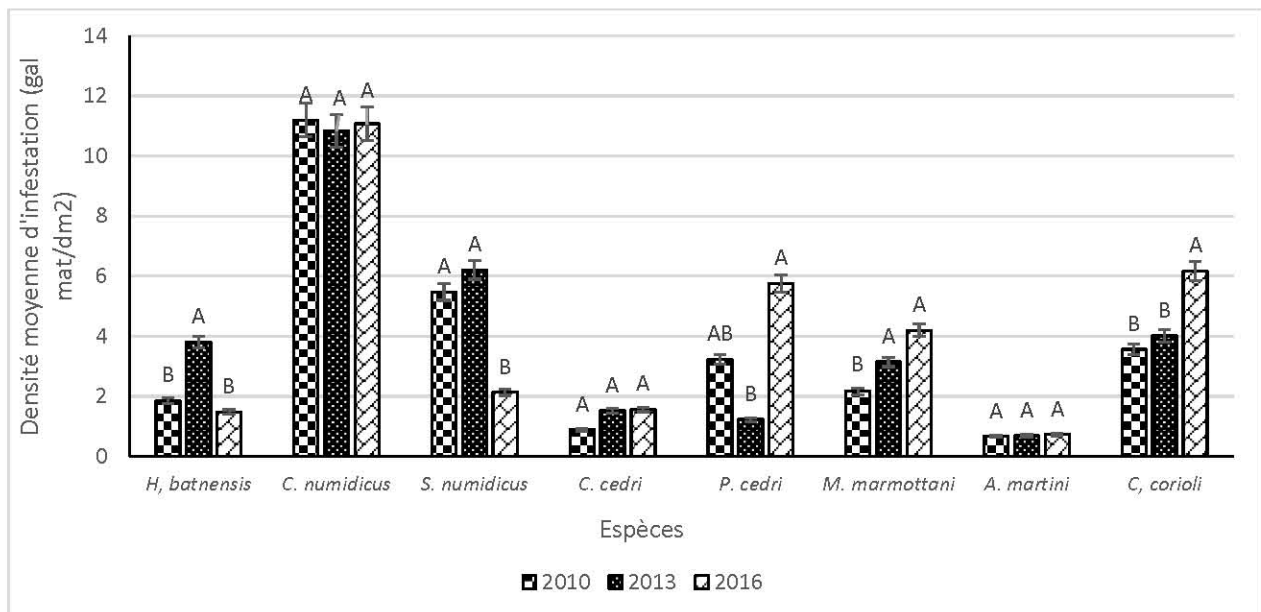
<sup>3</sup> Désigne ici l'effet de la sécheresse exprimé en intensité et en sévérité.

### 2.4.3 Densité des attaques des principales espèces xylophages

#### 2.4.3.1 Résultats

Pour ce paramètre 5 espèces de scolytes (*H. batnensis*, *C. numidicus*, *S. numidicus*, *C. cedri* et *P. cedri*), deux espèces de buprestes (*M. marmottani* et *A. martini*) ainsi que le Ciides *C. corioli* furent étudiées vu la facilité de reconnaissance des trous de sorties des adultes et des galeries maternelles et/ou larvaires ainsi que l'importance des émergences des adultes.

Les résultats relatifs aux densités des d'infestations (Figure 14) indiquent que les scolytes excavent près de 83% des galeries inventoriées, le maximum des densités est enregistré pour *C. numidicus* en 2010 avec une moyenne de 11.19 galeries/dm<sup>2</sup> alors que *M. marmottani* affiche une densité maximale de 4,2 galeries/dm<sup>2</sup> au cours de l'année 2016. Enfin pour *C. corioli* la densité moyenne maximale est de 6.17 galeries/dm<sup>2</sup> enregistrée lors de la campagne de 2016.



**Figure 14.** Densité moyennes d'infestation des principales espèces xylophages du cèdre de l'Atlas durant les trois campagnes d'échantillonnage. Les lettres sont issues de la classification des moyennes suite au test LSD de Fisher.

L'étude de la variance des densités d'attaques en fonction des campagnes d'échantillonnage indique une variation significative entre les résultats de la campagne 2016 d'une part et celles de 2010 et de 2013 d'autre part pour *P. cedri*, *M. marmottani* et *C. corioli*. Notons que *S. numidicus*

et *H. batniensis* semblent être plus agressives en 2013. Les densités d'attaques de *C. numidicus* et *A. martini* semblent être stables tout au long des trois campagnes d'échantillonnage.

L'analyse approfondie des densités d'attaques en fonction des stations d'échantillonnage (Tableau 1- annexe 3) indique des différences significatives entre les stations 1,2,3,4 et 5 (cédraies de Chelia) d'une part et les stations 6,7 et 8 (mont de Ouled Yagoub) d'autre part. En effet, les scolytes affichent le maximum des émergences au niveau des cédraies du mont Chelia ou *H. batniensis*, *S. numidicus* et *P. cedri* enregistrent des maximum d'attaque au niveau de la station 3 respectivement avec 3,68 , 5,13 et 4,52 galeries/dm<sup>2</sup> alors que *C. numidicus* et *C. cedri* ont été plus agressives au niveau des stations 4 (12,03 galeries maternelles/dm<sup>2</sup>) et la station 1 (1,78 galeries maternelles/dm<sup>2</sup>).

En revanche, les densités d'attaques maximales des buprestes furent enregistrées au niveau des stations 7 et 8 sis au niveau des cédraies des Ouled Yagoub dont on a enregistré respectivement des densités moyennes d'infestations de 5,47 et 1,25 galeries maternelles/dm<sup>2</sup>.

#### 2.4.3.2 Discussion

L'analyse des résultats indiquent que les densités moyennes d'infestation suivent logiquement l'activité des émergences des xylophages. Le nombre moyen de galeries maternelles de *C. numidicus* est incontestablement le plus importants au cours des 3 campagnes d'échantillonnage, suivie respectivement de *S. numidicus*, *P. cedri*, *C. corioli*, *H. batniensis* et *M. marmottani*.

Ces données vont dans le même sens que ceux de FABRE et *al.* (1999), BENHALIMA (2004), MOUNA (2009), BEGHAMI (2010) et TALBI (2010), qui attestent que *C. numidicus*, *S. numidicus*, *A. martini* et *M. marmottani* sont considérées comme étant les espèces les plus actives sur cèdre de l'Atlas.

En outre, FABRE et *al.* (1999) qualifient *C. numidicus* comme étant un xylophage primaire, extrêmement redoutable dans les cédraies du Maroc du fait de son fort potentiel de reproduction et de sa capacité d'attaquer des arbres jeunes ou âgés en pleine sève. Benhalima (2004) indique une densité d'attaque moyenne de 22000 galeries/m<sup>2</sup> de cette espèce au niveau des cédraies du Haut Atlas et du Rif. BEGHAMI (2010), annonce une moyenne de 18 140 galeries/m<sup>2</sup> (soit 181,40 galeries/dm<sup>2</sup>), de plus cette espèce possède un large spectre trophique, elle est signalée sur *Abies pinaspo*, *A. numidica*, *A. bornülleriana*, *A. veitchii*, *Pinus halepensis*). *P. brutia*, *P. nigra*



*mauretana*, *Pityokteines curvidens* (DODELIN, 2006, YILDIZ et al., 2007, PODLASKI et BORKOWSKI, 2009, JANKOWIAK et KOLARIK, 2009).

*S. numidicus*, espèce monophage et monogame a été signalée par DE PEYERIMHOFF (1919), au niveau des cédraies de Djurjura, Thniet el Had, de Belezma et des Aurès. L'espèce est signalée au Maroc comme espèce de faiblesse et s'attaque aux arbres en état de faiblesse physiologique avancée Benhalima (2004). L'espèce *H. batniensis* a été signalée par DE PEYERIMHOFF (1915) dans la région des Aurès comme étant active particulièrement sur les sujets dépérissant ou nouvellement morts.

L'espèce *P. cedri* est une espèce monophage signalée dans les cédraies marocaines (Haut Atlas et Rif) comme étant une espèce secondaire mais seule espèce capable de s'attaquer au cèdre de l'Atlas en pleine sève, la densité moyenne d'attaque est estimée entre 30 et 35 galeries/dm<sup>2</sup> (BENHALIMA 2004, MOUNA et AVCI 2018).

Les Bupretidae *M. marmottani* et *A. martini* sont des espèces communes signalées sur toutes les classes de dépérissement au niveau des cédraies algériennes et marocaines. Benhalima (2004), MOUNA (2009), GHAIIOULE et LIEUTIER (2009), MOUNA et AVCI (2018), indiquent que *M. marmottani* est actuellement un agent très actif induisant le dépérissement de la cédraie au Maroc. Son activité serait boostée par changements climatiques qui diminuent les mortalités naturelles et favorise le développement des larves.

Le Ciidae *C. corioli* est une espèce xylomycophage présente dans le bois mort des cédraies des Aurès ou la densité d'attaque a été estimée à 0,54 galeries/ rondin.

Les résultats que nous avons obtenus sont largement inférieurs aux chiffres avancés pour les espèces primaires. En Aquitaine (France), PINEAU et al. (2017) avancent pour *Ips sexdentatus* sur pin maritime une densité d'infestation comprise entre 0 et 160 galeries/m<sup>2</sup> pour une moyenne de 14 galeries/m<sup>2</sup> sur les sujets vivants et entre 75 et 343 chambres nuptiales/m<sup>2</sup> pour une densité de colonisation 227 to 1156 galeries maternelles/m<sup>2</sup>.

*Ips acuminatus* et *Tomicus piniperda* sur *Pinus sylvestris* affichent respectivement des densités moyennes d'infestation de 850 galeries/m<sup>2</sup> et 400 galeries/m<sup>2</sup> (LÅNGSTRÖM et al. 1992, GUERARD et al. 2000). Alors que sur *Picea abies*, le scolyte *Ips typographus* induit des densités d'infestation comprises entre 120 et 200 galeries/m<sup>2</sup>, *Dendroctonus ponderosae* sur *Pinus*

*contorta* produit 40 galeries/m<sup>2</sup> alors que *Tomicus yunnanensis* sur *Pinus yunnanensis* engendre approximativement 80 galeries/m<sup>2</sup>) (RAFFA et BERRYMAN 1983, CHRISTIANSEN 1985, LIEUTIER et al. 2003).

La détermination de la densité d'infestation des espèces xylophage est un paramètre très important lors de la mise en place des plans de gestion sanitaires en écosystème forestier, en effet ce paramètre donne une idée précise sur la dynamique des populations des xylophages en fixant des seuils à partir des quels ces insectes (qualifiés de secondaires) prennent un comportement d'espèces agressives considéré comme primaires (RAFFA et BERRYMAN 1983, PINEAU et al. 2017).

*S. numidicus*, *C. cedri* et *P.cedri* semblent être des espèces hâtives ce qui démontre la sévérité de leurs attaques (BENHALIMA 2004, B EGHAMI 2010) leurs attaques massives et synchrones s'expliquent probablement par une réponse positive aux phéromones d'agrégation.

En effet, les phéromones d'agrégation (considérées comme des sémiouchimiques intraspécifiques) émises par les xylophages -notamment les scolytes- jouent un rôle primordial dans la dynamique d'attaque des xylophages en augmentant la densité des attaques (PAINE et LIEUTIER 2016).

La densité élevée des attaques des principales espèces en 2016 peut être attribuée à plusieurs facteurs, à savoir l'activité des auxiliaires, la synchronisation des attaques avec les stades phénologiques (de la plante hôte), les conditions climatiques propices aux attaques des xylophages, l'acquisition et l'inoculation de taxons fongiques symbiotiques (voir chapitre 4) ainsi que les compétitions trophiques (en période d'alimentation de maturation) exercées par les autres espèces de xylophages (RAFFA et BERRYMAN 1983, REEVE 1997, PAINE et LIEUTIER 2016).

#### **2.4.4 Taux d'infestation des espèces xylophages majeures**

##### **2.4.4.1 Résultats**

Afin d'estimer les dégâts occasionnés par les espèces xylophages en particulier les espèces hâtives *C. numidicus*, *S. numidicus*, *M. marmottani* et *C. corioli*, nous nous sommes appuyés sur les résultats de leur taux d'infestation.

**Tableau 7.** Surface cambiale infestée par les trois principales espèces xylophages associées au cèdre de l'Atlas durant les trois campagnes d'échantillonnage.

Espèce	2010		2013		2016	
	Da (dm <sup>2</sup> )	Ta (%)	Da (dm <sup>2</sup> )	Ta (%)	Da (dm <sup>2</sup> )	Ta (%)
<i>C. numidicus</i>	19,97 ± 01,32 A	47,53	14,96 ± 01,32 A	35,59	12,89 ± 01,49 A	30,67
<i>S. numidicus</i>	00,79 ± 00,03 B	01,88	00,86 ± 00,02 C	02,04	00,82 ± 00,02 AB	01,95
<i>M. marmottani</i>	00,46 ± 00,06 B	01,09	00,53 ± 00,04 C	01,25	01,42 ± 00,07 B	03,38
<i>C. corioli</i>	00,75 ± 00,63 B	14,87	00,88 ± 00,34 B	08,60	00,35 ± 00,10 B	02,62

Les valeurs représentent la moyenne ± l'écart-type, les lettres en gras dans les mêmes colonnes désignent les classes de moyennes après test de LSD de Fisher au seuil de 5%.

Les résultats démontrent la nocuité de l'espèce *C. numidicus* durant les trois campagnes d'échantillonnage avec une surface moyenne infestée allant de 12,89 à 19,97dm<sup>2</sup> représentant entre 30,67% à 47,53% de la surface totale des billons échantillonnés.

La surface moyenne des galeries de l'espèce *C. corioli* varie entre 0,35 et 14,87dm<sup>2</sup> ce qui représente entre 2,62% et 14,87% de la surface moyenne des rondins échantillonnés, alors que *M. marmottani* et *S. numidicus* infestent de 0,46dm<sup>2</sup> (1,09% de la surface moyenne des rondins) à 1,42dm<sup>2</sup> soit 3,38% de la surface des billons.

La lecture minutieuse de ces résultats (Tableau 2-annexe 3) indique que la superficie infestée par *C. numidicus* passe d'un minimum de 1,06dm<sup>2</sup> enregistré en 2013 sur les rondins de la classe D<sub>0</sub> à 34,54dm<sup>2</sup> enregistrée sur les rondins de la classe D<sub>100</sub> en 2010. Les rondins de la classes D<sub>50</sub> sont plus attaqués par *S. numidicus* et *M. marmottani* avec des maximums de 1,63 dm<sup>2</sup> et 1,24dm<sup>2</sup> respectivement, alors que les rondins de la classe D<sub>100</sub> sont plus infestés que les autres classes par *C. corioli* avec un maximum de 2,44dm<sup>2</sup>.

#### 2.4.4.2 Discussion

Les quatre espèces xylophages s'attaquant à la strate sous-corticale et cambiale du cèdre de l'Atlas en imprégnant légèrement l'aubier, détruisent les vaisseaux conducteurs de sève brute et entravent par conséquent la circulation des photosynthétats provoquant des réactions physiologiques en chaîne ce qui induit ainsi le dépérissement de l'essence attaquée.

Les résultats obtenus indiquent que l'activité trophique de *C. numidicus* induit la perte de 30,67% à 47,53% de l'assise sous corticale des cèdres. Au Maroc, cette espèce induit une perte de 70% de la strate cambiale des arbres sains ; entre 5% et 35% pour les arbres en dépérissement et près 45% pour les cèdres dépéris (BENHALIMA 2004).

La même étude indique des taux d'infestation compris entre 1 et 16% pour *S. numidicus* est entre 1 et 2% pour *M. marmottani* alors que *A. chaubotti* induit des pertes moyenne estimées à 19,5%.

En Algérie, la surface attaquée par *C. numidicus* est de 46,15% au niveau des cédraies de Belezma et de 63,66% pour les cédraies des Aurès. *M. marmottani* infeste 42,30% de la strate sous corticale des cèdres au Belezma alors que les cédraies des Aurès affichent une moyenne d'infestation de 10,80. Pour l'espèce *C. corioli* une moyenne maximale d'infestation de 7,25% est renregistrée au niveau de la cédraie des Aurès (BEGHAMI 2010, TALBI 2010).

La réussite d'attaque des xylophages sur une essence implique la neutralisation de ces défenses naturelles. Chaque attaque individuelle induit une zone de réaction dans le phloème, caractérisée par une accumulation de composés défensifs. La réaction de l'arbre représente une dépense énergétique importante. L'émission par les xylophages des phéromones d'agrégation induit des attaques massives qui épuisent énergétiquement l'arbre et rendent propice l'installation et la multiplication de ces insectes (LIEUTIER 2004, MEDDENS et al. 2012, BOONE et al. 2011, PINEAU et al. 2017).

Cependant, en épisodes épidémiques une corrélations négative entre la fécondité des femelles et la densité des attaques a été noté. ZHANG et al. (1992), indiquent que la fécondité du scolyte *Ips cembrae* diminue avec l'augmentation de la densité des attaques, ANDERBRANT et al. (1985) donnent une densité maximale de 90 galeries/dm<sup>2</sup> à partir de laquelle les surfaces infestées -et donc le nombre de galeries larvaires- commencent à diminuer exponentiellement pour *Ips typographus* sur Epicéa de Norvège.

En plus de ce qui a été avancé, le taux d'attaque optimale enregistré en 2010 pour *C. numidicus* et *S. numidicus* en dépit d'une densité d'infestation maximale en 2016 peut être attribué à l'action régulatrice des auxiliaires (voir chapitre 3) notamment *Nemosoma breviatum*, *Temnochila coerulea*, *Calodromius bifasciatus*, *Syntomus fuscomaculatus* et *Aulacus striatus*.

## 2.4.5 Stratification des xylophages du cèdre de l'Atlas

## 2.4.5.1 Résultats

Les résultats obtenus lors de la présente étude attestent l'existence d'une relation entre la dispersion verticale des principales espèces xylophages et l'effet combinée des classes de dépérissement et les sections de hauteurs (Tableau 8).

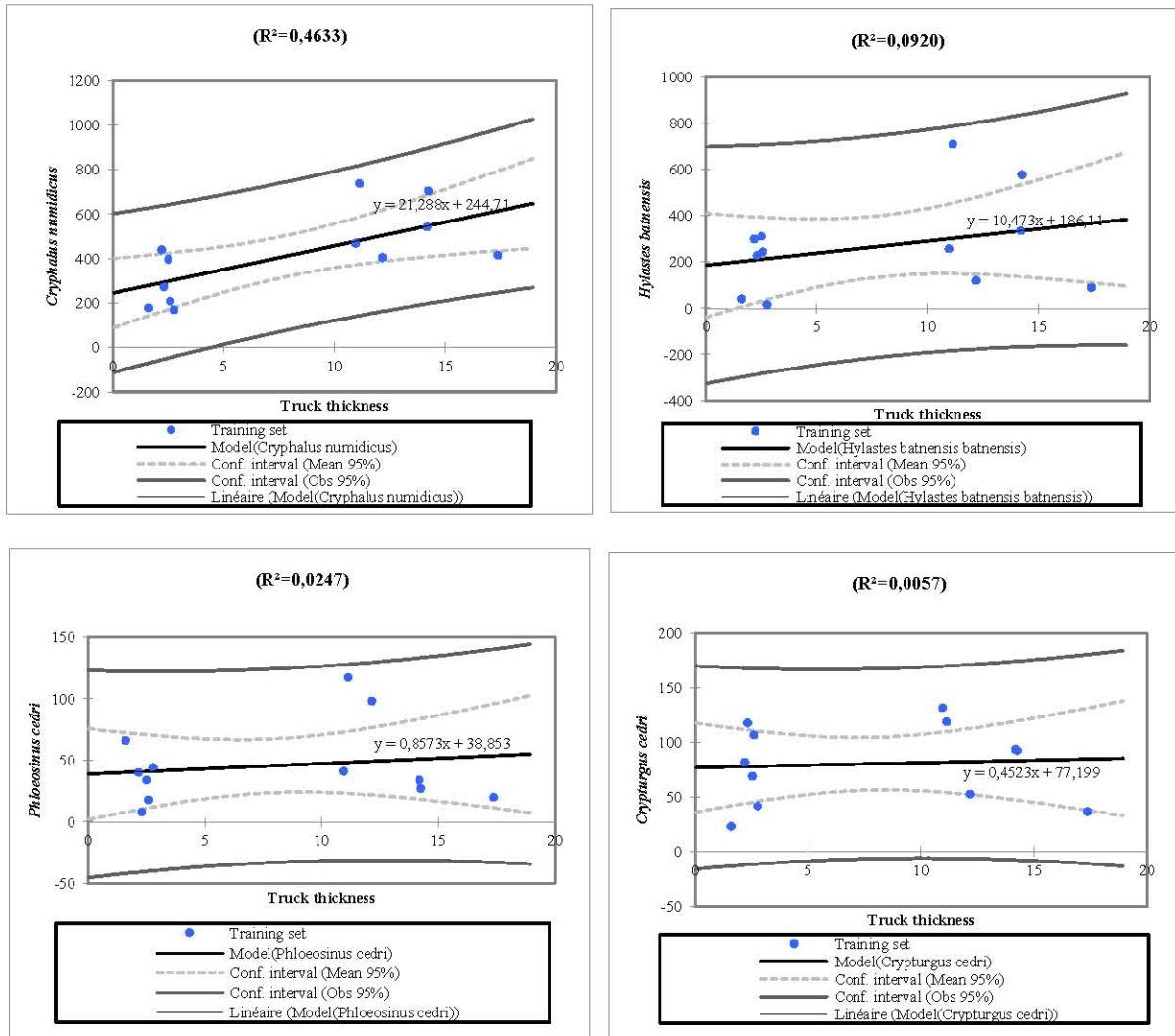
**Tableau 8.** Phi de cramer obtenus après le test  $\chi^2$  sur tableau de contingence indiquant l'affinité des émergences des adultes des principales espèces de xylophages selon les sections de hauteur et de classes de déclin.

		Base	Mid	Crown	Branches
<i>C. numidicus</i>	D <sub>0</sub>	0,2502	0,2519	0,2283	0,1925
	D <sub>50</sub>	<b>0,4239</b>	<b>0,4572</b>	<b>0,5064</b>	<b>0,4983</b>
	D <sub>100</sub>	0,3259	0,2909	0,2653	0,3092
<i>S. numidicus</i>	D <sub>0</sub>	0,1331	0,2212	0,0913	0,2469
	D <sub>50</sub>	<b>0,4886</b>	<b>0,4712</b>	<b>0,4544</b>	<b>0,4002</b>
	D <sub>100</sub>	0,3783	0,3075	<b>0,4544</b>	0,3529
<i>C. cedri</i>	D <sub>0</sub>	0,1652	0,1743	0,1156	0,1736
	D <sub>50</sub>	<b>0,4152</b>	0,3914	0,3467	0,3388
	D <sub>100</sub>	<b>0,4196</b>	<b>0,4342</b>	<b>0,5377</b>	<b>0,4876</b>
<i>P. Cedri</i>	D <sub>0</sub>	0,2469	0,3828	<b>0,5593</b>	<b>0,4783</b>
	D <sub>50</sub>	0,3333	<b>0,4570</b>	0,2881	<b>0,4348</b>
	D <sub>100</sub>	0,4198	0,1602	0,1525	0,0870
<i>M. marmottani</i>	D <sub>0</sub>	0,1637	0,2370	0,0580	0,1583
	D <sub>50</sub>	<b>0,4720</b>	<b>0,4351</b>	0,4106	<b>0,4222</b>
	D <sub>100</sub>	0,3643	0,3279	<b>0,5314</b>	0,4195
<i>A. Martini</i>	D <sub>0</sub>	0,2394	0,2744	0,1625	0,1975
	D <sub>50</sub>	<b>0,4970</b>	<b>0,4543</b>	<b>0,6125</b>	<b>0,5987</b>
	D <sub>100</sub>	0,2636	0,2713	0,2250	0,2038
<i>Callidium cedri</i>	D <sub>0</sub>	0,1227	0,1948	0,0000	0,0000
	D <sub>50</sub>	<b>0,4356</b>	<b>0,4610</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,9231</b>
	D <sub>100</sub>	0,4417	0,3442	0,0000	0,0769
<i>C. corioli</i>	D <sub>0</sub>	0,0477	0,0501	0,0938	0,0478
	D <sub>50</sub>	0,3196	0,3630	0,4188	0,4071
	D <sub>100</sub>	<b>0,6328</b>	<b>0,5869</b>	<b>0,4875</b>	<b>0,5451</b>

Nous observons que *C. numidicus*, *S. numidicus*, *A. Martini* et *Callidium cedri* s'attaquent préférentiellement aux parties médianes des arbres de la Classe D<sub>50</sub>, nous enregistrons

respectivement un Phi de Cramer optimal de 0,50 sur cimes pour *C. numidicus* et 0,48 sur les bases pour *S. numidicus*, et entre 0,63 et 1 sur les rondins sommitaux respectivement pour *A. Martini* et *Callidium cedri*.

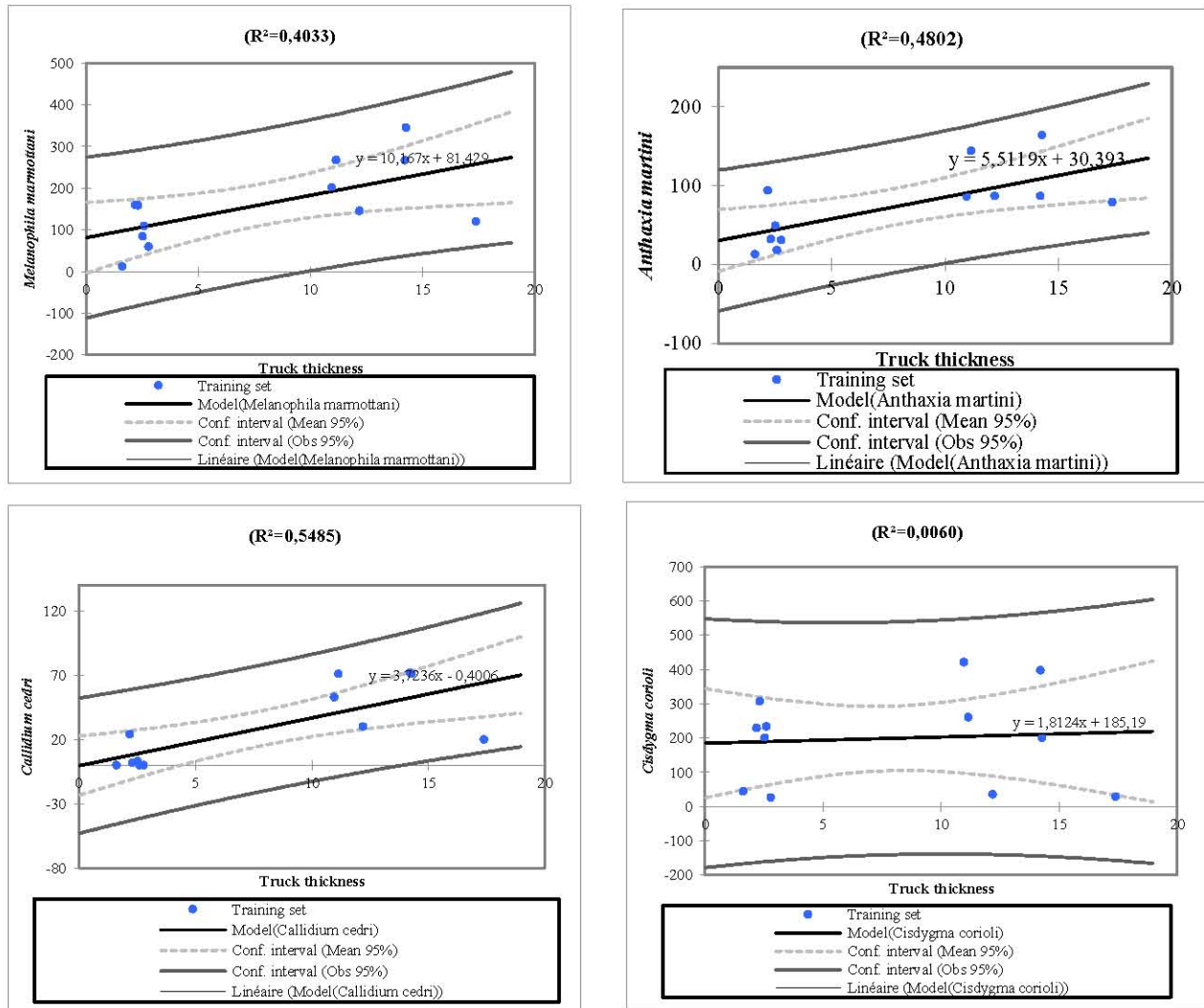
*C. corioli* semblent avoir une affinité pour des sujets de la classe D<sub>100</sub> ou le maximum d'affinité est observé sur les rondins des sections basales. Alors que *P. cedri* a une affinité pour les parties sommitales et les branches des pieds du cèdre de l'Atlas de la classe D<sub>0</sub>.



**Figure 15.** Corrélation entre la densité des attaques des principales espèces de scolytes est l'épaisseur de l'écorce du cèdre de l'Atlas.

De plus, à l'issus des prospections entreprises lors de la présente étude, une corrélation positive est observée entre l'épaisseur de l'écorce du cèdre de l'Atlas et l'émergence des adultes

de *C. numidicus*, *M. marmottani*, *A. martini* et *Callidium cedri* qui enregistrent respectivement des coefficients de corrélation de 0,68 ; 0,63 ; 0,69 et 0,73 (Figures 15-16).



**Figure 16.** Corrélation entre la densité des attaques des principales espèces de Buprestes, Cérambycidés et Ciides est l'épaisseur de l'écorce du cèdre de l'Atlas.

Les espèces *H. batniensis*, *P. cedri* et *C. corioli* montre une indifférence vis-à-vis de l'épaisseur de l'écorce. Elles affichant des coefficients de corrélation de 0,3, 0,7 et 0,07 respectivement, *S numidicus* affiche une légère tendance négative vis-à-vis de l'épaisseur de l'écorce avec un coefficient de corrélation estimé à -0,01.

### 2.4.5.2 Discussion

Il est constaté dans la présente étude que les xylophages adoptent un préférendum d'attaque induisant une stratification verticale et horizontale sélective propre à chaque espèce. En effet les données recueillies sur l'écologie des xylophages indiquent une spécificité trophique sélective envers les différents tissus de leurs hôtes, induisant une distribution spatiale caractéristique de chaque insecte sur les espèces attaquées (LIEUTIER 2007, PAINE et LIEUTIER 2016).

Même si la majorité de ces taxons se développent sur les tissus hôtes d'arbres morts ou récemment blessés qui présentent un faible taux d'humidité, certains taxons tuent régulièrement des arbres sains fortement défendus au moyen d'attaques massives (WOOD 1982, PAINE et al. 1997).

Dans le même contexte, BENHALIMA (2004), ainsi que M'HIRIT (2008) indiquent qu'au niveau des cédraies marocaines, l'espèce *C. numidicus*, *S. numidicus*, *M. marmottani*, *C. cedri* et *Callidium cedri* s'attaquent au cèdre de l'Atlas indifféremment de l'état du bois surtout au niveau des parties basales, intermédiaires et sommitales. Par contre *P. cedri* et *A. martini* sont des espèces plus exigeantes, s'installent sur des arbres en pleine sève ou en début de déficience physiologique et s'attaquent aux branches et/ou aux parties médianes.

De plus, les études conduites en Algérie au niveau des cédraies de Belezma et des Aurès, (BEGHAMI 2010, TALBI 2010) indiquent que l'espèce *C. numidicus* est commune sur les sections basales et intermédiaires de toutes les classes de dépérissement. *S. numidicus* et *C. cedri* infestent la quasi-totalité des sections de hauteur des arbres en dépérissement ou dépéries. *P. cedri* affecte les parties sommitales des arbres faiblement dépéries. Enfin, *C. corioli* attaque préférentiellement la même classe de hauteur, par contre s'installe sur les arbres dépéris.

Concernant l'influence de l'écorce sur la distribution horizontale des xylophages, il a été constaté des corrélations positives entre les attaques des espèces *C. numidicus*, *M. marmottani*, *A. martini* et *Callidium cedri* avec l'épaisseur de l'écorce du cèdre de l'Atlas ; alors que les attaques de *H. batniensis*, *P. cedri*, *C. cedri*, et *C. corioli* semblent être indifférentes à ce paramètre.

Selon CHARARAS (1962) La plupart des xylophages effectuent leurs nutritons dans le liber riche en glucides (glucose, saccharose, fructose, raffinose). Les larves quant à elles métabolisent l'amidon qui est largement utilisé ainsi que divers glucides complexes (arabanes, galactanes ou glucomannanes) qui sont hydrolysés par les enzymes digestives ou par les organismes



symbiotiques. Elles peuvent absorber la cellulose qui ne peut être assimilée qu'en très faible partie, alors que la lignine n'est pas digérée,

La nutrition des adultes effectue généralement dans le liber des troncs ou au niveau des bourgeons, qui leur fournissent les constituants énergétiques quantitativement et qualitativement (surtout en matière d'acide aminées et acides gras) ce qui implique pour l'insecte le maintien d'une balance positive entre l'énergie acquise par rapport à l'énergie dépensé lors de la recherche de la niche propice pour la multiplication. (CHARARAS 1962, MARTIN *et al.* 2004, FACCOLI *et al.* 2005).

La distribution spatiale des xylophages sur une essence forestière peut être régie par un thermopréférendum bien marqué. CHARARAS (1962) indique par exemple que la nutrition optimale de l'espèce *Scolytus scolytus* s'observe à une température supérieure à 18°C. L'activité nutritionnelle n'est inhibée qu'aux alentours de 3° C. ou au-delà de 39°C ou il est observé des mouvements désordonnés et une diminution frappante de l'appétence, qui précèdent et annoncent l'arrêt complet de la nutrition.

Les caractéristiques physicochimiques des écorces en l'occurrence son épaisseur, dureté et richesse en cires amorphes constituent une barrière aux flux de signaux chimiques induisent une orientation des xylophages vers les parties sommitale ou l'écorce est fine et plus perméable (FACCOLI *et al.* 2005).

Enfin, Les relations interspécifiques entre les xylophages est un paramètre très important de distribution spatiale qui induit soit la création des affinités (exemple de *P. cedri* et *A. martini*) soit des compétition (*S. numidicus* et *M. marmottani*) (BENHALIMA 2004).

## 2.4.6 Successions des attaques des xylophages

### 2.4.6.1 Résultats

Les douze sorties sur terrain ont permis de collecter un total de 428 spécimens classés taxonomiquement en 13 espèces (Tableau 9). La lecture des résultats révèle que *P. cedri* est la première espèce qui s'installe sur les billons de la classe D<sub>0</sub>. Les premières espèces furent enregistrées sur les billons mis en éclosiers de terrain après 2 mois d'exposition. L'activité de cette espèce se prolonge sur les rondins dépéris jusqu'au 20<sup>ème</sup> mois après la coupe.

L'infestation s'est poursuivie par *C. numidicus* observée dès le 6<sup>ème</sup> mois alors que l'installation de *M. marmottani* et *A. martini* n'a été signalée qu'après le 8<sup>ème</sup> mois sur les rondins

sains, l'émergence de ces xylophages se poursuit jusqu'au 20<sup>ème</sup> mois sur les rondins de la classe D<sub>50</sub>.

**Tableau 9.** Effectifs des adultes espèces xylophages du cèdre de l'Atlas à partir des éclosoirs de terrain.

	D <sub>0</sub>												D <sub>50</sub>											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
<i>H. batnensis</i> ,										4					2	5				2	2			
<i>C. numidicus</i>			3	4			13	15	18	24			5	9	13	26				14	28	22		
<i>S. numidicus</i>									8	7	6			2	5	8	4			3	6	6		
<i>C. cedri</i>											4	4			1	2			1	3				
<i>X. dryographus</i>													2	1							2	1		
<i>O. erosus</i>																4							1	
<i>P. cedri</i>	2	7	4	5	7					11			5	3	1									
<i>M. marmottani</i>				2				4	3		4			2	3	6				5			4	
<i>C. solieri</i>																3	1						2	
<i>A. degener</i>															3	2							2	
<i>A. martini</i>			2	1				4	2						2	2	4			1	5			
<i>C. corioli</i>																					4	8		
<i>U. augur</i>								1	3						2									

Pour les espèces *U. augur*, *H. batnensis* et *C. cedri*, l'entame des infestations est signalée respectivement après 16, 18 et 20 mois, alors que les attaques de *X. dryographus*, *O. erosus* et *C. corioli* ne s'observent sur les rondins de la classe D<sub>50</sub> qu'après 4, 8, 18 mois.

#### 2.4.6.2 Discussion

L'observation des chronologies d'attaque des rondins par les xylophages indique des successions nettes des attaques qui débutent par l'installation des espèces exigeantes dites « pionnières », ces espèces peuvent s'affranchir des défenses naturelles des plantes hôtes en pleine sève suivies par les espèces « satellites » ne pouvant s'attaquer qu'à des sujets dépéris en en détresse physiologique (LIEUTIER 2007).

Le protocole expérimental mis en place lors de cette étude nous permis de montrer que *P. cedri* en plus de *C. numidicus*, *M. marmottani* et *A. martini* peuvent qualifiées d'espèces pionnières car elles sont les premières à s'installer sur le bois de la classe D<sub>0</sub>; *H. batnensis*, *S. numidicus*, *C. cedri* sont secondaires, enfin, que *X. dryographus*, *O. erosus*, *A. degener* et *C. corioli* sont des espèces de faiblesse classées comme des agents d'achèvement qui s'attaquent qu'au bois desséché.

Ces résultats rejoignent ceux observés au Maroc où BENHALIMA (2004) indique que *P. cedri* s'attaque aux sujets sains dès leur tronçonnage alors qu'elle est totalement absente sur les rondins des arbres pièges au-delà du 25<sup>ème</sup> mois.

Les buprestes *A. martini* et *M. marmottani* peuvent également s'installer sur les sujets sains préférentiellement sur les parties intermédiaires des troncs, leurs attaques se prolongent sur les sujets dépéris au niveau des parties basales (BENHALIMA 2004, MOUNA 2008).

Chen et Tang (2007) ainsi que Grove et Forster (2011), indiquent des successions spatio-temporelles des attaques des xylophages après des perturbations intenses tels que les feux de forêts et les tempêtes, ils avancent qu'en Tasmanie les espèces des genres *Prostomis*, *Cossonus*, *Dryophthorus* et *Pycnomerus* sont les premières à s'établir, alors que *I. acuminatus* et *P. janpicus* sont considérées comme espèces secondaires sur *Pinus armandii* en Chine

Les successions spatio-temporelles des espèces xylophages sur une essence forestière est un processus très complexe régi principalement par les prédispositions biologiques du bioagresseur vis-à-vis de son hôte. Le degré d'humidité du bois définit trois catégories d'insectes, les insectes primaires sont capables de coloniser les sujets en pleine sève et physiologiquement sains, ces insectes secondaires ou de faiblesse préfèrent les sujets en détresse physiologique dont l'humidité du bois est moindre, enfin, les espèces tertiaires ou saproxyliques proprement dit qui se développent uniquement sur les pieds totalement mort (bois sec) (DAJOZ 2007).

Des facteurs autres que l'affinité au bois interviennent dans l'installation des xylophages telle que la perception des fluctuations des kairomones et des composés secondaires ainsi que les variations des pressions osmotiques. Les espèces primaires dont *Ips sexdentatus* se rencontre sur pins maritimes dont la pression est comprise entre 8 et 13 atm. *Ips typographus* s'établit normalement sur *Picea excelsa* entre 1 et 9 atm. Alors que les espèces *Hylurgops palliatus*, *H. glabratus* et *Dryocetes autographus* réputées pour être secondaires n'attaquent que les sujets dont la pression osmotique varie entre 4 et 5 atm (CHARARAS 1962).

Les espèces (tardives) sont généralement des espèces polyphages qui ne peuvent vivre sans organismes symbiotiques (bactéries intestinales ou des champignons symbiotiques) et induisent la dégradation des matériaux ligneux en raison de la baisse de la qualité nutritionnelle du bois sec (DAJOZ 2007).

## 2.4.7 Etude de l'état sanitaire des cédraies des Aurès en relation avec les xylophages du cèdre de l'Atlas

### 2.4.7.1 Résultats

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) dont les deux axes indiquent une inertie combinée entre les deux axes de 90,24 (Figure 17) démontrent l'existence de deux groupes distincts de par et d'autre de l'axe des ordonnées (76,10% de l'inertie totale) qui représente l'affinité des espèces xylophages à la qualité du bois.

Il est démontré clairement que les espèces *P. cedri* et *A. martini* sont les plus exigeantes en termes d'humidité du bois, à l'opposé *C. corioli* qui est espèce xylomycophage qui s'attaque au bois totalement mort.

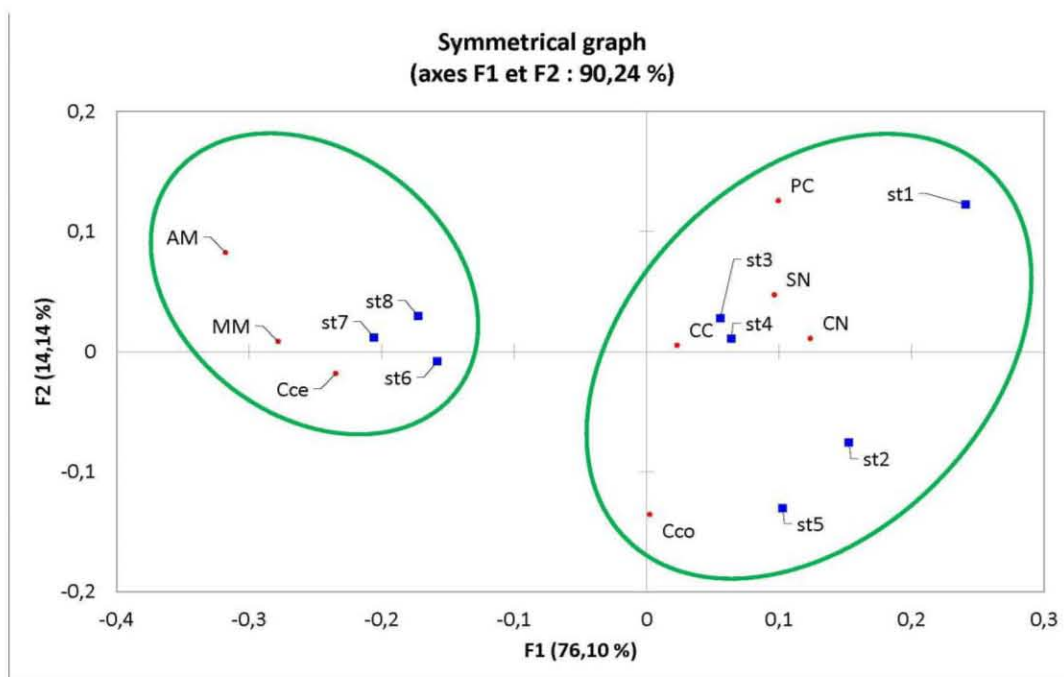
L'axe des abscisses (14,14% de l'inertie totale) détermine par contre la tendance des distributions et les variations spatiotemporelles des espèces xylophages associées au cèdre de l'Atlas dans les cédraies des Aurès.

L'addition des barycentres des stations comme données supplémentaires indique un rapprochement des stations 1,2,3,4 et 5 d'un côté et les stations 6,7 et 8 de l'autre, ces groupes sont confirmés par le dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique (CAH) (Figure 18).

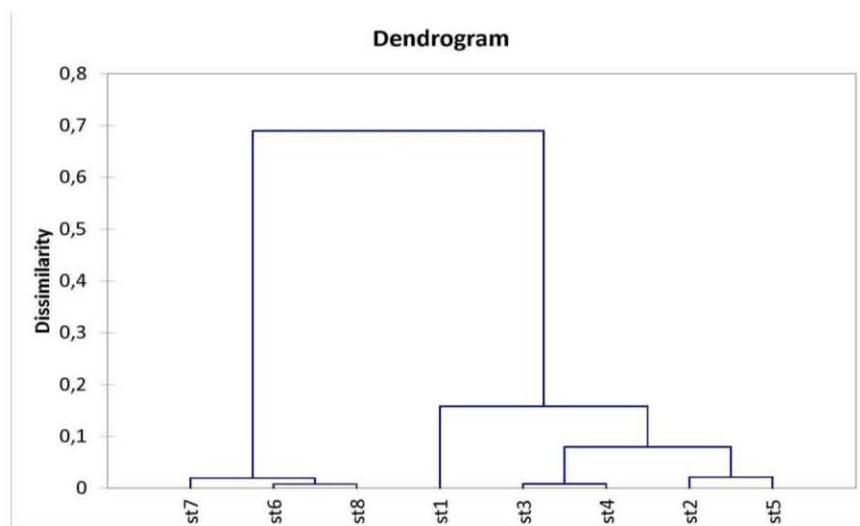
Il en sorte une tendance de distribution des espèces de scolytes au niveau des stations 1,2,3,4 et 5 sis au niveau des cédraies de Chélia, alors que Les buprestes et les cérambycidés sont plus abondants et plus actives au niveau des station 6,7 et 8 situées au niveau de cédraies de Ouled Yaboub dont les faciès sud laissent apparaître des signes inquiétants de département.

### 2.4.7.2 Discussion

Afin de mettre en évidence la relation qui existe entre l'activité des insectes xylophages et l'état phytosanitaire des stations étudiées, nous avons procédé par une analyse multivariée qui nous a permis de constater que l'activité des principales espèces de scolytes est maximale au niveau des cédraies de Chélia, ces dernières sont en état sanitaire acceptable malgré que les stations 1 et 2 se trouvent sur le faciès sud.



**Figure 17.** Analyse factorielle des correspondances (AFC) démontrant la tendance de distribution des principales espèces xylophages en relation avec les stations d'échantillonnage (CN: *Cryphalus numidicus*, SN: *Scolytus numidicus*, CC: *Crypturgus cedri*, PC: *Phloeosinus cedri*, MM: *Melanophila marmottani*, AM: *Anthaxia martini*, Cce: *Callidium cedri*, Cco: *Cis corioli*).



**Figure 18.** Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique (CAH) des stations d'échantillonnage selon l'activité des principales espèces xylophage

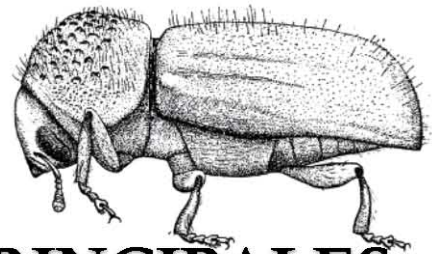
Par contre l'activité des buprestes et les cérambycides affecte les cédraies de Ouled yagoub qui démontrent un états sanitaire déplorable (surtout les cédraies septentrionales du Dj Feraoun) par contre.

SALLE, NAGELEISEN ET LIEUTIER (2014) Indiquent que la composition spécifique de la population des xylophages impliqués dans le déclin des Chênaies en Europe est tributaire des conditions offertes par le milieu, le sol, l'âge des arbres la densité des peuplements et les perturbations anthopozoogènes, le microclimat de chaque station en l'occurrence les vents desséchants (WOOD 1982, VEGA et HOFSTETTER 2015, PAINE et LIEUTIER 2016).

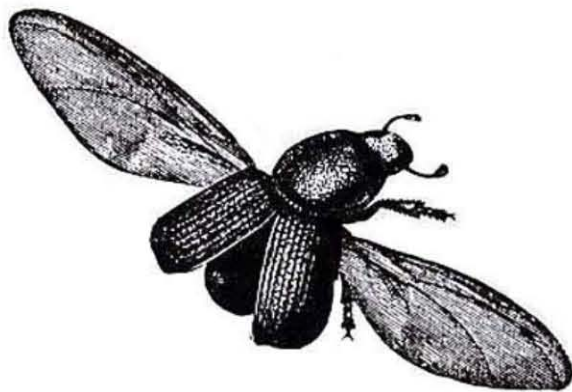
MAKSIMOVIC (1979) attribue le déclin l'orme de à *Scolytus multistriatus*, *S. scolytus* et *S. pygmaeus* alors que l'espèce *Pteleobius kraatzi* est considérée comme secondaire (malgré une forte densité d'infestation) de fait de son attaque tardive par rapport aux deux premières. MOUNA (2009), indique qu'hormis les attaques massives des xylophages du cèdre de l'Atlas au Maroc les agressions de *Phaenips marmottani* sont les plus importantes et les plus sévères.

En somme, il est constaté que l'attaques des xylophages sont amorcés par l'action des insectes primaires notamment *P. cedri*, *C. numidicus*, *S. numidicus*, *M. marmottani* et *A. martini*, l'action des scolytes déminue avec le temps laissant place aux Buprestes notamment *M. marmottani* dont la nocuité se prolonge sur les sujets dépéris.

## Chapitre 3



# BIOECOLOGIE DES PRINCIPALES ESPECES XYLOPHAGES ASSOCIEES AU DEPERISSEMENT DU CEDRE DE L'ATLAS



## Chapitre 3 : Bioécologie et Auxiliaires des Principales Espèces Xylophages associées au dépérissement du cèdre de l'Atlas

### 3.1 Introduction

Les cédraies du Maghreb à l'image des écosystèmes forestiers méditerranéens sont façonnées par une multitude d'agents biotiques et abiotiques dont les xylophages occupent une place de premier ordre particulièrement ces dernières 50 années (VEGA et HOFSTETTER 2015).

Les biosphères forestières méditerranéennes confèrent aux xylophages l'habilité d'être de véritables fléaux lors des épisodes épidémiques en offrant un biotope adéquat pour différents types de voltinisme et au développement des générations sœurs (LIEUTIER et *al.* 2007).

Les prospections réalisées au niveau des cédraies des Aurès ont permis de dénombrer 23 espèces xylophages dont les importantes sont *C. numidicus*, *S. numidicus*, *M. marmottani*, *P. cedri* et *C. corioli*. Ces espèces sont considérées comme dangereuses par leurs endémismes, leurs fréquences et leurs densités d'infestation, en plus de la succession de leurs attaques qui induisent la sénescence prématurée des essences attaquées.

Dans le présent chapitre, nous traitons de la bioécologie de quatre espèces xylophages associées au dépérissement du cèdre l'Atlas au niveau des cédraies des Aurès, et de réaliser un inventaire sommaire de leurs ennemis naturels.

### 3.2 Matériels et méthodes

Le protocole d'échantillonnage mis en place et détaillé lors du chapitre II est adopté afin d'étudier les caractéristiques bioécologiques des principales espèces xylophages au niveau des cédraies des Aurès.

Nous ne présentons ici que le matériel qui fut rajouté pour le suivi des insectes sur terrain ainsi que la méthodologie adoptée pour l'étude de la bioécologie des principales espèces xylophages.

#### 3.2.1 Matériel végétale

Tous les rondins de cèdre de l'Atlas issus des campagnes d'abattage de 2010, 2013 et 2016 sont considérés comme étant des unités d'échantillonnage.



### 3.2.2 Matériel animale

Lors de la présente étude quatre espèces sont prises en considération, il s'agit de *Cryphalus numidicus* Eichhoff, 1878, *Scolytus numidicus* Brisout, 1883 ; *Phloeosinus cedri* Brisout, 1883 et *Melanophila marmottani* Fairmaire, 1868.

*Cryphalus numidicus*, espèce endémique de la région méditerranéenne, signalée sur *Abies pinaspo*, *Abies bornülleriana*, *Abies veitchii* et *Pityokteines curvidens* (OHTAKA 2002 ; DODELIN 2006 ; YILDIZ et al. 2007 ; PODLASKI et BORKOWSKI 2009 ; JANKOWIAK et KOLARIK 2009), sur le genre *Cedrus* en Turquie (TOPER 2002). Au Maroc, l'espèce fut mentionnée sous le nom de la variante *Cryphalus piceae numidicus* ; alors qu'en Algérie l'espèce est signalée dans presque la totalité des cédraies du pays (DE PEYERIMHOFF 1919, BENHALIMA 2004 , MOUNA et FABRE 2005).

Quant à l'espèce *Scolytus numidicus*. DE PYERIMHOFF (1919) et BALACHOWSKY (1969) : indiquent que c'est la seule espèce du genre *Scolytus* notée sur conifères, particulièrement sur *Cedrus libanotica* et *C. atlantica* dans la région paléarctique, signalée au niveau les cédraies des Aurès, Bélezma, Djurdjura, Theniet-El-Had et l'Atlas Blidéen en Algérie et au niveau de toutes les cédraies marocaines.

Concernant, *Phloeosinus cedri* Brisout, 1883 c'est une espèce monophage et monogame, endémique aux cédraies algériennes (Aurès, Belezma et l'Atlas Blidéen) et marocaines (Grand Atlas et Rif). Elle est signalée uniquement sur les sujets en premières phases de dépérissement du cèdre de l'Atlas (CHARARAS 1964 , BENHALIMA 2004 ,BEGHAMI et al., 2020).

Enfin, le bupreste *Melanophila (Phaenops) marmottani* Fairmaire, 1868 a été signalé et décrite par DE PEYERIMHOFF (1919) qui la qualifie comme « L'un des parasites les plus caractéristiques du cèdre, dont il n'est pas une branche ou un tronc mort qui ne porte pas ses traces».

### 3.2.3 Matériels d'échantillonnage

Les billons échantillonnés furent placés dans des éclosiers (voir chapitre II) et déposés au laboratoire de phytopharmacie sis à l'institut des sciences vétérinaires et des sciences agronomiques afin d'observer et de collecter les espèces récoltées. Les éclosiers sont placés à températures ambiante face aux vitres pour avoir une homogénéité de la photopériode.

Afin de déterminer les dates exactes des émergences des espèces étudiées sur terrain nous avons rajouté des pièges d'interception multidirectionnels (croisées), qui ont pour principe la

réaction défensive des coléoptères qui ferment leurs élytres après avoir heurté un vitrage -considéré comme un probable prédateur- méthode emprunté à SIMILA *et al.* (2002), DODELIN (2006), WERMELINGER *et al.* (2007), WILLIAMS *et al.* (2007).



**Figure 19** : Piège d'interception multidirectionnel (Photo personnelle).

Ces pièges (figure 19) sont conçus par deux plaques en plexiglas ( $0,6\text{m} \times 0,3\text{m}$  chacune) croisées perpendiculairement en croix et placées au-dessus d'un entonnoir de 30cm de diamètre débouchent vers un récipient en plastique contenant de l'eau mélangée à un détergeant. Le tout est collé à une plaque de ( $0,4 \times 0,4\text{m}$ ) faisant office de toiture.

Le dispositif de piégeage est suspendu à un pied à l'ombre à une hauteur de à 1,5 m au-dessus du sol, ce qui offre une surface d'interception de  $0,72\text{m}^2$ , afin d'augmenter l'efficacité des pièges un diffuseur contenant de l'essence térébenthine est annexé à la base de l'entonnoir du dispositif (SIMILÁ *et al.* 2002, SAFRANYIK *et al.* 2004, WAINHOUSE 2005, EVERIERI *et al.* 2008).

### 3.2.4 Modalités d'échantillonnage

#### 3.2.4.1 Suivi des cycles biologiques

L'activité des insectes xylophages fut minutieusement étudiée afin déterminer la chronologie des écophases majeurs des espèces xylophages. Ce suivi est réalisé conjointement au laboratoire et sur terrain afin d'avoir une meilleure appréciation de l'activité de ces insectes, en vue d'aboutir à un plan de gestion efficace de ces insectes.

##### 3.2.4.1.1 Chronologie des émergences

Afin de déterminer les dates exactes des émergences des xylophages étudiées, un suivi rigoureux des rondins issus des trois périodes de coupes (fin janvier, mai et septembre) de chaque campagne d'échantillonnage (2010, 2013 et 2016) fut réalisé. La date et le nombre de spécimens obtenus quotidiennement furent notés jusqu'à l'arrêt cinétique des émergences.

Sur terrain, les pièges vitres sont placés à la fin du mois de janvier lors de la première période de coupe de chaque campagne, au niveau des stations 1 et 4 situées respectivement au niveau du mont Chélia, ainsi que les stations 6 et 7 situées au niveau des cédraies de Ouled Yagoub de Ouled Yagoub (voir chapitre II), à raison de 3 pièges (séparés de 40m) pour chaque station (SIMILA *et al.* 2002, WAINHOUSE 2005)

Des visites hebdomadaires sont effectuées depuis les premières émergences observées au laboratoire afin de noter les dates exactes de sorties des espèces xylophages sur terrain, les pièges indemnes sont récupérés à la fin du mois de novembre de chaque campagne.

Au total, 16 sorties -dans les mêmes dates- furent réalisées lors de chaque campagne d'échantillonnage. Les quatre espèces étudiées sont dénombrées après identification.

##### 3.2.4.1.2 Etude du voltinisme des principales espèces xylophages

Il est établi que le voltinisme est tributaire de l'interaction des caractères génomiques des insectes et l'influence des conditions biotiques (trophiques en l'occurrence) et abiotiques (climatiques en premier lieu température et photopériodisme...) offertes par le biotope (PEVERIERI 2008).

Afin d'éliminer toute confusion possible entre vraies générations et générations sœurs (très communes chez les xylophages), nous avons prélevé des fontes de 10×10cm sur l'écorce de trois rondins au hasard lors des émergences des adultes pour observer la présence d'œufs car l'absence

de cette écophase indique une génération sœur méthode déjà adoptée par ANDERBRANT et SCHLYTER (1989), DOLEZAL et SEHNAL (2007), LIEUTIER et *al* (2007), PEVERIERI et *al* (2008), VEGA et HOFSTETTER (2015) et SCHEBECK et *al*. (2017).

### 3.2.4.1.3 Durée de développement

Pour estimer la durée de développement des espèces xylophages Benhalima (2004) à adoptée deux variantes, la durée de développement minimale, définie comme étant l'intervalle entre la date de prélèvement du bois et la date d'émergence des insectes, et la durée maximale est celle comprise entre la date de tronçonnage et la date d'émergence. Nos investigations que nous avons mené depuis l'année 2007 ont démontré que la méthode précitée présentait de grandes lacunes en se référant à la date de tronçonnage et non pas à la date de ponte des xylophages.

Selon BERRYMAN (2002) La durée de développement d'un insecte (ou bien cycle) est définie comme étant la durée comprise entre deux oscillations annuelles d'émergence des adultes d'une espèce, le nombre de ces oscillations définit le voltinisme de cette espèce. Pour notre étude nous considérons **la durée de développement moyenne** comme étant la durée comprise entre les 50% des émergences des adultes des principales espèces xylophages au niveau du laboratoire pour les espèces polyvoltines.

### 3.2.4.2 Étude de l'entomofaune auxiliaire associée aux principales espèces xylophages du cèdre de l'Atlas

Plusieurs études évoquent la complexité des relations tri-trophiques hôtes-xylophages-axillaires en région méditerranéenne (MILLS 1983, HENRY 1995, HEDQVIST 1998, LEATHER et *al*. 1999, NOYES 2001, HILSZCZANSKI 2002 *in* LIEUTIER et *al*. 2007). La richesse, la diversité et la densité de ces prédateurs et parasitoïdes sont considérés comme un élément clé de la régulation des populations des xylophages en écosystème forestier.

Parallèlement à l'étude des insectes xylophages, les billons de différentes sections de hauteur et de classes de dépérissement étudiés lors des trois campagnes d'échantillonnages (chapitre II) ont servi à l'étude des auxiliaires. Les insectes obtenus à partir des éclosiers et du bois après écorçage, furent identifiés et classés en guildes trophiques après quantification.

### 3.3 Analyses statistiques

Une analyse de la variance (ANOVA) fut réalisée afin de déterminer la distribution préférentielle des auxiliaires associées aux xylophages du cèdre par classe de hauteur. Pour les espèces enregistrées sur deux strates uniquement un test t de Fisher fut réalisé.

### 3.4 Résultats et discussions

#### 3.4.1 Etude de la bioécologie de de *Cryphalus numidicus* Eichhoff, 1878

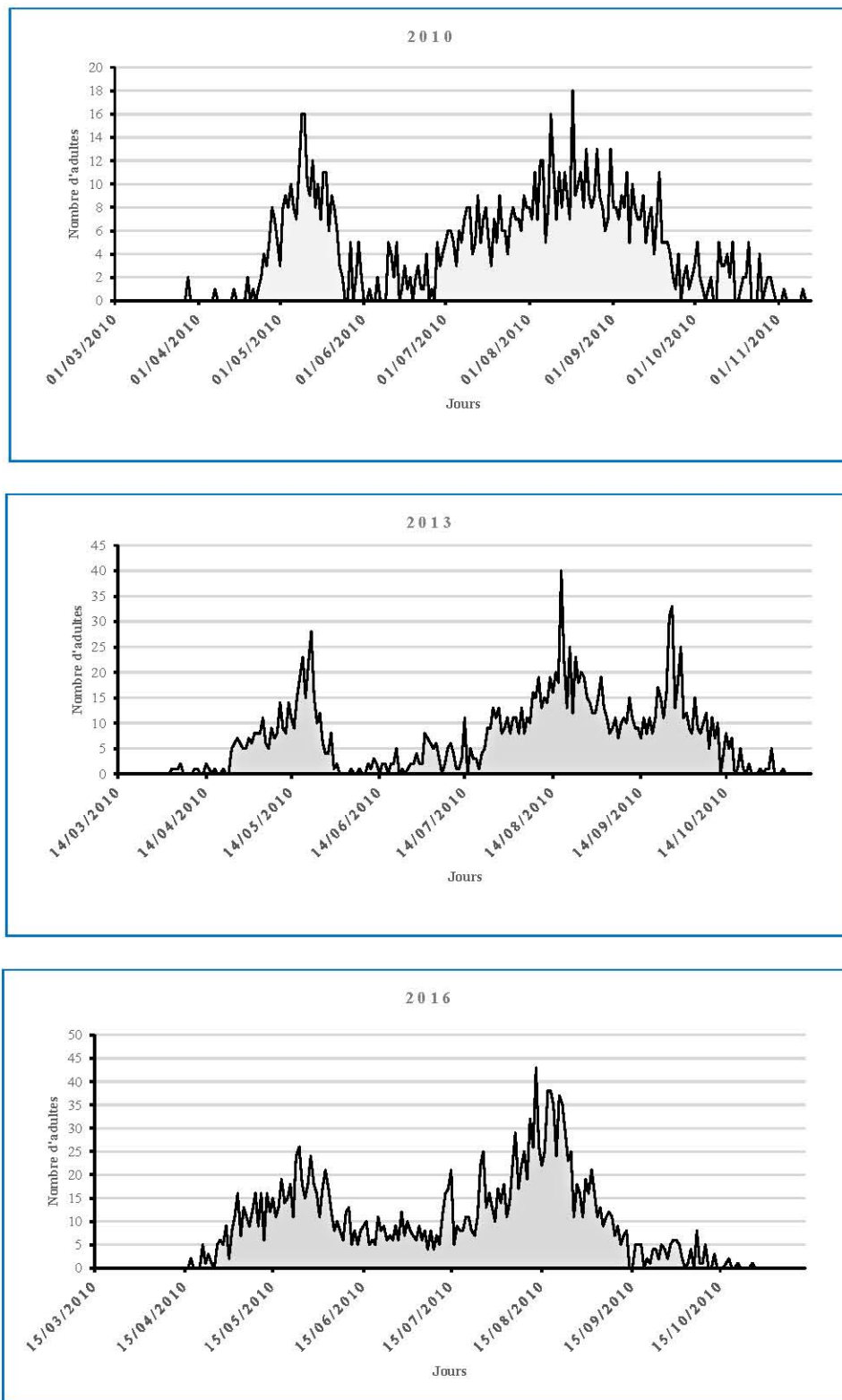
##### 3.4.1.1 Résultats

L'observation de la chronologie des émergences journalières de *C. numidicus* au cours des trois campagnes d'échantillonnages (figure 20) indique clairement deux périodes de vols bien distinctes. La première est entamée au début du mois d'avril et se poursuit jusqu' à la fin de mai, soit une période de deux mois. La seconde, commence dès juillet et s'achève à la fin septembre soit une durée d'activité de trois mois.

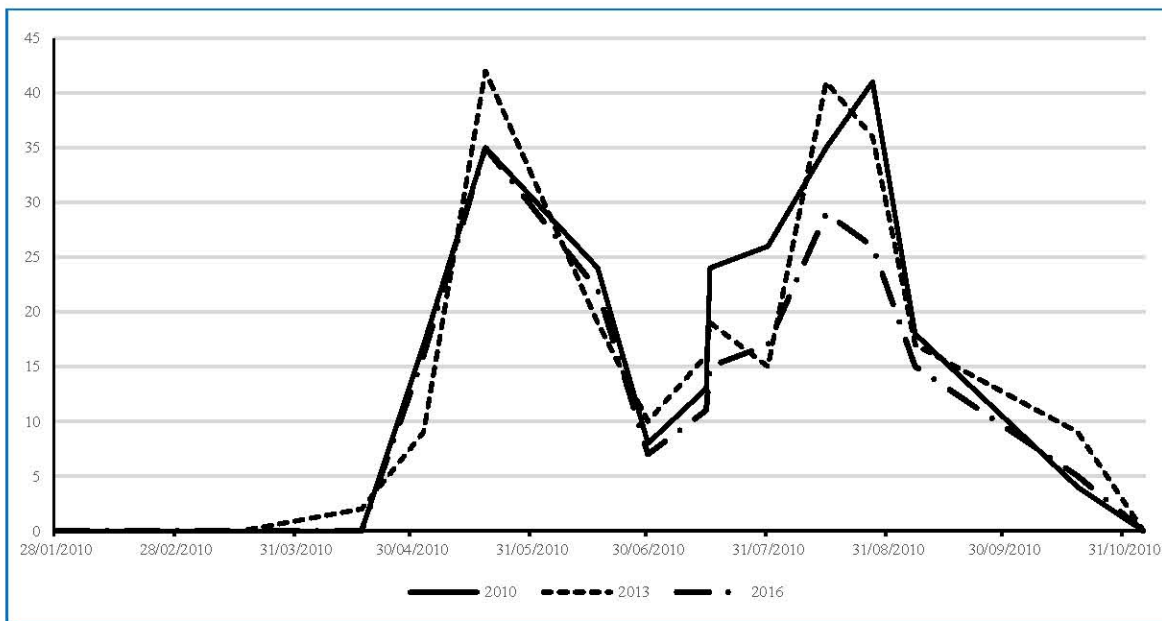
Sur terrain, les pièges vitres ont permis de collecter 657 adultes de *C. numidicus* au cours des trois campagnes d'échantillonnages.

La lecture des résultats obtenus (figure 21) permet de confirmer la présence deux périodes de vols du xylophage. Une première période printanière d'une durée d'un mois et demi débutant à la 2<sup>ème</sup> semaine d'Avril allant à la fin mai, la seconde période estivale d'une durée de 2 mois s'étend de la fin mi-juillet à la mi-septembre. Les pics des émergences sont enregistrés à la mi-mai pour la première période de vol et la mi-août pour la seconde.

Enfin, l'examen des émergences au cours de la campagne de 2013 indique clairement la présence de trois oscillations correspondant à trois périodes de vols, les deux premières périodes normales s'étendent de fin avril à la fin mai pour la 1<sup>ère</sup> et du début juillet à la fin du mois d'août pour la 2<sup>ème</sup> période, une gradation supplémentaire observée de la mi-septembre jusqu'à la fin du mois d'octobre.



**Figure 20.** Emergences journalière de *Cryphulus numidicus* au laboratoire pour les trois campagnes d'échantillonnage



**Figure 21.** Emergence moyenne de *Cryphulus numidicus* dans les pièges vitres pour les trois campagnes d'échantillonnage

Par ailleurs, l'observation de l'intervalle entre les 50% des émergences des adultes de *C. numidicus* permet d'estimer la durée de développement des deux générations observées au cours des trois campagnes d'échantillonnage (tableau 10).

**Tableau 10.** Durée de développement des deux générations de *C. numidicus* au niveau des cédraies des Aurès (G.P. : générations printanières ; GE : générations estivale)

Campagne	Date des 50% d'émergences de la G.H.	Date des 50% des G.E.	Nombre de générations	Nombre de jours de développement
<b>2010</b>	10/05/2010	10/08/2010	2	272 jours (G.P.) 93 jours (G.E.)
<b>2013</b>	22/05/2013	18/08/2013	2+1*	276 jours (G.P.) 89 jours (G.E.)
<b>2016</b>	18/05/2016	10/08/2016	2	281 jours (G.P.) 85 jours (G.E.)

(\*) : génération seur.

Les résultats obtenus indiquent que la durée de développement de la génération estivale varie entre 85 jours observée en 2016 et 93 jours enregistrée au cours de la campagne de 2016, alors que la durée de développement de la génération printanière (hivernante) est beaucoup plus longue, on l'estime entre 272 jours en 2010 et 281 jours en 2016.

La prospection qui fut réalisée sur les rondins ayant donné des adultes au cours du mois de septembre a permis de noter l'absence de nouvelles pontes (figure 21-a), seules les formes larvaires et adultes matures et immatures furent observés (figure 21-b,c). Nous supposons qu'il y a émergence d'une génération sœur.

Enfin, l'étude de la biométrie des systèmes de galeries (tableau 11) révèle que *S. numidicus* est une espèce monogame, réalise des galeries sous corticales en fausses étoiles qui façonnent légèrement le fût des cèdres (figure 21-e).

**Tableau 11.** Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de *Cryphalus numidicus* au niveau des cédraies des Aurès.

Type de galeries	Galeries maternelles			Galeries larvaires	
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Nombre de ponte	Longueur (mm)	Largeur (mm)
Fausses étoiles	9,21±1,34	1,09±0,15	15,38±2,72	5,61±3,40	0,46±0,09

Les galeries maternelles mesurent en moyenne 9,21mm de long et 1,09mm de large, la fécondité réelle des femelles est estimée à 15,38 œufs/ponte, sachant que femelle pond généralement une seule fois. Les galeries larvaires mesurent en moyenne 5,61mm de long et 0,46mm de large.

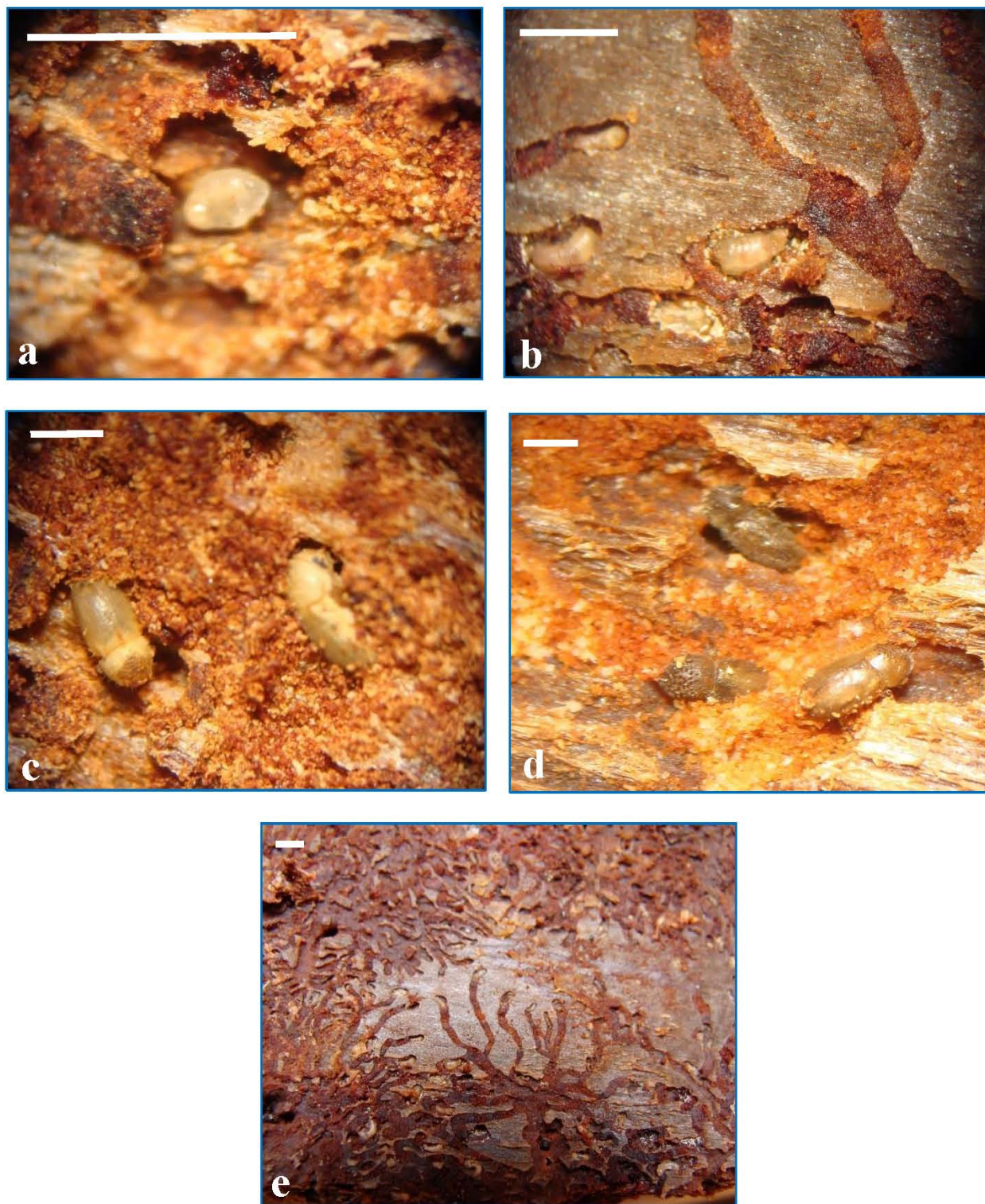
### 3.4.1.2 Discussion

Les résultats obtenus au laboratoire et sur terrain lors de la première partie de la présente étude indiquent que *C. numidicus* est le plus nuisible des xylophages sur cèdre de l'Atlas au niveau des cédraies des Aurès.

Les prospections sur la bioécologie de cet insecte et l'observation des 50% des émergences ont permis de déceler deux périodes de vols. L'envol des adultes de la première génération (printanière), hâtive, s'échelonne de la mi-avril à la fin de mai (soit un mois et demi), cette génération hivernante est originaire de la ponte qui s'est faite l'année d'avant (n-1) et qui a passé l'hiver sous forme imaginaire diapausante sous l'écorce du cèdre.

Le cycle de développement de la seconde génération est plus court (de 85 à 93 jours) mais exhibe une durée de vol plus étalée allant de juillet à la fin du mois de septembre. Lors des conditions favorables une génération sœur de *C. numidicus* est enregistrée à la mi-septembre jusqu'à la fin d'octobre.





**Figure 22.** Principales écophases de *Cryphulus numidicus* (a : Œuf ; b : stade larvaire ; c : adulte néonate ; d : adulte avant nutrition de maturation ; e : système de galerie en fausses étoiles – l'échelle est à 1mm) (photos personnelles).

Hormis quelques études, telles ceux de BENHALIMA (2004), BEGHAMI (2010), TALBI (2010), BEGHAMI et al. (2020) aucune étude à notre connaissance n'a été consacrée à la bioécologie de cet insecte. Ces études indiquent que *C. numidicus* est généralement une espèce bivoltine. Au niveau des cédraies de Ras El Ma et Aguelmane Sidi Ali au Maroc, l'activité de l'insecte a été signalée du début mai jusqu'à la fin du mois de septembre avec des attaques des rondins des trois phases de coupe (hiver, été et printemps) (BENHALIMA 2004). En Turquie, TOPER (2002) ; indique que *C. piceae* réalise deux générations par année sur sapin, la première de la mi-avril à juillet et la seconde de juillet à août.

CHARARAS (1962), Moucheron (2018) indiquent que *C. piceae* réalise deux générations sur les essences du genre *Abies*, il indique que dans les régions à altitude moyenne (entre 900 et 1000m) l'envol des adultes a lieu dès le début d'avril alors qu'en altitude l'envol est enregistré après la troisième semaine d'avril.

Les mêmes auteurs signalent des différences des essaimages de la génération hivernante au sein du même peuplement dues à la différence de température entre les lisières et l'intérieur de la forêt, ils rajoutent que les vols de la première génération de *C. piceae* se déclenchent lorsque la température atteint 12°C dans les endroits exposés au soleil et 18°C sur les cimes des arbres en peuplement séché. La deuxième génération n'est observée qu'en conditions favorables de juillet à août.

Au niveau des sapinières de Vallombrosa en Italie, CERCHIANINI et TIBERI (1996) indiquent deux générations de *C. piceae*, la première au milieu de l'été, la seconde débute en août-septembre et se termine à la fin de l'automne ; de même JUSTESEN et al (2020) notent deux générations de l'insecte sur *Abies procera* au Danemark en plus de la possibilité d'existence d'une génération sœur.

L'étude biométrique des galeries de *C. numidicus* indique que l'espèce est monogame, les femelles forent des galeries maternelles de près de 9,21mm de long et 1,09mm de large, la fécondité réelle moyenne est de 15,38 œufs/ponte. Nous précisons que la femelle ne réalise pas d'encoches pour déposer ses œufs.

Après éclosion, les larves creusent des galeries de 5,61mm de long et 0,46mm de large. Les galeries larvaires et maternelles sont en forme de fausses étoiles caractéristiques des espèces du genre *Cryphalus*.

Nos résultats corroborent avec ceux de BENHALIMA (2004) qui mentionne que *C. piceae numidicus* réalise des systèmes en fausse étoile ou la galerie maternelle mesure en moyenne 9,4mm de long sur 1mm de large, alors que les galeries larvaires font 2,6mm de long sur 0,5mm de large.

Au niveau des cédraies de Belezma, les femelles de *C. numidicus* creusent des galeries qui font 1,1cm de long sur 1mm de large, alors que les galeries larvaires mesurent en moyenne 2mm de long et 0,5mm de larges (TALBI 2010).

CHARARAS (1962) indique que chez *C. piceae* c'est la femelle qui initie le trou d'entrée sur l'écorce du cèdre rejointe par la suite par le mâle. Après accouplement, la femelle dispose ces pontes qui éclosent au bout de deux semaines. Le développement larvaire passe par quatre stades, la nymphose dure 10 à 15 jours et aboutit au stade imaginal.

### **3.4.2 Etude de la bioécologie de de *Scolytus numidicus* Brisout, 1883**

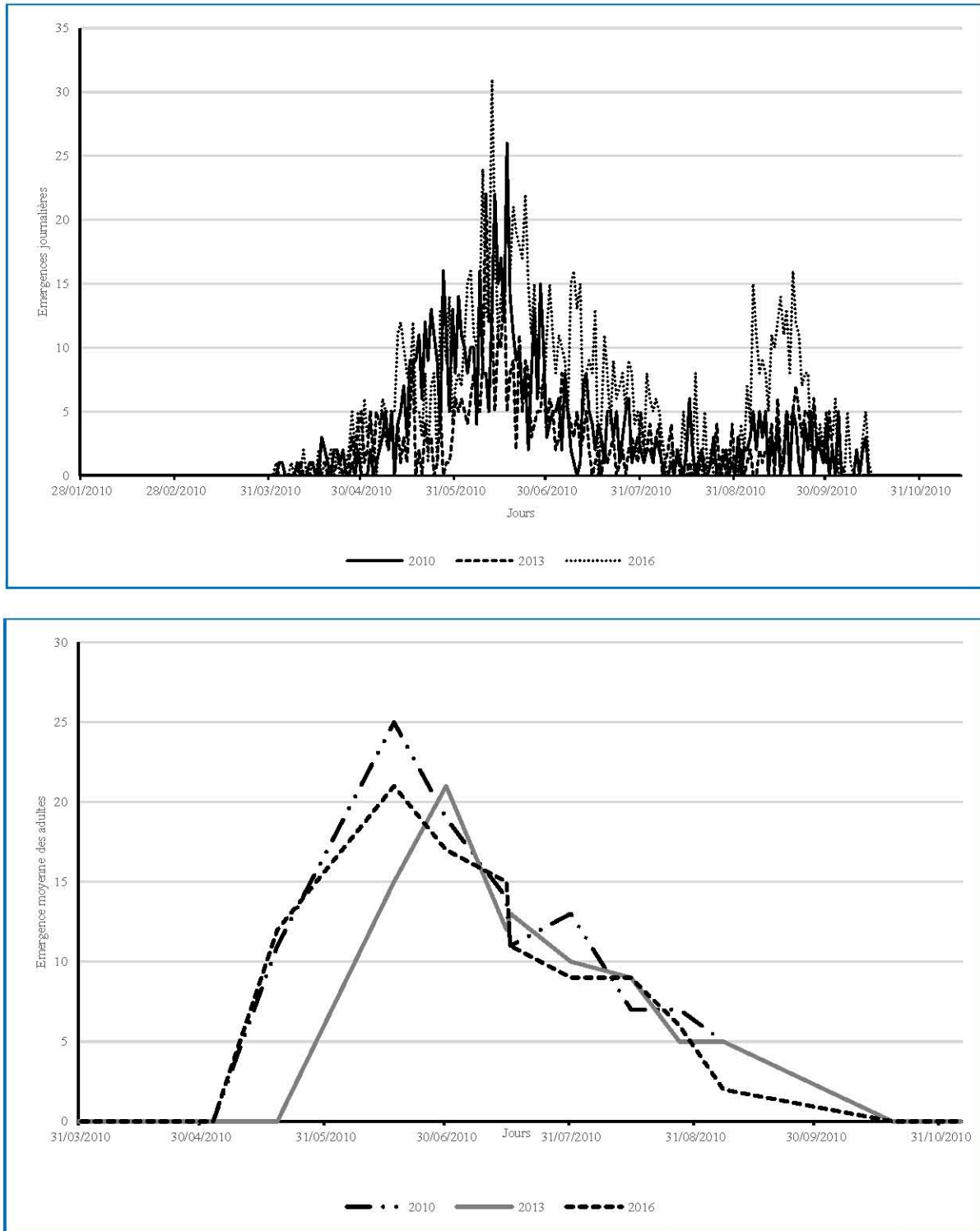
#### **3.4.2.1 Résultats**

L'observation des émergences de *S. numidicus* au laboratoire lors des trois campagnes d'échantillonnages (figure 23-a) a permis de déceler une seule période de vol qui débute dès la première semaine d'Avril et se prolonge jusqu'à la fin août.

Une seconde vague du vol des adultes mais de moindre importance est observée lors de la gradation de 2016 et qui s'étale tout le mois de septembre, les pics d'activité de vol des adultes se situent à la mi-juin.

Sur terrain, les pièges vitres ont permis de collecter 304 spécimens de *S. numidicus*, l'examen de la chronologie des émergences (figure 23-b) indique l'existence d'une seule période de vol qui s'étale de la fin avril jusqu'à la fin août.

L'observation de la durée de développement des *S. numidicus* (tableau 12) indique que l'espèce est uniovoltine, avec une possibilité d'effectuer une génération sœur au cours de septembre. Les 50% des émergences sont observées entre le 16 et le 26 juin respectivement en 2010 et 2016.



**Figure 23.** Emergences moyennes des adultes de *Scolytus numidicus* lors des trois campagnes d'échantillonnage (a : au niveau du laboratoire ; b : dans les pièges vitres).

**Tableau 12.** Durée de développement de *Scolytus numidicus* au niveau des cédraies des Aurès.

Campagne	Date des 50% d'émergences	Nombre de générations	Durée de développement
2010	16/06/2010	1	Une année
2013	21/06/2013	1	Une année
2016	26/06/2016	1+1*	Une année

(\*) : génération sœur.

L'étude de la biométrie des systèmes de galeries indique que de *S. numidicus* engendre des galeries longitudinales simples (figures 26-b, c) ce qui indique que l'espèce est monogame, la galerie maternelle mesure en moyenne 43,19mm de long et 1,35mm de large. La fécondité des femelles de cette espèce est estimée à 63 œufs/ponte.

Enfin, les galeries larvaires (figure 26-c, d) mesurent en moyenne 78,72mm de long et 1,15mm de large,

**Tableau 13.** Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de *Scolytus numidicus* au niveau des cédraies des Aurès.

Type de galeries	Galeries maternelles			Galeries larvaires	
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Nombre d'encoches	Longueur (mm)	Largeur (mm)
Longitudinales simples	43,19 ± 9,35	1,39 ± 0,51	63,18 ± 11,38	78,72 ± 12,78	1,85 ± 0,56

### 3.4.2.2 Discussion

L'étude du cycle biologique de *S. numidicus* au niveau des cédraie de Chélia et de Ouled Yagoub indique que l'espèce est univoltine avec une période d'envol des adultes qui s'étale de la fin avril jusqu'à la fin du mois d'août, accusant un retard d'émergence de 2 à 3 semaines par rapport à *C. numidicus*. L'analyse des 50% des émergences indique une activité intense de l'espèce au cours de la deuxième moitié de juin.

Les prospections que nous avons réalisées lors des trois campagnes d'échantillonnage nous ont permis de déceler l'existence d'une génération sœur au cours du mois de septembre, les pics des émergences sont enregistrés entre la deuxième et la troisième semaine du mois de juin. Ces émergences représentent une pression supplémentaire sur les défenses du cèdre au cours de la saison estivale.

Nos résultats rejoignent ceux évoqués par les rares études qui traitent de la bioécologie de *S. numidicus* tels ceux de BENHALIMA (2004) et M'HIRIT (2008) qui indiquent que la période d'envol des adultes de cette espèce se prolonge d'avril jusqu'à la fin de septembre.

YATES (1984), signale une seule génération de *Scolytus intricatus* sur *Quercus robur* et indique que l'émergence des adultes commence à la mi-mai et se termine à la fin juin, alors que l'embryogenèse dure 10 à 14 jours. Les larves passent par 5 à 6 stades et l'espèce hiverne au 3<sup>ème</sup> ou au 5<sup>ème</sup> stade larvaire, la nymphose se réalise toujours dans loges dans les tissus du phloème.

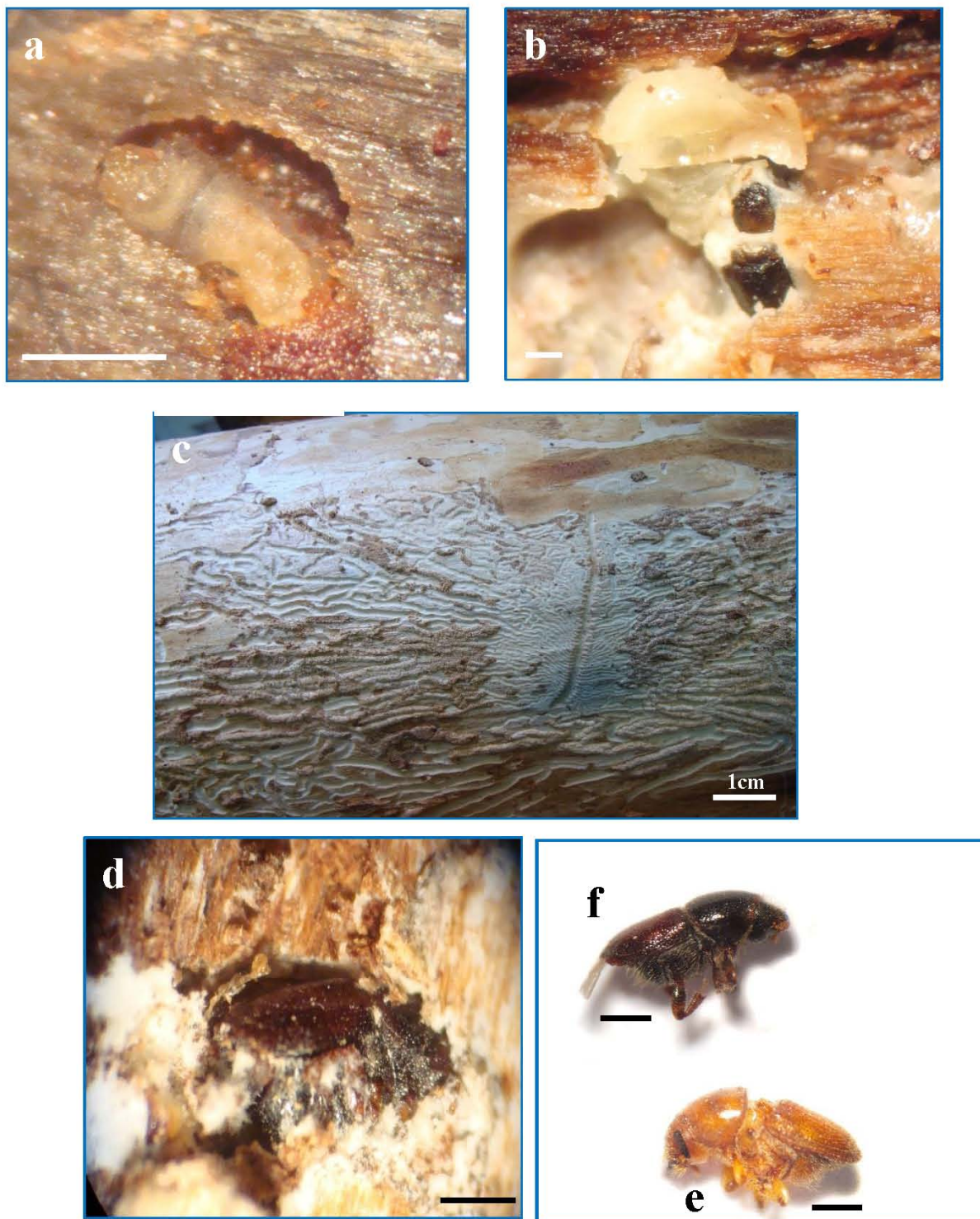
KHANDAYET et BUHROO (2015) indiquent de leur part que *Scolytus kashmirensis* évoluant sur orme et réalise une seule génération par année, la période d'envol des adultes est observée à la fin avril et dure 45 à 60 jours.

Sur chênaies du nord de l'Allemagne, *Scolytus intricatus* réalise une seule génération par année, l'envol des adultes est signalé de mi-juin à la mi-juillet, les pontes d'œufs sont observées à partir du mois d'août. Le développement larvaire est entamé après trois semaines de la ponte. L'espèce passe l'hiver au dernier stade larvaire (DOGANLAR et SCHOPF 1984).

Par ailleurs, L'examen de la biométrie des systèmes de galeries indique que *S. numidicus* est une espèce monogame qui réalise un système dit longitudinal simple. La femelle creuse une galerie de 43,19mm de long et 1,39mm de large et pond 63,18 œufs en moyenne dans des encoches à la périphérie de sa galerie. Les larves forent des galeries de 78,72mm de long et 1,85mm de large, ces dernières sont perpendiculaires à la galerie maternelle à la base et deviennent légèrement signeuse au bout.

Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus par BENHALIMA (2004) et M'HIRIT (2008) attestent nos résultats en déclarant que les femelles de *S. numidicus* réalisent des galeries larvaires de 41,5mm de long et 1,5mm de large, alors que la fécondité réelle est estimée à 48,1 œufs, ils rajoutent que les galeries larvaires mesurent 74,6mm de long et 2mm de large.

Nous citons également les travaux de YATES (1984), KHANDAYET et BUHROO (2015) qui notes que les femelles de *Scolytus intricatus* sur *Quercus robur* déposent en moyenne 17-36 œufs contrairement au *Scolytus kashmirensis* sur orme est dont la fécondité est estimée à 46 œufs/ponte.



**Figure 24.** Photos des principales écophases de *Scolytus numidicus* (a : Œuf ; b : adulte englouti dans la résine ; c : systèmes de galeries ; d : femelle dans la chambre nuptiale ; e adultes avant nutrition de maturation, f : adulte après maturation, l'échelle est à 1mm) (photos personnelles).

DOGANLAR et SCHOPF (1984) indiquent de leur part que les *Scolytus intricatus* est une espèce monogame, la femelle initie le trou d'entrée et dépose 30 œufs en moyenne après accouplement.

### 3.4.3 Etude de la bioécologie de de *Phloeosinus cedri* Brisout, 1883

#### 3.4.3.1 Résultats

Les émergences de *P. cedri* observées au niveau des éclosoirs au laboratoire (figure 25) ont permis de définir une seule période de vol qui s'entame au début mars pour toutes les campagnes d'échantillonnages et s'achève au début de juin soit une durée de 4 mois. Une reprise de l'activité de vol est observée sur les rondins de la classe D<sub>0</sub> au cours d'octobre où nous avons enregistré un maximum de 6 adultes lors de la campagne de 2016.

Sur terrain, les pièges vitres installés durant les trois campagnes d'échantillonnage ont permis de collecter 234 spécimens de *P. cedri*. Nos prospections indiquent la présence d'une seule succession qui débute la fin février et s'achève la fin de juin, soit une durée de vol de 4 mois avec un décalage de 10 à 15 jours entre les résultats du laboratoire et ceux du terrain.

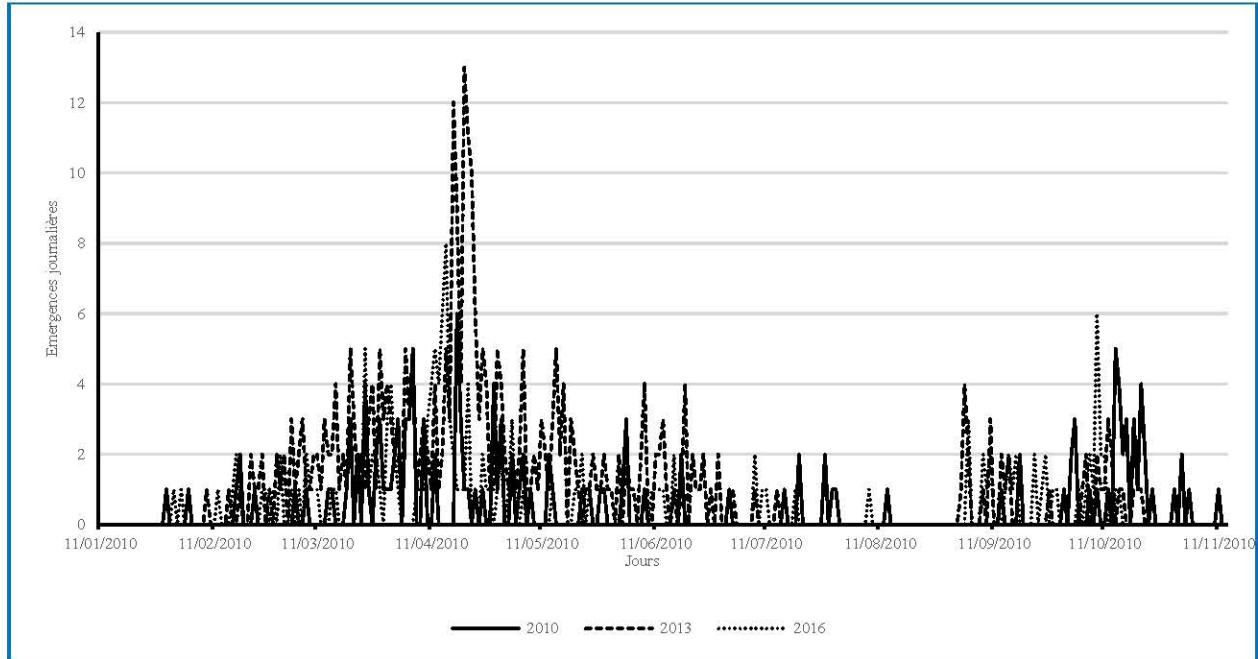
**Tableau 14.** Durée de développement de *P. cedri* au niveau des cédraies des Aurès.

Campagne	Date des 50% d'émergences de la G.H.	Nombre de générations	Durée de développement
2010	19/04/2010	1	Une année
2013	21/04/2013	1	Une année
2016	16/04/2016	1	Une année

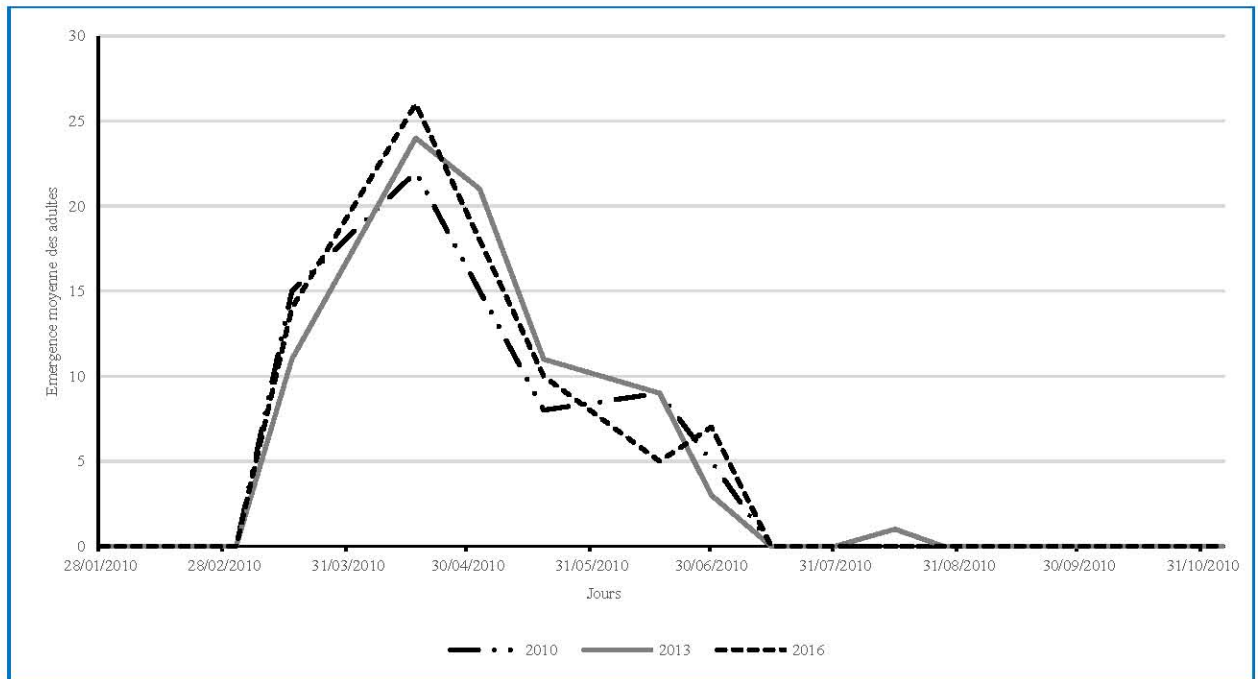
En ce qui concerne la durée de développement, les résultats (tableau 14) démontrent que *P. cedri* est une espèce univoltine dont les 50% des émergences se situent entre le 16 et le 21 avril en 2016 et 2013 respectivement

Enfin, l'étude de la biométrie des galeries de *P. cedri* indique que cette espèce réalise des galeries sous corticales, longitudinales simples qui façonnent très bien les fûts de cèdre. La physionomie de la galerie maternelle indique que le sex-ratio est de 1 témoignant que l'espèce est monogame.





**Figure 25.** Emergences des adultes de *P. cedri* au niveau du laboratoire pour les trois campagnes d'échantillonnage



**Figure 26.** Emergences des adultes de *P. cedri* sur terrain lors des trois campagnes d'échantillonnage

**Tableau 15.** Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de *P. cedri* au niveau des cédraies des Aurès.

Type de galeries	Galeries maternelles			Galeries larvaires	
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Nombre d'encoches	Longueur (mm)	Largeur (mm)
Longitudinales simples	34,87±11,89	1,39±0,87	15,39±7,49	17,37±5,57	0,78±0,38

Chaque femelle fore une galerie maternelle qui fait en moyenne 34,87mm de long et 1,39mm de large. La fécondité réelle des femelles est estimée à 15,39 œufs/ponte, les larves creusent des tonnelles perpendiculaires à la galerie maternelle, faisant en moyenne 17,37mm de long et 0,78mm de large.

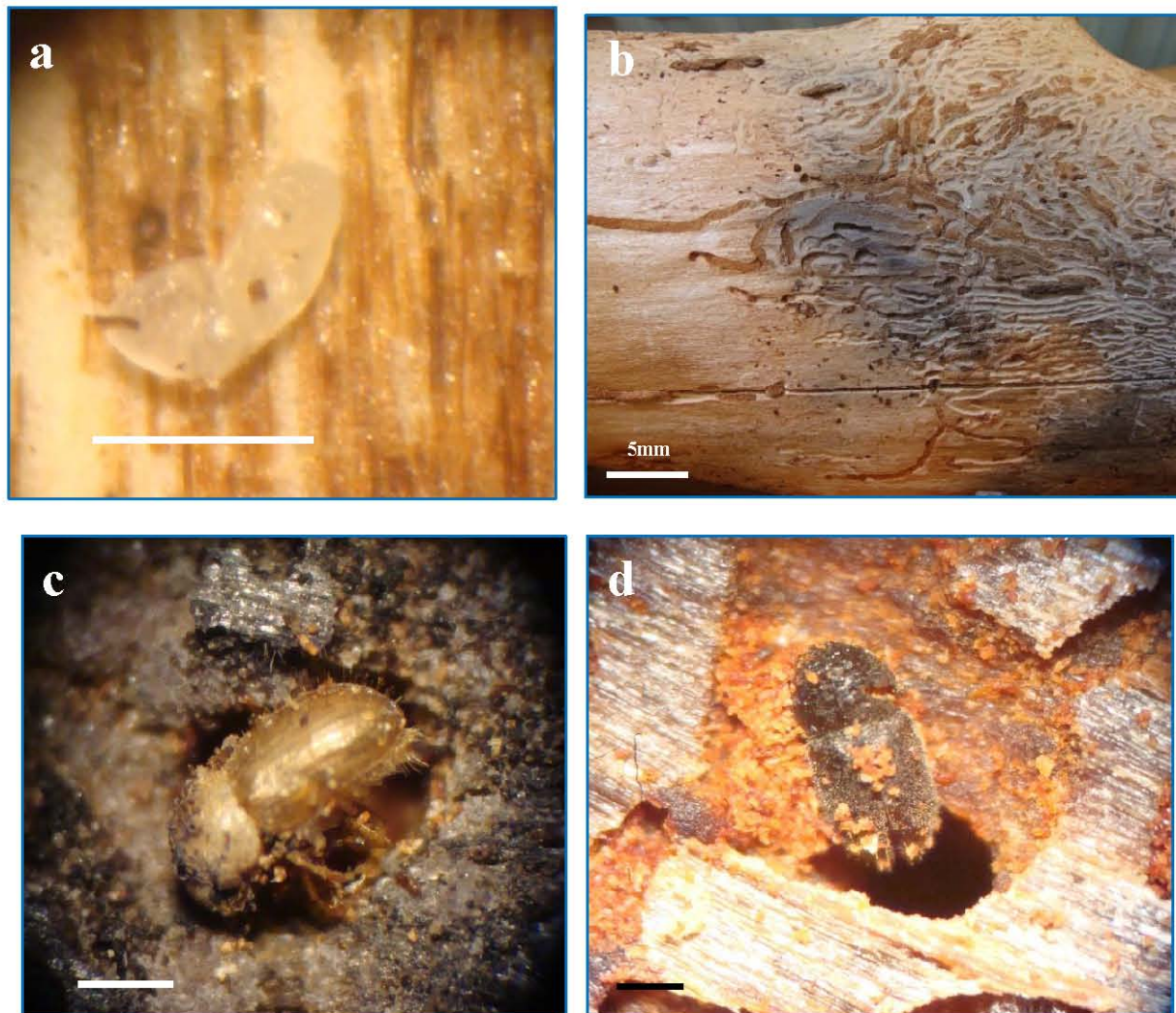
### 3.4.3.2 Discussion

Il est constaté lors de la présente étude que *P. cedri* est la première espèce à s'installer sur cèdre de l'Atlas au niveau de toutes les cédraies des Aurès, cette précocité n'est pas relative uniquement à l'humidité du bois mais aussi à la période d'envol des adultes.

En effet, l'espèce semble être univoltine, les premières émergences des adultes sont observées au laboratoire dès la fin de février sur les billons coupés à la fin janvier, l'activité des adultes se poursuit jusqu'au début juin. Les pics des attaques et les 50% des émergences sont observés au cours de la 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> semaine d'avril.

À l'exception de l'étude de BENHALIMA (2004) aucune étude n'a été trouvée concernant *P. cedri*. Cet insecte monophage et endémique au cèdre de l'Atlas, observé uniquement en Algérie et au Maroc. Au niveau des cédraies de Ras El Ma et Aguelmane Sidi Ali au Maroc *P. cedri* réalise une seule génération par année, la période de vol des adultes se prolonge de la fin janvier jusqu'à la fin juin, résultats similaires aux nôtres.

ZHAO et CAO (1987) indiquent que *Phloeosinus perlatus* établis sur *Cunninghamia lanceolata* en Chine réalise une seule génération par année et l'hivernation se réalise au stade adulte. La période d'envol des adultes débute à la fin d'Avril et se termine à la fin de mai. En Hongrie les adultes de *P. aubei* sur thuya sont observés au printemps (BOZSIK et al. 2014).



**Figure 27.** Principales écophases de *Phloesinus cedri* (a : Œuf ; b : systèmes de galeries ; c : adulte néonate ; adulte mature, l'échelle est à 1mm) (photos personnelles).

BEL HABIB et *al.* (2008), indiquent que sur *Cupressus sempervirens* en Tunisie, le scolyte *Phloeosinus aubei* réalise 2 générations en plus d'une génération scœur, la 1<sup>ère</sup> génération est observée d'avril à juin la 2<sup>ème</sup> de juin à août alors que la génération scœur peu se faire en automne.

Les investigations réalisées lors de cette étude indiquent que *P. cedri* est une espèce monogame (sex-ratio de 1:1), le système de galerie est du type longitudinal simple, caractérisé par une galerie maternelle sous-corticale mesurant en moyenne 34,89 de long et 1,39mm de large, chaque femelle dépose en moyenne 15,39 œufs dans des encoches à partir des qu'elles partent des galeries larvaires qui mesurent en moyenne 17,37 de long et 0,78mm de larges, les systèmes de

galeries de *P. cedri* sont nettement plus petits que ceux de *S. numidicus* qui sont plus prononcées dans le bois.

Les résultats de l'étude biométriques des systèmes de galerie de *P. cedri* rejoignent ceux de Benhalima (2004) qui mentionne que ce scolyte est monogame et réalise des galeries longitudinales simples, la galerie maternelle mesure 28,2mm de long et 1,5mm de large. Les femelles pondent une seule fois et leur fécondité est estimée à 18,2 œufs/ponte. Elle rajoute que les galeries larvaires sont perpendiculaires à la galerie maternelle et mesurent en moyenne 12mm de long et 1mm de large.

BEL HABIB et al. (2007) ainsi que BOZSIK et SZOC (2017), déclarent que la galerie maternelle de *Phloeosinus aubei* mesure  $13 \pm 3.6$ cm long, et rejoutent que ce scolyte est monogame mais la femelle peu pondre 2 à 3 fois au long de sa vie pour un cumule de 54 œufs. Par contre MOUCHERONB et al. (2019) indiquent que sur *Cupressus sempervirens* le xylophage *Phloeosinus rudis* est une considérée comme bigame suite à l'observation de systèmes longitudinales doubles.

### 3.4.4 Etude de la bioécologie de de *Melanophila marmottani* Fairmaire, 1868

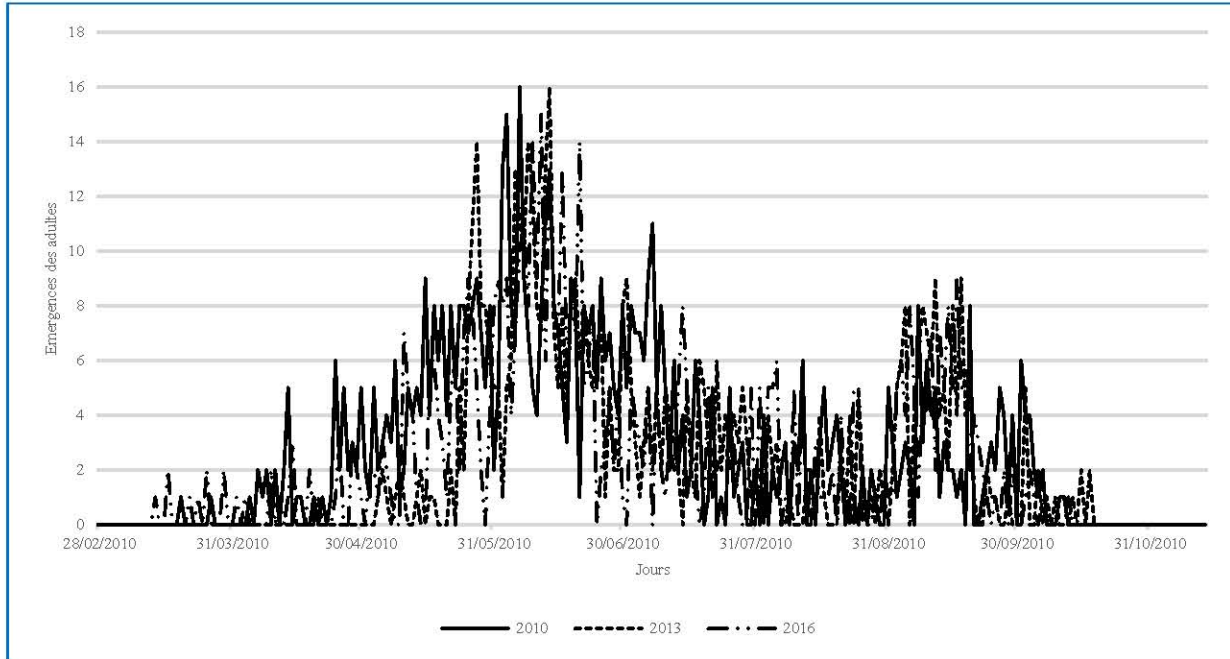
#### 3.4.4.1 Résultats

L'observation des émergences de *M. marmottani* au cours des trois campagnes d'échantillonnage 2010, 2013 et 2016 (figure 28) a permis de situer la période de vol des adultes de ce bupreste entre la 3<sup>ème</sup> semaine d'avril et la fin du mois d'août, soit une durée de 17 semaines. Les pics de vols se situent entre 25 mai et le 6 juin respectivement en 2013 et 2016.

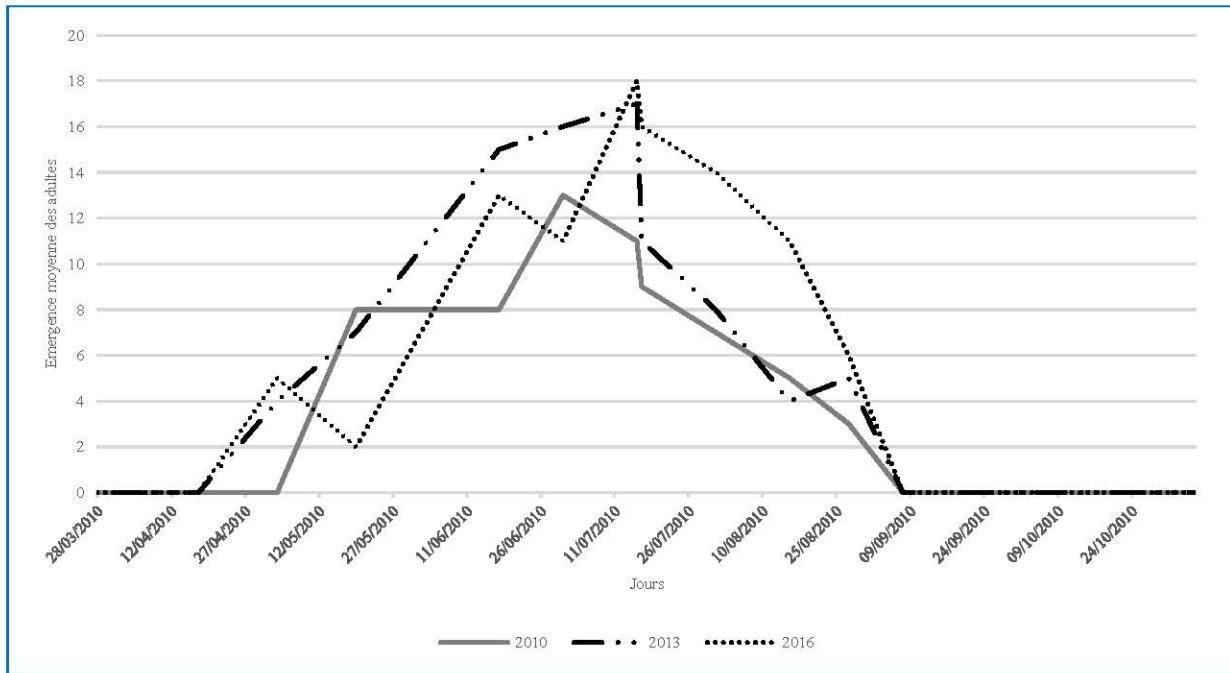
Les prospections réalisées sur terrain ont permis de collecter 274 adultes de *M. marmottani* dans les pièges vitres, l'étude des courbes de vols obtenues (figure 29) indique une seule période de vol qui dure 4 mois, de la fin du mois d'avril à la fin août.

**Tableau 16.** Durée de développement de *Melanophila marmottani* au niveau des cédraies des Aurès.

Campagne	Date des 50% d'émergences de la G.H.	Nombre de générations	Durée de développement
2010	18/06/2010	1	Une année
2013	27/06/2013	1	Une année
2016	19/06/2016	1	Une année



**Figure 28.** Emergences des adultes de *Melanophila marmottani* au laboratoire pour les trois campagnes d'échantillonnage.



**Figure 29.** Emergences des adultes de *Melanophila marmottani* sur terrain pour les trois campagnes d'échantillonnage.

L'étude de la durée de développement du principal bupreste xylophage sur cèdre (tableau 16), indique que *M. marmottani* est une espèce univoltine dont les 50% des émergences furent enregistrés entre le 18 juin en 2010 et le 27 juin en 2013.

**Tableau 17.** Morphométrie moyenne des systèmes de galeries de *Melanophila marmottani* au niveau des cédraies des Aurès.

Campagne	Galeries larvaires		Loge nymphale	
	Longueur (mm)	Largeur* (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)
Moyenne ± Ecart-type	143,64 ± 31,89	9,18 ± 0,87	8,13 ± 5,57	2,89 ± 0,71

(\*) moyenne des deux côtés de la galerie larvaire.

L'examen de la biométrie de *M. marmottani* (figure 17) révèle que les larves creusent des galeries sinueuses qui mesurent en moyenne 143,64mm de long et 9,18mm de large, à la fin de la vie larvaire les nymphes forent des galeries de nymphose qui mesurent 8,13mm de long et 2,89mm de large dans lesquelles elles vont terminer leur métamorphose.

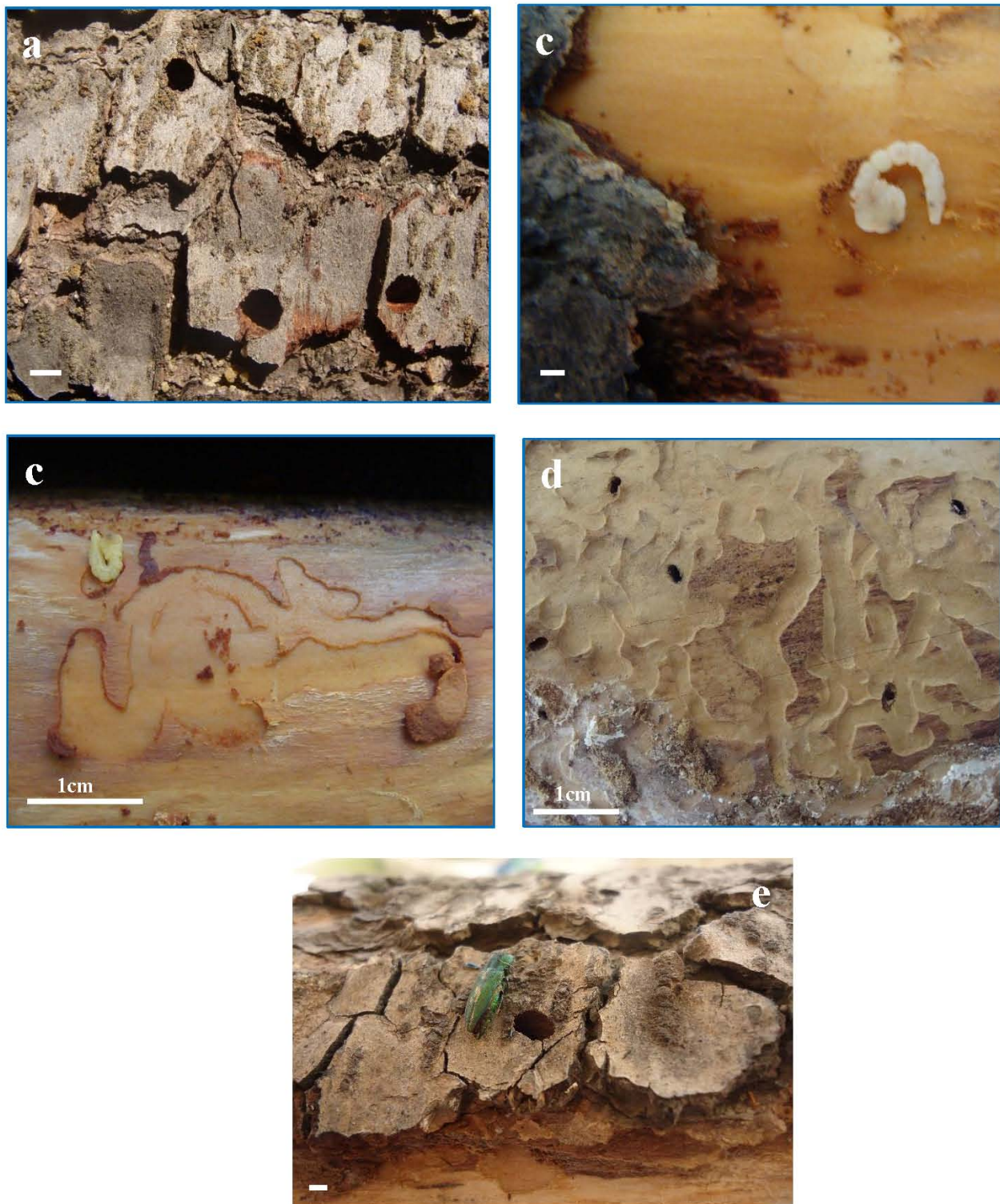
#### 3.4.4.2 Discussion

A l'issus de l'étude de la bioécologie de *M. marmottani* conduite durant les trois campagnes d'échantillonnages, nous pouvons conclure que l'activité des adultes sur cèdre de l'Atlas s'effectue de la 3<sup>ème</sup> semaine du mois d'avril jusqu'à la fin-août. Une seule génération à été observée par année avec des pics d'activité à la première semaine de juin et que les 50% d'émergences sont enregistré à la troisième semaine du mois d'août.

BENHALIMA (2004) ainsi que MOUNA (2009) indiquent une succession des émergences des adultes des buprestes associés au cèdre de l'Atlas. Ils citent *Anthaxia chobauti* et *A. martini* qui sont observer au début du printemps en février, alors que les adultes de *A. ludovicae* s'observent de mai à juillet.

Au niveau des cédraies de Chélia et de Ouled Yagoub, le bupreste *M. marmottani* réalise une seule génération par année, les adultes furent observés de la fin-mai à la fin août.

L'étude des galeries larvaires du bupreste indique que les larves creusent des galeries de 143,64mm de long et 9,18mm de large en moyenne, ces galeries sont sinueuses uniramées marquants légèrement le bois et qui s'élargissent avec le développement larvaire, la loge nymphale



**Figure 30.** Principales écophases de *Melanophila marmottani* (a : trous de sorties ; b : stade larvaire ; c : galerie larvaire ; d : attaques massives de *M. marmottani* ; e : adulte émergeant d'un trou de sortie, l'échelle est à 1mm) (photos personnelles).

est creusée en profondeur dans le bois des fûts et mesure en moyenne 8,13mm de long et 2,89mm de large.

Les résultats que nous avons obtenus sont proches de ceux de BENHALIMA (2004), M'HIRIT (2008) et MOUNA (2009) obtenus au niveau des cédraies marocaines, ces auteurs concédèrent *M. marmottani* comme étant l'espèce la plus nuisible à cause de l'importance des surfaces infestées. Ils estiment par ailleurs que les larves de cet insecte creusent des galeries de 11,7cm de long alors que les loges nymphales font 3,3mm de long et 0,7mm de large. Par contre Talbi (2010) annonce au Belezma, que les galeries larvaires de *M. marmottani* atteignent 34cm de long et 6,3mm de large en moyenne.

YiSong et al. (2010) indiquent que *Melanophila picta* évoluant sur le genre *Populus* en Chine réalise une seule génération par année, les adultes ont une activité estivale alors que la diapause hivernale se réalise au dernier stade larvaire.

West (1947) indique que l'envol des adultes de *Melanophila californica* s'échelonne de juin à août. Mais le cycle complet se boucle en 3 à 6 années.

La littérature relate que le genre *Phaenops* semble propre à la région paléarctique et comprend une dizaine d'espèces. Les adultes se trouvent sous l'écorce des conifères tels que *Pinus sp.*, *Abies sp.*, *Picea sp.* et *Cedrus sp.* où ils réalisent un cycle annuel (DE PEYERIMHOFF 1919 , HASTIR et GASPARD 2002).

### 3.4.5 Etude de l'entomofaune auxiliaire des xylophages

#### 3.4.5.1 Résultats

Au cours des trois campagnes d'échantillonnages, les prospections réalisées lors de l'écorçage des billons de cèdre de l'Atlas ainsi que les émergences obtenues à partir des éclosiers ont permis de capturer 374 imagos auxiliaires représentant 8 espèces classées en 6 familles rangées en 2 ordres systématiques à savoir celui des coléoptères et des hyménoptères (tableau 18).

Les coléoptères sont majoritaires avec 358 spécimens, soit 95,72% des captures totales. Les hyménoptères ne représentent que 4,28% de l'entomofaune auxiliaire. Sur le plan trophique les prédateurs sont majoritaires avec 7 espèces recensées alors qu'une seule espèce a été identifiée comme étant parasitoïde.



L'étude des émergences moyennes indique que *Nemosoma breviatum* est l'espèce prédatrice la plus active avec une moyenne annuelle de 4,08 imagos/rondin enregistrée sur les billons des sections moyennes suivi par les sections basales avec 2,28 imagos/rondin.

**Tableau 18.** Emergences moyennes des auxiliaires associés aux xylophages du cèdre de l'Atlas (\*\* : espèces de la famille communément attaqués par l'auxiliaire ; \* : espèces de la famille rarement attaqués par l'auxiliaire).

Espèce	Statut	Moyennes annuelles des émergences			
		Bases	Moyenne	Cimes	Branches
<b>Prédateurs</b>					
<i>Nemosoma breviatum</i> Peyerimhoff, 1917 (Trogossitidae: Coleoptera)	Scolytidae**	2,28 ± 0,48 b	4,08 ± 1,43 a	0,64 ± 0,29 c	0,86 ± 0,84 c
<i>Calodromius bifasciatus</i> Dejean, 1825 (Carabidae : Coleoptera)	Scolytidae**	1,79 ± 0,36 a	1,89 ± 0,41 a	/	/
<i>Syntomus fuscomaculatus</i> Motschulsky, 1844 (Carabidae : Coleoptera)	Scolytidae** Cerambycidae*	0,76 ± 0,84 b	2,34 ± 1,09 a	2,36 ± 0,89 a	/
<i>Pityophagus ferrugineus</i> Linné, 1758 (Nitidulidae : Coleoptera)	Scolytidae**	0,47 ± 0,11 b	3,22 ± 1,17 a	1,32 ± 0,87 ab	0,53 ± 0,43 b
<i>Thanasimodes dorsalis</i> Lucas, 1843 (Cleridae : Coleoptera)	Scolytidae** Siricidae**	2,08 ± 1,53 a	2,32 ± 0,79 a	1,74 ± 0,64 b	/
<i>Temnochila caerulea</i> Olivier, 1890 (Trogossitidae: Coleoptera)	Buprestidae** Scolytidae*	/	0,89 ± 0,29 a	/	0,74 ± 0,33 a
<i>Clanoptilus rufus</i> Olivier, 1790 (Malachiidae: Coleoptera)	Scolytidae** Cerambycidae*	0,28 ± 0,04 a	0,33 ± 0,07 a	/	/
<b>Parasitoïde</b>					
<i>Aulacus striatus</i> Jurine, 1807 (Aulacidae: Hymenoptera)	Scolytidae** Siricidae*	/	0,35 ± 0,06 a	0,13 ± 0,11 a	/

Les valeurs représentent la moyenne ± l'écart-type ; les lettres en gras dans les mêmes lignes désignent les classes de moyennes après test LSD de Fisher au seuil de 5%.

*Calodromius bifasciatus* a été observée uniquement sur les parties basales et médianes du cèdre de l'Atlas ou des moyennes respectives de 1,79 et 1,89 adultes/rondin furent enregistrées respectivement.

*Syntomus fuscomaculatus* et *Thanasimodes dorsalis* (figure 31-a) s'installent dans les parties du fût du cèdre de l'Atlas, un maximum de 2,36 adultes/rondin fut enregistré sur les parties sommitales pour la première espèce et 2,32 adultes/rondin sur les parties médianes pour la seconde. Enfin, *Temnochila caerulea* et *Clanoptilus rufus* sont des espèces rares qui enregistrent respectivement des émergences maximales de 0,89 et 0,33 imagos/rondin.

La guildes des parasitoïdes est représentée par l'espèce *Aulacus striatus*, obtenue à partir des rondins des sections médianes et sommitales ou une moyenne de 0,35 et 0,13adultes/rondin fut notée.

### 3.4.5.2 Discussion

Les ennemis naturels des xylophages contribuent au maintien des populations de ces prédateurs en écosystème forestier méditerranéen. En général, les prédateurs ont un plus grand éventail d'espèces de proies que les parasitoïdes. Ils peuvent être des antagonistes efficaces car de nombreuses espèces sont plus mobiles et plus actives en hiver que leurs proies (PAINE et LIEUTIER 2016).



**Figure 31.** Photos de deux prédateurs dans les galeries des Scolytes (**a** : adulte de *Nemosoma breviatum* dans une galerie de *Cryphalus numidicus* ; **b** : adule immature de *Temnochila coerulea* dans une galerie de *Scolytus numidicus*, l'échelle est à 1mm) (photos personnelles).

Il est établi que les parasitoïdes et les prédateurs des xylophages localisent leurs proies par l'intermédiaire des signaux sémio-chimiques, intra ou interspécifiques. Les études démontrent que les prédateurs sont les premiers à arriver sur les arbres nouvellement infestés - souvent en même temps que leur proie - alors que la plupart des parasitoïdes arrivent plus tard (STEPHEN et DAHLSTEN 1976 ; OHMART et VOIGT 1982 ; LINIT et STEPHEN 1983 *in* VEGA et HOFSTETTER 2015).

L'échantillonnage effectué lors des trois campagnes (2010, 2013 et 2016) a permis d'inventorier 8 espèces dont 7 prédateurs et 1 parasitoïde. *Nemosoma breviatum* est l'espèce la plus capturée dans les éclosoirs et des galeries des scolytes, elle semble avoir un large spectre de proies, ces observations sont proches de ceux de DE PEYERIMHOFF (1919) et BENHALIMA (2004) qui indiquent que cette espèce s'attaque aux insectes sous corticaux notamment *Cryphalus piceae*, *Scolytus numidicus* et de *Pleosinus cedri*.

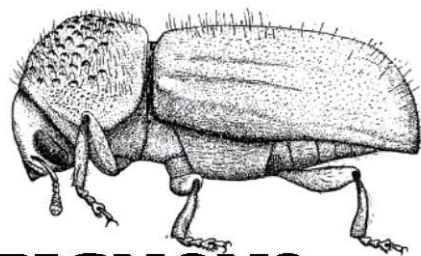
Les carabides *Calodromius bifasciatus* et *Syntomus fuscomaculatus* ont été échantillonnées essentiellement des rondins de la partie médiane du cèdre et n'ont jamais observés dans les galeries des autres xylophages, ces résultats corroborent avec ceux de BENHALIMA (2004) et BRIN (2008) qui indiquent que ces prédateurs s'attaquent presque à tous les invertébrés vivants sous l'écorce de la plupart des essences forestières du pourtour méditerranéen.

*Thanasimodes dorsalis* est retrouvée dans de toutes les parties du fût du cèdre de l'Atlas ; cet insecte semble être un prédateur des larves d'hyménoptères et toute espèce sous-corticale (PASCUAL 2009). Alors que l'espèce *Clanoptilus rufus* présent au niveau des rondins des parties basale semble être spécifique des Scolytidae et des Cerambycidae.

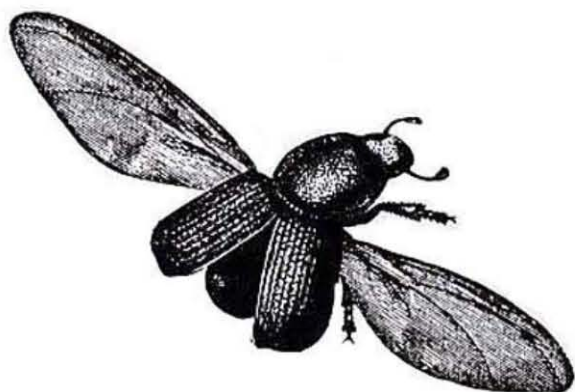
En ce qui concerne les parasitoïdes une seule espèce fut formellement identifiée comme étant *Aulacus striatus*. Cette espèce endo-Koinobionte est observée dans les rondins des classes médianes et sommitales, elle s'attaque aux scolytes et aux hyménoptères xylophages en étant (GIUSEPPE et al. 2009).

Enfin, WERMELINGER (2002) ainsi que OPENDER et DHALIWAL (2003) indiquent que les prédateurs des xylophages ne semblent pas préférer certaines parties de l'arbre, mais colonisent plutôt les parties inférieures des fûts contrairement aux parasitoïdes, qui préfèrent souvent les parties sommitales des arbres où l'écorce est plus fine.

## Chapitre 4



# ETUDE DES CHAMPIGNONS OPHIOSTOMATOÏDES ASSOCIES AUX XYLOPHAGES DU CEDRE DE L'ATLAS DANS LES AURES



## Chapitre 4 : Etude des champignons ophiostomatoïdes annexés aux xylophages du cèdre de l'Atlas dans les Aurès

### 4.1 Introduction

L'association insectes-champignons fut l'une des symbioses les plus anciennement décrites (KIRISITS 2007). Dès le début du 19<sup>ème</sup> siècle, des « ambrosia » sont isolés et identifiés à partir des galeries du xylophage *Xyleborus dispar*. Depuis, plusieurs mycotaxons furent inventoriés comme étant associés aux coléoptères xylophages et décrits comme étant phytopathogènes en écosystème forestier en causant des flétrissures vasculaires ou des décolorations vasculaires aboutissant à la détérioration de la qualité esthétique et économique du bois attaqué (SIX 2007).

Les récentes recherches ont démontré l'importance des champignons ophiostomatoïdes dans les processus d'initiations des attaques et d'affaiblissement des mécanismes de défenses des essences hôtes.

Le dernier volet de notre travail se vœux être une première ébauche de l'étude et de la caractérisation de quelques associations xylophages-ophiostomatoïdes observées au niveau des cédraies des Aurès.

### 4.2 Revue bibliographique sur les champignons ophiostomatoïdes annexés au xylophages

#### 4.2.1 Relations insectes-champignons

La relation entre les xylophages (notamment les scolytes) et les champignons fut établie pour la première fois grâce à Schmidberger en 1836 qui a décrit une "ambrosie" dans les galeries du scolyte du bois *Xyleborus dispar*, Hartig en 1844 a découvert la nature fongique de cette "ambrosie" tapissant les galeries des xylophages. De même, en 1908 Münch a observé que le bleuissement observé sur bois d'œuvre est associé à l'attaque des scolytes (SIX 2007).

Depuis, plusieurs cas d'associations xylophage-champignons furent mis à jour sur diverses essences forestière notamment sur le genre *Ulmus* (SMALLEY et al. 1993), *Cuperssus* (TIBBERI et BATTISTI 1998), *Quercus* (SOUSA et al. 1997) et *Pinus* (LIEUTIER 1993 , BEN DJEMAA 2007). Il fut établi au cours de ces études que l'association xylophages-champignons est ubiquiste, primordialement mutualiste. Cependant, un éventail d'interactions diverses, notamment l'antagonisme et le commensalisme est remarquable.

#### 4.2.2 Intérêt de l'association scolytes-champignons

La typologie de l'association scolytes-champignons permet de caractériser deux guildes distinctes. La première englobe un nombre d'espèces limitées dites « xylomycétophages ou xylomycophages ». Ces espèces se développent généralement dans les tissus de xylème pauvres en éléments nutritifs et riche en lignine, cellulose et hémicelluloses non digérables par les insectes, ces derniers font recours aux champignons ectosymbiotes obligatoires pour contourner ce problème (KIRSCHNER 1998, JANKOWIAK 2004).

La seconde guilda regroupe un large spectre d'espèces de scolytes qui sont dites « phloéophages ». Ces espèces ne sont pas dépendantes de leurs symbiotes sur le plan trophique mais sont considérées comme étant primaires, qui s'attaquent aux essences en bonne état physiologique. La réussite des attaques de ces espèces envisage un effet synergique entre la pression exercée par la population des insectes et l'action des champignons symbiotiques.

Taxonomiquement, la plupart des scolytes s'associe soit avec des mycotaxons appartenant à la famille des Ascomycota filamenteuse particulièrement les genres *Ophiostoma*, *Ceratocystis* et *Ceratocystiopsis* ou avec les anamorphes des genres *Leptographium*, *Pesotum*, *Hyalorhinocladiella*, *Sporothrix* et *Thielaviopsis*. Les effets de ces relations fongiques peuvent être envisagés en termes de phases temporelles (donc physiologiques et démographiques) qui se chevauchent dans le cycle de vie du coléoptère. Les attaques des scolytes sont fortement facilitées par l'inoculation des champignons ophiostomatoïdes aux trous d'entrée en épuisant l'arbre suite à la stimulation répétée de leurs défenses naturelles, cette action est d'autant plus aggravée quand elle survient en phase d'intense activité de l'essence forestière (ZIMMERMANN 1973, UPADHYAY 1981, WHITNEY 1982, WINGFIELD et al. 1993, KROKENE 1996, PAINE et al. 1997, KIRSCHNER 1998, SIX 2003).

Les mycotaxons peuvent être impliqués dans le processus de neutralisation des défenses naturelles des essences attaquées en colmatant les carneaux de résine ou en formant des vésicules d'air suite au développement mycélien ou encore par la libération de toxine ou d'enzymes perturbateurs de l'activité cellulaires des structures défensives. Les mycotaxon peuvent aussi jouer le rôle des phéromones d'agrégation chez les espèces de scolytes qui en sont dépourvus (CHRISTIANSEN et al. 1987, RAFFA et KLEPZIG 1992, KROKENE 1996, PAINE et al. 1997, LIEUTIER 2002).

Enfin, les mycotaxons peuvent avoir un rôle protecteur vis-à-vis de leur hôte en étant antagonistes aux autres champignons. Notons, l'existence de scolytes réputés pour être phloéophages mais se comportent comme des xylomycophages, nécessitant une alimentation riche en stérols afin d'atteindre leur maturité sexuelle et devenir aptes à la reproduction (SIX 2003).

#### 4.2.3 Ecologie des champignons ophiostomatoïdes

Les champignons ophiostomatoïdes appelés communément champignons du bleuissement à cause des décolorations (notamment vers le bleu, le blanc ou le noir) qu'ils font subir du bois particulièrement pour les conifères, ont une action qui ne touche pas iniquement la strate sous corticale mais affecte également le bois dure ou ils provoquent des flétrissements et/ou des pourritures vasculaires (KROKENE et SOLHEIM 1998, KIRISITS 1998, KIRISITS et OFFENTHALER 2002).

Les champignons ophiostomatoïdes affectent le bois dont l'humidité varie entre 30 et 40% ce qui les rend aptes à s'attaquer aux essences en pleine sève. Ils utilisent les assimilés des cellules parenchymateuses de l'aubier en ne dégradent jamais la composition structurale du bois contrairement aux autres mycotaxons décomposeurs du bois. Les structures fongiques des ophiostomatoïdes observées dans les galeries des xylophages (figure 32) sont formées par les couches d'hyphes qui tapissent la périphérie des galeries surmenées par des chaînes de conidies (KIRSCHNER 1998 ; SIX 2003).

Enfin, les données bibliographiques indiquent que la plupart des champignons ophiostomatoïdes sont connus sous leur état anamorphe, mais il n'est pas exclu de trouver la forme téléomorphe ou levuroïde (KIRSCHNER 1998, KIRISITS *et al.* 2000, JACOBS *et al.* 2003).

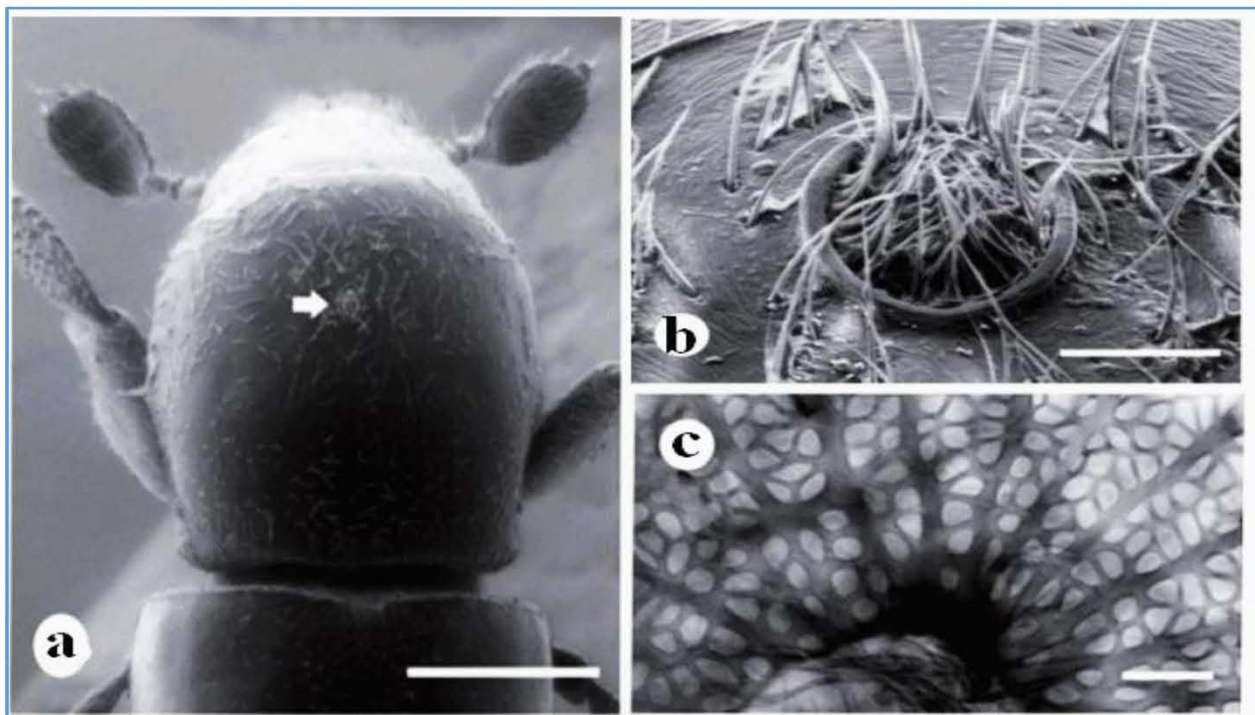
#### 4.2.4 Dispersions des champignons ophiostomatoïdes

D'après HOFSTETTE *et al.* (2015), la symbiose entre les insectes xylophages et les champignons ophiostomatoïdes remonte au crétacé, cette symbiose fut maintenue grâce à la présence d'une structure spécialisée dans différents tagmes des insectes dont le rôle est le maintien de la pérennité et la dispersion de ces mycotaxons appelée mycangia or mycetangia (WHITNEY 1982, SIX 2003).

Les mycangia sont des tubes, des poches ou des cavités plus ou moins élargies tapissées de cellules glandulaires (Figure 33). Les mycangia produisent des sécrétions qui protègent, préservent



**Figure 32.** Assises d'hyphes dans les galeries des xylophages (a : dans les galeries de *S. numidicus* ; b : dans les galeries de *M. marmottani*. Photos personnelles).



**Figure 33.** Mycangium d'une femelle of *Scolytoplatypus blandfordi* (a: tête montrant le pore du mycangium ; b : pore du mycangium surmené des soies frontales ; c : structure interne du canal du mycangium ; Roger 2006. Figure reproduite sous permission des éditions Wiley®).



et sélectionnent les spores des champignons associés en offrant un milieu adéquat au champignon spécifique (PAINE et *al.* 1997, SIX 2003).

### 4.3 Matériels et méthodes

#### 4.3.1 Modalité d'échantillonnage

Afin d'apporter notre contribution à la connaissance des champignons ophiostomatoïdes annexés aux xylophages du cèdre de l'Atlas et de montrer leur rôle dans le processus de neutralisation des défenses naturelles des essences attaquées, nous avons entrepris une série de prélèvement au cours de l'été de l'année 2019.

##### 4.3.1.1 Prélèvement à partir des insectes

Vu l'impossibilité de l'étude de tous les taxons des xylophages recensés sur cèdre, les prospections se sont portées sur les principales espèces étudiées lors du chapitre III à savoir *Cryphalus numidicus*, *Scolytus numidicus*, *P. cedri* et *Melanophila marmottani*.

Les spécimens récoltés lors de la campagne d'échantillonnage de 2016 sont conservés à sec individuellement dans des tubes Eppendorf soigneusement fermés jusqu'à leur manipulation selon la méthode de YAMAOKA (2004).

Les insectes sont traités selon la méthode YAMAOKA (2004) et ZHOU (2004). En s'assurant de l'asepsie de la zone de travail, les xylophages furent rincés individuellement avec de l'eau distillée et transférés directement dans des boîtes Petri contenant de la gélose nutritive appauvri PA à 1% (10g agar-agar ; 1000ml d'eau distillée) afin de minimiser le problème de l'émergence invasive de certains taxons fongiques (cas des *Rhizopus spp.* ou des *Aspergillus spp.*), les boîtes sont mises à l'ombre à température ambiante de 17 à 20°C de juin à août 2019 au niveau de la réserve du laboratoire de phytopharmacie sis à l'institut des sciences vétérinaires et des sciences agronomiques de l'université Batna 1.

Au total, 40 boîtes de Petri furent prospectées à raison de 10 répétitions par espèce. En fin pour l'indentification des taxons fongiques, nous avons utilisé la méthode de LINNAKOSKI (2010). Les colonies formées furent repiquées dans des boîtes de Petri contenant un milieu de culture spécifique aux Ophiostomatoïdes 2%MEA (20g extrait de malt, 15g agar-agar et 1000 ml d'eau distillée le tout est amendé de 0.05g de Tétracycline comme antibiotiques) (Figure 34).

#### 4.3.1.2 Isolement à partir des fragments des galeries

La méthode JANKOWIAK *et al.* (2009), fut utilisée afin d'étudier les champignons ophiostomatoïdes présents dans les galeries des xylophages. Des fragments de la zone sous corticale de taille  $4 \times 4 \times 4$  mm furent prélevés dans les galeries des xylophages après écorçage avec un bistouri stérilisé sur la flamme d'un bec benzène. Les fragments furent directement placés dans des boîtes de Pétri contenant des milieux de culture comme pour les fragments des insectes. Au total 20 boîtes ont été préparées à raison de 5 répétitions par espèce.

#### 4.3.1.3 Isolement à partir de la résine des trous de sortie

Afin de mettre en évidence le rôle des champignons ophiostomatoïdes dans la réussite des attaques des xylophages nous avons procédé au prélèvement de la résine provenant des trous d'entrée et ou de sortie des scolytes uniquement, cette résine est transférée directement dans des boîtes de pétri comme il fut expliqué pour les insectes. 20 boîtes de Pétri furent préparées.

#### 4.3.2 Identification des structures fongiques

L'identification des mycotaxons ophiostomatoïdes est basée initialement sur les caractéristiques morphologiques des Ascomates, les ascospores, les conidiophores et les conidies. La reconnaissance taxonomique de nos champignons fut réalisée par des examens au microscope optique après avoir réalisé des montages des structures fongiques entre lames et lamelles et en utilisant le trypan bleu comme colorant (figure 35).

Les différentes structures fongiques furent photographiées sous microscope optique, l'identification fut réalisée en se basant sur une collection issue de reconnaissances préliminaires établis par Dr BENSACI O.A. enseignant chercheur à l'université de Batna 1 lors des prospections réalisées en 2017. Les structures fongiques que nous avons obtenues sont comparées avec les espèces décrites dans les différentes clés notamment (SOLHEIM 1986, YAMAOKA *et al.* 1997, JACOBS *et* WINGFIELD 2001, MARAIS *et* WINGFIELD 2000, SIX 2003).

#### 4.3.3 Paramètres étudiés

##### 4.3.3.1 Fréquence d'occurrence

Afin de caractériser la diversité des champignons ophiostomatoïdes la fréquence d'occurrence de chaque taxon fongique fut calculée pour les insectes mis en culture, des fragments

des galeries et des prélèvements de résine selon la formule de ROMON *et al.* (2007), ainsi que YAMAOKA *et al.* (2009), qui stipulent que les fréquences d'occurrence pour chaque structure

$$F(\%) = (NF-NT) \times 100.$$

Où NF : Nombre de structures fongiques du champignon x ayant été isolé. NT : nombre total des unités de substrat ayant abouti à la formation d'une structure fongique.



Figure 34. Mise en culture des champignons ophiostomatoïdes (Photo personnelle).



Figure 35. Coloration et mise préparations des structures fongiques pour identification

(Photo personnelle).

### 4.3.3.2 Indice de constance

L'indice de constance d'association des champignons vis-à-vis des insectes est calculé selon le formule avancée par YAMAOKA *et al.* (2009), qui s'énonce comme suit :

$$P (\%) = (NFS/NTS) \times 100.$$

Où P (%) est la constance d'association ; NFS est Le nombre d'échantillons ou le champignon x est isolé sur l'espèce s et NTS : Le nombre total d'échantillons qui ont abouti à un mycotaxon.

## 4.4 Résultats et discussion

### 4.4.1 Associations xylophages-champignons observées

A partir des 80 boîtes de Petri prospectées, 103 isolats fongiques furent caractérisés (Tableau 19-annexe 4). Classés en 9 taxons dont 6 furent identifiés à l'échelle de l'espèce (reste à confirmer génétiquement), les taxons non-identifiés sont observés sous des formes mycéliennes stériles ou levuroïdales.

**Tableau 19.** Associations xylophages-ophiostomatoïdes observées au niveau des cédraies des Aurès (A : insecte adulte ; G : fragments des galeries).

Espèces	<i>Cryphalus numidicus</i>		<i>Scolytus numidicus</i>		<i>Ploesinus cedri</i>		<i>Melanophila marmottani</i>		Résine
	A	G	A	G	A	G	A	G	
<i>Ceratocystis minor</i>	+	+	+	+	+	+			+
<i>Fomitopsis pinicola</i> *		+		+					
<i>Grosmannia sp.</i>				+			+		
<i>Ophiostoma nigrum</i>	+	+			+				
<i>Ophiostoma karelicum</i>			+	+		+			+
<i>Ophiostoma clavatum</i>					+	+		+	+
<i>Pesotum sp.</i>		+		+					
<i>Phellinus (Fomes) pini</i> *		+		+					
<i>Phellinus sp.</i> *				+					
<i>Rhodotorula sp.</i>	+					+			
<i>Sporothrix sp.</i>		+	+	+					
<i>Thielaviopsis sp. (nigrum)</i>		+		+		+		+	+

(\*) ; espèces non ophiostomatoïdes recensées à titre informatif par l'intérêt phytosanitaire.

L'analyse des résultats obtenus nous a permis de mettre en évidence deux types d'associations, la première semble être constante car elle fut observée sur les fragments des insectes et dans leur galeries, observée notamment entre *C. numidicus* d'une part et *C. minor*, *O. nigrum* de

l'autre ; entre *S. numidicus* et *O. karelicum* ; *C. minor* et *Sporothrix sp.* et enfin entre *P. cedri* et *Ceratocystis minor* ; *O. clavatum*.

La seconde association est "non-constante" observée uniquement au niveau des galeries des espèces xylophages tels les cas de *C. numidicus* avec *F. pinicola* ; de *S. numidicus* avec *F. pinicola* de *P. cedri* avec *O. nigrum* et entre *M. marmottani* et *C. Thielaviopsis sp.*

La culture des fragments de résine a permis d'observer 4 mycotaxons *C. minor*, *O. karelicum*, *O. clavatum* et *Thielaviopsis sp.* Enfin, du point de vue diversité les prélèvements effectués sur *C. numidicus* et *S. numidicus* affichent la plus grande richesse spécifique en affichant respectivement 7 et 9 mycotaxons, alors que *M. marmottani* est la moins associée avec 3 taxons les ophiostomatoïdes.

#### 4.4.2 Discussion

Les résultats obtenus permettent de dresser pour la première fois une liste des ophiostomatoïdes annexés aux xylophages du cèdre de l'Atlas. Les Ophiostomals sont majoritaires (45,45% des mycotaxons inventoriés) avec 3 espèces téléomorphes du genre *Ophiostoma* à voir *O. nigrum*, *O. karelicum* et *O. clavatum* et leurs anamorphes *Pesotum sp* et *Sporothrix sp.* Le genre *Ceratocystis* et sont anamorphe *Thielaviopsis* représentent 18,18% des mycotaxons recensés, idem pour le genre *Phellinus* dont on a observé deux taxons *Phellinus pini* et *Phellinus sp.* Enfin un mycotaxon fut identifié pour les genres *Fomitopsis*, *Grosmannia* et *Rhodotorula*.

Les champignons ophiostomatoïdes représentent un groupement théorique de genres morphologiquement similaires, incluant *Ophiostoma*, *Grosmannia*, *Ceratocystiopsis*, *Ceratocystis*, *Gondwanamyces* et *Cornuvesica*. Ces genres représentent deux grands groupes sans lien phylogénétique, l'un avec *Ophiostoma*, proche des Dothideales, et l'autre avec *Ceratocystis*, dans les Microascales (ZIPFEL et al. 2006).

Les genres anamorphes associés à ces genres téléomorphes comprennent *Pesotum*, *Leptographium*, *Sporothrix* et *Hyalorhinocladiella* qui sont liés à *Ophiostoma* tandis que *Graphium* et *Thielaviopsis* sont liés à *Ceratocystis* (WINGFIELD et al. 1993).

Les espèces du genre *Ceratocystis* (Ascomycota ; Microascales) provoquent des maladies de pourriture des racines chez les cultures agricoles et de flétrissement vasculaire et des chancres

chez les plantes ligneuses (VAN WYK et al. 2009 ; HARRINGTON 2013), bien que l'application du terme flétrissement vasculaire doit être pris avec réserve (KILE 1993 in NASUTION et al. 2019).

Le genre *Ceratocystis* et de son anamorphe *Thielaviopsis* s'attaquent aux tissus des assises parenchymateuse et cambiale ainsi qu'aux tissus de l'écorce en provoquant des chancres ; mais ces mycotaxons se différencient des agents pathogènes typiques du flétrissement vasculaire tels que les *Fusariums* ou les *Verticilliums* qui se déplacent à travers l'aubier mais n'envahissent les cellules du parenchyme ou du xylème que lorsque le métabolisme de l'hôte soit perturbé et que les tissus entourant les vaisseaux du xylème meurent.

Le genre *Ceratocystis* est signalés sur *Picea abies*, *Pinus spp.* ainsi que sur les feuillus tels que *Quercus spp.*, *Ulmus spp.*, *Platanus spp.*, *Eucalyptus spp.* et *Acacia spp.* L'infection des essences hôtes se fait suite aux blessures mécaniques induites par l'activité anthropozoogène ou suite à l'activité des insectes xylophages (KILE 1993 in NASUTION et al. 2019).

Les espèces du genre ubiquiste des *Ophiostoma* (Ascomycota ; Ophiostomatales) sont caractérisées microscopiquement par des parois cellulaires contenant de la cellulose et le rhamnose en plus de la chitine. Tributaires des insectes pour leur dispersion. Les espèces du genre *Ophiostoma* provoquent des altérations vasculaires aux essences attaquées qui se traduisent par des changements de la couleur du bois suite à la prolifération mycélienne (BOURTZIS et MILLER 2003 ; VEGA et BLACKWELL 2005).

Contrairement au genre *Ceratocystis*, les espèces du genre *Ophiostoma* sont généralement des saprobiontes qui colonisent le phloème et l'aubier des conifères et des feuillus et sont rarement présents sur d'autres substrats tels que les plantes herbacées (WINGFIELD et al. 1993).

Les infestations des mycotaxons du genre *Grosmannia* (Ascomycota ; Ophiostomatales) et son anamorphe *Leptographium*, sont rattachés aux attaques des scolytes sur les conifères, ces mycotaxons infestent les tissus de phloème et de l'aubier. Bien que les espèces de ces genres se rapprochent des *Ophiostoma* les études phylogéniques suggèrent leur classement dans une catégorie à part (Yin et al. 2020).

Bien qu'ils ne soient pas considérés comme ophiostomatoïdes, les genres *Fomitopsis* (Basidiomycota : Polyporales) et *Phellinus* (Basidiomycota ; Hymenochaetales) ont été isolés des galeries des 3 scolytes étudiés. Ces espèces ont été portées sur le présent inventaire à cause de leurs

importances dans les cédraies naturelles, en effet le genre *Fomitopsis* provoque des pourritures cubiques brunes sur les troncs du cèdre, alors que le genre *Phellinus* provoque des pourritures annulaires (ABOUROUH et MORELET 1999).

#### 4.5 Occurrences des principaux mycotaxons ophiostomatoïdes associés aux xylophages

##### 4.5.1 Résultats

L'analyse des fréquences d'occurrence (Tableau 20) indique une forte présence de *C. minor* sur *C. numidicus* et *S. numidicus* ou nous avons enregistré une fréquence maximale de 40% sur les insectes adultes et 80% au niveau des galeries.

**Tableau 20.** Fréquences d'occurrence F (%) des différents mycotaxons associés aux xylophages au niveau des cédraies prospectées.

	Fréquences d'occurrence (%)									
	Total (n=80)	<i>C. numidicus</i>		<i>S. numidicus</i>		<i>P. cedri</i>		<i>M. marmottani</i>		Résine (n=20)
		A (n=10)	G (n=5)	A (n=10)	G (n=5)	A (n=10)	G (n=5)	A (n=10)	G (n=5)	
<i>C. minor</i>	36,25 (29)	30,00 (3)	40,00 (2)	40,00 (4)	80,00 (4)	40,00 (4)	60,00 (3)	-	-	45,00 (9)
<i>Grosmannia sp.</i>	05,00 (4)	-	-	-	40,00 (2)	-	-	20,00 (2)	-	-
<i>O. nigrum</i>	15,00 (12)	50,00 (5)	80,00 (4)	-	-	30,00 (3)	-	-	-	-
<i>O. karelicum</i>	17,50 (14)	-	-	50,00 (5)	40,00 (2)	-	40,00 (2)	-	-	25,00 (5)
<i>O. clavatum</i>	12,50 (10)	-	-	-	-	40,00 (4)	40,00 (2)	-	20,00 (1)	15,00 (3)
<i>Pesotum sp.</i>	5,00 (4)	-	20,00 (1)	-	60,00 (3)	-	-	-	-	-
<i>Rhodotorula sp.</i>	3,75 (3)	20,00 (2)	-	-	-	-	20,00 (1)	-	-	-
<i>Sporothrix sp.</i>	07,50 (6)	-	20,00 (1)	20,00 (2)	60,00 (3)	-	-	-	-	-
<i>Thielaviopsis sp.</i>	20,00 (16)	-	80,00 (4)	-	40,00 (2)	-	40,00 (2)	-	40,00 (2)	30,00 (6)

*O. nigrum* affiche un maximum d'occurrence sur *C. numidicus* avec 50% des occurrences pour les insectes et 80% sur des fragments des galeries alors que les fréquences maximales de *O. karelicum* sont enregistrées sur *S. numidicus* avec 50% sur les adultes et 40% sur les fragments de galeries .

*O. clavatum* est observée uniquement sur *P. cedri* avec 40% pour les adultes et les galeries. *Sporothrix sp.* est observée sur les boîtes contenant les adultes et les fragments des systèmes de galeries de *C. numidicus* ou nous notons 20% et 60% respectivement.

En ce qui concerne les isolats issus de la résine, *C. minor* est présente à hauteur de 40% des prélèvements, suivie par *Thielaviopsis sp.* sur 30% des prélèvements alors que *O. karelicum* et *O. clavatum* sont présents respectivement à des occurrences de 25 et 15% ..

#### 4.5.2 Discussion

Les résultats des fréquences d'occurrence des différents mycotaxons indiquent que les genres téléomorphes *Ophiostoma* et *Ceratocystis* sont les plus fréquents sur les scolytes, en effet *C. minor* a été enregistrée sur les frayements de galeries et des adultes de *C. numidicus*, *S. numidicus* et *P. cedri* alors que l'anamorphe *Thielaviopsis sp.* fut isolé au niveau de toutes les galeries des xylophages.

De même, les espèces du genre *Ophiostoma* furent isolés à partir de toutes les cultures notamment *O. nigrum* sur *C. numidicus* et *P. cedri*, ainsi que *O. karelicum* isolé à partir de *C. numidicus* et *P. cedri*.

Les résultats que nous avons obtenus ont été avancés par YAMAOKA et al. (1998), BROWNBRIDGE (2010) et SIX (2012) qui indiquent que le genre *Ophiostoma* est le plus commun sur les scolytes. En effet *O. brunneo-ciliatum*, *O. piceae* et *O. laricis* sont signalées sur *Ips cembrae* évoluant sur mélèze au Japon, et que *O. ainoae*, *O. bicolor*, *O. brunneociliatum* sont isolées respectivement sur *Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus* et *I. amitinus* en Australie.

Au sud de la Pologne, JANKOWIAK et al. (2009), indiquent que *O. piceae* et *O. ainoae* sont les taxons fongiques les plus communs sur le chalcographe *pityogenes chalcographus*.

Outre la forme parfaite, nous avons obtenu des anamorphes d'*Ophiostoma*, notamment *Pesotum* et de *Sporothrix*, ces résultats corroborent avec ceux de REPE et al. (2013), qui signalent *Pesotum sp* sur *Ips typographus* en Slovénie ainsi de ceux de OHTAKA et al. (2002), qui enregistrent 4 espèces de *Pesotum* sur les adultes de *Criphalus montatus* au Japon, alors que *Sporothrix inflata* fut décrite par JANKOWIAK et al. (2013), sur *Pissodes castaneus* en Pologne.

*Ceratocystis minor* et son anamorphe *Thielaviopsis sp.* constituent un autre groupe d'ophiostomatoïdes associé (par son abondance et sa virulence) aux scolytes ; Nos constats vont



avec ceux avec ceux de YAMAOKA *et al.* (1998), qui déclarent des association scolytes-*Ceratocystis* telles que *C. minuta* et *C. laricicola* sur *Ips cembrae* au Japon ainsi que ceux de Kendrick et Molnar, (1964) qui rattachent *Ceratocystis dryocoetidis* au scolyte *Dryocoetes confusus*. En ce qui concerne l'anamorphe *Theilaviopsis*, REPE *et al.* (2013), donnent des résultats qui vont dans le même sens que les nôtres en rattachant l'anamorphe à *I. typographus*.

Pour le taxon *Grosmannia sp.*, agent causale de la maladie du bleuissement du bois, le champignon fut isolé (sans aucune trace de l'anamorphe *Leptographium*). En Finlande et en Russie *G. piceiperda*, *G. olivacea* et *G. penicillata* sont observés sur *Monochamus urussovi*, *Ips typographus* et *Hylurgops palliatus* (LINNAKOSKI, 2012).

Les champignons imparfaits sont représentés par *Rhodotorula sp* caractérisés par une colonie rouge-orangée, leur présence est relativement faible et nécessite des milieux riches en azote. CALLAHAM et SHIFRINE (1960), signalent la rareté et l'exigence nutritionnelle de la levure *Rhodotorula crocea* isolée uniquement sur *Dendroctonus jeffreyi*.

#### 4.6 Présences des association xylophages-ophiostotatoides

##### 4.6.1 Résultats

Les résultats de l'indice de constance (P%) portés sur le tableau 21 permettent d'apprécier la persistance des associations entre les xylophages du cèdre de l'Atlas et les mycotaxons ophiostomatoïdes qui leur sont annexés.

**Tableau 21.** Indice de constance (P%) des mycotaxons isolés à partir des principales espèces xylophages associées au dépérissement du cèdre de l'Atlas.

	Indice de constance (%)			
	<i>C. numidicus</i>	<i>S. numidicus</i>	<i>P. cedri</i>	<i>M. marmottani</i>
<i>C. minor</i>	25,00	40,00	35,00	0,00
<i>Grosmannia sp.</i>	0,00	50,00	0,00	50,00
<i>O. nigrum</i>	75,00	0,00	25,00	0,00
<i>O. karelicum</i>	0,00	77,78	22,22	0,00
<i>O. clavatum</i>	0,00	0,00	85,71	14,29
<i>Pesotum sp.</i>	25,00	75,00	0,00	0,00
<i>Rhodotorula sp.</i>	66,67	0,00	33,33	0,00
<i>Sporothrix sp.</i>	16,67	83,33	0,00	0,00
<i>Theilaviopsis sp.</i>	44,44	22,22	22,22	11,11

Les résultats obtenus indiquent que *S. numidicus* affiche un indice de constance maximale pour 5 mycotaxons *O. karelicum* (77,78%) et les anamorphes *Pesotum sp.* (75,00%) et *Sporothrix sp.* (83,33%) ainsi qu'avec les téléomorphes *C. minor* (40,00%) et *Grosmannia sp.* (50,00%).

*C. numidicus* s'associe avec *O. nigrum* avec une persistance estimée à 75% et avec *Thielaviopsis sp.* (44,44%), alors que la persistance avec *Rhodotorula sp.* est estimée à 66,67%.

Le scolyte *P. cedri* affiche des taux de persistance avec *O. clavatum* et *C. minor* estimé à 85,71% et 35,00% respectivement. Enfin *M. marmottani* peut s'associer avec *Grosmannia sp.* en affichant un indice de persistance estimé à de 50%.

#### 4.6.2 Discussion

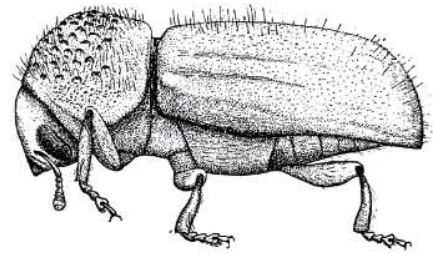
La caractérisation des relations des xylophages-champignons ophiostomatoïdes indique que *S. numidicus* est l'espèce qui s'associe avec le plus de champignons ophiostomatoïdes en affichant des indices de persistance maximaux avec 5 mycotaxons (*C. minor*, *Grosmannia sp.*, *O. karelicum*, *Pesotum sp.*, et *Sporothrix sp.*).

L'espèce *C. numidicus* s'associe avec 3 mycotaxons, un téléomorphe *O. nigrum*, un anamorphe *Thielaviopsis sp.* et un champignon imparfait *Rhodotorula sp.*, alors que l'espèce *P. cedri* s'associe plus avec des espèces téléomorphes (*C. minor* et *O. clavatum*).

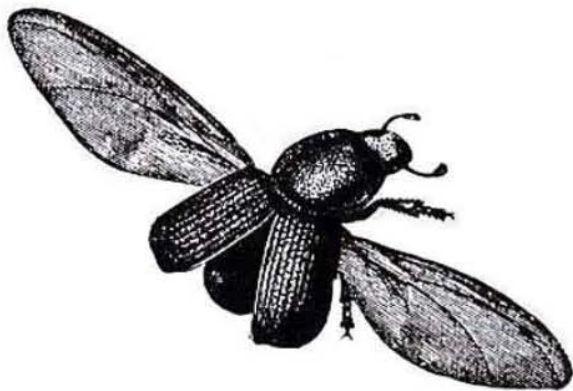
Le bupreste *M. marmottani* affiche une association avec *Grosmannia sp.* mais demeure accidentelle voir de faible fréquence d'occurrence.

Nos résultats sont consolidés par les travaux de KIRSCHNER et OBERWINKLER, (1999); KIRSCHNER, (2001); KIRISITS, (2007); qui classent les genres *Cryphalus* et *Scolytus* comme étant les actifs transmetteurs des structures fongiques responsables du bleuissement et des maladies vasculaires du bois.

Les champignons ophiostomatides entretiennent une relation de commensalisme avec les insectes xylophages, plus spécialement les Scolytinae. JANKOWIAK et al. (2009), indiquent que l'association des insectes-champignons ophiostomatoïdes augmente la réussite des attaques des xylophages sans nécessité d'attaque massive des insectes en affaiblissant physiologiquement l'essence attaquée surtout en période d'intense activité.



# CONCLUSION GENERALE



## CONCLUSION GENERALE

**A**ux termes des prospections réalisées au cours du présent travail, un premier listing des xylophages associés au dépérissement du cèdre fut établi, il en sorte que 23 espèces xylophages classées en 7 familles et 2 ordres systématiques ont été recensées (annexe 5). Les coléoptères représentent 99,5% de l'entomofaune xylophage alors que les hyménoptères ne représentent que 0,5%.

L'étude de la fréquence d'attaque nous permet de conclure que sur les 8 espèces de scolytes recensées, *Hylastes batnensis batnensis*, *Cryphalus numidicus*, *Scolytus numidicus*, *Crypturgus cedri* et *Phloeosinus cedri* sont les plus abondantes au niveau des huit stations prospectées. Chez les buprestidés, *Melanophila marmottani* et *Anthaxia martini* sont les espèces les plus actives. Chez les cérambycidés *Trichoferus griseus* et *Callidium cedri* sont les plus abondantes. La famille des Ciidae est représentée par une seule espèce *Cisdygma corioli*, celle-ci est considérée comme xylomycophage. En dehors des Coléoptères recensés, une seule espèce *Urocerus augur* a été observée. La fréquence d'attaque élevée de la plupart des xylophages inventoriés sur des arbres sains (D<sub>0</sub>) indique un état de déficiences physiologique des peuplements forestiers prospectés.

L'analyse des densités d'infestation des principales espèces xylophages au niveau des différentes sections de hauteur et de classes de dépérissement durant les trois campagnes d'infestation indique que les conditions stationnaires abiotiques (exprimées notamment par la température et l'humidité) et biotiques (traduites par les interactions inter et/ou intraspécifiques) agissent sur l'activité des principales espèces. En effet, nous avons observé des densités comprises entre 10,83 et 11,19 galeries maternelles/dm<sup>2</sup> pour *C. numidicus* ; 2,14 et 6,21 galeries maternelles/dm<sup>2</sup> pour *S. numidicus*. Enfin *P. cedri* affiche une densité d'attaque comprise entre 1,23 et 5,75 galeries maternelles/dm<sup>2</sup>. Le bupreste *M. marmottani* induit 2,17 à 4,2 galeries maternelles/dm<sup>2</sup> alors que la densité d'attaque du Ciidae *C. corioli* varie entre 3,75 et 6,17 galeries/dm<sup>2</sup>.

L'estimation des taux d'attaques des xylophages majeurs au cours des trois campagnes d'échantillonnage montre que *C. numidicus* engendre plus de dégâts, il est responsable de la destruction de 30,67% à 47,53% de la strate sous-corticale, alors que *C. corioli* s'attaque au bois dépérissant ou dépéris induit des taux d'attaques oscillants entre 2,62% et 14,87%. En

dernier *S. numidicus* et *M. marmottani* induisent des taux d'attaques qui varient entre 01,88% et 02,04% pour la première et entre 01,09% et 03,38% pour la seconde.

L'analyse spatio-temporelle des émergences de l'entomofaune xylophage associée au dépérissement du cèdre de l'Atlas indique que *C. numidicus* et *S. numidicus* s'attaquent préférentiellement à toutes les sections de hauteur de la classe D<sub>50</sub>, l'espèce *C. cedri* s'attaque au bois de la classe D<sub>100</sub> alors que *P. cedri* semble être une espèce du bois frais en s'attaquant préférentiellement aux sections « M » et « C » de la classe D<sub>0</sub>.

Les buprestes *M. marmottani* et *A. martini* s'attaquent à toutes les strates des classes D<sub>50</sub> du cèdre alors que le Ciidae *C. corioli* est observée sur les rondins de la classe D<sub>100</sub>.

Les investigations réalisées pour comprendre la stratification des insectes xylophage a permis de conclure que l'épaisseur de l'écorce du cèdre influence positivement les attaques de *C. numidicus* *M. marmottani*, *A. martini* et *C. cedri*.

En outre, l'analyse des successions temporelles des attaques des principaux xylophages du cèdre permet de placer *P. cedri* comme étant la première espèce qui s'installe sur cèdre, elle entame son activité dès le 2<sup>ème</sup> mois après les coupes des rondins pièges. Cette espèce est suivie par *C. numidicus* et *A. martini* puis par *M. marmottani* qui opèrent après 6 à 8 mois des coupes. Le scolyte *S. numidicus* ne s'attaque au bois qu'après 18 mois, les autres espèces sont considérés comme des espèces tertiaires elles opèrent sur bois sec.

La caractérisation de la distribution des différentes espèces xylophages en relation avec l'état phytosanitaire des stations d'observations, exprimée par la prévalence des essences dépéries, indique que la nocuité des buprestes est maximale au niveau des stations situées au niveau de la cédraie de Ouled Yagoub alors que les cédraies du mont Chélia sont en première phase d'attaque en étant infestées par les scolytes notamment *P. cedri* et *C. numidicus*.

La deuxième partie de notre travail nous a permis de mettre la lumière sur la bioécologie de quatre espèces xylophages.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que *C. numidicus* est généralement une espèce monogame et bivoltine (figure 1-annexe 5). L'émergence de la première génération est hâtive, se réalise au printemps après une durée de développement moyenne de près de 272 jours. Les 50% des émergences de cette génération sont observés du 10 au 22 mai. La durée de développement de la 2<sup>ème</sup> génération est d'environ 93 jours alors que les 50% des émergences sont observées du 10 au 18 août.

Les prospections réalisées durant la campagne de 2013 nous laissent supposer la possibilité de l'émergence d'une génération sœur en automne dans la mesure où les conditions propices sont réunies.

L'espèce *S. numidicus* est une espèce monogame, monophage et monovoltine l'émergence des adultes s'observe de la fin avril jusqu'à la fin d'août (figure 2-annexe 5). Les 50% des émergences sont observés entre la période allant du 16 au 26 juin et une génération sœur peut émerger au cours du mois de septembre. L'espèce *P. cedri* espèce endémique du cèdre de l'Atlas est monophage, monogame et monovoltine. L'apparition des adultes de cette espèce est précoce et s'échelonne du début de février au début juin, l'émergence des 50% la a lieu entre le 16 et 21 avril.

En ce qui concerne le bupreste *M. marmottani*, les suivis réalisés indiquent que cette espèce est monovoltine, l'envol des adultes est observé à partir de la 3<sup>ème</sup> semaine du mois d'avril se poursuit jusqu'à la fin-août et les 50% des émergences sont notées entre le 18 et le 27 juin.

Le suivi des rondins au niveau du laboratoire a permis d'observer également l'émergence de 374 imagos classés en 8 espèces appartenant à 6 familles et 2 ordres systématiques. Il a été constaté que *Nemosoma breviatum*, *Calodromius bifasciatus*, *Syntomus fuscomaculatus* et *Thanasimodes dorsalis* sont les prédateurs les plus importants. Une seule espèce parasitoïde a été observée il s'agit de *Aulacus striatus*.

Le dernier volet de notre étude a permis de dresser une liste de 9 mycotaxons ophiostomatoïdes. Il s'agit du genre téléomorphe *Ophiostoma* avec 3 espèces *O. nigrum*, *O. karelicum* et *O. clavatum* et leurs anamorphes *Pesotum* sp. et *Sporothrix* sp. Il s'agit aussi de l'espèce *Ceratocystis minor* et l'anamorphe *Thielaviopsis* sp. en plus du téléomorphe *Grosmannia* sp. et le champignon imparfait *Rhodotorula* sp.

L'analyse de la fréquence d'occurrence des ophiostomatoïdes ainsi que l'estimation de l'indice de persistance nous a permis de montrer des associations xylophages-ophiostomatoïdes très importantes telles que celles de *C. numidicus* avec les mycotaxons *O. nigrum* ; *Rhodotorula* sp. et *Thielaviopsis* sp., du scolyte *S. numidicus* avec les champignons *C. minor*; *Grosmannia* sp.; *O. karelicum*; ainsi qu'avec les anamorphes *Pesotum* sp. et *Sporothrix* sp. Enfin, le scolyte *P. cedri* réalise une étroite relation avec les mycotaxons *C. minor* et *O. clavatum*.

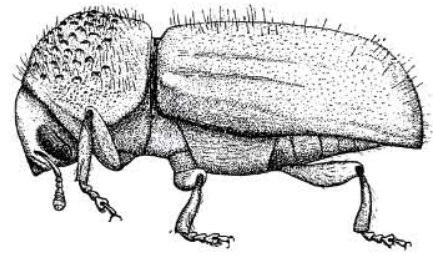
Nous pouvons considérer que notre travail vient compléter les travaux dans différentes céderais du monde, réalisés sur l'entomofaune, particulièrement les scolytes. Nous pouvons ainsi dire que les céderais des Aurès hébergent une faune de xylophages diversifiées.

Notre étude a montré la présence de scolytes ravageurs d'ordre primaire ou secondaire démontrant ainsi l'état sanitaire très dégradés des céderais des Aurès. Nous savons en ce qui concerne la région des Aurès que ses céderais connaissent des attaques d'insectes ravageurs, défoliateurs et l'installation du phénomène de dépérissement et ce depuis les années 1980.

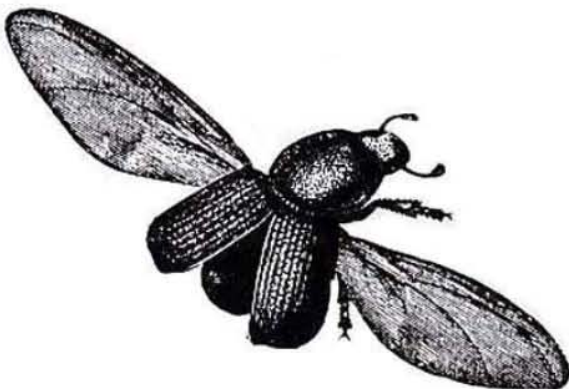
Il est connu aussi que la sécheresse et les canicules a répétitions fragilisent les écosystèmes. Avec les saisons chaudes et longues des ravageurs se développent davantage, le plus fréquent c'est le cas des scolytes. Le changement climatique serait la cause de conséquences dramatiques sur la planète, particulièrement sur l'écosystème forestier.

Le phénomène de sécheresse est soulevé non pas uniquement par les pays du sud mais surtout par ceux du nord, France, Italie Allemagne où ils signalent un phénomène de stress hydrique au niveau de leurs forêts. Les dépérissements d'essences forestiers en Europe et aux états unis sont fréquemment signalés ces dernières années mettant en cause le réchauffement climatique et l'installation des xylophages.

Sachant que l'intervention en forêt dans le cadre d'une lutte contre les insectes xylophage est très limitée, des réflexions en cours intègrent l'adaptation au changement climatique, elles s'orientent vers les mélanges d'essences ; l'implantation de nouvelles essences ; la lutte biologique.



**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**





## Références Bibliographiques

- Abdelhamid D., Marniche F., Allal-Benfekih L., Benadjroud N., Mouna M., 2017.** Importance des coléoptères selvatiques associés au cèdre de l'Atlas au niveau du parc national de Theniet El Had (Algérie). *Revue Agrobiologia* 10 : 297–311.
- Abdessemed K. 1981.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif des Aurès et de Belezma: étude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. Thèse Doct. Ing. Faculté St Jerome, Marseille, France, 199 p.
- Abourouh M., Morelet M., 1999.** Les champignons parasites du cèdre de l'Atlas en Afrique du nord et en France. *For. Méd.* 20 (4) :198-202.
- Ainsworth G.C., Bisby G.R., Kirk P.M., 2001.** Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi CABI Publishing Series. 9th ed. CABI Pub, Wallingford: 655p.
- Aksu, M., 1994.** Etat des connaissances sur l'entomofaune du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 :14p.
- Aljouri E., Gharib M., Almanoufi A., Daher-Hjai N. et Alissa-Alkharaba H., 2018.** First report of the bark beetle *Phloeosinus armatus* on the Mediterranean cypress *Cupressus sempervirens* in Syria. *Tunisian Journal of Plant Protection*, Institution de Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricoles (IRESA) 13 (2) : 263-268.
- Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H. (Ted), Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N., 2010.** A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660–684.
- Alonso-Zarazaga M.A., Lyal, C.H.C., 1999.** A world catalogue of families and genera of Curculionoidea: Insecta: Coleoptera); (excepting Scolytidae and Platypodidae. CSIC, Madrid. 315 p.
- Anderbrant O., Schlyter F., Birgersson G., 1985.** Intraspecific competition affecting parents and offspring in the bark beetle *Ips typographus*. *Oikos* 45: 69-98.
- Anderbrant O., Schlyter, F., 1989.** Causes and effects of individual quality in bark beetles. *Ecography* 12, 488–493.

- Arnett R.H., Thomas M.C. 2001.** American Beetles, Volume II: Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea, Volume 2. CRC Press, Boca Raton: 880p.
- Atay E., Jansson N., Gürkan T., 2012.** Saproxylic beetles on old hollow oaks (*Quercus spp.*) in a small isolated area in southern Turkey: (Insecta : Coleoptera). *Zoology in the Middle East* 57: 105–114. <https://doi.org/10.1080/09397140.2012.10648969>
- Balachowsky A.S., 1949.** Coléoptères Scolytidae, *Faune de France*, Le chevalier. ed. Paris: 25-89.
- Balachowsky A.S., 1969.** Les scolytes du cèdre dans le nord de l’Afrique du nord. *Ann. Sos. Entomol. Fr. (N.S.)*, 5(3): 647-655.
- Barbosa P., Wagner M.R., 1989.** Introduction to forest and shade tree insects. Academic Press, San Diego: 406p.
- Beaver R.A., 1967.** The Regulation of Population Density in the Bark Beetle *Scolytus scolytus* (F.). *The Journal of Animal Ecology* 36: 435. <https://doi.org/10.2307/2924>
- Beghami R., 2005.** Etude de la bioécologie de la processionnaire du cèdre *Thaumetopoea bonjeani* (Lepidoptera : Thaumetopoidae) au niveau de la cédraie de Oued Tider. Mémoire d’ingénieur d’état en agronomie. Université El Hadj Lakhdar - Batna- :103p.
- Beghami R., 2010.** Contribution à l’étude des insectes associés au dépérissement du cèdre de l’Atlas (*Cedrus atlantica*) dans la région des Aurès : cas de la cédraie de Chelia. Mémoire de magister. Université Batna 1, Batna.132p.
- Beghami R., Bertella N., Laamari M., Bensaci O.A., 2020.** Bark beetle and woodborer insects’ outbreak as a potent driver of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carriere) forests dieback in Aures -East Algeria-. *Forest Science and Technology* 16: 75–85. <https://doi.org/10.1080/21580103.2020.1756929>
- Beghami Y., 2012.** Approches sylvicole et paléoécologique pour l’étude des facteurs de dépérissement et la répartition spatio-temporelle du cèdre de l’Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) de l’Aurès. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khiedher, Biskra :96p.
- Bel Habib R., Ben Jamâa M.L. et Nouira S. 2007.** Biological characteristics of the cypress bark beetle *Phloeosinus aubei* in the Kessra forest, Center of Tunisia. *Tunisian Journal of Plant Protection* 2: 99-108.
- Belayeva N.V., Rasnitsyn A.P., Quicke D.L.J., 2002.** History of insects. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; Boston: 15-35.

- Ben Jamâa M.L., Lieutier F., Yart A., Jerraya A. & Khouja M.L. 2007.** The virulence of phytopathogenic fungi associated with the bark beetles *Tomicus piniperda* and *Orthotomicus erosus* in Tunisia. *Forest Pathology* 37: 51-63.
- Benhalima S., 2004.** Les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du Cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière dans le Haut et le Moyen Atlas (Maroc). (Thèse de doctorat). Univ. Moh. V - Agdal, Rabat, Maroc : 107p.
- Bentouati A., 2008.** Situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne* 2 : 203–208.
- Bentouati A., Bariteau M., 2006.** Réflexions sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie) 27 : 317–322.
- Bentz B.J., Jönsson A.M., 2015.** Modeling Bark Beetle Responses to Climate Change, *in: Bark Beetles*. Elsevier: 533–553. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00013-7>
- Berryman, A.A., 2002.** Population cycles: the case for trophic interactions. Oxford University Press, Oxford; New York: 208p.
- Berryman, A.A., 2013.** Dynamics of forest insect populations: patterns, causes, implications. Springer-Verlag New York, Place of publication not identified.
- Bílý S., 1982.** The Buprestidae (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark, *Fauna entomologica Scandinavica*. Scandinavian Science Press, Klampenborg, Denmark :109p.
- Bonneil, P., 2009.** Catalogue des méthodes d'échantillonnage entomologique. *In: Nageleisen, L.M. & Bouget, C. (ed.) Forest insect studies: methods and techniques. Key considerations for standardisation. An overview of the reflections of the "Entomological Forest Inventories" working group (Inv.Ent.For.)*. Les Dossiers Forestiers, Office National des Forêts 19 : 36-5.
- Boudy P.L.J., 1950.** Économie forestière nord-africaine: Monographies et traitements des essences forestières. 2 v, Larose. ed. Paris: 878p.
- Bourtzis et Miller 2003.** Insect Symbiosis. Contemporary Topics, Boca Raton, Washington D.C. CRC Press: 368p.
- Bowes B.G., 2010.** Trees & Forests, A Colour Guide: Biology, Pathology, Propagation, Silviculture, Surgery, Biomes, Ecology, Conservation. Manson Publishing, London: 288p.

- Bozsik G. ; Zsolnai B. ; Both G. ; Szócs G. et Francke W. 2014.** Observations on the overwintering of the bark beetle, *Phloeosinus aubei*, its spread in Hungary, and on the role of thuja volatiles, *Növényvédelem, Agroinform Kiadó*. 50 (5) : 209-213.
- Bozsik G., Szócs G., 2017.** Phenology, behavior and infestation levels of the invasive small cypress bark beetle, *Phloeosinus aubei*, on some cultivars of Thuja and Juniper spp., in Hungary. *Phytoparasitica* 45: 201–210. <https://doi.org/10.1007/s12600-017-0585-y>
- Bright, D.E., Skidmore R.E., 2002.** A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera). Supplement 2 (1995-1999). NRC Research Press, Ottawa.
- Brin A., 2008.** Le bois mort et les Coléoptères associés dans les plantations de pin maritime (*Pinus pinaster*, L.): Implications possibles pour la gestion durable des forêts et l'élaboration d'indicateurs de biodiversité. Thèse Doc., Univ. Bordeaux I, Sciences Technologies, 183 p.
- Brownbridge M., Reay, S.D., Cummings, N.J., 2010.** Association of Entomopathogenic Fungi with Exotic Bark Beetles in New Zealand Pine Plantations. *Mycopathologia* 169: 75–80. <https://doi.org/10.1007/s11046-009-9229-1>
- Byers, J.A., 1995.** Host-Tree Chemistry Affecting Colonization in Bark Beetles, *in: Chemical Ecology of Insects* 2. Springer US, Boston, MA: 154–213. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1765-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1765-8_5)
- Callaham, R.Z., Shifrine, M. 1960.** The yeasts associated with bark beetles. *Forest Science* 6: 146-154.
- Capinera, J.L., 2008.** Encyclopedia of entomology, 2ed Ed., Springer Science & Business Media B.V, Dordrecht: 4346p.
- Castro-Gil A., Martínez de Murguía-Fernández L., Molino-Olmedo F., 2017.** Primer registro de Rosalia alpina (Linnaeus 1758) (Coleoptera, Cerambycidae) en Prunus avium (L.) (Rosaceae). *GRAELLSIA* 73 ;61-71. <https://doi.org/10.3989/graellsia.2017.v73.182>
- Cerchiarini F., et Tiberi R., 1996.** *Cryphalus piceae* and silver fir decline in Vallombrosa forest *in* : J.C. Grégoire, A.M. Liebhold, F.M. Stephen, K.R. Day, and S.M. Salom, editors. 1997. *Proceedings: Integrating cultural tactics into the management of bark beetle and reforestation pests. USDA Forest Service General Technical Report NE-236*: 217-219.
- CFA 2018.** Plans d'aménagement des cédraies de Chélia. Circonscription des forêts d'Arris, 5p.

- Chakali G., 2007.** Stratégie d'attaque de l'hylésine *Tomicus destruens* (Wollaston 1865) (Coleoptera : Scolytidae) sur le pin d'Alep en zone semi-aride (Algérie, Djelfa). *Annales de Soc. Entom. de Fr.* (N.S.) 43, 129–137. <https://doi.org/10.1080/00379271.2007.10697502>
- Chararas C., 1962.** Étude biologique des scolytides des conifères., Lechevalier. ed. Lechevalier, Paris: 556p.
- Chen H., Tang M., 2007.** Spatial and Temporal Dynamics of Bark Beetles in Chinese White Pine in Qinling Mountains of Shaanxi Province, China. *Environmental Entomology* 36: 1124–1130. <https://doi.org/10.1093/ee/36.5.1124>
- Christiansen, E. 1985.** Ceratocystis polonica inoculated in Norway spruce: blue-staining in relation to inoculum density, Resinosis and tree growth. *European journal of forest pathology* 15: 160-67.
- Chung, W.-H., Kim, J.-J., Yamaoka, Y., Uzunovic, A., Masuya, H., Breuil, C., 2006.** *Ophiostoma brevisculum* sp. nov. (Ophiostomatales, Ascomycota) is a new species in the *Ophiostoma piceae* complex associated with bark beetles infesting larch in Japan. *Mycologia* 98: 801–814. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832651>
- Ciesla W.M., Donaubauer, E., 1994.** Decline and dieback of trees and forests: a global overview, FAO forestry paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Ciesla, W.M., 2011.** Forest entomology: a global perspective. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ. 416p.
- Dajoz R., 1996.** Précis d'écologie, 6th ed. Dunod: 551p.
- Dajoz R., 2007.** Les insectes et la forêt : rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier, 2<sup>ème</sup> éd. Ed. TEC & DOC, Paris: 594p.
- Davis T.S., Hofstetter R.W., 2009.** Effects of Gallery Density and Species Ratio on the Fitness and Fecundity of Two Sympatric Bark Beetles (Coleoptera: Curculionidae). *Environ. Entomol.* 38 : 639–650. <https://doi.org/10.1603/022.038.0315>
- De Peyerimhoff P., 1917.** Notes sur la biologie de quelques coléoptères phytophages du nord-africain, *Ann. Soc. Entomo. de Fr.* 84 (1) :19-61.
- De Peyerimhoff P., 1919.** Nouveau coléoptères du Nord-Africain Trente cinquième note : Faune de l'Aurès. *Ann. de la Soc. Entomo. de France* 88:243–247.

- De Peyerimhoff P., 1933.** Les Coléoptères attachés aux Conifères dans le Nord de l'Afrique. *Ann. Soc. Entomol. Fr.* 102, 359–412.
- Derak M., M'hirit, O., Mouflih B., Et-Tobi B., 2008.** Influence de la densité et du type de peuplement sur le dépérissement du cèdre à Sidi M'Guild (Moyen Atlas marocain). *forêt méditerranéenne* 29 : 23–32.
- Dodelin B., 2006.** Ecologie des coléoptères saproxyliques dans les forêts de l'étage montagnard des Alpes du nord françaises. *Ann. Soc. ent. Fr.* 42(2): 231-243.
- Doganlar M., Schopf R., 2009.** Some biological aspects of the European oak bark beetle, *Scolytus intricatus* (Ratz.) (Col., Scolytidae) in the northern parts of Germany (BRD). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 97: 153–162. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1984.tb03731.x>
- Doležal P., Sehnal F., 2007.** Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. *J Appl Entomology* 131: 165–173. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01123.x>
- Eckhardt L.G., Weber A.M., Menard R.D., Jones J.P., Hess N.L., 2007.** Insect-fungal complex associated with loblolly pine decline in central Alabama. *For. Sci.* 53: 84–92.
- Ehrendorfer F., 1989.** Woody plants - evolution and distribution since the tertiary: proceedings of a symposium organized by Deutsche Akademie der Naturforscher LEOPOLDINA in Halle/Saale, German Democratic Republic, Springer: 329p.
- Emani, C., 2018.** The biology of plant-insect interactions: a compendium for the plant biotechnologist. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.228p
- Evans H.F., Moraal L.G., Pajares J.A., 2004.** Biology, Ecology and Economic Importance of Buprestidae and Cerambycidae, in: Lieutier, F., Day, K.R., Battisti, A., Grégoire, J.-C., Evans, Hugh F. (Eds.), *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis.* Springer Netherlands, Dordrecht: 447–474. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8\\_20](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8_20)
- Eyles A., Bonello P., Ganley R., Mohammed C., 2010.** Induced resistance to pests and pathogens in trees. *New Phytologist* 185 : 893–908. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03127.x>
- Fabre J. P., 1994.** Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaux de l'aire naturelle des Cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier. *Ann. Rech. For.*, 27 : 539-551.

- Fabre J.P., Mouna M., Du Merle P., Benhalima S., 1999.** Le point sur certains Ravageurs du cèdre de l'Atlas en Afrique du nord, En France et en Europe. *Forêt méditerranéenne* 20: 203–218.
- Faccoli M., Blaženec M., Schlyter F., 2005.** Feeding Response to Host and Nonhost Compounds by Males and Females of the Spruce Bark Beetle *Ips typographus* in a Tunneling Microassay. *J Chem Ecol* 31: 745–759. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-3542-z>
- Fan J., Sun J., Shi J., 2007.** Attraction of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, to volatiles from stressed host in China. *Ann. For. Sci.* 64: 67–71. <https://doi.org/10.1051/forest:2006089>
- Farjon, A., 2017.** A handbook of the world's conifers, Second, revised edition. ed. Brill, Leiden ; Boston: 1154p.
- Farjon, A., Filer, D., 2013.** An Atlas of the world's conifers: an analysis of their distribution, biogeography, diversity, and conservation status. Brill, Leiden ; Boston : 524p.
- Francardi V., De Silva J., Pennacchio F., Roversi P.F., 2009.** Pine volatiles and terpenoid compounds attractive to European xylophagous species, vectors of *Bursaphelenchus* spp. nematodes. *Phytoparasitica* 37: 295–302. <https://doi.org/10.1007/s12600-009-0038-3>
- Gandhi K.J.K., Herms, D.A., 2010.** Direct and indirect effects of alien insect herbivores on ecological processes and interactions in forests of eastern North America. *Biological Invasions* 12: 389–405. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9627-9>
- Gering, J.C., Crist, T.O., 2000.** Patterns of Beetle (Coleoptera) Diversity in Crowns of Representative Tree Species in an Old-Growth Temperate Deciduous Forest. *Selbyana* 21: 38–47.
- Gillett C.P.D.T., Crampton-Platt A., Timmermans M.J.T.N., Jordal B.H., Emerson B.C., Vogler A.P., 2014.** Bulk De Novo Mitogenome Assembly from Pooled Total DNA Elucidates the Phylogeny of Weevils (Coleoptera: Curculionoidea). *Molecular Biology and Evolution* 31: 2223–2237. <https://doi.org/10.1093/molbev/msu154>
- Giuseppe F. Turrisi G. F., Jennings J. T., Vilhelmsen B. L., 2009.** Phylogeny and generic concepts of the parasitoid wasp family Aulacidae (Hymenoptera: Evanioidea). *Invertebrate Systematics*, CSIRO publishing, 23: 27–59.
- Grimaldi D.A., Engel M.S., 2005.** Evolution of the insects. Cambridge University Press, Cambridge [U.K.]; New York: 755p.

- Grodzki W., 1996.** Changes in the occurrence of bark beetles on Norway spruce in a forest decline area in the Sudety Mountains in Poland. In: Gregoire, J.-C., Liebhold, A.M., Stephen, F.M., Day, K.R., Salom, S.M. (Eds.), *Proceedings of the IUFRO Conference, Integrating Cultural Tactics into the Management of Bark Beetles and Reforestation Pests, Vallombrosa 1–4 September*. Forest Service General Technical Report NE-236. USDA, USA:105–111
- Grodzki W., McManus M., Knížek M., Meshkova V., Mihalcu V., Novotny J., Turčani M., Slobodyan Y., 2004.** Occurrence of spruce bark beetles in forest stands at different levels of air pollution stress. *Environmental Pollution* 130 : 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.022>
- Grodzki, W., 1997.** *Pityogenes chalcographus* an indicator of man-made changes in Norway spruce stands. *Biologia, Bratislava*. 52 (2):217–220.
- Grove S.J., Forster L., 2011.** A decade of change in the saproxylic beetle fauna of eucalypt logs in the Warra long-term log-decay experiment, Tasmania. 2. Log-size effects, succession, and the functional significance of rare species. *Biodivers Conserv* 20: 2167–2188. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0080-6>
- Guérard, N., Dreyer, E., Lieutier, F., 2000.** Interactions between Scots pine, *Ips acuminatus* (Gyll.) and *Ophiostoma brunneo-ciliatum* (Math.): estimation of the critical thresholds of attack and inoculation densities and effects on hydraulic properties in the stem. *Ann. For. Sci.* 57: 681-690.
- Hammi S., Simonneaux V., Alifriqui M., Auclair L. Montes N., 2007.** Evolution des recouvrements forestiers et de l'Occupation des sols entre 1964 et 2002 dans la haute vallée des Ait Bouguemez (Haut Atlas Central, Maroc). Impact des modes de gestion. *Sécheresse* 18(4) :1-7.
- Hanks L.M., 1999.** Influence of the larval host plant on reproductive strategies of cerambycid beetles. *Annu. Rev. Entomol.* 44: 483–505. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.483>
- Harrington TC., 2013.** Ceratocystis diseases. In: Gonthier P, editor. Infectious forest diseases. Wallingford: CABI; 230–255.
- Hastir P. et Gaspar C., 2020.** Les « richards » (Coleoptera – Buprestidae) de la faune de Belgique : éthologie, phénologie, classification et systématique. *Notes fauniques de Gembloux*, 47 : 3-40.



- Hofstetter R.W., Chen Z., Gaylord M.L., McMillin J.D., Wagner M.R., 2008.** Synergistic effects of  $\alpha$ -pinene and exo-brevicomin on pine bark beetles and associated insects in Arizona. *J Appl Entomology* 132, 387–397. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01263.x>
- Hofstetter R.W., Dinkins-Bookwalter J., Davis T.S., 2015.** Symbiotic associations with bark beetles. In: *Vega FE, Hofstetter FW (eds) Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*. Elsevier, Oxford: 209–245
- Hofstetter R.W., Dinkins-Bookwalter J., Davis T.S., Klepzig K.D., 2015.** Symbiotic Associations of Bark Beetles, in: *Bark Beetles*. Elsevier: 209–245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00006-X>
- Houston D., 1967.** Dieback and decline of northeastern hardwoods. *Trees* 28: 12–14.
- Huber D.P.W., Borden J.H., 2001.** Protection of lodgepole pines from mass attack by mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae*, with nonhost angiosperm volatiles and verbenone. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 99; 131–141. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00811.x>
- Huler J., Atkinson T.H., Cognato A.I., Jordal B.H., McKenna D.D., 2015.** Morphology, Taxonomy, and Phylogenetics of Bark Beetles, in: *Bark Beetles*. Elsevier: 41–84. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00002-2>
- Isaev A.S., Sukhovol'skii V.G., Tarasova O.V., Pal'nikova E.N., Kovalev A.V., 2017.** Forest insect population dynamics, outbreaks, and global warming effects. Scrivener Publishing; Wiley, Beverly, MA; Hoboken, NJ: 304p.
- Jacobi W.R., Koski R.D., Harrington T.C., Witcosky J., 2007.** Association of *Ophiostoma novo-ulmi* with *Scolytus schevyrewi* (Scolytidae) in Colorado. *Plant Dis* 91:245–247. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-3-0245>.
- Jacobs K. et Wingfield M.J., 2001.** *Leptographium* Species: Tree Pathogens, Insect Associates and Agents of Blue-Stain. APS Press, St. Paul. Minnesota, 207 pp.
- Jacobs K., Seifert K.A., Harrison K.J. & Kirisits T. 2003.** Identity and phylogenetic relationships of ophiostomatoid fungi associated with invasive and native *Tetropium* spp. (Coleoptera: Cerambycidae) in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Botany* 81: 316-29.

- Jankowiak R. 2004.** Fungi associated with *Ips typographus* on *Picea abies* in Poland. I: Fungi associated with *Ips typographus* in relation to a different health condition of trees. *Forest Pathology*: 10p.
- Jankowiak R., Bilański P., 2013.** Association of the pine-infesting *Pissodes* species with ophiostomatoid fungi in Poland. *Eur J Forest Res* 132: 523–534. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0693-2>
- Jankowiak R., Kacprzyk M., Mlynarczyk M., 2009.** Diversity of ophiostomatoid fungi associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) colonizing branches of Norway spruce (*Picea abies*) in southern Poland. *Biologia* 64(6): 537–542. <https://doi.org/10.2478/s11756-009-0188-2>
- Jankowiak Y. R., Kolarik M., 2009.** Fungi associated with the fir bark beetle *Cryphalus piceae* in Poland, *J. For. Path. hors series. Blackwell Verlag GmbH*, 12p.
- Jankowiak, R., Kacprzyk, M., Mlynarczyk, M., 2009.** Diversity of ophiostomatoid fungi associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) colonizing branches of Norway spruce (*Picea abies*) in southern Poland. *Biologia* 64. <https://doi.org/10.2478/s11756-009-0188-2>
- Johansson T., Hjältén J., Gibb H., Hilszczanski J., Stenlid J., Ball J.P., Alinvi O., Danell K., 2007.** Variable response of different functional groups of saproxylic beetles to substrate manipulation and forest management: Implications for conservation strategies. *Forest Ecology and Management* 242: 496–510. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.062>
- John D. Reeve J. D., 1997.** Predation and bark beetle dynamics. *Oecologia*, Springer-Verlag, 112 :48-54.
- Jordal B.H., Normark B.B., Farrell B.D., 2000.** Evolutionary radiation of an inbreeding haplodiploid beetle lineage (Curculionidae, Scolytinae). *Biological Journal of the Linnean Society* 71: 483–499. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2000.tb01270.x>
- Justesen, M.J., Hansen, A.K., Thomsen, I.M., Byriel, D.B., Ro-Poulsen, H., Ravn, H.P., 2020.** Contributions to the knowledge on biology and phenology of *Cryphalus piceae* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Scandinavian Journal of Forest Research*: 1–8. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1797868>.
- Karban R., Myers J.H., 1989.** Induced Plant Responses to Herbivory. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20: 331–348. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.20.110189.001555>.

- Kautz M., Dworschak K., Gruppe A., Schopf, R., 2011.** Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management* 262: 598–608. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.023>.
- Kenis M., Wermelinger B., Grégoire J.-C., 2004.** Research on Parasitoids and Predators of Scolytidae – A Review, *in: Lieutier, F., Day, K.R., Battisti, A., Grégoire, Jean-Claude, Evans, H.F. (Eds.), Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis.* Springer Netherlands, Dordrecht: pp. 237–290. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8_11).
- Khanday A.L., Buhroo A.A., 2015.** Life History and Biology of the Elm Bark Beetle *Scolytus kashmirensis*; Schedl (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Infesting *Ulmus villosa*; in Kashmir. *OJF* 05: 443–453. <https://doi.org/10.4236/ojf.2015.54038>.
- Kherchouche D., 2014.** Approches sylvicole et paléoécologique pour l'étude des facteurs de dépérissement et la répartition spatio-temporelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) de l'Aurès. (Thèse de doctorat). Université Batna 1, Batna : 90p.
- Kherchouche D., Kalla M., Gutierrez E., Briki A., Hamchi A., 2013.** Drought and dieback of Atlas cedar (*Cedrus atlantica* Manetti) in the Belezma mountains (Algeria). *Sécheresse* 24: 129–137. <https://doi.org/10.1684/sec.2013.0384>
- Kile G.A. 1993.** Plant diseases caused by species of *Ceratocystis sensu stricto* and *Chalara*. *In: Ophiostoma and Ceratocystis: Taxonomy, Ecology and Pathogenicity*, M.J. Wingfield, K.A. Seifert, J.F. Webber (Eds.). St.Paul, Minnesota: APS Press.
- Kirejtshuk A.G., Azar D., Beaver R.A., Mandelshtam M.Yu., Nel A., 2009.** The most ancient bark beetle known: a new tribe, genus and species from Lebanese amber (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae). *Systematic Entomology* 34: 101–112. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2008.00442.x>
- Kirisits T. 1998.** Pathogenicity of three blue-stain fungi associated with the bark beetle *Ips typographus* to Norway spruce in Austria. *Österreichische Zeitschrift für Pilzkunde*: 7, 191–201.
- Kirisits T., 2004.** Fungal Associates of European Bark Beetles With Special Emphasis on the Ophiostomatoid Fungi, *in: Lieutier, F., Day, K.R., Battisti, A., Grégoire, J.-C., Evans, H.F. (Eds.), Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis.* Springer Netherlands, Dordrecht: pp. 181–236. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2241-8_10)

- Kirisits, T. et Offenthaler, I. 2002.** Xylem sap flow of Norway spruce after inoculation with the blue-stain fungus *Ceratocystis polonica*. *Plant Pathology*, 51, 359-64.
- Kirisits, T., Grubelnik, R. & Führer E. 2000.** Die ökologische Bedeutung von Bläuepilzen für rindenbrütende Borkenkäfer. [The ecological role of blue-stain fungi for phloem-feeding bark beetles]. In: *Mariabrunner Waldbautage 1999 – Umbau sekundärer Nadelwälder*, F. Müller (Ed.). Vienna: Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, FBVA-Berichte, 111, 117-37
- Kirkendall L.R., Biedermann, P.H.W., Jordal, B.H., 2015.** Evolution and Diversity of Bark and Ambrosia Beetles, in: *Vega et Hofstetter (Ed.); Bark Beetles*. Elsevier: 85–156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00003-4>
- Kirschner et Oberwinkler, (1999); Kirschner, R. & Oberwinkler, F. 1999.** A new *Ophiostoma* species associated with bark beetles infesting Norway spruce. *Canadian Journal of Botany*: 77, 247-52
- Kirschner R. 1998.** Diversität mit Borkenkäfern assoziierter filamentöser Mikropilze. Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen.
- Kirschner R., 2001.** Diversity of filamentous fungi in bark beetle galleries in central Europe. In: *Trichomyces and other fungal groups. Robert W. Lichtwardt Commemoration Volume*, J.K. Misra, B.W. Horn (Eds.). Enfield, Plymouth: Science Publishers, Inc.
- Knizek M., Beaver R., 2007.** Taxonomy and systematics of bark and ambrosia beetles, in: *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis*. François Lieutier; Keith R. Day; Andrea Battisti; Jean-Claude Grégoire; Hugh F. Evans, United Kingdom: 41-54.
- Koul O., Dhaliwal, G.S., 2003.** Predators and parasitoids, *Advances in biopesticide research*. Taylor & Francis, London ; New York: 208p.
- Krokene P., 1996.** The role of blue-stain fungi in tree-killing by bark beetles. Dr. scient. Thesis, University of Oslo.
- Krokene P., 2015.** Conifer Defense and Resistance to Bark Beetles, , in: *Vega et Hofstetter (Ed.); Bark Beetles*. Elsevier, pp. 177–207. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00005-8>
- Krokene P., et Solheim H., 1998.** Pathogenicity of four blue-stain fungi associated with aggressive and nonaggressive bark beetles. *Phytopathology* 88: 39-44.

- Långström, B., Hellqvist, C., Ericsson, A., Gref, R., 1992.** Induced defence reaction in Scots pine following stem attacks by *Tomicus piniperda*. *Ecography* 15 : 318-327.
- Laštuvka Z., Laštuvka A., 2001.** The Sesiidae of Europe. Apollo Books, Stenstrup:245p
- Leather S.R., 2005b.** Insect sampling in forest ecosystems, *Methods in ecology*. Blackwell Pub, Malden, MA. Malden, MA, pp. 77–115.
- Lieutier F. 1993.** Induces defense reaction of conifers to bark beetle and their associated Ophiostoma species. *In: Ceratocystis and Ophiostoma, taxonomy ecology and pathogenicity*, Wingfield, M.J., Seifert, K.A., et Webber, J.F. Ed. APS Press, Minnesota: 225-234.
- Lieutier F., 2002.** Mechanisms of resistance in conifers and bark beetle attack strategies. In *Mechanisms and Deployment of Resistance in Trees to Insects*, M.R. Wagner, K.M. Clancy, F. Lieutier, T.D. Paine (Eds.). Dordrecht: Kluwer.
- Lieutier F., 2007.** Bark and wood boring insects in living trees in Europe: a synthesis. Springer, Netherlands, p. 569.
- Lingafelter S.W., Nearn E.H., Tavakilian G.L., Monné M.A., Biondi M., 2014.** Longhorned woodboring beetles (Coleoptera: Cerambycidae and Disteniidae): primary types of the Smithsonian Institution, A Smithsonian contribution to knowledge. *Smithsonian Institution Scholarly Press*, Washington, D.C.
- Linnakoski R., De Beer Z.W., Duong T.A., Niemella P., Pappinen A., Wingfield M.J., 2012.** *Grosmannia* and *Leptographium* spp. associated with conifer-infesting bark beetles in Finland and Russia, including *Leptographium taigens* esp. nov. *Antonie van Leeuwenhoek* 102: 375-399. <http://dx.doi.org/10.1007/s10482-012-9747-6>.
- M'hirit O., 1994.** Le cèdre de l'Atlas : actes du Séminaire International sur le Cèdre de l'Atlas, Ifrane (Maroc), 7-11 Juin 1993. Vol. 1, in : *Annales de la recherche forestière au Maroc*. Casablanca.
- M'hirit O., 2008.** Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas : Rapport de synthèse. *FAO*, p. 110.
- M'hirit O., Benzyane M., 2006.** Le cèdre de l'Atlas. Mardaga, Sprimont : 288p.
- Maksimović M., 2009.** Influence of the density of bark beetles and their parasites on dieback of elm in some woods of Yugoslavia1. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 88: 283–295. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1979.tb02504.x>

- Mandelsham M.Yu., 2009.** Bark and Ambrosia Beetles of South America (Coleoptera: Scolytidae). *Monte L. Bean Life Science Museum*, Brigham Young University, Provo, 2007), 900 p. Entmol. Rev 89: 245–246. <https://doi.org/10.1134/S001387380902016X>
- Manion P.D., 1987.** Decline as a Phenomenon in Forests: Pathological and Ecological Considerations, *in: Hutchinson, T.C., Meema, K.M. (Eds.), Effects of Atmospheric Pollutants on Forests, Wetlands and Agricultural Ecosystems*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg: 267–275. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-70874-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-70874-9_19)
- Manion P.D., Lachance D., 1992.** American Phytopathological Society, Canadian Phytopathological Society (Eds.), *Forest decline concepts*. APS Press, St. Paul, Minn.
- Manly, B.F.J., 2015.** Introduction to ecological sampling. CRC Press, Boca Raton: 228p.
- Marais G. J. et Wingfiel M. J. 2001.** *Ophiostoma africanum* sp. nov., and a key to ophiostomatoid species from *Protea infructescences*; *Mycological research*.105 (2): 240-246.
- Martikainen P., Siitonen J., Kaila L., Punttila P., Rauh J., 1999.** Bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) and associated beetle species in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 116: 233–245. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00462-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00462-9)
- Martikainen, P., Siitonen, J., Kaila, L., Punttila, P., 1996.** Intensity of forest management and bark beetles in non-epidemic conditions: a comparison between Finnish and Russian Karelia. *Journal of Applied Entomology* 120, 257–264. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1996.tb01603.x>
- McClelland W.T., Hain F.P., DeMars C.J., Fargo W.S., Coulson R.N., Nebeker T.E., 1978.** Sampling Bark Beetle Emergence: a Review of Methodologies, a Proposal for Standardization, and a New Trap Design. *Bulletin of the Entomological Society of America* 24: 137–140. <https://doi.org/10.1093/besa/24.2.137>
- Miller J.R., Berenbaum M., Miller T.A., Finch S., Frazier J.L., Hanke F.J., Hanson F.E., Ishaaya I., Kogan M., Kubo I., Lewis A.C., Opp S.B., Prokopy R.J., Singer M.C., Tingey W.M., Emden H.F.V., 2014.** *Insect-Plant Interactions*. Springer London, Limited Springer [distributor, Guildford; Berlin.

- Miller, J.R., Miller, T.A. (Eds.), 1986.** Insect-Plant Interactions, Springer Series in Experimental Entomology. Springer New York, New York, NY.: 358p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4910-8>
- Moroi K., Sato, T., 1975.** Comparison between procaine and isocarboxazid metabolism in vitro by a liver microsomal amidase-esterase. *Biochem. Pharmacol.* 24 : 1517–1521.
- Moucheron B., 2018.** Le Scolyte *Cryphalus piceae* Ratzeburg, 1837 enfin découvert en Belgique (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae), *Lambillionea* 68(1): 18-20.
- Moucheron B., Loïc Dahan L., Marc Delbol M., David Ignace D., Limbourg P., Raemdonck H., et Drumont A., 2019.** *Phloeosinus rudis* Blandford, 1894, scolyte invasif et nouveau pour la faune belge (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae), *Lambillionea*, 69 (1) : 25-33.
- Mouna M., 1994.** Etat des connaissances sur l'entomofaune du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. *Annales De la Recherche Forestiere Au Maroc* 27 : 1513–527.
- Mouna M., 2009.** *Phaenops marmottani* Fairmaire (Coleoptera Buprestidae), xylophage primaire pour le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, *section Sciences de la Vie* 31 : 85–90.
- Mouna M., Avci, M., 2016.** Cedar forests under threat of new pests. *Turk J For* 17: 71. <https://doi.org/10.18182/tjf.75899>
- Mouna M., Bigot L., Fabre J-P., 1985.** Comparaison des communautés frondicoles des Coléoptères du Cèdre (*Cedrus atlantica* Man.) en France (Provence) et au Maroc (Moyen-Atlas). *Vie Milieu* 35 (2) : 99-106.
- Mouna M., Fabre J.P., 2005.** Pest insect of cedars: *Cedrus atlantica* Manetti, *C. libani* A. Richard and *C. brevifolia* Henry in Mediterranean area, in: Lieutier F. et Ghaioule D. (Eds.), *Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems*. INRA: 89-103.
- Nageleisen L.-M., Saintonge F.-X., Piou D., 2010.** La santé des forêts : maladies, insectes, accidents climatiques : diagnostic et prévention. Institut pour le développement forestier, Paris : 608p.
- Nasution A., Glen, M., Beadle C., Mohammed C., 2019.** Ceratocystis wilt and canker – a disease that compromises the growing of commercial Acacia -based plantations in the tropics. *Australian Forestry* 82: 80–93. <https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1595347>

- Nebeker, T.E., Schmitz, R.F., Tisdale, R.A., 1995.** Comparison of oleoresin flow in relation to wound size, growth rates, and disease status of lodgepole pine. *Can. J.Bot.* 73: 370-375.
- Negrón J.F., McMillin J.D., Anhold J.A., Coulson D., 2009.** Bark beetle-caused mortality in a drought-affected ponderosa pine landscape in Arizona, USA. *Forest Ecology and Management* 257: 1353–1362. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.12.002>
- Ohtaka N., Masuya H., Kaneko S., Yamaoka Y., Ohsawa M., 2002.** Ophiostomatoid Fungi Associated with Bark Beetles on *Abies veitchii* in Wave-regenerated Forests. *Journal of Forest Research* 7 : 145–151. <https://doi.org/10.1007/BF02762603>
- Okland B., 1996.** A comparison of three methods of trapping saproxylic beetles. *Eur. J. Entomol.* 93: 195–209.
- Paine T.D., 2006.** Invasive forest insects, introduced forest trees, and altered ecosystems: ecological pest management in global forests of a changing world. Springer, Dordrecht.
- Paine T.D., Lieutier, F., 2016.** Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems. Springer International Publishing, Cham: 892p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24744-1>
- Paine T.D., Raffa K.F., Harrington T.C., 1997.** Interactions among scolytids bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. *Annu. Rev. Entomol* 42: 179–206.
- Paine, D. T., 2015.** Insects and diseases of Mediterranean Forest systems. Springer Berlin Heidelberg, New York, NY. 892p.
- Pascual S., Cobos G., Seris E., Gonzalez-Nunez M., 2009.** Effects of processed kaolin on pests and non-target arthropods in a Spanish olive grove. *J Pest Sci.* Springer-Verlag, hors series: 6p.
- Paynter Q.E., Anderbrant O., Schlyter F., 1990.** Behavior of male and female spruce bark beetles, *Ips typographus*, on the bark of host trees during mass attack. *J Insect Behav* 3: 529–543. <https://doi.org/10.1007/BF01052016>
- Peverieri, G.S., Faggi, M., Marziali, L., Tiberi, R., 2008.** Life cycle of *Tomicus destruens* in a pine forest of central Italy. *Bulletin of Insectology, Bulletin of Insectology* 61: 337–342.
- Pineau X., Bourguignon M., Jactel H., Lieutier F., Sallé A., 2017.** Pyrrhic victory for bark beetles: Successful standing tree colonization triggers strong intraspecific competition for offspring of *Ips sexdentatus*. *Forest Ecology and Management* 399: 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.044>



- Pineau X., David G., Peter Z., Sallé A., Baude M., Lieutier F., Jactel H., 2017.** Effect of temperature on the reproductive success, developmental rate and brood characteristics of *Ips sexdentatus* (Boern.). *Agric. For. Entomol.* 19: 23-33.
- Podlaski R., Borkowski A., 2009.** Method for estimating density of *Cryphalus piceae* (Ratz.) brood galleries using a regression model, *J. Appl. Entomol.* Blackwell Verlag. Berlin,133: 402-409.
- Quezel P., Barbero M., 1990.** Les forêts méditerranéennes problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. *Acta Botanica Malacitana*, 15 : 145-178. <https://doi.org/10.24310/abm.v15i.9300>.
- Raffa K.F. & Klepzig, K.D. 1992.** Tree Defense Mechanisms Against Fungi Associated with Insects. In. *Defense Mechanisms of Woody Plants Against Fungi*, R.A. Blanchette, A.R. Biggs (Eds.). New York, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Raffa K.F., Berryman A.A., 1983.** Physiological aspects of lodgepole pine wound responses to a fungal symbiont of the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Can Entomol* 115: 723–734. <https://doi.org/10.4039/Ent115723-7>.
- Raffa K.F., Grégoire J.-C., Staffan Lindgren B., 2015.** Natural History and Ecology of Bark Beetles, in: vega F.E., Hofstetter R. W., (ed.): *Bark Beetles*. Elsevier: pp. 1–40.
- Raffa K.F., Andersson M.N., Schlyter F., 2016.** Host Selection by Bark Beetles, in: *Advances in Insect Physiology*. Elsevier: pp. 1–74. <https://doi.org/10.1016/bs.aiip.2016.02.001>.
- Reeve J. D., 1997.** Predation and bark beetle dynamics, *Oecologia*, Springer, 112:48-54.
- Reid R.W., Whiney, H.S., Watson, J.A., 1967.** Reactions of lodgepole pine to attack by *Dendroctonus ponderosae* Hopkins and blue-stain fungi. *Can. J. Bot.* 45: 1115–1126.
- Repe A., Kirisits T., Piškur de Groot M., Kump B., Jurc M., 2013.** Ophiostomatoid fungi associated with three spruce-infesting bark beetles in Slovenia. *Ann For Sci* 70 :717–727. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0311-y>.
- Resh V.H., Cardé R.T., 2009.** Encyclopedia of insects, 2. ed. Academic Press, Amsterdam:1168p.
- Roche P., Vennetier M., Guyot F., Moundy, P.J., Bourguignon V., 2008.** Dynamique périurbaine et composition floristique des petits îlots boisés en Provence calcaire. *Rev. For. Fr.* 60 (5) :632-640. <https://doi.org/10.4267/2042/28076>.

- Rodges J.D., Elam W.W., Watson W.F., Nebeker T.E., 1979.** Oleoresin characteristics and susceptibility of four southern pines to southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) attacks. *Can. Ent.* 111: 889–896.
- Romón P., Zhou X., Iturrondobeitia J.C., Wingfield M.J., Goldarazena A., 2007.** *Ophiostoma* species (Ascomycetes: Ophiostomatales) associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytinae) colonizing *Pinus radiata* in northern Spain. *Can. J. Microbiol.* 53: 756–767. <https://doi.org/10.1139/W07-001>.
- ROMÓN, P., ZHOU, X., ITURRONDOBEITIA, J.C., WINGFIELD, M.J., GOLDARAZENA, A., 2007.** *Ophiostoma* species (Ascomycetes: Ophiostomatales) associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytinae) colonizing *Pinus radiata* in northern Spain. *Can. J. Microbiol.* 53: 756–767. <https://doi.org/10.1139/W07-001>.
- Rudinsky J.A., 1966.** Host selection and invasion by the Douglas-fir beetle, *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins, in coastal Douglas-fir forests. *Can. Ent.* 98: 98–111.
- Safranyik L., Shore T. L., Linton D. A., 2004.** Measuring trap efficiency for bark beetles (Col., Scolytidae). *JEN*, Blackwell Verlag, 128(5): 337–341.
- Sallé A., 2016.** Native Buprestid and Longhorn Beetles in the Mediterranean Basin, in: *Paine, T.D., Lieutier, F.* (Eds.), *Insects and Diseases of Mediterranean Forest Systems*. Springer International Publishing, Cham: pp. 199–210. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24744-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24744-1_7)
- Schebeck, M., Hansen, E.M., Schopf, A., Ragland, G.J., Stauffer, C., Bentz, B.J., 2017.** Diapause and overwintering of two spruce bark beetle species: Diapause of two bark beetles. *Physiol. Entomol* 42: 200–210. <https://doi.org/10.1111/phen.12200>
- Schoonhoven L.M., Jermy T., Van Loon J.J.A., 1998.** *Insect-plant biology: from physiology to evolution*, 1st ed. Chapman & Hall, London ; New York: 421p.
- Seybold S.J., Huber D.P.W., Lee J.C., Graves A.D., Bohlmann J., 2006.** Pine monoterpenes and pine bark beetles: a marriage of convenience for defense and chemical communication. *Phytochem Rev* 5,: 143–178. <https://doi.org/10.1007/s11101-006-9002-8>
- Shimoda M., Honda K., 2013.** Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied Entomology and Zoology* 48: 413–421. <https://doi.org/10.1007/s13355-013-0219-x>
- Simila M., kouia J., Monkkonen M., Sippola A-L., 2002.** Beetle species richness along the forest productivity gradient in northern Finland. *Ecography* 25: 42-52.

- Sinclair W.A., 1965.** Comparisons of recent declines of white ash, oaks and sugar maple in northeastern woodlands. *Cornell Plantations* 20: 62–67.
- Six D., 2003.** Bark Beetle–Fungus Symbioses, in Bourtzis K., Miller T. editors, *Insect symbiosis*, CRC Press: 97-114.
- Six D.L., 2012.** Ecological and evolutionary determinants of bark beetle fungus symbioses. *Insects* 3: 339–366.
- Six D.L., Adams J., 2007.** White pine blister rust severity and selection of individual whitebark pine by the mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Journal of Entomological Science* 42: 345–353. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-42.3.345>
- Skelly J.M., 1989.** Forest decline versus tree decline-the pathological considerations. *Environ Monit Assess* 12 : 23–27. <https://doi.org/10.1007/BF00396725>
- Slansky F., Rodriguez J.G., 1987.** Nutritional ecology of insects, mites, spiders, and related invertebrates. Wiley, New York:1016p
- Smalley, E.B., Guries, R.P., Lester, D.T., 1993.** American Liberty Elms and Beyond: Going from the Impossible to the Difficult, in: Sticklen, M.B., Sherald, J.L. (Eds.), Dutch Elm Disease Research. Springer New York, New York, NY, : 26–45. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6872-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6872-8_4)
- Smith R.H., 1975.** Formula for describing effect of insect and host tree factors on resistance to western pine beetle attack. *J. Econ. Entomol.* 68: 841–844.
- Solheim H., 1986.** Species of Ophiostomataceae isolated from *Picea abies* infested by the bark beetle *Ips typographus*. *Nordic Journal of Botany.* 6:199–207.
- Somme L., 1995.** Invertebrates in Hot and Cold Arid Environments. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg: 275p.
- Sousa E., Tomaz I.L., Moniz F.A., et Basto S., 1997.** La répartition spatiale des champignons associés à *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera: Platypodidae). *Phytopath. Medit.* 36: 145-153.
- Speight M.R., 2005.** Sampling insects from trees: shoots, stems, and trunks, in: *Leather S. R., (ed.): Insect Sampling in Forest Ecosystems* pp. 77–115.
- Strom B.L., Goyer R.A., Ingram Jr., L.L., Boyd, G.L.D., Lott, L.H., 2002.** Oleoresin characteristics of progeny of loblolly pines that escaped attack by the southern pine beetle. *Forest. Ecol. Manage.* 158: 169–178.

- Szujecki A., 1986.** Ecology Of Forest Insects. Springer Science & Business Media/ 602p.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-009-4804-4>
- Thomas P., 2013.** The IUCN Red List of Threatened Species 2013 (No. e. T42303A2970716.  
<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42303A2970716.en>). IUCN.
- Tiberi R., Battisti A., 1998.** Relationships between phytophagous insects and cypress canker.  
*Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali.* 47: 35-44.
- Togashi K., 2008.** Vector-nematode relationships and epidemiology in pine wilt disease. *In:*  
*Zhao BG, Futai K, Sutherland JR et al (eds) Pine wilt disease.* Springer, Tokyo : 162–183.
- Touchan R., Anchukaitis K.J., Meko D.M., Anchukaitis Kevin J., Attalah S., Baisan C., Aloui A., 2008.** Long term context for recent drought in northwestern Africa. *Geophysical research Letters* 35(13): 5p. <https://doi.org/10.1029/2008GL034264>.
- Touchan R., Anchukaitis K.J., Meko D.M., Sabir M., Attalah S., Aloui A., 2011.** Spatiotemporal drought variability in northwestern Africa over the last nine centuries. *Clim Dyn* 37: 237–252. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0804-4>
- Triplehorn C.A., Johnson N.F., Borror D.J., 2005.** Borror and DeLong's introduction to the study of insects, 7th ed. ed. Thomson, Brooks/Cole, Australia.
- Ulyshen M.D. et Hanula J.L., 2009a.** Habitat associations of saproxylic beetles in the southeastern United States: a comparison of forest types, tree species and wood postures. *Forest Ecol. and Manag.* 257: 653–664.
- Ulyshen M.D. et Hanula J.L., 2009b.** Responses of arthropods to large-scale manipulations of dead wood in loblolly pine stands of the southeastern United States. *Env. Entom.* 38:1005-1012.
- Ulyshen M.D., Hanula J.L., 2009.** Habitat associations of saproxylic beetles in the southeastern United States: A comparison of forest types, tree species and wood postures. *Forest Ecology and Management* 257: 653–664.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.047>
- Ulyshen M.D., Hanula J.L., 2010.** Patterns of saproxylic beetle succession in loblolly pine. *Agricultural and Forest Entomology* 12: 187–194. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00467.x>
- Unal S., Ozcan E., Kaygin A.T., 2009.** Wood-destroying Coleopteran species in the historical buildings in Kastamonu, in Turkey. *African Journal of Biotechnology* 8: 2349–2355.

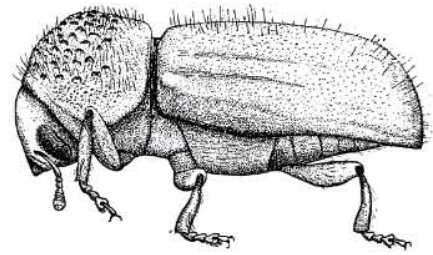
- Upadhyay, H.P., 1981.** A monograph of Ceratocystis and Ceratocystiopsis. Athens: The University of Georgia Press.
- Van Wyk M, Wingfield BD, Mohali S (2009)** *Ceratocystis fimbriatimima*, a new species in the *C. fimbriata sensu lato* complex isolated from *Eucalyptus* trees in Venezuela. *Fungal Divers* 34:175–185
- Vega F.E., Blackwell M., 2005.** Insect-fungal associations: ecology and evolution. Oxford University Press, New York: 352p.
- Vega F.E., Hofstetter R.W., 2015.** Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species. Elsevier/AP, Academic Press is an imprint of Elsevier, London, UK ; San Diego, CA: 620p.
- Vega, F.E., Blackwell, M. 2005.** Insect-Fungal Associations. Ecology and Evolution. Oxford University Press, New York.
- Vieira P., Mota M., 2008.** Pine wilt disease: a worldwide threat to forest ecosystems. Springer, Dordrecht.
- Villiers A., 1946.** Coléoptères Cérambycides de l'Afrique du nord. Faune de l'Empire Français, Tome 5. Off. Sci. col., Paris, 152 p.
- Vite J.P., 1961.** The influence of water supply on oleoresin exudation pressure and resistance to bark beetle attack in *Pinus ponderosa*. *Contr. Boyce Thompson Inst.* 21: 37–66.
- Wagner M.R., 2002.** Mechanisms and deployment of resistance in trees to insects. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ; Boston.
- Wainhouse D., 2005.** Ecological Methods in Forest Pest Management. Oxford University Press. United Kingdom. 249p.
- Wang B., Zhang H., Jarzembowski E.A., 2013.** Early Cretaceous angiosperms and beetle evolution. *Frontiers in Plant Science* 4: 6p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00360>
- Wang Q., 2017.** Cerambycidae of the world: biology and pest management, Contemporary topics in entomology series. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York.
- Weed A.S., Ayres, M.P., Bentz, B.J., 2015.** Population Dynamics of Bark Beetles, *in: Bark Beetles*. Elsevier, pp. 157–176. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00004-6>

- Wegensteiner, R., Wermelinger B., Herrmann M., 2015.** Natural Enemies of Bark Beetles, in: *Bark Beetles*. Elsevier, pp. 247–304. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00007-1>
- Wermelinger B., 2002.** Development and distribution of predators and parasitoids during two consecutive years of an *Ips typographus* (Col., Scolytidae) infestation. *J. of App. Ent.* 126: 521-27.
- Wermelinger B., Fluckiger P.F., Obrist M.K., Duelli P., 2007.** Horizontal and vertical distribution of saproxylic beetles (Col., Buprestidae, Cerambycidae, Scolytinae) across sections of forest edges. *J. Appl. Entomol.* 131 (2): 104-114.
- West A. S. Jr. 1947.** The California flatheaded borer (*Melanophila californica* van dyke) in ponderosa pine stands of northeastern California, *Revue Canadienne de recherche*, 25 (3): 97-118.
- Whitney H.S., 1982.** Relationships between bark beetles and symbiotic organisms. In *Bark Beetles in North American Conifers*, J.B. Mitton, K.B. Sturgeon (Eds.). Austin: University of Texas Press.
- Williams I.B., Frearson D., Barari B., McCartney A., 2007.** Migration to and dispersal from oilseed rape by the pollen beetle, *Meligethes aeneus*, in relation to wind direction. *Agr. and For. Entom.* 9: 279-286.
- Williams Park A., Allen C.D., Macalady A.K., Griffin D., Woodhouse C.A., Meko D.M., Swetnam T.W., Rauscher S.A., Seager R., Grissino-Mayer H.D., Dean J.S., Cook E.R., Gangodagamage C., Cai M., McDowell N.G., 2013.** Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change* 3: 292–297. <https://doi.org/10.1038/nclimate1693>
- Wood S.L., 1982.** The Bark and Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a Taxonomic Monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs* 1–1359.
- Wood S.L., 2007.** Bark and ambrosia beetles of South America (Coleoptera, Scolytidae). Brigham Young University, Provo, Utah.
- Wood S.L., Bright D., 1992.** A Catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2: Taxonomic Volume A, Brigham Young University. ed. USA.
- Wood, S.L., 1986.** A reclassification of the genera of Scolytidae (Coleoptera). *Great Basin Naturalist*: 1–126.

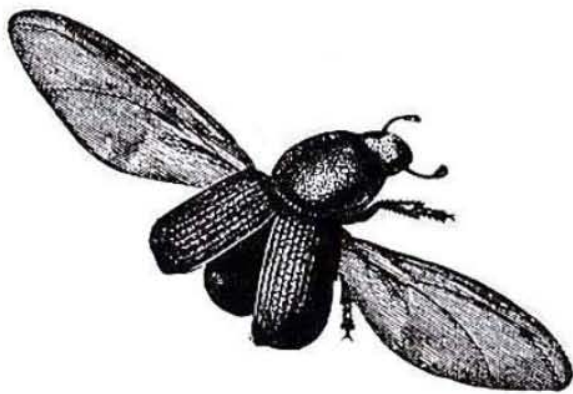
- Yamaoka Y., Hizai M., Chung W.-H., Masuya H., 2009.** Constant association of ophiostomatoid fungi with the bark beetle *Ips subelongatus* invading Japanese larch logs. *Mycoscience* 50 : 165–172. <https://doi.org/10.1007/S10267-008-0468-7>
- Yamaoka Y., Masuya H., Ohtaka N., Goto H., Kaneko S., Kuroda Y., 2004.** *Ophiostoma* species associated with bark beetles infesting three *Abies* species in Nikko, Japan. *Journal of Forest Research* 9: 67–74. <https://doi.org/10.1007/s10310-003-0056-9>
- Yamaoka Y., Ohtaka N., Abe J.P., Masuya H., Kaneko S., 2004.** Three new *Ophiostoma* species with *Pesotum* anamorphs associated with bark beetles infesting *Abies* species in Nikko, Japan. *Mycoscience* 45: 277–286. <https://doi.org/10.1007/S10267-004-0179-7>
- Yamaoka Y., Wingfield M.J., Ohsawa M. et Kuroda Y. 1998.** Ophiostomatoid fungi associated with *Ips cembrae* in Japan and their pathogenicity to Japanese larch. *Mycoscience* 39: 267-378.
- Yamaoka Y., Wingfield M.J., Takahashi I. et Solheim H., 1997.** Ophiostomatoid fungi associated with the spruce bark beetle *Ips typographus* f. *japonicus*. *Japanese Mycological Research*.101:1215–1227.
- Yates M.G., 1984.** The biology of the oak bark beetle, *Scolytus intricatus* (Ratzeburg) (Coleoptera: Scolytidae), in southern England. *Bull. Entomol. Res.* 74: 569–579. <https://doi.org/10.1017/S0007485300013948>
- Yıldız O., Eşen D., Akbulut S., 2007.** Effects of different ecological and silvicultural factors on beetle catches in the Turkish fir (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ecosystems. *J Pest Sci:* 80, 145–150. <https://doi.org/10.1007/s10340-007-0166-9>
- Yin M., Wingfield M.J., Zhou X., de Beer Z.W., 2020.** Phylogenetic reevaluation of the *Grosmannia penicillata* complex (Ascomycota, Ophiostomatales), with the description of five new species from China and USA. *Fungal Biology* 124: 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.12.003>
- Yin M., Wingfield M.J., Zhou X., de Beer Z.W., 2020.** Phylogenetic re-evaluation of the *Grosmannia penicillata* complex (Ascomycota, Ophiostomatales), with the description of five new species from China and USA. *Fungal Biology* 124: 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.12.003>

- YiSong L., ChunHui j., JianHua Z. et ChunQiang M., 2010.** Biological characteristics of *Melanophila picta* in the Pimo Reclamation of Khotan. *Chinese Bulletin of Entomology*, Editorial Board of Chinese Bulletin of Entomology, 47(1): 204-206.
- Zhang Q.H., Byers J. A., Schlyte R., 1992.** Optimal attack density in the larch bark beetle, *Ips cembrae* (Coleoptera: Scolytidae). *J. of App.eco.* John Wiley & Sons, 29: 672-678.
- Zhao J. N., Cao B., 1987.** Bionomics and control of *Phloeosinus perlatus* Chapuis, *Insect Knowledge*, 24 (4): 227-230.
- Zhou X., De Beer Z.W., Cibrian D., Wingfield B.D., Wingfield M.J., 2004.** Characterisation of *Ophiostoma* species associated with pine bark beetles from Mexico, including *O. pulvinisporum* sp. nov. *Mycological Research* 108: 690–698. <https://doi.org/10.1017/S0953756204009918>
- Zhou X.D., de Beer Z.W., Harrington,T.C., McNew D., Kirisits T., Wingfield M.J., 2004.** Epitypification of *Ophiostoma galeiforme* and phylogeny of species in the *O. galeiforme* complex. *Mycologia* 96: 1306–1315.
- Zimmermann G., 1973.** Vergleichende ökologisch-physiologische Untersuchungen an Ambrosiapilzen, Assoziierten Bläuepilzen und Luftbläuepilzen. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- Zipfel R.D., de Beer Z.W., Jacobs K., Wingfield B.D., Wingfield M.J., 2006.** Multigene phylogenies define *Ceratocystiopsis* and *Grosmannia* distinct from *Ophiostoma*. *Stud. Mycol.* 55 : 75–97.





# ANNEXES



## Fiche technique du cèdre de l'Atlas

**Taxonomie**

**Classe** : Equisetopsida C.Agardh, 1825

**Clade** : Gymnospermae Lindl., 1830

**Ordre** : Pinales Gorozh., 1904

**Famille** : Pinaceae Lindl. 1836 (Spreng. ex F.Rudolph, 1830).

**Sous-famille** : Abietoideae Pilg. (Rich. ex Sweet 1826).

**Genre** : *Cedrus* Trem 1755.

**Espèce** : *Cedrus atlantica* (End.) Manetti ex Carrière 1855.

**Synonymes** : *Pinus atlantica*, *Pinus effusa*, *Cedrus africana*, *Cedrus argentea*, *Cedrus libani* subsp. *atlantica*, *Cedrus libani* var. *glauca*, *Cedrus libanotica* subsp. *atlantica*

**Dénomination berbère** : *Idhyel*, *Begnoune*

**Dénomination berbère** : *Aiz - Meddad*  
(FARJON et FILER, 2013 ; FARJON, 2017)

**Caractéristiques botaniques**

Organe	Description
<b>Port</b>	Port conique pyramidal à l'état juvénile devenant tabulaire. Fût est rectiligne ; cimes réduites et coniques. Tronc mesurant de 30 à 40 m de long et 1,5 à 2m de diamètre  Fines, aiguës, vertes ou glauques, tétragones, longueur variant de 1 à 3 cm sur 1 à 1,5mm de largeur, La longévité moyenne est de 3 années. Branches de premier ordre massives, les supérieures ascendantes, les inférieures horizontales ou courbées vers le bas ; branches de second ordre encombrées, s'étalant dans des plans horizontaux. Bourgeons végétatifs ovoïdes globulaires, 2-3 × 1,5-2 mm
<b>Feuilles et rameaux</b>	Les chatons mâles de coloration jaune rose deviennent brun pâle. 3-4 cm de long, les cônes (inflorescences femelles) se dressent sur les rameaux secondaires, devenant ligneux la 2e année, ovoïdes ou en forme de tonneau ; apex obtus ou réticulé, 5-8 × 3-5 cm, vert clair, devenant vert pâle, avec les bords violacés au niveau des écailles des graines, virant au brun clair (violacé). La fructification commence à partir de 35 à 40 ans et elle est abondante à 60 ans
<b>Flours</b>	Écailles subcunéiformes, mince, coriace, longueur × largeur 2-3 × 2,5-3,5 cm ; surface lisse, brun orangé pubescent à la base, glabre sur les parties exposées ; marge supérieure entière, légèrement incurvée ; base pédicellée. Graines ovoïdes coniques, 8-13 × 4-6 mm, brunes, les ailes des graines sont larges cunéiformes, 18-25 × 12-17 cm, de coloration brunâtres
<b>Graines</b>	Les racines sont étendues, ramifiées avec un pivot si le sol est profond.
<b>Racines</b>	

(BOUDY, 1950 ; M'HIRIT & BENZYANE, 2006 ; FARJON & FILER, 2013)

**Aires de distribution**

Espèce purement méditerranéenne, l'aire de distribution naturelle s'étend du Rif marocain à l'ouest aux Aurès Algériens à l'est sur des îlots d'inégale importance. Au Maroc deux blocs sont observés, Le premier au Moyen Atlas et le grand Atlas oriental d'une superficie de 116 000 ha. Le second dans le Rif occidental et central avec une superficie d'environ 16 000 ha, alors qu'en Algérie 3 grands blocs se distinguent : Le premier,

l'Atlas Tellien Sublittoral des Babors (800ha), Tababors (1 300 ha) et le Djurdjura (2 000 ha). Le second constitué de l'Ouarsenis (un peu plus de 100 ha), Chrée (1 000ha) et Theniet-EI-Had (1 500ha), alors que le troisième bloc est plus important de point de vue superficie est représenté par la cédraie méridionale de l'Atlas Saharien qui est formée par la cédraie de la Hodhna (8 000 ha) et celle des Aurès (17 000 ha).

**Ecobiologie**

Le cèdre de l'Atlas occupe les niveaux altitudinaux compris entre 1.800 m et 2.300 m dans le Rif (Maroc). En Algérie, il occupe les massifs telliens compris entre 2.000 et 2.500 m dans le Moyen Atlas et les Aurès. L'optimum de développement est situé en climat méditerranéen humide à variante froide, à continentalité peu accentuée. Il supporte des températures très basses en hiver (-7°C à -20°C) et des températures hautes allant de 20 à 39°C. Cependant, il est moins résistant en période juvénile.

Les étages bioclimatiques conformes pour cette essence sont : l'étage semi-aride à hiver froid subhumide à hiver froid ; humide à hiver froid et humide à hiver frais.

Le cèdre de l'Atlas se développe en peuplement pur sur les hauteurs ou en mélange avec *Abies numidica*, *Taxus baccata*, *Quercus faginea*, *Quercus ilex*, *Acer obtusatum*, *Populus tremula*, *Sorbus aria*, et *S. tominalis* (Algérie) ou *Abies pinsapo* var. *marocana*, *Juniperus communis*, *Taxus baccata*, *Populus tremula*, *Quercus ilex*, et *Acer granatense* localement au Maroc (M'HIRIT & BENZYANE, 2006 ; BENTOUATI, 2008 ; BEGHAMI, 2012 ; FARJON, 2017).



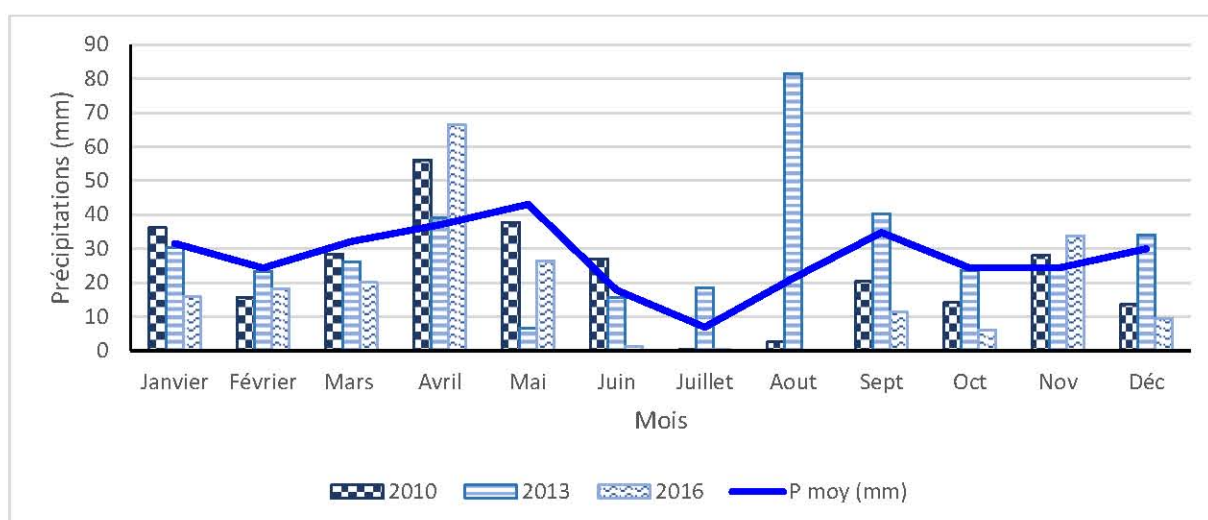
Distribution du cèdre de l'Atlas dans son aire naturelle  
(Farjon & Filer, 2013)



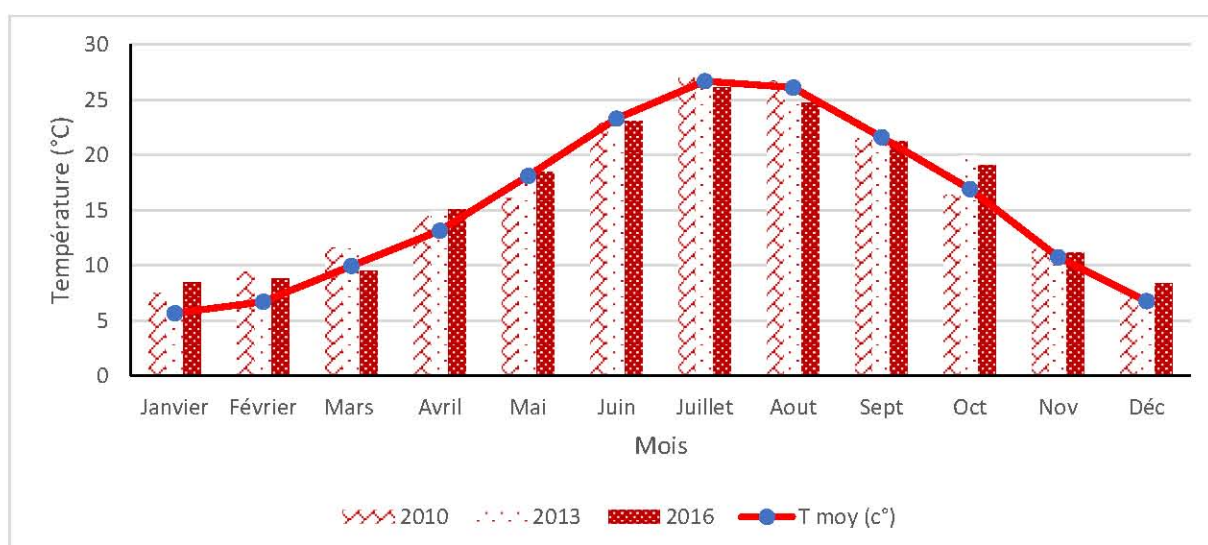
Jeune régénération du cèdre de l'Atlas (Beghami, 2020)

**Tableau 1.** Dates des différentes périodes de tronçonnage pour les trois périodes de coupes.

Période	Compagne 2010		Compagne 2013		Compagne 2016	
	Stations	Dates	Stations	Dates	Stations	Dates
Printemps	OT	30/01/2010	OT	31/01/2013	OT	26/01/2016
	OY	28/01/2010	OY	27/01/2013	OY	31/01/2016
Eté	OT	06/05/2010	OT	18/05/2013	OT	15/05/2016
	OY	09/05/2010	OY	11/05/2013	OY	12/05/2016
Automne	OT	02/09/2010	OT	15/09/2013	OT	07/09/2016
	OY	09/09/2010	OY	18/09/2013	OY	14/09/2016



**Figure 1.** Précipitations enregistrées au cours des années 2010,2013 et 2016 en comparaison aux précipitations moyennes de 1989 à 2019.



**Figure 2.** Températures enregistrées au cours des années 2010,2013 et 2016 en comparaison aux températures moyennes de 1989 à 2019.

## Annexe 3

**Tableau 1** Densité moyennes d'infestation des principales espèces xylophages du cèdre de l'Atlas au niveau des station d'échantillonnage.

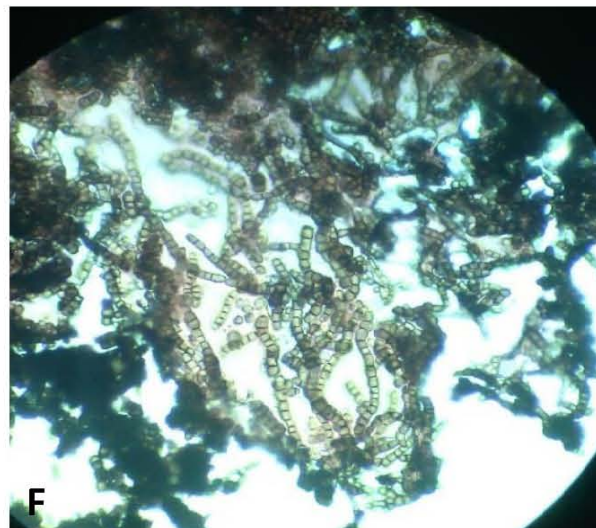
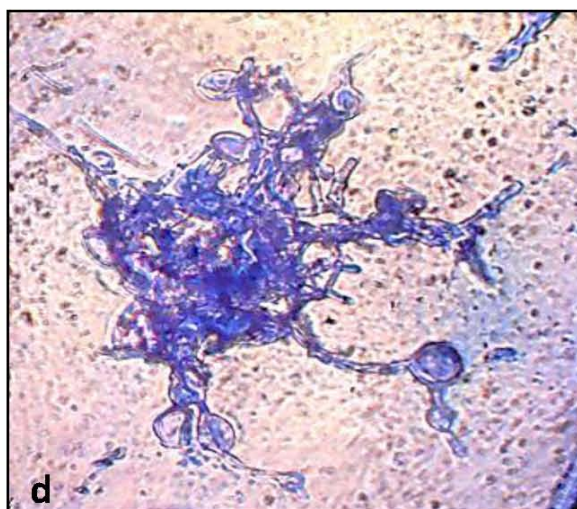
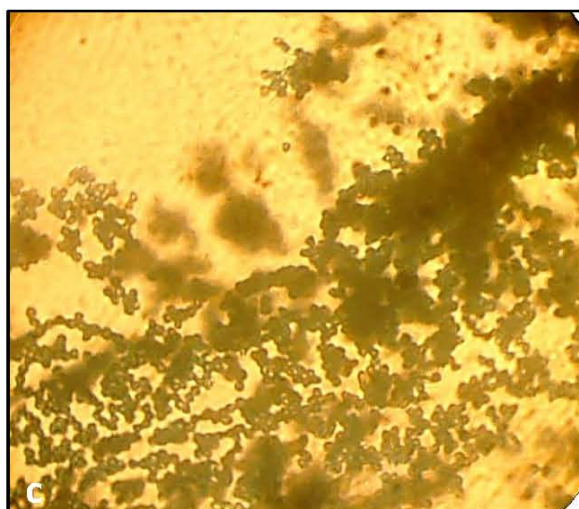
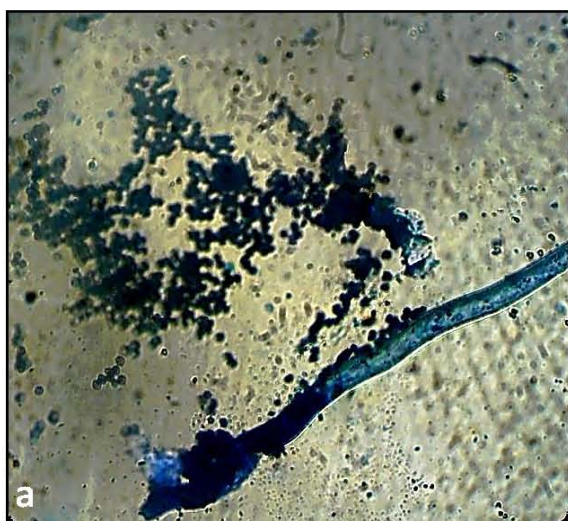
Stations	<i>H. batnensis</i>	<i>C. numidicus</i>	<i>S. numidicus</i>	<i>C. cedri</i>	<i>P. cedri</i>	<i>M. marmottani</i>	<i>A. martini</i>	<i>C. corioli</i>
Station 1	3,26 ± 0,75 A	11,06 ± 3,25 A	4,86 ± 1,48 A	1,78 ± 0,87 A	3,86 ± 1,12 A	2,18 ± 0,77 AB	0,37 ± 0,32 B	4,17 ± 1,35 A
Station 2	3,35 ± 0,84 A	11,81 ± 2,85 A	4,93 ± 1,51 A	1,42 ± 0,91 A	4,05 ± 0,97 A	2,19 ± 0,91 AB	0,41 ± 0,34 B	4,18 ± 1,17 A
Station 3	3,68 ± 1,04 A	11,57 ± 2,87 A	5,13 ± 1,83 A	1,13 ± 0,94 A	4,52 ± 1,21 A	2,16 ± 0,71 AB	0,28 ± 0,38 B	4,21 ± 1,35 A
Station 4	2,91 ± 0,25 A	12,03 ± 2,91 A	3,83 ± 1,08 A	1,52 ± 0,81 A	3,89 ± 1,24 A	2,03 ± 0,67 B	0,54 ± 0,71 B	4,86 ± 1,54 A
Station 5	2,24 ± 0,48 AB	10,91 ± 3,02 A	4,78 ± 1,19 A	0,97 ± 0,57 B	4,05 ± 1,35 A	2,23 ± 0,35 AB	0,48 ± 0,63 B	4,26 ± 1,6 A
Station 6	1,12 ± 0,36 B	10,44 ± 3,01 AB	4,22 ± 1,25 A	1,25 ± 0,59 A	2,8 ± 0,87 B	4,18 ± 0,87 A	1,15 ± 1,26 A	4,47 ± 1,31 A
Station 7	1,09 ± 0,79 B	10,17 ± 3,12 B	4,98 ± 0,89 A	1,17 ± 0,63 A	2,31 ± 1,25 B	5,13 ± 0,73 A	1,25 ± 1,35 A	5,13 ± 1,42 A
Station 8	1,36 ± 0,35 B	10,26 ± 3,24 B	4,18 ± 1,17 A	1,42 ± 0,87 A	2,05 ± 1,35 B	5,47 ± 0,91 A	1,17 ± 2,26 A	5,38 ± 1,53 A

Les valeurs représentent les moyennes ± l'écart-type. Les lettres sur la même colonne sont issues de la classification des moyennes suite au test *LSD de Fisher*

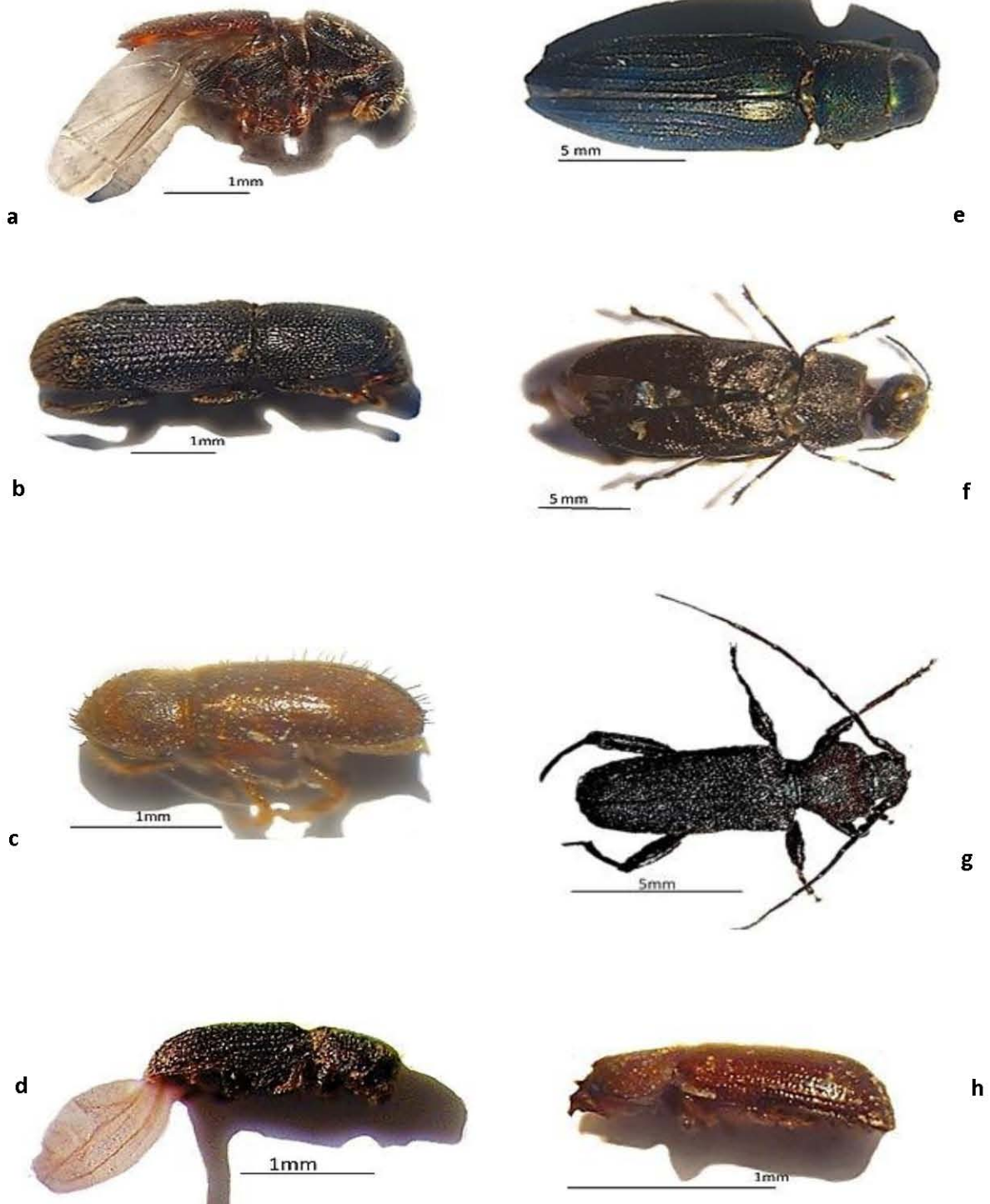
**Tableau 2** Taux moyen d'infestation des principales espèces xylophages du cèdre de l'Atlas en fonction des classes de dépérissement.

	2010			2013			2016		
	D0	D50	D100	D0	D50	D100	D0	D50	D100
<i>C. numidicus</i>	3,24 ± 1,45 A	22,16 ± 0,34 A	34,54 ± 1,24 A	1,06 ± 0,25 A	17,35 ± 0,33 A	26,53 ± 0,27 A	1,26 ± 0,04 A	10,24 ± 0,41 A	27,18 ± 0,34 A
<i>S. numidicus</i>	0 ± 0,0 -	0,82 ± 0,15 B	1,63 ± 0,13 C	0,08 ± 0,05 B	1,21 ± 0,16 B	1,35 ± 0,21 B	0,0 ± 0,0 -	0,42 ± 0,07 C	2,05 ± 0,08 B
<i>M. marmottani</i>	0,17 ± 0,05 B	0,5 ± 0,33 B	0,75 ± 0,24 C	0,25 ± 0,07 B	0,38 ± 0,02 C	1,02 ± 0,11 B	0,09 ± 0,01 B	1,24 ± 0,05 B	2,97 ± 0,28 B
<i>C. corioli</i>	0 ± 0,0 -	0,24 ± 0,07 B	2,06 ± 0,18 B	0,0 ± 0,0 -	0,19 ± 0,13 C	1,39 ± 0,24 B	0,0 ± 0,0 -	0,23 ± 0,07 C	2,44 ± 0,41 B

Les valeurs représentent les moyennes ± l'écart-type. Les lettres sur la même colonne sont issues de la classification des moyennes suite au test *LSD de Fisher*



Principales structures fongiques associés aux xylophages au niveau des cédraies de Chélia et de Belezma (a : *Ophiostoma nigrum* ; b : *Thielaviopsis sp* ; c : *Grosmannia sp* ; d : *O. karelicum*; e : *Pesotum sp*; f : *Sporothrix sp*).



**Principales espèces xylophages associées au cèdre de l'Atlas**

**a** : *Scolytus amygdali* ; **b** : *Hylastes ater* . **c** : *Cryphalus numidicus* ; **d** : *Crypturgus cedri* ; **e** : *Melanophila marmottani* ; **f** : *Anthaxia martini* ; **g** : *Callidium cedri* ; **h** : *Cisdygma corioli*.

لقد قمنا من خلال هذا العمل بدراسة وحشرات الأخشاب واللحاء، المسيية لأضمحلل اشجار الأمز الأطلس في ثماني محطات رصد بغابات أزمز الأوراس خلال ثلاث حملات قفلية (2010, 2013 و 2016). بر وتوكولات الرصد سمحت بأخذ 23879 عينة، مجمعة بشكل منهجي في 23 نوعاً مصنفة إلى 7 عائلات و 2 اجناس بالإضافة إلى هذه الأنواع، تم تصنيف 374 عينة إلى 8 أنواع مجمعة في 6 عائلات تنتمي إلى جنسين مثل الأعداء الطبيعيين للحشرات الفارضة للخشب واللحاء. سمحت لنا الدراسة التحليلية أيضاً بتحديد معدلات الإصابة وكثافة الهجوم للأنواع الرئيسية لحشرات الأخشاب واللحاء. وقد تبين جليا إن تعاقب هجمات *C. numidicus*, *A. martini*, *M. marmottani*, *P. cedri*, *S. numidicus* من بين العوامل الأساسية التي تحفز وتعمق اضمحلال الأمز الأطلسي في غابات شليا وأولاد يعقوب. إضافة إلى ذلك قد تمت دراسة تحليل التوزيع المكاني والزمني لهجمات حشرات الخشب وتم توضيح العلاقة بين انتشار الأنواع المختلفة وهجمات آفات الخشب. بالإضافة إلى ذلك تم عرض الدورات البيولوجية للأنواع الرئيسية لحشرات الخشب من أجل أخذها في الاعتبار أثناء تنفيذ خطط الإدارة الصحية لغابات الأمز في الأوراس. تم تخصيص التسلسل الأخير من عملنا للدراسة جمعيات الحشرات مع الفطريات *xylophagous-ophiostomatoid*، والتي من أجلها تم إنشاء جرد شامل للفطريات المرفقة للأنواع الرئيسية، من الحشرات الفارضة للخشب واللحاء، في غابات الأمز الأطلسي بالأوراس.

**الكلمات المفتاحية:** *Cedus atlantica*، الأضمحلل، حشرات اللحاء، قوارض الخشب، كثافة الهجوم، معدل الإصابة، دورة الحياة، *ophiostomatoids*.

## Résumé

L'entomofaune xylophage associés au dépérissement du cèdre de l'Atlas a été étudiée au niveau de huit stations d'observation représentatives des cédraies des Aurès durant 3 campagnes d'échantillonnage (2010, 2013 et 2016), le protocole mis en place a permis de recenser 23 879 spécimens groupés systématiquement en 23 espèces xylophages appartenant à 7 familles et 2 ordres. A ces espèces s'ajoute 374 spécimens classés en 8 espèces auxiliaires groupées en 6 familles et 2 genres. L'étude analytique a permis de quantifier les taux d'infestations et les densités d'attaques des principales espèces xylophages, il en sorte que les successions des attaques de *C. numidicus*, *S. numidicus*, *P. cedri*, *M. marmottani* et *A. martini* sont parmi les facteurs primordiaux déclenchants et incitants du dépérissement du cèdre de l'Atlas, l'analyse de la distribution spatio-temporelle des attaques des xylophages a été étudiée en démontrant la relation entre la prévalence des essences dépéries avec les attaques des xylophages. Les cycles biologiques des principales espèces a été démontré pour être pris en considération lors de la mise en place des plans de gestions sanitaire des cédraies des Aurès. En fin la dernière section de notre travail a été consacrée aux relations xylophages-ophiostomatoïdes, dont on a établi pour la première fois un inventaire exhaustif des mycotaxons associés aux principales espèces xylophages du cèdre de l'Atlas.

**Mots clés :** *Cedus atlantica*, dépérissement, xylophages, densité d'attaque, taux d'infestation, bioécologie, ophiostomatoïdes.

## Abstract

The bark and wood borer insects related to cedar dieback in the Atlas was studied at eight monitoring stations in the Aures cedar forests during three sampling campaigns (2010, 2013 and 2016). The sampling protocols implemented made it possible to record 23,879 specimens systematically grouped into 23 xylophagous species belonging to 7 families and 2 orders. In addition to these species, 374 specimens were classified into 8 auxiliary species grouped into 6 families and 2 genera. The analytical study also allowed us to quantify the infestation rates and attack densities of the main xylophagous species. The succession of attacks of *C. numidicus*, *S. numidicus*, *P. cedri*, *M. marmottani* and *A. martini* among the primary factors initiating and stimulating cedar dieback in the Atlas cedar. The spatio-temporal distribution analysis of wood boring attacks was studied and the relationship between the prevalence of decayed species and wood boring attacks was demonstrated. The biological cycles of the main species were shown to be considered during the implementation of health management plans for Aures cedar forests. The last section of our work was devoted to the study of xylophagous-ophiostomatoid associations, for which an exhaustive inventory of the mycotaxons found in the main xylophagous species of Atlas cedar was established for the first time.

**Keywords:** *Cedus atlantica*, dieback, bark and wood borer insects, attack density, infestation rate, bioecology, ophiostomatoids.