

UNIVERSITÉ DE BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Biotechnologies

THÈSE DE DOCTORAT

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des plantes et environnement

EFFET DE LA QUALITÉ CHIMIQUE DE LA PLANTE HÔTE SUR LE COMPORTEMENT DE *CAPNODIS TENEBRIONIS* ET PÉRSPECTIVES DE LUTTE

Par

Latifa BRAHIMI

A.GUENDOZ-BENRIMA	Professeur	U. Blida 1	Présidente
Z.E. DJAZOULI	Professeur	U. Blida 1	Directeur de thèse
L.ALLAL-BENFEKIH	Professeur	U. Blida 1	Examinatrice
M. BAHA	Professeur	E.N.S. Kouba	Examinatrice
M. TOUMI	Professeur	E.N.S. Kouba	Examineur
L. BENDIFALLAH	M.C.A	U.M.B. Boumerdes	Examinatrice

Blida, Mars 2018

Effet de la qualité chimique de la plante hôte sur le comportement de *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1758) et perspectives de lutte

RÉSUMÉ

Capnodis tenebrionis (L., 1758) (Coleoptera, Buprestidae) appelé Bupreste noir figure parmi les déprédateurs majeurs les plus dangereux mais aussi le plus mystérieux des arbres à noyaux, suite à sa résistance face aux traitements phytosanitaires, ainsi qu'à son cycle biologique assez confus. La présente étude est menée au cœur de l'Atlas Tellien, dans la région de Médéa, zone de production potentielle des rosacées à noyaux, sur des vergers de Prunier (*Prunus domestica*) et de Cerisier (*Prunus cerasus*) cultivés et sauvages, fortement infestés par *C. tenebrionis*. Nos investigations se sont étalées sur 3 saisons (hiver, printemps, été) pour quatre années d'étude (2009-2012), dans le but d'appréhender la relation entre la qualité physico-chimique du support nourricier et la performance biologique de *C. tenebrionis*. Cette relation trophique est estimée via les modulations du budget énergétique des différentes formes biologiques de *C. tenebrionis*. Les résultats se sont montrés significatifs en termes de variabilité physico-chimique tant sur le plan hôte que compartiments (limbe, pétiole, porte greffe, et greffon). Les variations des teneurs d'azote, de cellulose, d'hémicellulose, de lignine, des sucres totaux, des protéines, de proline et des polyphénols notamment les tannins condensés, pour les deux espèces (*P. domestica*, *P. cerasus*) et pour chaque variété (cultivée et sauvage), ont été estimées le long des trois saisons. Les différents changements en métabolites analysés s'avèrent affecter vivement le bilan énergétique du bioagresseur, notamment par les sucres, les protéines totales et l'azote. L'abondance des individus sur *P. domestica* était liée aux quantités d'hémicellulose, alors que sur *P. cerasus*, était liée aux polyphénols et aux tannins condensés. Le paramètre variétal semblait tributaire des concentrations en proline, en protéines solubles et hydrosolubles. Considéré comme contraintes nutritionnelles, ces variations en métabolites concrétisent un décalage évolutif considérable du bioagresseur sur *P. cerasus* comparé à *P. domestica*. Les mêmes résultats, nous renseignent que l'attraction du Bupreste noir vers sa plante hôte n'est pas uniquement d'ordre chimique, mais il peut être lié pareillement aux caractéristiques physiques. Enfin, l'effet du produit de synthèse à base de Tefluthrine 0,5%, exprime une réaction de choc sur les formes larvaires logées dans le tronc, sans avoir pour autant réagi sur les formes libres de l'espèce

Mots clés : *Capnodis tenebrionis*, Phytochimie, Réserves énergétiques, Rosacées à noyau, Stress.

Quality chemical effect's of the host plant on the *capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1758) behavior's and perspectives control

Abstract

Capnodis tenebrionis (L., 1758) (Coleoptera, Buprestidae), is one of the most dangerous major pests, but also the most mysterious kernel tree, because of its resistance to phytosanitary treatments and its rather confused biological cycle. The present study is conducted in Medea region of Atlas Tellian, which is a potential production area for stone rosacea, on Prunus (*Prunus domestica*) and wild cherry (*Prunus cerasus*) orchards, heavily infested by *C. tenebrionis*. Our investigations were spread out over 3 seasons (winter, spring, summer) for four years (2009-2012), in order to understand the relationship between the quality physico-chemical of the feeder carrier and the biological performance of *C. tenebrionis*. This trophic relationship is estimated towards budget energy modulations of the different forms' biological of *C. tenebrionis*. Variability physicochemical results were significant on both the host and compartmental levels (limbus, petiole, rootstock, and graft). The variations in nitrogen, cellulose, hemicellulose, lignin, total sugars, proteins, proline and polyphenols, especially condensed tannins, for the two species (*P. domestica*, *P. cerasus*) and for each variety (cultivated and wild), have been estimated along the three seasons. The various changes in metabolites analyzed strongly affect the energy balance of the pest, including sugars, total proteins and nitrogen. Individuals' abundance on *P. domestica* was related to the amounts of hemicellulose, while on *P. cerasus* was related to polyphenols and condensed tannins. The varietal parameter appeared to be dependent on soluble and water soluble proteins concentrations. Considered as nutritional constraints, these variations in metabolites materialize a considerable evolutionary shift of the pest on *P. cerasus* compared to *P. domestica*. The same results tell us that the attraction of Black Bupreste towards its host plant is not only chemical, but it can be related to physical characteristics as well. Finally, the effect of the synthesis product based on Tefluthrin 0.5%, expresses a shock reaction on the larval forms housed in the trunk, without reacting to the free forms of the species

Key words: *Capnodis tenebrionis*, Phytochemistry, Energy reserves, Rosaceae, Stress.

تأثير النوعية الكيميائية للنبات على تصرف حشرة حفار الساق و محاولة السيطرة عليه

Capnodis Tenebrionis (L. 1758)

ملخص:

بالنسبة لأشجار الفاكهة ذات النواة, تعد حشرة حفار الساق (*Capnodis tenebrionis* (L., 1758) من أشد الحشرات ضررا بسبب مقاومتها للمبيدات الكيميائية من جهة و دورة حياتها الغير منتظمة (1-2 سنوات) من جهة أخرى. الدراسة الحالية تمت في قلب الأطلس التلي, تحديدا في منطقة المدية التي تعتبر من أهم المناطق المنتجة لأشجار الفاكهة ذات النواة, في حقول برقوق و كرز مصابة بمرض حفار الساق. تحقيقا لنا امتدت طيلة أربعة سنوات (2009-2012) و شملت ثلاث فصول (خريف, ربيع, صيف), بهدف فهم العلاقة الفيزيائية و الكيميائية المحتمل وجودها بين التربة, التغذية, و الأداء البيولوجي لحفار الساق *Capnodis Tenebrionis*. العلاقة الغذائية السابق ذكرها تم تأكيدها عن طريق حساب توازن الطاقة الموجودة لدى أفراد الحشرة النامية في أشجار البرقوق و الكرز. النتائج كانت إيجابية بالنسبة لتأثير النوعية الفيزيائية و الكيميائية للنبات على الحشرة الضارة حيث أنه تم إثبات وجود علاقة إيجابية بين الجودة الكيميائية للورقة و السويقة و التطور الفيزيولوجي لحفار الساق. و أن التغيرات الكمية للأزوت, البروتينات, البرولين, السليلوز, الهيميسيلولوز, السكريات و البوليفينول بما في ذلك مادة التانينات . أثبتت تأثيرها على المردود الطاقوي, الأفراد *Capnodis* حيث نلاحظ ان تطور هذه الحشرة الضارة له علاقة بالسكريات, البروتينات و الازوت. و ان وفرتها متعلقة بكمية الهيميسيلولوز عند *Prunus domestica*. بينما عند *Prunus cerasus*. فهو متعلق بمتعدد الفينول و التانينات المكثفة. إضافة إلى هذا أظهر العامل النوعي علاقة مع البرولين و البروتينات. باعتبار هاته التغيرات عائق غذائي, فهي تؤثر بطريقة واضحة على انتشار الحشرة و تطورها, حيث أن أفراد الحشرة النامية في *Prunus cerasus* أظهرت تأخرا ملموسا في مدة نموها. هذه النتائج المتحصل عليها تظهر أيضا أن تطور الحشرة المذكورة أعلاه متعلق أيضا بالخصائص الفيزيائية للنبته. يجدر بنا ايضا الذكر أن العلاجات المستعملة ضد حشرة *Capnodis* أظهرت فعاليات إيجابية متفاوتة على مختلف أطوار اليرقة, بينما لم تعطي أي نتائج على الحشرات البالغة.

الكلمات الرئيسية : مدخرات طاقوية, أشجار الفاكهة ذات النواة, كيمياء النبات, الإجهاد.

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail de recherche, Je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères remerciements à Mon directeur de thèse Zahr-Eddine DJAZOULI Professeur à l'université de Blida1, pour m'avoir conseillé et m'avoir renouvelé sa confiance jusqu'à la fin de la thèse. A chaque étape du travail, il a su me guider avec une grande patience. Il a fait preuve de beaucoup de compréhension dans les moments les plus difficiles et n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager. Sa présence, son écoute et ses conseils avisés m'ont énormément aidé à m'affirmer et à évoluer en tant que jeune chercheur. Je lui adresse ici toute ma reconnaissance et mon admiration.

Qu'il me soit permis de remercier Mme GUENDOZ-BENRIMA A. professeur à l'université de Blida1, d'avoir bien voulu m'honorer par sa présence en président ce jury malgré ses nombreuses occupations. Qu'elle veuille bien trouver l'assurance de mon profond respect.

Mes vifs remerciements vont à Mme ALLAL-BENFEKIH L. Professeur à l'université de Blida 1, qui me fait l'honneur d'être membre de ce jury et d'examiner ce travail. Qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements à Mme BENDIFALAH L. Maitre de conférence classe A, qui a très aimablement accepté de participer à ce jury, qu'il veuille bien croire en mes sentiments respectueux.

J'adresse mes remerciements à Mr TOUMI. M., et Mme BAHA M., professeurs à l'Ecole supérieure normale de Kouba (E.N.S.) d'avoir accepté d'examiner ce travail et d'avoir répondu positivement a cette invitation. Je souhaite qu'ils trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma gratitude à Monsieur Naïm Said Sharaf, Professeur à l'université de Amman (Jordanie) pour ses conseils et ses orientations.

J'aimerais également témoigner de ma gratitude envers professeur Daniel Petit et professeur Saladin Gaëlle de l'Université des Sciences et Techniques de Limoge (France), pour leurs contributions et leurs orientations.

Je ne pourrais oublier de remercier Mr Merah Otmane Maître de conférences H.D.R. à l'Université de Toulouse (France) pour ses conseils, ses suggestions et son encouragement. Je remercie vivement les membres du laboratoire de chimie Agro-industrielle de Toulouse d'avoir contribué à l'analyse de mes échantillons.

Je renouvelle ma gratitude à mes chères enseignantes, professeur Guendouz-Benrima Atika et professeur Allal-Benfekih Leïla, pour leur formation le long de mes années d'étude, pour m'avoir guidée, conseillée à chaque fois que cela était nécessaire, j'adresse également mes grands remerciements à madame Nebih-Hadjsadok Daouia, pour son enseignement et surtout pour sa qualité humaine.

Je ne sais combien remercier Monsieur Aroun M.E.F., de m'avoir bien formé le long de mes années d'étude, pour sa disponibilité, son soutien, son écoute et surtout pour sa façon d'être, Je lui témoigne ici ma profonde gratitude et admiration.

En outre Je dis un très grand merci à mes collègues et très chère amies Karima BABA-AISSA, AMMAD Faiza, et l'adorable REMINI Louiza, sans oublier Kamel MOUSSAOUI. Je remercie également tous les membres du laboratoire de phytopharmacie de l'université de Blida1, notamment Mme Djemaï Yamina Technicienne du laboratoire, pour sa gentillesse et sa disponibilité, je n'oublie pas aussi de remercier tous les membres de la ferme pilote Hmamou de la wilaya de Médéa pour leurs coopération le long des années d'expérimentation.

Un très grand merci pour mes étudiants Mr. Ben Chohra Hamza, Mr Megatli Fouad et Melle Mekious Nawel. Ingénieurs Agronome, pour leurs contributions dans ce travail et leur sérieux

Je témoigne ma très grande gratitude et reconnaissance envers mes parents et ma sœur Doria qui ont été présent avec moi dans chaque moment de détresse, ainsi qu'à mon mari Anis qui m'a toujours encouragé et accompagné le long de ce projet.

Enfin, je tien a dire merci pour toute ma famille, à ma sœur Kenza et Hind, mes frères Adel et Aziz, mes belles sœurs Soumia et Samira, mes beaux parents, mes beaux frères Khaled, Ilyes, Amine, et Mohammed, notamment ma chère nièce Yasmine.

BELLABED BRAHIMI Latifa

Dédicace

Depuis que j'avais entamé mon doctorat, j'ai dû sacrifier le temps de mes enfants pour mes études surtout celui de ma petite Dina.

Ainsi, je tiens aujourd'hui à leurs dédier ce travail tout en souhaitant qu'une fois grands, ils seraient fiers de leur maman

À ma princesse Dina

Et

À mon trésor Sami

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ

ABSTRACT

ملخص

AVANT PROPOS

REMERCIEMENTS

DÉDICACE

TABLE DE MATIÈRES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	17
CHAPITRE 1: RELATION TROPHIQUE ENTRE PLANTE ET XYLOPHAGE..	20
1.1. Introduction.....	20
1.2. Nutrition chez les xylophages.....	20
1.2.1. Besoins nutritifs.....	20
1.2.2. Mécanisme et contrôle de la prise de nourriture.....	24
1.2.3. Régulation de la prise de nourriture.....	25
1.2.4. Exploitation des ressources alimentaires.....	25
1.3. Caractéristiques et variabilité chimique du support nutritif.....	26
1.3.1. Structure du bois.....	26
1.3.2. Chimie du bois.....	27
1.4. Le bois source de nourriture peu idéale pour les xylophages.....	32
1.4.1. Contraintes nutritifs.....	32
1.4.2. Résistance et/ou tolérance variétale	37
1.4.2.1. Optimisation du mode de déploiement des résistances variétales.....	38
1.4.2.2. Les plantes sauvages sources de gènes de résistance.....	38
1.4.3. Résistance induite suite aux attaques.....	38
1.5. Stratégie adaptative des xylophages face aux stress nutritionnels.....	39
1.5.1. Choix et exploitation de la plante hôte par les “bonne mères”...	41
1.5.2. Synchronisation des cycles de reproduction des insectes et des plantes.....	41
1.5.3. Compromis évolutif (nutrition/ reproduction).....	44
1.6. Typologie de la déprédation des xylophages.....	47

CHAPITRE 2: CARACTÉRISTIQUES MORPHO-BIOLOGIQUES DU BUPRESTE <i>CAPNODIS TENEBRIONIS</i> (L., 1758) DÉGÂTS ET PERSPECTIVES DE LUTTE	49
2.1. Caractéristiques systématiques et morphologiques du coléoptère <i>Capnodis tenebrionis</i>	49
2.1.1. Caractéristiques systématiques.....	49
2.1.2. Position systématique du Bupreste noir (<i>Capnodis tenebrionis</i>).....	51
2.1.3. Caractéristique morphologique du Capnode (<i>C. tenebrionis</i>).....	51
2.2. Caractéristiques biologiques.....	58
2.2.1. Cycle évolutif.....	58
2.2.2. Hibernation.....	62
2.3. Dégâts du bupreste sur <i>Prunus</i>	62
2.3.1. Généralités sur les plantes hôtes.....	62
2.3.2. Ampleur des dégâts en Algérie.....	63
2.3.3. Impacte des dégâts sur les différents compartiments du plant....	65
2.4. Lutte (notion de lutte raisonnée).....	66
2.4.1 Etude du milieu.....	66
2.4.2. Méthodes culturales.....	71
2.4.3. Méthodes chimiques.....	72
2.4.4. Moyens biologiques.....	73
2.4.5. Estimation financière d'un programme de lutte sur terrain dans la wilaya de Médéa.....	74
 CHAPITRE 3: MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	77
3.1. Introduction.....	77
3.2. Présentation globale de la région d'étude.....	77
3.2.1. Situation géographique.....	77
3.2.2. Caractéristiques climatiques.....	78
3.3. Présentation et description de la zone d'étude.....	84
3.4. Matériel et méthodes d'études.....	87
3.4.1. Matériel d'étude.....	88
3.4.2. Méthodes d'étude.....	90
3.4.2.1. Objectifs méthodologiques.....	90
3.4.2.2. Étude du cycle de vie et de la succession temporelle des formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur deux plantes hôtes de <i>Prunus</i> (<i>Prunus mahaleb</i> et <i>Prunus domestica</i>).....	91
3.4.2.3. Principe de choix alimentaire chez les adultes du bupreste noir <i>Capnodis tenebrionis</i> entre deux espèces de <i>Prunus</i> (<i>Prunus mahaleb</i> et <i>Prunus domestica</i>).....	97
3.4.2.4. Effet du stress alimentaire sur la stratégie évolutive des femelles du bupreste noir <i>Capnodis tenebrionis</i> traduite par la fluctuation de ses allocations énergétiques.....	101
3.4.2.5. Etude de la disposition des loges larvaires et nymphales de <i>Capnodis tenebrionis</i> en relation avec la qualité physicochimique du bois des deux <i>Prunus</i> attaqués.....	102

3.4.2.6	Etude comparée de la toxicité de différentes doses d'un insecticide de synthèse à base de Tefluthrine 0,5% sur les formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> dans les conditions naturelles.....	105
3.4.3.	Analyses statistiques des données.....	107
CHAPITRE 4: RÉSULTATS.....		110
4.1.	Étude du cycle de vie et de la succession temporelle des formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur deux plantes hôtes de <i>Prunus</i> (<i>Prunus mahaleb</i> et <i>Prunus domestica</i>).....	110
4.2.	Principe de choix alimentaire chez les adultes de <i>Capnodis tenebrionis</i> entre deux espèces de <i>Prunus</i> (<i>Prunus mahaleb</i> et <i>Prunus domestica</i>)	119
4.2.1.	Évolution temporelle du conditionnement des adultes <i>Capnodis</i> sur <i>Prunus domestica</i> et <i>Prunus mahaleb</i>	119
4.3.	Effet du stress alimentaire sur la stratégie évolutive de <i>Capnodis tenebrionis</i> traduite par la fluctuation de ses allocations énergétiques.....	127
4.4.	Etude de la disposition des loges larvaires et nymphales de <i>Capnodis tenebrionis</i> en relation avec la qualité physicochimique du bois attaqué du <i>Prunus</i> (<i>Prunus domestica</i> , <i>Prunus mahaleb</i>).....	133
4.5.	Etude comparée de la toxicité de différentes doses d'un insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> dans les conditions naturelles.....	147
CHAPITRE 5: DISCUSSION GÉNÉRALE.....		158
5.1.	Étude du cycle de vie et de la succession temporelle des formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur deux plantes hôtes de <i>Prunus</i> (<i>Prunus mahaleb</i> et <i>Prunus domestica</i>)	185
5.2.	Principe de choix alimentaire chez les adultes de <i>Capnodis tenebrionis</i> entre espèces, variétés et compartiments foliaire.....	165
5.3.	Effet du stress alimentaire sur la stratégie évolutive des adultes <i>Capnodis tenebrionis</i> traduite par les fluctuations de leurs allocations énergétiques.....	168
5.4.	Etude de la disposition des loges larvaires et nymphales de <i>Capnodis tenebrionis</i> en relation avec la qualité physicochimique du bois attaqué du <i>Prunus</i>	170
5.5.	Etude comparée de la toxicité de différentes doses d'un insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> dans les conditions naturelles.....	175
CONCLUSION.....		179
APPENDICES.....		184
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		189

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1:	Coupe transversale d'un tronc.....	26
Figure 1.2:	Organisation cellulaire du bois	27
Figure 1.3:	Structure de la cellulose	28
Figure 1.4:	Osés simple composant les hémicelluloses	29
Figure 1.5:	Structure de lignine.....	30
Figure 1.6:	Structures de tanins.....	31
Figure 1.7:	Perception d'attaque et déclenchement des défenses naturelles	39
Figure 1.8:	Processus adaptatif d'un organisme face au stress.....	40
Figure 1.9:	Comportement optimal d'un ravageur selon la probabilité de trouver de la nourriture dans son environnement et ses réserves énergétiques.....	46
Figure 1.10:	Réaction de la plante face à un stress hydrique.....	48
Figure 2.1:	Images des œufs <i>Capnodis tenebrionis</i>	52
Figure 2.2:	Larve de <i>Capnodis tenebrionis</i>	53
Figure 2.3:	Différentes étapes du phénomène de la nymphose chez <i>Capnodis tenebrionis</i>	54
Figure 2.4 :	Adulte <i>Capnodis tenebrionis</i>	55
Figure 2.5:	Schéma des appendices de la tête du Bupreste <i>Capnodis tenebrionis</i>	56
Figure 2.6:	Schéma du thorax de l'adulte <i>Capnodis tenebrionis</i>	57
Figure 2.7:	Schéma de l'abdomen de l'adulte <i>Capnodis tenebrionis</i>	57
Figure 2.8:	Dimorphisme sexuel chez les adultes <i>Capnodis</i>	57
Figure 2.9:	Cycle évolutif du bupreste <i>Capnodis tenebrionis</i> (de l'œuf à l'Adulte).....	58
Figure 2.10:	Représentation en profondeur des loges nymphale de <i>Capnodis tenebrionis</i>	61
Figure 2.11:	Principales zones infestées par le Capnode en Algérie.....	64
Figure 2.12:	Carte représentative des infestations de <i>Capnodis tenebrionis</i> dans la wilaya de Médéa.....	65
Figure 2.13:	Schéma fonctionnel des interactions couvert-bioagresseur et des effets attendus des leviers agronomiques à l'échelle de parcelle.....	67
Figure 2.14:	Modèle de fonctionnement du bioagresseur forcé par des scénarios climatiques et environnementaux	70
Figure 2.15:	Schémas représentatif de la période du Capnodage à Médéa..	75
Figure 2.16:	Schémas représentatif de la période du traitement à Médéa...	75
Figure 3.1:	Limites géographiques de Médéa.....	78
Figure 3.2	Diagrammes ombrothermiques de la région de Médéa durant les quatre années d'étude	82
Figure 3.3:	Diagramme ombrothermique Bagnouls et Gausson durant la période (1995-2012).....	83
Figure 3.4:	Localisation de la région de Médéa dans le Climagramme d'Emberger.....	84

Figure 3.5:	Localisation des parcelles expérimentales dans la station d'étude.....	86
Figure 3.6 :	Schéma hypothétiques de la stratégie adaptative de <i>Capnodis tenebrionis</i> en fonction de ses plantes hôtes.....	88
Figure 3.7:	Symptômes d'arbre attaqué par <i>Capnodis tenebrionis</i>	89
Figure 3.8:	Symptômes d'arbre totalement miné	90
Figure 4.1 :	Fluctuation temporelle de l'abondance globale de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur <i>Prunus</i>	110
Figure 4.2 :	Variation temporelle de l'abondance des différentes formes biologique de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur <i>Prunus</i>	111
Figure 4.3 :	Variation des quantités de métabolites primaires et secondaires du bois des deux <i>Prunus</i>	114
Figure 4.4 :	Variation des quantités en réserves lipidiques des formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur les deux <i>Prunus</i>	115
Figure 4.5 :	Diagramme synthétique du cycle de vie de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur <i>Prunus</i>	118
Figure 4.6 :	Évolution temporelle des abondances des adultes <i>Capnodis</i> ...	119
Figure 4.7 :	Évolution temporelle des paramètres de conditionnement des adultes <i>Capnodis</i>	120
Figure 4.8 :	Évolution temporelle des sucres et des tanins des <i>Prunus</i>	121
Figure 4.9 :	Projection des molécules phytochimiques des limbes et des pétioles de <i>Prunus</i> et des paramètres de conditionnement de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur les deux axes de l'A.C.P.....	123
Figure 4.10 :	Fluctuations phytochimiques sur <i>Prunus domestica</i> en fonction de la période, de l'hôte et du compartiment foliaire.....	124
Figure 4.11 :	Fluctuations des sucres totaux sur <i>Prunus cerasus</i> en fonction de la période, de l'hôte et du compartiment foliaire.....	125
Figure 4.12 :	Évolution temporelle des taux des molécules phytochimiques des <i>Prunus</i> et paramètres de conditionnement et métaboliques des adultes femelles <i>Capnodis</i>	128
Figure 4.13 :	Variation des taux des sucres totaux et des tanins condensés chez les <i>Prunus</i> cultivés.....	129
Figure 4.14 :	Etude comparée de la fluctuation temporelle des réserves lipidiques en fonction des hôtes.....	130
Figure.4.15:	Diagramme récapitulatif des liaisons entre qualité phytochimique de la plante hôte et paramètres énergétiques des femelles <i>Capnodis</i>	132
Figure 4.16 :	Effets comparés de l'accumulation des métabolites de deux espèces de <i>Prunus</i> selon le positionnement des attaques larvaires de <i>Capnodis tenebrionis</i>	137
Figure 4.17 :	Effets comparés de l'accumulation des métabolites de deux espèces de <i>Prunus</i> selon leur résistance ou sensibilité aux attaques larvaires de <i>Capnodis tenebrionis</i>	138
Figure 4.18 :	Projection des abondances larvaires de <i>Capnodis tenebrionis</i> et de la qualité phytochimique des deux variétés de <i>Prunus</i> sur les deux axes de l'A.C.P.....	140
Figure 4.19 :	Variation des épaisseurs du greffon et porte –greffe chez les deux espèces de <i>Prunus</i>	144

Figure 4.20 :	Effets comparés de la variation des épaisseurs du greffon et porte –greffe chez les deux espèces de <i>Prunus</i>	145
Figure 4.21 :	Variation de la dureté du greffon et porte –greffe chez les deux espèces de <i>Prunus</i>	146
Figure 4.22 :	Effets comparés de la variation de la dureté chez les deux espèces de <i>Prunus</i>	146
Figure 4.23 :	Evaluation temporelle des abondances globales moyennes de <i>Capnodis tenebrionis</i> sous l'effet des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5%.....	148
Figure 4.24 :	Effets comparés de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les abondances globales de <i>Capnodis tenebrionis</i>	151
Figure 4.25 :	Estimation de l'efficacité temporelle des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les abondances globales de <i>Capnodis tenebrionis</i>	152
Figure 4.26:	Estimation de l'efficacité des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les abondances globales de <i>Capnodis tenebrionis</i> évoluant sur les deux <i>Prunus</i>	153
Figure 4.27 :	Evaluation temporelle des populations résiduelles de <i>Capnodis tenebrionis</i> sous l'effet des différentes doses du Tefluthrine 0,5%.....	154
Figure 4.28 :	Effet temporel des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les populations résiduelles des individus <i>Capnodis</i>	156
Figure 4.29 :	Effets comparés de l'efficacité temporelle des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les populations résiduelles différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les populations résiduelles des individus <i>Capnodis</i>	157
Figure 5.1:	Corrélations temporelles entre les métabolites du bois et les concentrations des réserves énergiques lipidiques des larves <i>Capnodis</i>	161
Tableau 1.1 :	Besoin en acides aminés des insectes.....	22
Tableau 1.2 :	Proportions des composants chimiques dans le bois.....	27
Tableau 2.1 :	Mensurations et durée des stades larvaires du Capnode.....	60
Tableau 2.2 :	Infestation des cultures par <i>Capnodis tenebrionis</i> dans la wilaya de Médéa durant la décennie (1995-2005).....	64
Tableau 2.3 :	Calendrier d'apport de fumure sur Prunier en Algérie.....	69
Tableau 2.4 :	Calendrier d'apport de fumure sur Cerisier en Algérie.....	69
Tableau 3.1 :	Températures mensuelles moyennes, maximales et minimales exprimées en degrés Celsius et enregistrées en 2009, 2010, 2011 et 2012 dans la station météorologique de Médéa.....	79
Tableau 3.2	Pluviométrie mensuelle des années allant de 2009 à 2012.....	80
Tableau 3.3 :	Températures et pluviométrie moyennes mensuelles de la région de Médéa durant la période 1995-2012	81
Tableau 3.4 :	Présentation des espèces de <i>Prunus</i>	85
Tableau 3.5 :	Pesticides utilisés à la ferme pilote en arboriculture fruitière pour l'année 2012.....	87

Tableau 3.6 :	Courbe standard de cholestérol.....	97
Tableau 4.1 :	Variation temporelle des différentes formes biologiques de <i>Capnodis tenebrionis</i> sur <i>Prunus</i>	112
Tableau 4.2 :	Corrélation phytochimie des compartiments de <i>Prunus domestica</i> et le métabolisme lipidique des larves <i>Capnodis</i>	115
Tableau 4.3 :	Corrélation phytochimie des compartiments de <i>Prunus cerasus</i> et le métabolisme lipidique des larves <i>Capnodis</i>	116
Tableau 4.4 :	Décalage temporel des différents stades évolutifs de <i>Capnodis tenebrionis</i> selon les plantes hôtes.....	117
Tableau 4.5 :	Corrélation phytochimie des compartiments de <i>Prunus cerasus</i> et conditionnement des femelles <i>Capnodis</i>	126
Tableau 4.6 :	Corrélation phytochimie des compartiments de <i>Prunus domestica</i> et conditionnement des femelles <i>Capnodis</i>	126
Tableau 4.7 :	Corrélation phytochimie des compartiments de <i>Prunus domestica</i> et réserves énergétiques des femelles <i>Capnodis</i>	131
Tableau 4.8 :	Corrélation phytochimie des compartiments de <i>Prunus cerasus</i> et réserves énergétiques des femelles <i>Capnodis</i>	131
Tableau 4.9 :	Valeurs moyennes (\pm SE) des métabolites secondaires du genre <i>Prunus</i> sauvage et cultivé en rapport avec l'abondance des larves de <i>C. tenebrionis</i>	134
Tableau 4.10:	Régressions multiples appliquées à l'infestation larvaire de <i>Capnodis tenebrionis</i> en fonction de la qualité phytochimique du <i>Prunus domestica</i> cultivé.....	142
Tableau 4.11:	Régressions multiples appliquées à l'infestation larvaire du Capnode en fonction de la qualité phytochimique de <i>Prunus cerasus</i> cultivé.....	143
Tableau 4.12:	Evaluation de la toxicité de la demi-dose de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur l'abondance globale de <i>Capnodis tenebrionis</i>	147
Tableau 4.13:	Evaluation de la toxicité de la dose de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur l'abondance globale de <i>Capnodis tenebrionis</i>	149
Tableau 4.14:	Evaluation de la toxicité de la double-dose de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur l'abondance globale de <i>Capnodis tenebrionis</i>	149
Tableau 4.15 :	Modèle ANOVA appliqué aux abondances des individus <i>Capnodis</i> selon les interactions des différents facteurs.....	150
Tableau 4.16:	Modèle G.L.M. appliqué à l'abondance globale des individus <i>Capnodis</i> en fonction des différents facteurs.....	155
Tableau 4.17:	Modèle ANOVA appliqué aux populations résiduelles des individus <i>Capnodis</i> selon l'interaction périodes/doses.....	156

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les bioagresseurs des cultures sont des composants des agrosystèmes, au même titre que les plantes qui y sont cultivées [1]. Les bioagresseurs des cultures influent positivement ou négativement sur les performances des agrosystèmes [2]. C'est le couplet Peuplement végétal/ Bioagresseurs, qui constitue le cadre de la réflexion actuelle en protection des cultures [3], il fournit le contexte de la protection des cultures par des interventions directes (destinées spécifiquement au contrôle des bioagresseurs), ou indirectes (via le peuplement végétal par le déploiement d'une résistance) [2].

Capnodis tenebrionis (Coleoptera, Buprestidae) originaire de la région méditerranéenne est considéré comme l'une des espèces les plus nuisibles aux cultures fruitières à noyaux. Les adultes, pour se nourrir, défeuillent partiellement les arbres en dévorant les pétioles, détruisant les bourgeons et décortiquant en surface les pousses tendres à peine lignifiées, alors que les larves, sont le principal agent des dommages causés aux arbres; creusant des galeries sinueuses ascendantes ou descendantes. Elles occasionnent un déséquilibre entre la partie aérienne et le système racinaire. Les arbres attaqués par ce bupreste deviennent très sensibles aux attaques des coléoptères du genre *Scolytus* [4]. Les pertes en production enregistrées au niveau de la région d'étude (Benchicao) wilaya de Médéa pour l'année (2012) sont estimées à 15% pour *Prunus mahaleb* et à 22% pour *Prunus domestica* [5].

Les dommages causés aux plantes par l'attaque du bioagresseur induisent en particulier la synthèse d'une grande quantité de polyphénols. Ces changements métaboliques de la plante suite à l'attaque d'un insecte broyeur sont importants, parce qu'ils déterminent la production ainsi que la qualité nutritive des bioagresseurs [6]. Ainsi la plante hôte représente le trait d'histoire de vie majeur pour les insectes herbivores, comme source de nourriture, avec ses composantes nutritives (protéines, acides aminés, glucides, lipides, vitamines, minéraux, eau, etc.) et ses composantes non-nutritionnelles (composés allélochimiques) (phénols, alcaloïdes, etc.), elle joue un rôle déterminant dans la dynamique des populations [7].

Il est donc important de bien connaître les besoins alimentaires et la stratégie sélective de sa nourriture afin de contrôler ses interaction avec l'écosystème et ainsi se donner les moyens pour mieux gérer ses populations par l'intervention directe et/ou indirecte lorsque celui-ci entre en conflit avec les intérêts des opérateurs économiques [8; 9].

La relation trophique entre insecte ravageur et plante hôte permettant un apport minimal dans la diète requise pour la survie et la croissance est principalement basée sur la disponibilité temporelle d'une qualité biochimique des organes attaqués. Le degré de synchronisation entre le stade infestant de l'insecte et les stades phénologiques vulnérables de son hôte va donc au-delà de la simple disponibilité de la nourriture mais essentiellement à sa qualité [10; 11; 12]. D'autant plus que le développement larvaire et la métamorphose sont des étapes coûteuses en termes d'énergie et que dans la plupart des cas, l'énergie constitue une ressource limitée devant être partagée entre les différentes fonctions de l'organisme [13]. Son allocation à un des traits de l'organisme se fera donc au détriment des autres caractères. La sélection naturelle, visant à maximiser la 'fitness' des organismes, favorisera la combinaison de traits qui sont les mieux adaptés aux conditions écologiques ambiantes [14]

Toute fois très peu d'études se sont intéressées aux exigences alimentaires des larves *Capnodis* notamment celui de Gindin [15]. Les composés chimiques modulant le développement des différents stades évolutifs de *Capnodis tenebrionis* sont très peu documentés. De plus aucune recherche n'a entamé le devenir de ces apports en termes d'allocations énergétiques. C'est dans ce contexte que la présente approche vise à mettre le point sur les préférences alimentaires des individus *Capnodis* entre limbe et pétiole chez *P. domestica* et *P. mahaleb* en termes de valeur nutritive et par conséquent estimer la stratégie d'allocation du budget énergétique dans le but d'appréhender la bio-éthologie du bioagresseur.

Généralement, l'identité des molécules joue non seulement un rôle important dans l'attraction des insectes, mais leurs proportions relatives sont également très importantes. Pour les insectes xylophages, chaque essence possède des propriétés différentes, qui la rendent plus ou moins sensibles à l'attaque [16].

C'est dans ce cadre qu'on a estimé les changements phytochimiques notamment les sucres, les protéines solubles et hydrosolubles la proline l'azote, la cellulose et l'hémicellulose, pour les deux espèces hôtes (*P. domestica*, *P. mahaleb*) et par rapport à deux compartiments bois (porte-greffe et greffon). Notamment l'estimation des variabilités physiques du bois (dureté, épaisseur) entre greffon et porte-greffe pour les quatre variétés étudiées.

Nos objectifs se résument dans les hypothèses suivantes :

- (i) Évaluer la capacité adaptative de *C. tenebrionis* à accomplir son cycle biologique sur les différents supports nutritifs.
- (ii) Rechercher les tendances alimentaires des adultes *C. tenebrionis* entre limbe et pétiole au sein d'un même plant attaqué;
- (iii) Examiner la dispersion des larves de *C. tenebrionis* entre le porte-greffe et le greffon en référence à la phytochimie de *P. domestica* et *P. cerasus*
- (iv) Etudier le comportement de *C. tenebrionis* exposé à un stress chimique sur les deux espèces hôte étudiées.

Par : 

- (i) Une évaluation quantitative d'un ensemble de composés phytochimiques possible pour les différentes espèces et variétés.
- (ii) Une quantification des différents paramètres de fitness de *C. tenebrionis* (Poids, Taille, Abondance)
- (iii) Une analyse physique du bois des deux espèces hôtes.
- (iv) Application d'un pesticide de synthèse à différentes doses.

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1: RELATION TROPHIQUE ENTRE PLANTE ET XYLOPHAGE

1.1. Introduction

La sélection naturelle est un processus d'optimisation tendant à maximiser la 'fitness' ou valeur sélective d'un individu. Par définition la 'fitness' fait référence au succès reproducteur d'un individu, autrement dit à l'efficacité avec laquelle il transmet ses gènes à la génération future [17 ; 18]. Dans la plupart des cas, l'énergie constitue une ressource limitée devant être partagée entre les différentes fonctions de l'organisme. Son allocation à un des traits de l'organisme se fera donc au détriment des autres caractères. La sélection naturelle, visant à maximiser la 'fitness' des organismes, favorisera la combinaison de traits qui est la mieux adaptée aux conditions écologiques ambiantes [19 ; 20].

La plante hôte représente le trait d'histoire majeur pour les insectes herbivores, comme source de nourriture, elle joue un rôle déterminant dans la dynamique des populations avec ses composantes nutritives (protéines, acides aminés, glucides, lipides, vitamines, minéraux, eau, etc.) et ses composantes non-nutritionnelles (composés allélochimiques) (phénols, polyphénols, monoterpènes, glucosinolates, alcaloïdes, etc.) [21]. Il est donc important de bien connaître les besoins alimentaires et l'utilisation de la nourriture par l'insecte afin de mieux comprendre son interaction avec l'écosystème et ainsi être plus apte à contrôler ses populations par l'intervention directe et/ou indirecte lorsque celui-ci entre en conflit avec les intérêts des opérateurs économiques [22 ;23].

1.2. Nutrition chez les xylophages

1.2.1. Besoins nutritifs

La majorité des insectes xylophages sont incapables de digérer la cellulose et la lignine. Ces ravageurs hébergent dans leurs tubes digestifs divers organismes

symbiotes (bactéries, champignons), qui rédigèrent le bois. Ces organismes sont le plus souvent déjà présents dans le substrat, mais certains insectes peuvent, en quelque sorte, ensemercer leurs galeries avec ces derniers [24]. La généralisation des besoins en éléments nutritifs est complexe en raison de la présence d'éventuels symbiotes capable de produire des éléments essentiels. De plus, les exigences nutritives s'avèrent souvent totalement différentes chez les holométaboles entre les larves et l'adulte tel est le cas du Bupreste noir (*Capnodis tenebrionis*) [25].

1.2.1.1. Les protéines, les acides aminés et les acides nucléiques

Les protéines ingérées par les insectes sont hydrolysées en petits peptides et en acides aminés par des enzymes protéolytiques dans le tube digestif. Bien qu'il existe des transporteurs spécifiques du glutamate chez les insectes les acides aminés sont généralement décrits comme absorbés passivement à travers la paroi intestinale. Par ailleurs, chez les larves de lépidoptères, un système de transport des acides aminés peut exister et la prise alimentaire de tyrosine et de méthionine est stimulée par la présence de NaCl et de KCl [26].

Les petits peptides peuvent en général être absorbés par l'épithélium intestinal, l'hydrolyse finale des protéines en acide aminés étant intracellulaire. Parmi les 20 acides aminés couramment rencontrés, 10 sont des acides aminés essentiels et doivent se trouver dans l'alimentation de la plupart des insectes notamment les Coléoptères (Tableau 1.1). Les autres acides aminés sont considérés comme non indispensables car les insectes peuvent les synthétiser par inter-conversion. Les acides aminés après désamination, peuvent participer à la formation de glucose et aussi à la formation d'énergie (ATP) via le cycle de krebs [27].

Les acides aminés après absorption, sont utilisés pour la synthèse des composés de structures (muscles, tégument...) des enzymes et des hormones qui participent à différentes voies métaboliques. La tyrosine est par exemple, nécessaire à la sclérotinisation et à la mélanisation de la cuticule et le glutamate est une molécule importante de la neurotransmission. Chez certains insectes, la proline est utilisée comme un substrat additionnel pour le vol avec les lipides et les glucides [28].

Tableau 1.1: Besoin en acides aminés des insectes

Acides aminés Essentiels	Acides aminés synthétisés par les insectes
Arginine	Alanine
Histidine	Asparagine
Isoleucine	Acide aspartique
Lysine	Cystéine
Méthionine	Acide glutamique
Phénylalanine	Glutamine
Thréonine	Glycine
Tryptophane	Proline
Valine	Tyrosine

[27]

Chez les femelles, la vitellogénèse entraîne souvent des besoins accrus et spécifiques en acides aminés. De plus les acides aminés présents dans l'hémolymphe contribuent également au maintien de la pression osmotique [29.] Contrairement aux glucides (carbohydate en anglais) et aux lipides, les acides aminés ingérés en excès ne peuvent pas être stockés et sont donc immédiatement excrétés. Les ions ammonium (NH_4^+) produits sont toxiques et les insectes les convertissent en urée stockées en tube de Malpighi et excrétée sous forme d'acide urique [30]. Chez les xylophages ainsi que chez les autres insectes afin d'assurer les besoins protéiques durant la mue et la production d'œufs, un stockage est possible sous la forme des, protéines hexamérique. Ces protéines qui seraient des hémocyanines ayant perdu leurs fonctions respiratoires sont synthétisées par le corps gras et relâchées dans l'hémolymphe juste avant la métamorphose [31]. L'alimentation de l'adulte étant généralement pauvre en protéines, les hexamérines recapturées et stockées dans le corps gras sous la forme de granules cytoplasmiques seront disponibles en fonction des besoins de l'insecte [32].

Les symbiotes du tube digestif peuvent avoir un rôle dans le métabolisme de l'azote de leur hôte. Ils sont capables de transformer les produits du catabolisme de l'insecte tels que l'urée et l'acide urique en composés azotés que leurs hôtes peuvent ensuite utiliser. La nutrition peut aussi jouer un rôle sur la régulation des bactéries symbiotiques. Ainsi, une forte teneur en azote dans l'alimentation d'*Aphis*

pisum peut favoriser la population de *Buchnera aphidicola* (*Enterobacteriales*, *Enterobacteriaceae*), alors qu'une faible teneur favorisera celle de *Serratia Symbiotica* (*Enterobacteriales*, *Enterobacteriaceae*) [33].

Les glucides (Ribose et désoxyribose), les nucléotides (adénine, guanine, cytosine, uraciles et thymine) et les phosphates sont les produits majeurs issus de la digestion des acides nucléiques. Les insectes réutilisent ces composés pour la synthèse de nouveaux ADN et ARN, voir pour celle de dinucléotides tels que le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD et NADP) et la flavine adénine dinucléotide (FAD), qui sont des co-enzymes importants des réactions d'oxydoréduction du cycle de Krebs et des oxydations phosphorylantes [34].

1.2.1.2. Les glucides

Les insectes sont en mesure d'utiliser une quarantaine de glucides différents apparemment sans spécificité marquée bien qu'il existe une corrélation entre la présence d'oligosaccharides, de polysaccharides, de glucosides et d'enzyme permettant leur hydrolyse en oses simples. Ils sont décrits comme absorbés à travers la paroi intestinale grâce à une diffusion facilitée par un transporteur de glucose. L'affinité des insectes aux glucides varie selon la nature chimique de ces derniers, l'espèce considérée, l'âge et le sexe de l'individu [35]. Ceux présents dans les tissus végétaux comme le glucose, le maltose, le fructose et le saccharose sont généralement bien utilisés par la plupart des insectes, à l'exception des pentoses qui ralentissent leur croissance [36].

1.2.1.3. Minéraux et vitamines

Les minéraux comme le potassium, le phosphore et le magnésium constituent des nutriments essentiels aux réactions biochimiques et aux fonctions physiologiques de l'insecte [36 ; 37]. Contrairement aux oiseaux et aux mammifères, les insectes n'ont pas besoin de calcium et de sodium qu'à l'état de trace. Des micro-éléments, tels que le fer, le zinc, le manganèse et le cuivre sont également indispensables car ils agissent comme catalyseurs de réactions enzymatiques [37].

Les vitamines du groupe B (thiamine (B1), riboflavine, acide nicotinique, pyridoxine (B6), acide pantothénique, acide folique, biotine) sont des substances organiques qui ne sont pas reliées l'une à l'autre et doivent être présentes dans la nourriture car elles ne sont pas synthétisables [38]. Ces vitamines semblent être essentielles aux fonctions physiologiques des insectes [39] et agissent comme coenzymes des réactions métaboliques et proviennent soit de la nourriture, soit des symbiotes. La plupart des insectes ont besoin de l'acide ascorbique (vitamine C). Les autres types d'insectes et même certains herbivores sont capables de synthétiser cette vitamine. La vitamine A, ou son précurseur le β -carotène, est indispensable à peu près pour tous les insectes pour avoir une vision normale. Les vitamines E, K et D n'ont pas été jusqu'à présent reconnues essentielles chez les insectes [40].

1.2.2. Mécanisme et contrôle de la prise de nourriture

Avant la prise de nourriture, l'insecte effectue une série de séquences comportementales qui lui permettant d'accepter ou au contraire de rejeter la nourriture. Un coléoptère par exemple prospecte la surface de la plante avec l'extrémité de ses palpes riche en sensilles ; et lui permettent de détecter les composés de surface et/ou volatile, et de savoir ainsi si la plante est toxique ou acceptable comme source de nourriture. Le même type de comportement de prospection est observé chez la plupart des insectes phytophage. Il est généralement admis que la décision de prise de nourriture par un insecte dépend d'un équilibre entre la phagostimulation et la déterrence [38].

Les principaux phagostimulants, induisant la prise de nourriture chez les insectes phytophage, sont les sucres hexoses comme le saccharose ainsi que certains composés constitutifs des cires de la cuticule des plantes. Les insectes mono- ou oligophage ayant un spectre de plantes hôte restreint se nourrissent uniquement s'ils reconnaissent les composés caractéristiques de leurs plantes hôtes. C'est ainsi que les lépidoptères et les coléoptères sont stimulés par la présence des glycosinolate, et des glycosides spécifique. Si les tarse ne détectent pas une certaine concentration en sucre à la surface de la plante, le proboscis n'entrera pas en activité. Chez les insectes xylophages, une pompe cibariale, doit agir en

permanence pendant la prise de nourriture du fait d'une pression négative du xylème (-2MPa) [41].

1.2.3. Régulation de la prise de nourriture

La plupart des insectes se nourrissent par des petites quantités, à intervalle plus ou moins longs (par exemple des intervalles de 15-30 minutes pour les chenilles et de 1-2 heures pour les criquets) [38]. Un repas représente en général près de 10% de poids de l'insecte. Les insectes se nourrissent de nectar, sorte de carburant pour le vol, ne prélèvent à chaque fois qu'une très faible quantité comparativement à leur poids, quant aux xylophage, ils passent l'essentiel de leur vie à prélever de la nourriture [41].

La prise de nourriture est influencée par des facteurs internes et externes, et gouvernée par le système nerveux central. Elle est favorisée par l'odeur de la nourriture. Elle est plus importante, selon les espèces, soit le jour, soit la nuit. Le système nerveux central, quant à lui, est non seulement guidé par le tube digestif (plein ou vide, type de nutrition ingérés, riche ou pas en protéines) mais également par la sensibilité des sensilles des pièces buccales de l'insecte (stimulé par des composés phagostimulants ou au contraire, inhibées par des composés répulsifs) [38].

1.2.4. Exploitation des ressources alimentaires

La vie en société du Capnode noir (*Capnodis tenebrionis*) nécessite la participation d'un ou plusieurs individus spécialisés dans la recherche de nourriture. Les individus les plus âgés assurent généralement cette tâche ; ils agissent alors soit en solitaire, soit de manière plus coordonnée. Ce dernier cas implique l'existence d'un système de recrutement visant à partager l'information (nature, quantité, localisation des ressources) avec ses congénères et aboutissent à l'optimisation de l'exploitation de la ressource alimentaire [42].

Le système de recrutement comprend une composante comportementale et une composante chimique. Chez les adultes, la composante comportementale est

assurée principalement par des danses, et permet de stimuler des congénères. Cependant, l'eau et les sources sucrées peu odorantes sont marquées par des terpènes volatiles, ce qui permet de retrouver plus facilement la source lorsque l'individu s'en approche [43].

1.3. Caractéristiques et variabilité chimique du support nutritif

1.3.1. Structure du bois

Le bois, encore appelé xylème, est un tissu végétal qui joue un double rôle chez les plantes vasculaires : conducteur de la sève brute et tissu de soutien donnant leur résistance aux tiges, pouvant parfois également jouer le rôle de tissu de réserve. Il présente un ensemble de tissus résistants secondaires (soutien, conduction et réserve) formant le tronc, les branches et les racines des plantes ligneuses. Issu du fonctionnement du cambium périphérique, il est situé entre celui-ci et la moelle (Figure 1.1) [44].

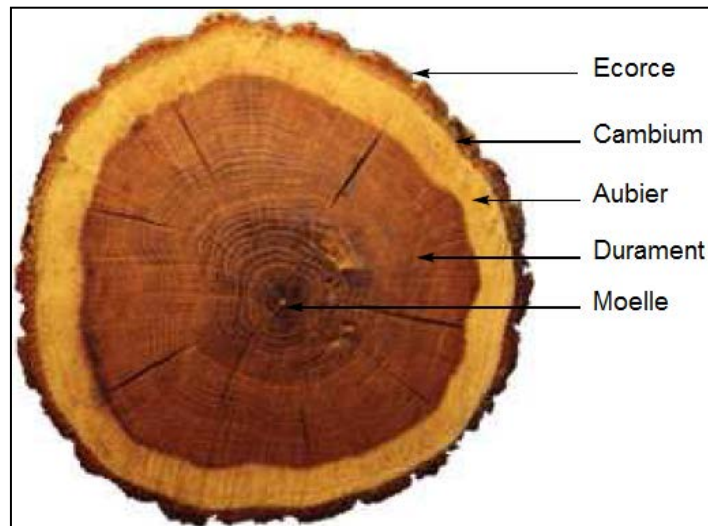


Figure 1.1: Coupe transversale d'un tronc [44]

Le bois est composé de différents types de tissus végétaux : tissus vasculaires, fibres et parenchymes de réserves (Figure 1.2). Les fibres sont des faisceaux de cellules, disposées dans le sens axial, qui assurent la rigidité et la résistance mécanique du bois. Les tissus vasculaires sont formés de vaisseaux,

cellules creuses qui servent à conduire la sève brute depuis les racines jusqu'aux feuilles [45].

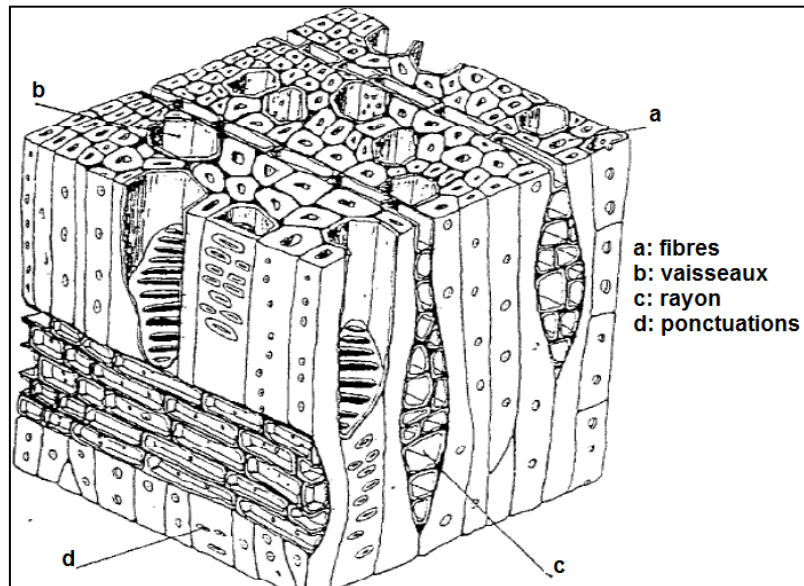


Figure 1.2: Organisation cellulaire du bois [45]

1.3.2. Chimie du bois

La composition chimique du bois est complexe. Une première distinction peut être faite entre les composants macromoléculaires des parois cellulaires (cellulose, hémicelluloses et lignine) constituant l'essentiel du matériau (Tableau 1.2), en plus des composants de faible poids moléculaire tels que les substances minérales et les extractibles qui sont généralement présents en faibles quantités. Ces polymères végétaux ne sont pas distribués uniformément au sein des parois cellulaires. De plus, leurs proportions varient en fonction de la localisation dans le bois [46]

Tableau 1.2: Proportions des composants chimiques dans le bois

Composant	Proportion dans le bois
Cellulose	30% à 50%
Hémicellulose	15% à 35%
Lignine	15% à 30%

1.3.2.1. Substances macromoléculaires

1.3.2.1.1. La cellulose

La cellulose se situant dans la paroi cellulaire, constitue la structure de base des cellules végétales. C'est la substance naturelle la plus abondante produite par les organismes vivants sur terre (environ 40 % du carbone organique). On estime que la production mondiale de cellulose est de l'ordre de $1,3 \cdot 10^{10}$ tonne par an. La cellulose correspond à un polymère linéaire constitué d'unités β -D-glucopyranose liées entre elles par des liaisons β -1,4 glycosidique [47] (Figure 1.3) [48]. Les microfibrilles de cellulose sont imbriquées dans une matrice d'hémicelluloses et de lignine, le tout constituant la paroi cellulaire [49].

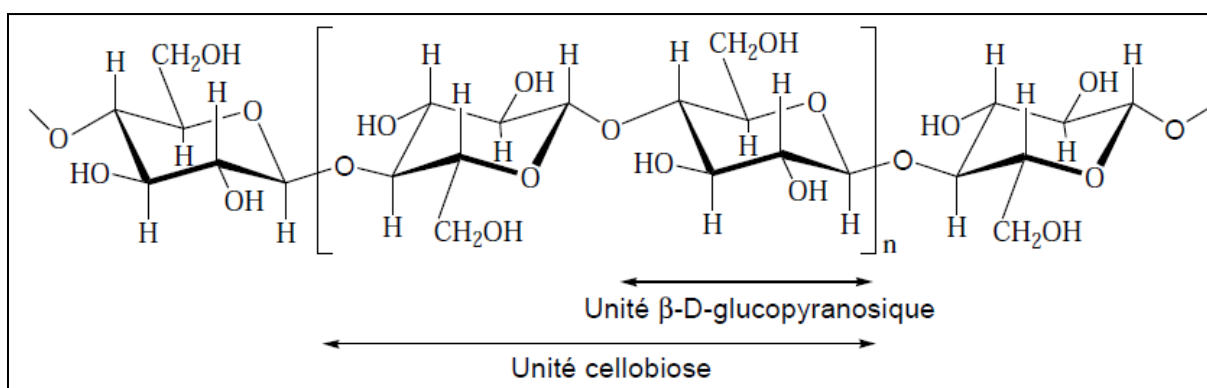


Figure 1.3: Structure de la cellulose [48]

1.3.2.1.2. Les hémicelluloses

Les hémicelluloses sont définies comme étant des hétéropolysaccharides non cellulosiques présents dans les parois cellulaires des végétaux. Ces macromolécules polyosidiques présentent une grande diversité structurale (Figure 1.4) [50]. Les chaînes des hémicelluloses présentent un degré de polymérisation moyen de 150 unités plus faible que celui de la cellulose. Elles sont constituées d'unités osidiques différentes réparties de façon plus ou moins aléatoire [44].

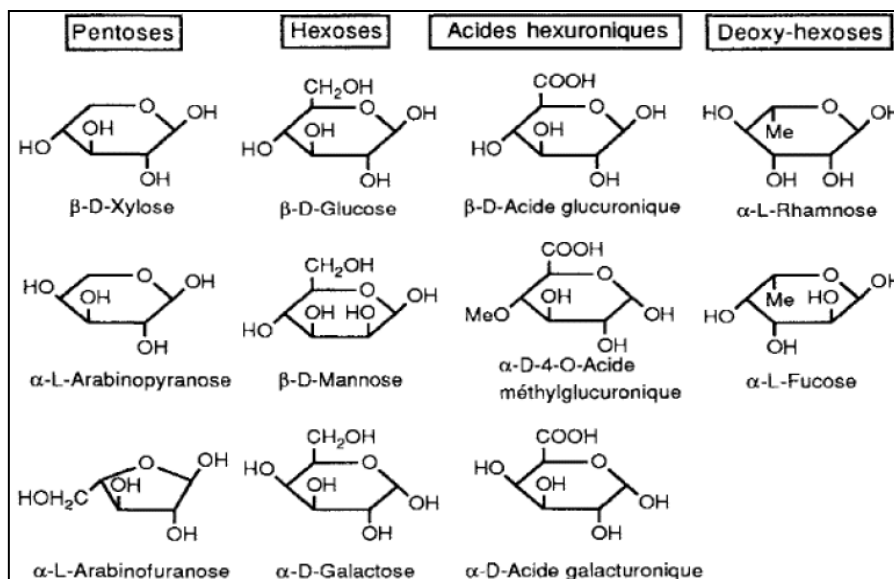


Figure 1.4: Oses simple composant les hémicelluloses [50]

A la différence de la cellulose, les hémicelluloses sont principalement amorphes et par conséquent leur réactivité chimique plus importante, expliquant leur vitesse de dégradation plus élevée lors de la pyrolyse du bois [51].

1.3.2.1.3. La lignine

La lignine est après la cellulose, la matière organique renouvelable la plus abondante dans la nature. La lignine constitue la fraction non saccharidique la plus importante des fibres végétales. C'est la matière "incrustante" de la cellulose [52] (Figure 1.5).

Cette matière est un polymère polyphénolique amorphe synthétisé par la plante à partir de trois précurseurs. La présence de nombreuses fonctions hydroxyle (phénoliques ou non) explique la grande réactivité de la lignine. Cependant, leur accessibilité est limitée par la structure tridimensionnelle du réseau moléculaire, mais aussi par la distribution de ce polymère parmi les autres constituants de la paroi cellulaire avec lesquels la lignine établit de nombreuses interactions moléculaires par le biais de liaisons de faible énergie telles que les liaisons hydrogène. La lignine peut également être liée aux hémicelluloses par l'intermédiaire de liaisons covalentes [53].

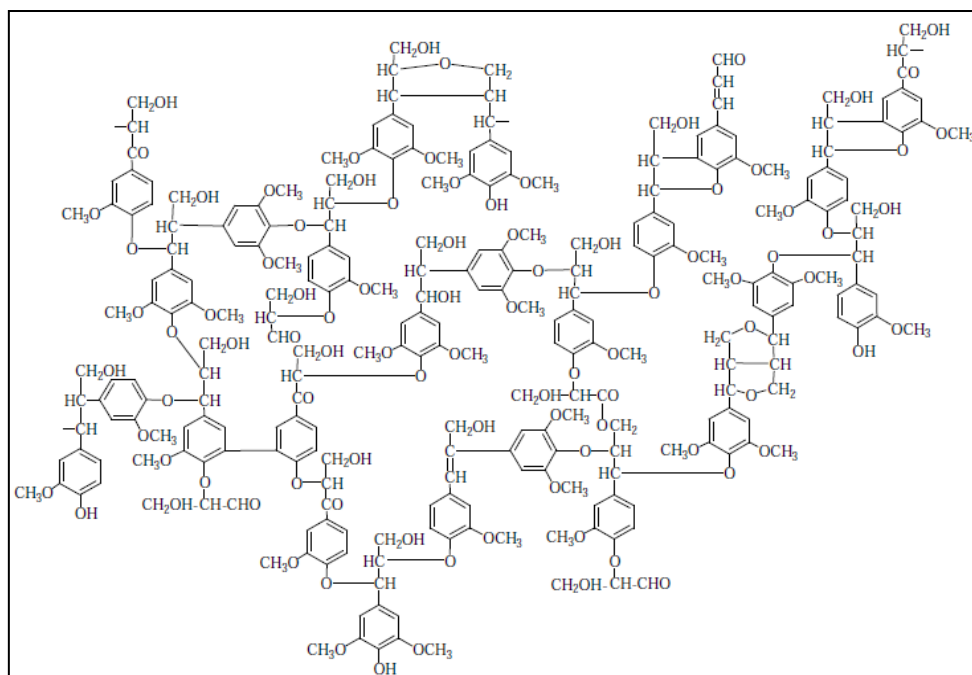


Figure 1.5: Structure de lignine [52]

1.3.2.2. Substances de faible poids moléculaire

1.3.2.2.1. Extraits

Le terme « extrait » recouvre un grand nombre de constituants qui peuvent être extraits du bois avec des solvants plus ou moins polaires. La teneur et la composition en extraits varient avec les essences. On observe aussi des variations en fonction du site géographique et de la saison. De nombreuses essences contiennent des substances extractibles toxiques pour les bactéries, champignons et termites [54]. D'autres extraits confèrent une couleur ou une odeur au bois. Une partie de ces extraits est appelée résine, terme qui ne caractérise pas des constituants chimiques mais plutôt un aspect physique [55].

1.3.2.2.2. Glycérides, cires et leurs constituants

Les glycérides sont des esters d'acides gras et de glycérol, tandis que les cires sont des esters d'acides gras et d'alcools gras. Tous deux sont extractibles avec des solvants peu polaires tels que l'hexane ou l'éther de pétrole. Les acides

gras et les alcools gras sont également des constituants de ce type d'extraits, néanmoins, les acides gras sont presque toujours estérifiés et les triglycérides sont les constituants majeurs des glycérides [56].

1.3.2.2.3. Constituants phénoliques

Un premier type de constituants phénoliques pouvant être isolé du bois correspond aux phénols simples. Ces composés sont principalement constitués de dérivés de type phénylpropane et de leurs produits d'oxydation tels que des aldéhydes ou acides benzoïques et correspondant soit à des produits dérivant de la biosynthèse de la lignine, soit à des produits de dégradation de cette dernière [57]. Les flavonoïdes sont une autre catégorie de composés phénoliques que l'on rencontre dans les extraits de différents bois. Ces derniers peuvent se diviser en différentes familles : les flavanes, les flavones, les flavanones, les chalcones, les isoflavones et les aurones [55]. Les tanins sont des constituants phénoliques qui peuvent se combiner aux protéines pour donner des complexes solubles ou insolubles, ils se divisent en tanins hydrolysables et tanins condensés [58] (Figure1.6) [44].

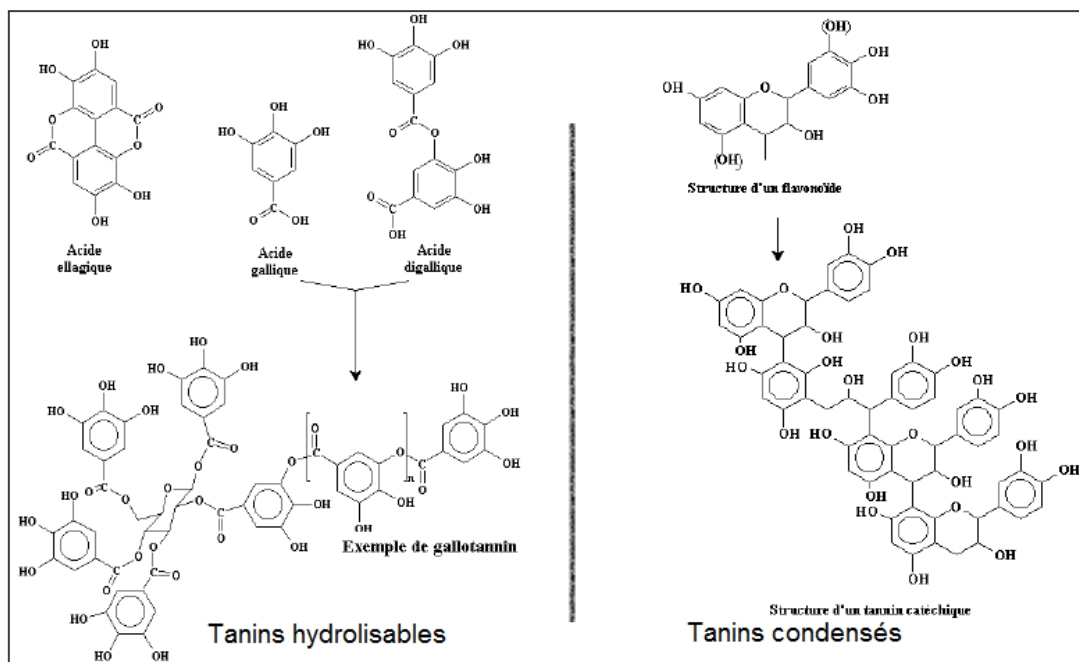


Figure 1.6: Structures des tanins [44]

1.4. Le bois source de nourriture peu idéale pour les xylophages!

Le bois constitue une source de nourriture généralement insuffisante pour les besoins nutritionnels des xylophages. Il est constitué de composés indigestes comme la cellulose et la lignine, et des composés allélochimiques toxiques ou phagodéterrents. De plus, sa quantité en nutriments est inférieure à celle nécessaire aux besoins des insectes pour leur développement, croissance et reproduction [58]. Il est communément observé que l'utilisation de milieux artificiels copiant quantitativement et qualitativement le compartiment tissulaire végétal où l'insecte s'alimente ne permet pas un développement satisfaisant des insectes. Il faut pour cela augmenter les teneurs de certains composés comme les sucres, les acides aminés ou les protéines et les vitamines, et cela de façon parfois considérable par rapport aux teneurs mesurées chez les plantes. Les besoins nutritionnels des insectes sont à peu près similaires à ceux des autres animaux, à la différence qu'ils ne sont pas capables de synthétiser les stérols (comme les cholestérols et d'autres nutriments comme les acides aminés, les glucides, les lipides, les acides gras, les vitamines et les éléments minéraux de leur alimentation [59].

Enfin, les xylophages ont besoin de micro-organismes symbiotiques pour convertir certains composés indigestes comme la cellulose ou pour synthétiser les stérols et les acides aminés indispensables pour leur développement.

1.4.1. Contraintes nutritifs

La résistance d'une plante à un ravageur peut se présenter comme le résultat de trois processus [60 ; 61] : *(i)* l'antixenosis (=non préférence), dans lequel la plante est évitée ou colonisée par le ravageur à faible niveau ; *(ii)* l'antibiose qui fait référence aux effets négatifs que la plante peut exercer sur l'insecte. Par ses caractéristiques mécaniques (épines, dureté du feuillage etc.), phénologiques et chimiques, la plante peut nuire à la réalisation des performances biologiques de l'insecte ; *(iii)* la tolérance, réfère à la capacité de la plante à supporter les dégâts engendrés par l'insecte.

Toutefois, les composés chimiques produits par les plantes sont probablement le facteur le plus important contrôlant le comportement des insectes dans la nature. Ces composés de structures et natures variées peuvent avoir des effets répulsifs (lors de l'orientation olfactive), anti-appétants (lors de l'essai d'alimentation) ou toxiques pour les insectes et d'autres herbivores [62].

Les métabolites secondaires sont les outils principaux de la coévolution plantes-êtres vivants, ce qui a donné lieu à une diversification de ces composés. Il s'agit d'une coévolution qui s'applique à tous les niveaux d'organisation du vivant, et qui s'exprime à tous les stades du développement de la plante [63]. Elles se rencontrent sous forme de composés allélochimiques et/ou certaines inhibiteurs de protéases, et déclenchent chez l'insecte des réponses comportementales [64]. Ces composés secondaires se divisent en deux catégories principales à base de carbone : les terpénoïdes et les composés phénoliques [65]. On cite ainsi, les glucosinolates et les alcaloïdes d'origine azotés ayant des effets toxiques, attractifs et/ou phagostimulant selon l'espèce d'insecte concernée [66]. Elles peuvent ainsi être mortelles, cas des alcaloïdes (nicotine, atropine, quinine), ou simplement répulsives, cas des tanins [62].

1.4.1.1. Les tanins

On trouve les tanins dans le bois, l'écorce, le feuillage et dans les fruits. Les tanins sont des composés polyphénoliques, solubles dans l'eau, avec des poids moléculaires très élevés (300-20000 Daltons) [67]. Plus le poids moléculaire des tanins condensés augmente (>5000 Daltons) plus ces derniers deviennent insolubles dans les solutions physiologiques et perdent leur capacité à précipiter les protéines [68].

La caractéristique la plus déterminante des tanins est leur capacité de former des complexes (par précipitation) avec les polymères naturels comme les protéines nutritives, les enzymes digestives, les polysaccharides (l'amidon, la cellulose, l'hémicellulose etc.) [69 ; 70 ; 71], les gras et les acides nucléiques [72], et les acides aminés [73]. De plus, ces derniers tanins sont capables de faire précipiter les ions métalliques et particulièrement le Fe [74 ; 75], et les alcaloïdes [76]. L'interaction la

plus commune entre les tannins et les protéines se réalisent par la liaison hydrogène entre l'amide carbonyle de la protéine et l'hydroxyle phénolique [77]. Cette interaction est dépendante du pH. L'affinité des protéines pour un tannin particulier varie selon la grandeur et la structure de la protéine. Par exemple, les protéines riches en proline ont tendance à être précipitées facilement par les tannins [78 ; 79]. La grandeur et la structure de la molécule polyphénolique sont aussi importantes dans cette interaction [80].

Les tannins peuvent avoir des effets positifs, négatifs ou neutres sur les herbivores. Pour les insectes affectés négativement, les mécanismes d'action des tannins sont : la réduction de la disponibilité de l'azote nutritionnelle [81], la réduction de la nourriture consommée [82 ; 83 ; 84 ; 85] et un effet direct toxique pour certaines espèces [86]. Par ailleurs, les tannins peuvent agir comme phagostimulant à l'encontre de certains insectes [87 ; 88].

Les composés polyphénoliques et particulièrement les tannins hydrolysés pourraient protéger l'insecte contre certaines infections virales [89] et réduire les effets du *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* [90]. Cavalier-Smith [91], signale aussi que les tannins auraient un effet antimicrobien dans le sol en régulant le taux de la décomposition et ainsi en maximisant l'efficacité du cycle de l'azote nutritionnel dans l'écosystème. Les tannins peuvent également s'opposer à la prédation des végétaux par un mécanisme de chimioréception au lieu de diminuer leurs qualités nutritives [92]. Dethier [93], a émis l'hypothèse que les tannins solubles inhibent les récepteurs de sucre chez certains insectes faisant ainsi considérer la plante comme une source de nourriture inappropriée. De tels mécanismes permettraient à ces produits d'agir comme agents de défense sans être ingérés.

Les tannins influencent la croissance, le développement et la fécondité de plusieurs insectes herbivores [94 ; 95 ; 96 ; 97]. La croissance réduite causée par les tannins a deux inconvénients majeurs. Premièrement, la taille réduite des chrysalides des femelles se traduit par un plus faible nombre d'œufs et une plus petite taille d'œuf ce qui affecterait possiblement la survie et la santé des individus de la génération subséquente [98 ; 99 ; 100 ; 101]. Deuxièmement, le temps de

développement larvaire prolongé peut entraîner une mortalité plus élevée due à la prédation [94 ; 102].

Il existe divers mécanismes par lesquels les herbivores atténuent l'impact négatif des tannins [103]. La formation des complexes tannin-protéine peut être limitée par un pH élevé de l'intestin [104 ; 105], la concentration élevée en cations [106] et le potentiel de rédox de l'intestin [107]. Nichols-Orion [108], signale que l'enzyme polyphénol oxidase (PPO) pourrait inactiver les tannins chez les fourmis. Pour certains insectes, la membrane péritrophique de l'intestin peut fonctionner comme un filtre pour les tannins [109 ; 110]. Les insectes s'alimentant avec les herbes (grass-feeding) ont une membrane péritrophique mince et celle-ci peut être traversée par l'acide tannique (tannin hydrolysé) qui crée des lésions sur l'intestin. Par contre, pour d'autres insectes phytophages la membrane péritrophique est plus épaisse et bloque le passage de l'acide tannique vers les tissus [111].

À côté de ces mécanismes, on observe aussi chez certains herbivores la production de pseudo-protéines qui précipitent les tannins avant qu'ils n'atteignent les protéines nutritionnelles. La protéine salivaire riche en proline produite par certains mammifères est un bel exemple pour ce type de mécanisme [112 ; 113 ; 114]. Les concentrations en tannins varient largement selon l'espèce de la plante, à l'intérieur d'une même espèce, l'âge de la plante, les caractéristiques du site de croissance et la saison [115]. Makkar et Becker [116], indiquent que les concentrations des tannins sont élevées avec une lumière forte [117]. De plus l'acidité du sol augmente les niveaux des tannins condensés [118].

1.4.1.2. Les sucres (carbohydrates)

Beaucoup d'auteurs ont signalé le rôle majeur des sucres de la plante comme un facteur déterminant la susceptibilité de la plante via son ravageur. Fredeen et *al.* [119], considèrent que le taux de sucre essentiel à la nutrition des pathogènes, est un facteur facilitant l'infection de la plante ; d'autres travaux ultérieurs, notent qu'il y a une corrélation entre le degré de susceptibilité des grappes, et le taux élevé de sucre contenu dans les fruits, il ajoute que les conditions favorables pour le développement de certains phytophages sont créées lors d'amorçage en sucre, qui est suivi par

une dépression de taux de protéine et une accumulation d'acides aminés ; des observations similaires chez Krapp et Stitt [120], qui confirment que le taux faible en sucre augmente la susceptibilité pour certains parasites. Perata et *al.* [121], démontrent que la présence des monoses (sucres simples) en tant que sucre soluble, c'est avéré un facteur très important. Même en quantité relativement faible, il confère une grande résistance aux microorganismes au niveau des racines. L'exploitation des carbohydrates contenus dans les tissus de la plante, et leur utilisation par l'organisme comme substrat nutritif dépend aussi du système enzymatique d'hydrolyse des bioagresseurs.

La différence entre le métabolisme des parasites facultatifs et celui des parasites obligatoires, est en particulier représenté par l'incapacité des parasites obligatoires à synthétiser l'élément intermédiaire essentiel pour la phosphorylation des carbohydrates (incompétence de leur système enzymatique) [122]. Cette importance du système enzymatique, est considérée comme facteur de prouesse dans le déterminisme de la susceptibilité de la plante aux parasites obligatoires.

1.4.1.3. Composés azotés

Les composés azotés sont variés et répandus dans le règne végétal, Ils sont complémentaires des composés de défense non azotés de type terpénique et phénoliques très nombreux et diversifiés. Les métabolites secondaires azotés de défense ont pour point commun de dériver les acides aminés protéiques ou non. On distingue les alcaloïdes, les composés cyanogènes, les glucosinolate et les acides aminés non protéiques. Associer à des sucres, l'azote peut se transformer en un violent poison métabolique nommé les glucosides cyanogénétiques, inhibiteur de plusieurs enzymes et exerçant un effet toxique surtout en se fixant sur le cytochrome oxydase mitochondriale, entraînant ainsi un blocage de la respiration cellulaire [123].

1.4.1.4. La proline

L'augmentation de la concentration des acides aminés, en particulier la proline, a été observée chez plusieurs espèces de plantes soumises à une contrainte

hydrique (sécheresse par exemple) [124]: La synthèse de proline constitue un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période de souffrance hydrique [125], et peut être incluse dans la régulation du pH cytoplasmique. Par conséquent, elle aide dans la stabilisation des protéines membranaires et des protéines libres à travers les chloroplastes, les mitochondries et le cytosol. La synthèse des protéines, associées avec le catabolisme des sucres, pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie métabolique requise durant le stress pour une compartimentation ionique et synthèse des osmolytes [126]. D'autres facteurs influent l'accumulation de la proline tels que l'inhibition de l'oxydation due à un effet mitochondrial, et à la réduction du taux de translocation des acides aminés à travers le phloème [127].

1.4.2. Résistance et/ou tolérance variétale

La sélection de variétés améliorées exprime plusieurs stratégies de défense, ainsi la tolérance est un caractère rustique chez les plantes (dans le sens d'une adaptation aux stress abiotiques et biotiques) qu'on ne retrouve plus au même niveau chez les variétés sélectionnées comme productive, de plantes cultivées comparativement à leurs ancêtres sauvages. Tolérance ou résistance assurent la même fonction, bien qu'elles ne se manifestent pas de la même façon, et relevant même de mécanismes sélectifs à *priori opposés*. En effet, la résistance (défense) des plantes impose une pression de sélection sur les populations ravageurs, alors que ce n'est pas le cas pour la tolérance, sauf si elle s'accompagne de résistance induite [128 ; 129 ; 130], qui relève alors de l'antibiose ou de l'antixénose. Résistance et tolérance ne sont toute fois pas forcément mutuellement exclusives [131 ; 132], d'ailleurs, la coexistence plus fréquente de mécanismes de résistance et de tolérance dans les plantes cultivées acquise à partir d'espèces sauvages, bien que souvent à des niveaux inférieurs à ceux trouvés chez les plantes sauvages, indiquerait que la sélection a permis de créer des variétés exprimant simultanément plusieurs stratégies de défense [133].

1.4.2.1. Optimisation du mode de déploiement des résistances variétales

Par rapport aux écosystèmes naturels, le fait que dans les agrosystèmes, le monitoring du système de cultures permet d'envisager une stabilité à des coûts bas via des interventions ciblées. L'une des possibilités d'intervention porte sur les modalités de déploiement spatio-temporel des résistances, ou plus généralement sur la limitation des dispersions [134]. Ainsi, les mêmes auteurs ont trouvé que les densités de population, la ponte et les dégâts des Coléoptères étaient plus faibles lorsque la conduite culturale s'appuiera sur la gestion synchrone de plusieurs variétés (jusqu'à cinq variétés) que lorsqu'une seule variété était menée en culture pure.

1.4.2.2. Les plantes sauvages sources de gènes de résistance

Il est communément admis que les variétés cultivées ancestrales ainsi que leurs parents sauvages constituent une source importante de gènes de résistance aux stress biotique et abiotique [135]. Ces plantes sont donc utiles dans le cadre de programmes d'amélioration variétale par croisements (sélection conventionnelle) ou par génie génétique (création de plantes génétiquement modifiées). De ce fait, différents Instituts Internationaux ont vu le jour depuis les années 1970 pour conserver les variétés de plantes les plus consommées dans le monde et leurs parents.

1.4.3. Résistance induite suite aux attaques

Pour se protéger des attaques des insectes nuisibles, les plantes utilisent une combinaison de moyens de défense directe qui affecte la performance et la fitness des insectes nuisibles [136] et de défense indirecte, qui attire des prédateurs et des parasitoïdes d'herbivores [137 ; 138 ; 139]. Lors des interactions plante-ravageur, l'attaque des tissus végétaux déclenche chez la plante hôte des réactions métaboliques de stress. Ces réponses métaboliques ont pour but la synthèse de composés visant à empêcher l'attaque subséquente des insectes nuisibles naturels (Figure1.7) [140].

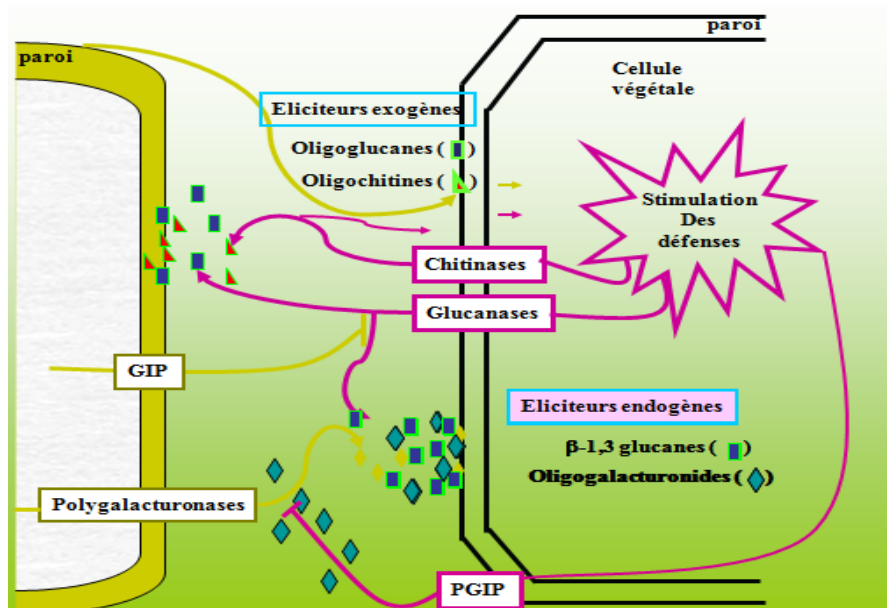


Figure 1.7: Perception d'attaque et déclenchement des défenses naturelles [140]

L'efficacité de ces réactions dépend largement de la vitesse de synthèse des molécules de défense et de leur localisation aux sites d'infestation. En général, la défense induite chez la plante contre des insectes ravageurs dépend du mode d'attaque et du degré de dégât. Les résultats de Stout et *al.* [141] et de Fidantsef et *al.* [142] ont révélé des réponses induites différentielles de la plante à une attaque par un insecte broyeur ou par un insecte piqueur/suceur.

1.5. Stratégie adaptative des xylophages face aux stress nutritionnels

En conditions naturelles, l'insecte est souvent confronté à des stress nutritionnels, facteurs qui peuvent ultimement déterminer la distribution et l'abondance de l'espèce. D'autre part, si l'insecte n'est pas en mesure de contourner les conditions du stress, sa croissance, son développement, sa fécondité et sa survie peuvent être affectés négativement. Si le stress devient extrême et persiste, la mortalité est inévitable. Au niveau cellulaire, le stress peut causer la dénaturation des protéines et inhiber ou affecter la synthèse de nouvelles protéines [143]. Les membranes des cellules, des mitochondries, des microsomes et des noyaux sont aussi très vulnérables sous différents régimes de stress [143 ; 144].

La réponse globale d'un organisme au stress désigne l'ensemble de ses réactions comportementales et physiologiques visant à maintenir son homéostasie, c'est-à-dire le maintien actif de la constance du milieu intérieur pour donner les meilleures chances de survie et permettre de rester fonctionnel dans un environnement défavorable. Afin d'éviter un stress, le comportement est une réponse adaptative de plusieurs organismes (Figure 1.18) [145].

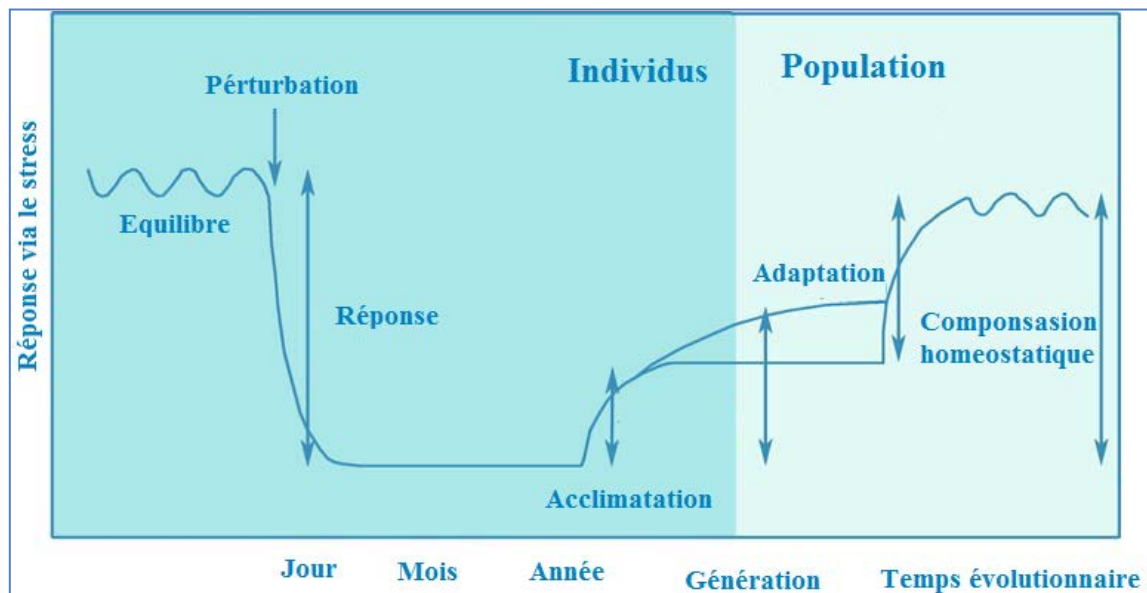


Figure 1.8: Processus adaptatif d'un organisme face au stress [145]

Les coléoptères évitent le stress persistant (par exemple, gel prolongé) par un état de diapose [146]. La couleur du corps des insectes peut aussi influencer leur vulnérabilité aux agents pathogènes, par exemple dans le cas de *Tenebrio molitor* (coleoptera, tenebrionidae), les individus de couleur noire sont plus résistants que ceux de couleur beige [147]. En fin, la plasticité phénotypique d'un organisme peut améliorer la résistance au stress dans une finalité visant à réduire au minimum les effets défavorable. D'une manière holistique, les réponses des insectes aux conditions de stress sont surtout signalées aux niveaux sub-individuels (cellulaire) et individuels (organismique) [148]

1.5.1. Choix et exploitation de la plante hôte par les “bonne mères”

La sélection de plantes hôtes par les insectes xylophages est en grande partie déterminée par les insectes adultes qui choisissent le lieu de développement des descendants. Chez de nombreuses espèces, les stades immatures ne changent pas de plante au sein de la plante hôte durant leur développement. Par conséquent, la valeur nutritionnelle du support nourricier et les conditions écologiques environnantes favorable à leur développement mais résulteraient du choix des parents (la mère en général) [148]. On s'attend à ce que cette décision parentale soit soumise à de fortes pressions de sélection, de telle façon que la sélection de la plante maximise le retour en fitness à partir des descendants produits. Il est entendu que cette maximisation devrait se produire parmi l'ensemble défini par les contraintes phylogénétiques, ontogéniques, génétiques et écologiques [149].

La variabilité inter-individuelle mais aussi inter-populationnelle dans la préférence des plantes hôtes est commune chez les insectes herbivores. Associée à cette variabilité, la performance des insectes en fonction de l'espèce hôte, ou de l'individu hôte exploité [148]. La théorie évolutive prédit une relation positive entre le choix du site de ponte par la femelle et la performance des descendants. Cette relation a mené l'hypothèse “performance-préférence” dans la littérature. Cette hypothèse est basée sur la capacité des insectes à classer les plantes hôtes selon divers critères, à savoir : la synchronisation nutritionnelle (quantité, qualité) et/ou les zones refuges (galles) pour les parents et les descendants [150].

1.5.2. Synchronisation des cycles de reproduction des insectes et des plantes

Chez les insectes phytophages, seuls les adultes dont l'émergence est synchronisée avec l'organe de la plante hôte exploité peuvent se reproduire et ainsi transmettre leurs gènes à leurs descendants via le mécanisme de la sélection naturelle. La phénologie des hôtes végétaux exerce donc une forte pression de sélection sur les cycles de développement des insectes et leur période de reproduction. La précision de la synchronisation entre le stade adulte de l'insecte et la partie de la plante dans la quelle il pondra dépend, entre autre, du degré de prédictibilité de la ressource végétale, du niveau de spécialisation des insectes et de

leur capacité de dispersion. L'évolution a sélectionné des mécanismes, permettant aux insectes phytophages tout d'abord de synchroniser les émergences des partenaires sexuels à une période où la plante est habituellement disponible [151].

1.5.2.1. La diapause hivernale: Un trait contribuant à la synchronisation

Les insectes adultes dont les émergences ne sont pas synchronisées avec celles des partenaires sexuels et avec l'hôte végétal sont éliminés par la sélection naturelle. L'évolution a donc sélectionné, chez les insectes, des adaptations à la variation saisonnière des plantes hôtes dont les principales sont la diapause et la quiescence périodique. La compréhension des mécanismes conduisant à une synchronisation entre l'insecte et sa plante hôte, nécessite de connaître la signification des principaux termes classiquement utilisés dans la littérature [152].

Par définition, Le développement des insectes, l'état physiologique et pratiques comportementales sous l'influence saisonnière, peut être schématiquement divisée en deux phases : une phase active (développement et reproduction) et une phase de dormance (diapause et/ou quiescence), la dormance à son tour se caractérise par une phase du cycle de vie au cours de laquelle la croissance, le développement (classique) et la reproduction sont supprimés ou fortement diminués (métabolisme réduit) [153 ; 154]. Cependant la diapause est une prédiction des contraintes via la phénologie des insectes, cette stratégie de minimisation des risques pourrait contribuer au maintien d'une variabilité génétique dans la vitesse de développement post-dormance ou à une sélection d'étalement du risque du type "*bet-hedging*" [152].

La phénologie moyenne de l'hôte végétal mais également sa variabilité interannuelle influence donc fortement le degré d'étalement des dates d'émergence des insectes adultes et donc le niveau de synchronisation dépend du degré de prédictibilité des dates de présence de l'hôte. La distribution des dates d'émergence des insectes résulte ainsi d'un compromis entre la nécessité évolutive de rencontrer des partenaires sexuels et les contraintes de reproduction liées à la phénologie de la plante hôte [153]. La ressource végétale peut présenter de fortes variations plus ou moins aléatoires (imprévisibles) entre années. Cette variabilité annuelle de la

disponibilité de la ressource végétale exerce des pressions sélectives sur le cycle de développement des insectes phytophages, dont la conséquence peut être un étalement des émergences d'adultes sur plusieurs années [154].

1.5.2.2. La diapause prolongée: Un retard salutaire dans un monde imprévisible.

Comme indiqué précédemment, l'abondance et la qualité de la ressource végétale varie saisonnièrement mais également plus ou moins annuellement selon les espèces de plantes. Il est classique de diviser cette variabilité environnementale (du point de vue de l'insecte) en deux composantes. La première, dite "déterministe", correspond à la part prévisible de la variabilité environnementale (par exemple la variation saisonnière). La seconde, appelé "stochastique", correspond à la part imprévisible de cette variation (comme la variation annuelle aléatoire dans l'abondance de la ressource végétale). La réponse à la composante déterministe de la variabilité environnementale est une plasticité dite "prédictive" du cycle de développement de l'insecte [155]. Les génotypes retenus sont ceux capables d'utiliser éco-physiologiquement des signaux environnementaux annonciateurs du "futur" (comme l'absence ou la présence des éléments nutritifs selon la saison) pour se synchroniser avec la plante hôte. La diapause hivernale est un exemple de réponse prédictive face à la composante stochastique de la variabilité environnementale (par exemple l'abondance de l'hôte selon l'année est imprévisible), l'insecte ne dispose pas (par définition) de signaux environnementaux annonciateurs de l'état de l'environnement. Pourtant, même dans ces conditions, nous verrons que des adaptations surprenantes du cycle de développement de l'insecte ont été sélectionnées en réponse à l'imprévisibilité environnementale [154].

La dispersion spatiale est classiquement considérée comme une réponse adaptative à l'imprévisibilité des ressources alimentaires [152 ; 156]. Cependant si, certaines années, la plante hôte (ou l'organe exploité par l'insecte) est absente sur une superficie plus grande que celle parcourue par l'insecte, une dispersion dans le temps (=dispersion temporelle) par l'intermédiaire de diapauses prolongées sera la meilleure réponse adaptative à l'imprévisibilité environnementale [157].

La dispersion prolongée est une diapause qui dure au moins une année sans être interrompue par des phases de développement et dont la conséquence est un étalement pluriannuel des émergences des adultes [158].

1.5.2.3. Intérêt de se maintenir ou pas en diapause

Chez la plupart des espèces à diapause prolongée, une partie seulement des individus d'une même population prolonge sa diapause [157]. Pourquoi existe-il une telle variabilité intra-populationnelle? Un modèle mathématique a montré que du point de vue génotypique, il n'y avait aucun avantage adaptatif au prolongement de la diapause [158]. En effet le génotype qui est à l'origine entrainera une perte d'au moins une occasion de se reproduire et réduit ses chances de survie avant la reproduction en raison des risques de mortalité dans le sol. De plus, dans l'environnement imprévisible (dans le quel vit l'insecte), la variation annuelle de l'abondance et du taux de prédation des différent organes végétales, mais aussi du taux d'attaque des larves par des champignons entomopathogènes et du taux de survie des adultes au moment de la sortie du sol [159].

Un individu émergeant d'une diapause prolongée n'implique pas une synchronisation avec une bonne saison. Ainsi, les individus à diapause prolongée se sacrifieraient pour le bien du groupe. Ces individus présentent une fitness réduite par rapport à des individus émergeant après seulement une année, ils sauveraient leur population du risque d'extinction [156].

1.5.3. Compromis évolutif (nutrition/ reproduction)

Les imagos xylophage ont comme chaque être vivant, une durée de vie limitée. Ils doivent ainsi partager leur temps de vie entre les activités de reproduction (recherche et choix du ou des partenaires sexuels), de ponte (recherche des sites et dépôt des œufs) de nutrition, mais aussi d'évitement des conditions défavorables (comme la recherche des zones de refuges). Le temps est donc une ressource à gérer. Á ce titre, la sélection naturelle a dû favoriser les individus capables d'allouer de manière flexible le temps entre ces diverses activités afin de maximiser leur performance individuelle [160].

La ponte et la nutrition constituent deux activités déterminantes de la performance individuelle, puisqu'elles contribuent à augmenter les valeurs de traits d'histoire de vie classiquement corrélés à cette performance individuelle : la fécondité et la longévité. Ces deux activités sont néanmoins impliquées dans un compromis évolutif (*trade-off*) entre nutrition et reproduction, et plus précisément entre reproduction, et plus précisément entre reproduction immédiate et différée [161].

En effet, le temps investi à pondre procure un gain immédiat de succès reproducteur, via le nombre de descendants produits, alors que le temps consacré à se nourrir fournit un gain différé en augmentant la longévité des insectes et donc les opportunités futures de reproduction du moment que la nutrition stimule et/ou augmente aussi chez certaines espèces l'ovogénèse [162].

Ces activités mutuellement exclusives peuvent augmenter les risques de mortalité (par exemple par prédation) lors des déplacements entre les sites abritant les deux types de ressources et génèrent des coûts énergétiques. Chaque déplacement induit la consommation de réserves énergétiques de l'animal, qui ne pourront pas être allouées à la maintenance ou à la reproduction d'œufs [161]. L'incompétence de ces compromis va dépendre : *du gain de l'environnement*, c'est-à-dire de la façon dont les ressources sont distribuées spatialement et de la structure spatiale même de l'environnement ; *de la qualité de la nourriture*, une ressource peu nutritive nécessitant plus de voyage pour couvrir les besoins énergétiques ; *des capacités cognitives de l'animal pour localiser les ressources*. Ces trois facteurs interagissent : le gain conditionne (et est conditionné par) la réception des informations par les individus et les coûts associés aux déplacements entre les types de ressources [162].

Sous l'hypothèse que la sélection naturelle a favorisé des stratégies d'allocation du temps entre les activités de ponte et de nutrition afin de minimiser les coûts précédemment cités, des travaux théoriques ont été développés pour prédire l'allocation optimale du temps entre la ponte et la nutrition. Les premiers modèles signalent que la répartition du temps dépend de la probabilité de l'insecte de trouver des ressources alimentaires dans son environnement et emmagasine ses réserves

énergétique [163 ;164]. Quand cette probabilité prend des valeurs intermédiaire, et que les réserves énergétiques de l'animal sont élevées, l'insecte devrait toujours chercher des sites de ponte (Figure1.9, zone 1). Si les réserves sont à niveau intermédiaire, le comportement optimal consiste à chercher des sites de ponte (Figure1.9, zone 2), à moins que l'individu ne soit sur un site de nourriture (Figure1.9, zone 3) [163].

Dans ce dernier cas, il doit continuer à se nourrir afin de capitaliser de l'énergie. Lorsque ses réserves dépassent un seuil, l'animal devrait changer d'activité et chercher des sites de ponte (Figure1.9, zone 3). Lorsque les réserves deviennent faibles, les insectes devraient chercher de la nourriture. Cependant, pour des valeurs faibles de probabilité de trouver de la nourriture dans l'environnement, les individus ne devraient pas chercher la nourriture [163].

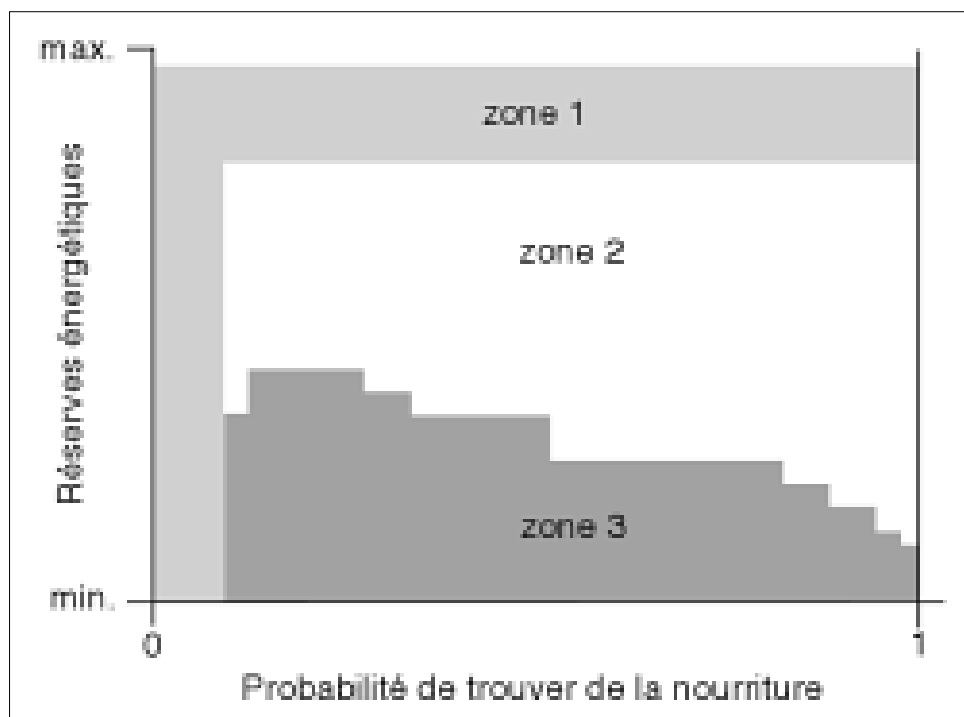


Figure 1.9: Comportement optimal d'un ravageur selon la probabilité de trouver de la nourriture dans son environnement et ses réserves énergétiques [163]

Zone1: recherche d'hôte; **zone2:** poursuite du comportement en cours;
zone3: recherche de nourriture.

La connaissance du temps alloué aux activités de ponte et de nutrition ainsi que des informations auxquelles répondent les insectes pour choisir entre deux options permettra de mieux décrire l'évolution des populations naturelles et de les gérer [162].

1.6 Typologie de la déprédation des xylophages

Lawton [165], propose une typologie simple, basée sur la spécialisation de l'insecte à consommer un type d'organe végétal particulier avec les conséquences pour la plante. Il s'agit d'espèce qui s'alimente des racines. Beaucoup ne font pas la distinction entre racines et autre organe de réserves souterrains. Il existe cependant des rhizophages stricte qui ne vivent que sur des parties périphériques des racines, les radicelles et chevelus racinaires, la consommation touche le plus souvent une grande variété de plantes (vers blancs). Celles qui s'alimentent sur les parties lignifiées des racines maitresses d'arbres doivent être considérées comme des xylophages (larves de buprestes). La conséquence pour la plante est une perturbation et un déficit d'alimentation hydrique [166].

En conséquence, on observe systématiquement une réduction de la hauteur, de la surface foliaire et de la matière non aqueuse accumulée chez une plante soumise au stress hydrique [167 ; 168]. Au niveau cellulaire, la modification du métabolisme de la plante soumise au stress hydrique affectera directement sa qualité nutritive éventuelle pour les insectes herbivores. En situation de déficit hydrique, la plante montre une teneur accrue en acides aminés et en sucres solubles dans le phloème [169 ; 170 ; 171]. Des composés de défense sont aussi souvent produits et accumulés [172 ; 173].

Les concentrations en minéraux dans les tissus aériens ont tendance à être plus élevées [174 ; 175]. Le métabolisme de l'azote est perturbé et se caractérise par l'hydrolyse des protéines, de sorte que les concentrations en protéines diminuent tandis que celles en acides aminés, notamment la proline, augmentent [176]. Le métabolisme du carbone est également perturbé et l'hydrolyse de l'amidon entraîne une augmentation des concentrations en sucres solubles phagostimulants [177].

L'acide abscissique (ABA), qualifié « d'hormone de stress », est synthétisé rapidement et semble avoir un rôle important dans la réponse au stress, dans l'inhibition de la photosynthèse et le ralentissement de la croissance des feuilles (Figure 1.10) [178].

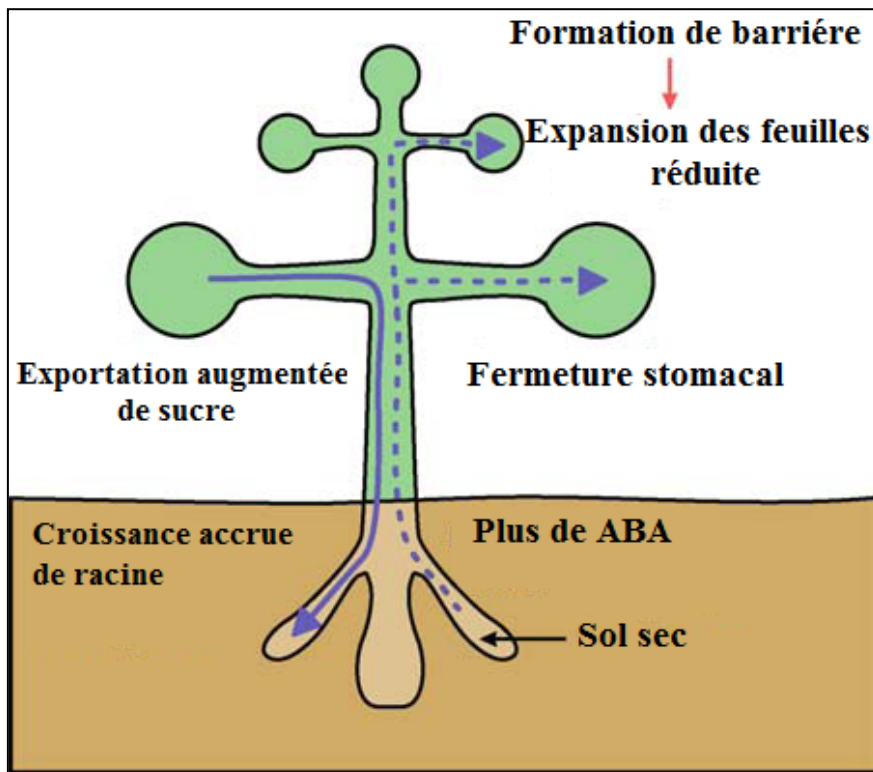


Figure 1.10: Réaction de la plante face à un stress hydrique [178].

Des modifications de la qualité nutritionnelle de la plante hôte, tant en quantité qu'en qualité, à la suite d'un stress hydrique les plantes hôtes peuvent avoir des impacts positifs [174; 179], négatifs [180; 181; 182] ou nuls [183] sur les insectes xylophages. D'après Huberty et Denno [184] le stress hydrique, n'a pas d'impact sur la performance des insectes broyeur suite à leur capacité à ingérer des aliments.

Ces dommages causés aux plantes par l'attaque des xylophages induisent en particulier la synthèse d'une grande quantité de polyphénol oxydase et d'inhibitrices protéases, liés aux effets négatifs sur la fitness des insectes [185].

CHAPITRE 2: CARACTÉRISTIQUES MORPHO-BIOLOGIQUES DU BUPRESTE NOIR *CAPNODIS TENEBRIONIS* (L., 1758) (COLEOPTERA, BUPRESTIDAE) DÉGÂTS ET PERSPECTIVES DE LUTTE

2.1. Caractéristiques systématiques et morphologiques du coléoptère *Capnodis tenebrionis*

Selon la classification Européenne, les Coléoptères se subdivisent en deux sous ordres : *Adephaga* et *Polyphaga* [186].

2.1.1. Caractéristiques systématiques

Selon Maddison [186], *Capnodis tenebrionis* (L. 1758) appartient à la famille des *Buprestidae*, issue du sous-ordre des *Polyphaga*.

2.1.1.1. Sous-ordre des *Polyphaga*

Ce sous ordre est très important. Il comprend la majorité des coléoptères dont les aspects et le mode de vie sont très variés. Il regroupe environ 130 familles d'importance inégale qui se distinguent par des antennes qui sont de forme variées [187]. Ces insectes sont dépourvus aussi bien de suture notopleurale [188]. Les hanches postérieures sont généralement rattachées au métasternum par une articulation mobile qui divise rarement le premier sternite abdominal visible [186], Parmi les familles de ce sous ordre on cite : *Catopidae*, *Leptinidae*, *Staphilinidae*, *Silphidae*, *Hydrophilidae*, *Histeridae*, *Lucanidae*, *Passalidae*, *Byrrhidae*, *Chrysomelidae*, *Elateridae*, *Cerambycidae* (Longicornes), *Trogidae*, *Geotrupidae*, *Scarabaeidae*, *Hydraenidae*, *Nitidulidae*, *Cantharidae*, *Lampyridae* : (vers luisants), *Cleridae*, *Tenebrionidae*, *Meloidae*, *Cucujidae*, *Criptophagidae*, *Coccinellidae*, *Dermestidae*, *Elmidae*, *Anobiidae*, *Bostrychidae*, *Scolytidae*, *Clambidae*, *Helodidae*, *Cetoniidae*, *Curculionidae*, et les *Buprestidae*.

2.1.1.2. Famille des Buprestidae

Les Buprestidés fossiles les plus anciens, remontent au Trias. Des confusions persistent quant aux affinités des Buprestidés : les uns les placent dans la section des Elateroidea et les autres dans les Hexanéphridiés et Cryptonéphridiés. Actuellement la famille des Buprestidés appartient à la super famille des Dascilloidea qui sont caractérisés par des tarsi pentamères, des antennes serricornes et des larves variables. Ce sont des beaux insectes, aux couleurs vives et métalliques d'où leur surnom des «Richards» [189]. La famille de Buprestidés est vaste et compte actuellement près de 20000 espèces mondiales surtout tropicales soit 17000 dans l'hémisphère sud et environ 2200 dans l'hémisphère nord. En France Il a été recensé 133 espèces dont 92% occupent le bassin méditerranéen [190].

Les Buprestidés ont un corps souvent considérable, de forme allongée cunéiforme. Celui ci se termine souvent en pointe émoussée, avec une taille oscillant entre 1,5 et 32 millimètres chez les espèces de la région méditerranéenne [191]. Leurs téguments sont très durs et coriaces, parfois possèdent des poils, des squamules ou une efflorescence pulvérulente caduque comme chez les genres (*Julodis* et *Capnodis*) [192]. Les antennes des Buprestidae sont normales, c'est-à-dire de 11 articles et le pronotum est accolé aux élytres. Quant à l'abdomen, il est composé de 5 sternites apparents dont les deux premiers sont soudés, les hanches postérieures sont transversales [189] et les pattes sont courtes avec des tarsi de 5 articles [188]. Les larves sont molles et ayant une couleur blanche ou jaunâtre [189]. Elles sont totalement dépourvues de pattes, même rudimentaires. La tête est petite, rétractile et seules les mandibules sombres et sclérifiées sont apparentes. La région thoracique est fortement dilatée par rapport à l'abdomen qui est disposé en chaîne aplatie dorso-ventralement et rappelle par sa forme et sa couleur les anneaux de *Ténia* [193].

Les Buprestidés sont généralement saproxylophages inféodées à de nombreuses essences forestières. Les adultes volent de fleurs en fleurs à la recherche de pollen où se tiennent sur les troncs, les branches au soleil. Beaucoup

d'espèces sont de couleur métallique très brillante. Quelques espèces peuvent occasionner des dégâts, particulièrement aux arbres fruitiers bien que la plupart des buprestes soient des insectes utiles : ils interviennent dans le processus d'humification en accélérant la dégradation du bois [192].

2.1.2. Position systématique du Bupreste noir (*Capnodis tenebrionis*)

D'après Perrier [194], le capnode des rosacées à noyaux tire son nom de l'appellation scientifique *Capnodis tenebrionis* (L., 1758) il appartient à la classification suivante:

- Embranchement des Arthropodes
- Sous embranchement des Antennates
- Classe des Insectes
- Sous classe des Ptérygotes
- Section des Néoptères
- Super ordre des Coleopteroides
- Ordre des Coléoptères
- Sous ordre des Polyphaga
- Super famille des Daxiloïdea
- Famille des Buprestidae
- Tribu des Psilopterini
- Genre : *Capnodis*
- Espèce : *Capnodis tenebrionis*.
- nom commun : Capnode

2.1.3. Caractéristique morphologique du Capnode (*C. tenebrionis*)

2.1.3.1. L'œuf

Les œufs sont de forme sub-elliptique légèrement aplatie sur la surface en contact avec le support, d'une couleur blanche opaque d'aspect laiteux. Il mesure environ 1,5 mm dans son grand axe et 1 mm de large, et pèse environ 0,632 mg [195] (Figure 2.1).

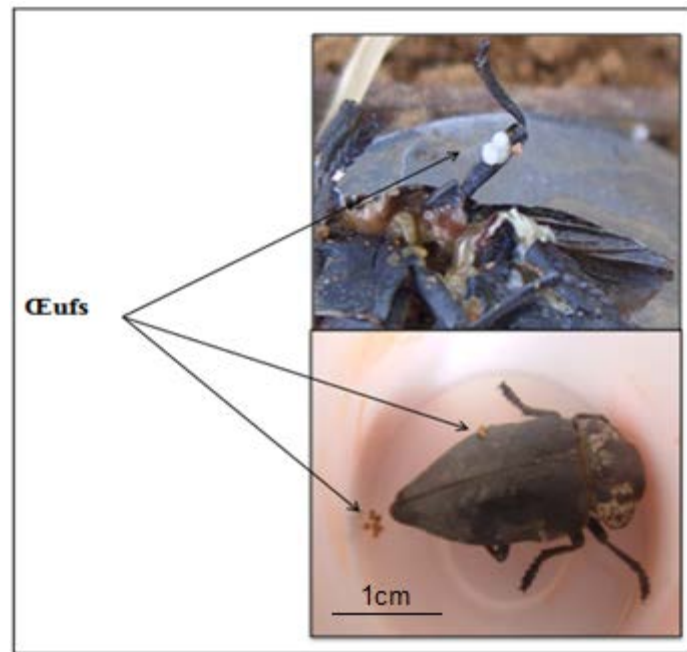


Figure 2 1: Images des œufs *Capnodis tenebrionis* (Original, 2009)

L'œuf du Capnode a deux enveloppes : une externe (le chorion) épaisse, dure et opaque; une autre interne, c'est la membrane vitelline mince, souple et légèrement translucide [196]. A sa sortie des valves génitales de la femelle, l'œuf est recouvert d'une substance visqueuse. Lorsque l'œuf est pondu dans le sol le mucus retient des particules de terre qui le rendent difficilement décelable [197].

2.1.3.2. La larve

Très caractéristique de la famille des Buprestidés, la larve de Capnode mesure à son éclosion environ 0,30 cm [198]. Elle a sensiblement le même aspect que la larve âgée qui atteint a son complet développement 7 cm environ. Le seul caractère distinctif de cette dernière est la présence de poils insérés latéralement sur les segments thoracique et abdominaux [193] (Figure 2.2).

D'après Gouguenheim et *al.* [199], l'abdomen est aplati, annelé, le prothorax est très dilaté et porte dorsalement un disque chitineux jaunâtre, orné d'un V renversé à la face dorsale et de deux traits parallèle à la face ventrale, la dilatation du thorax a valu à la larve du Capnode le nom de larve « Marteau » [193].

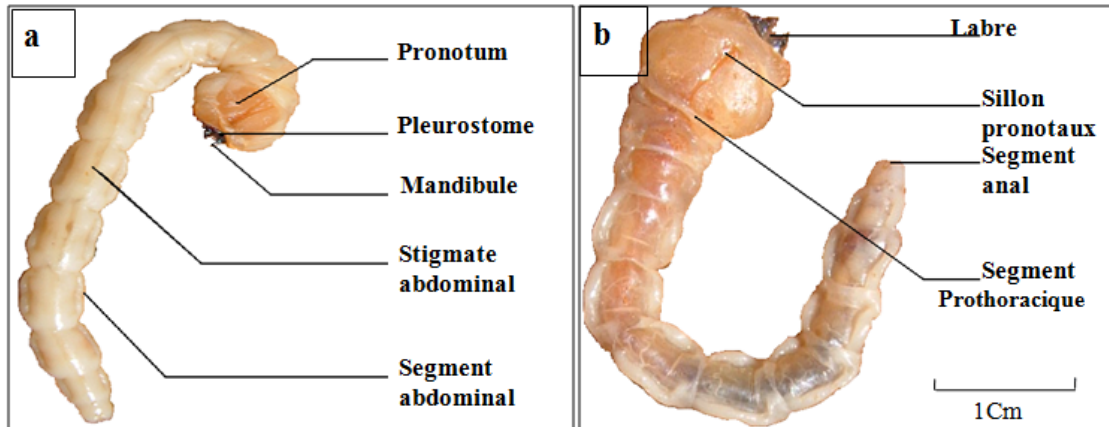


Figure 2.2: Larve de *Capnodis tenebrionis* (Original, 2009)

a : face dorsale, b: face ventrale

2.1.3.3. La nymphe

Avant le stade nymphal, le pré nymphe se caractérise par un raccourcissement de la larve et un épaissement de l'abdomen [198] (Figure 2.3).

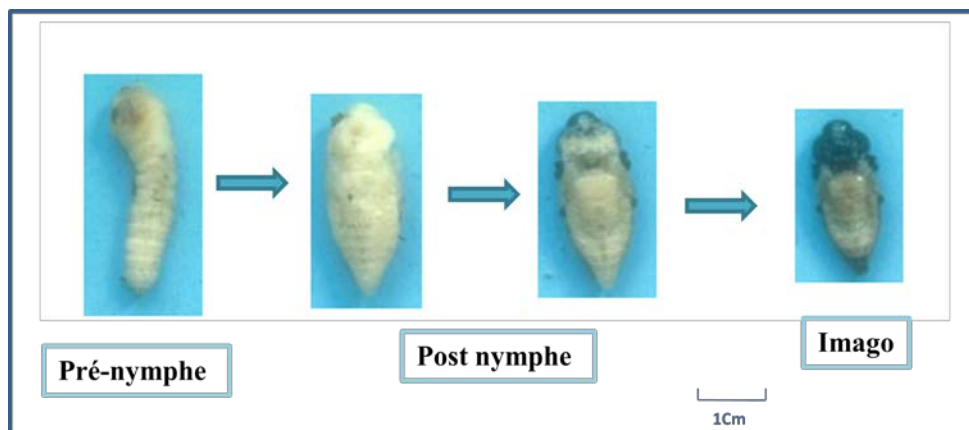


Figure 2.3: Différentes étapes du phénomène de la nymphose chez *Capnodis tenebrionis* (Original, 2009)

Chrestian [200], précise que la nymphe est de couleur blanche nacré, elle a l'aspect d'un adulte momifié dont les pattes, les antennes et les rudiments des ailes et des élytres sont repliés sur la face du corps (Figure 2.3), Elle mesure 25mm de

long et se trouve dans une véritable loge nymphale sculptée dans le bois dont l'intérieur est lisse.

2.1.3.4. L'Adulte

C'est un gros coléoptère de taille très variable allant de 1,5 cm à 2,5 cm, couleur entièrement noire, a reflets bleuâtres sur la face ventrale de l'abdomen. Ces reflets bien visibles au début du stade imaginal, disparaissent presque complètement par la suite. Trapu, la tête semblant souder au thorax, il se termine légèrement en pointe à l'abdomen. La seule ornementation consiste en une pubescence allant du blanc au brun. Pouvant même parfois être inexistante [197] (Figure 2.4).

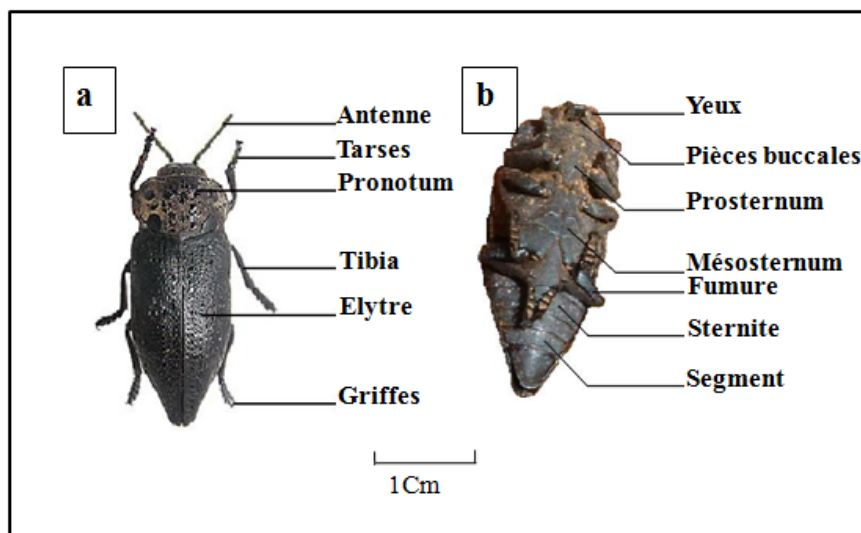


Figure 2.4 : Adulte *Capnodis tenebrionis* (Original, 2009)

a: face dorsale, b: face ventrale

2.1.3.4.1. La Tête

La tête de ce bupreste semble faire corps avec le thorax qui ne se distingue guère du reste du corps [201]. Elle est petite, peu mobile, engagée dans la partie antérieure du corselet. Les yeux sont volumineux, bruns et habituellement saillantes. La tête porte des antennes composées de onze articles serricornes, courtes, épaisses ne dépassant pas le milieu de la longueur du pronotum [189] (Figure 2.5).

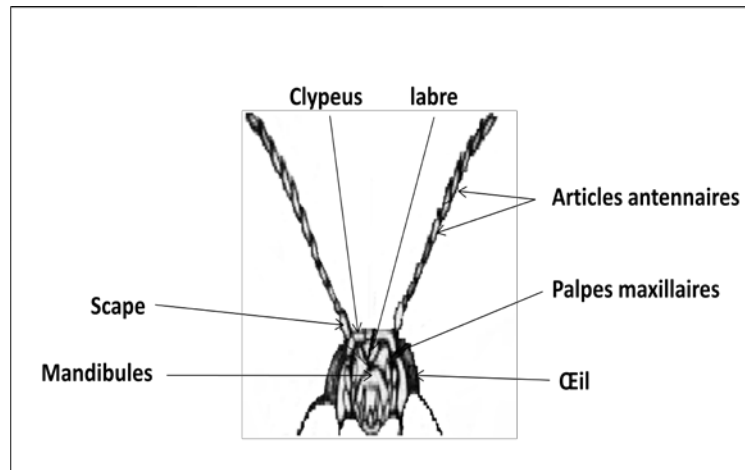


Figure 2.5: Schéma des appendices de la tête du Bupreste *Capnodis tenebrionis* [202]

Au repos les antennes se replient sous le corselet [201]. Les pièces buccales sont petites possédant deux maxilles lamelliformes et portant des palpes maxillaires, un labium et un labre. Ce dernier recouvre partiellement les mandibules qui sont robustes et fortement chitineuses, se croisant horizontalement en cisaille, leur tranche interne est souvent armée de denticule, ainsi que leur extrémité plus au moins aigue [203].

2.1.3.4.2. Le Thorax

Il se subdivise en trois parties, la première peu mobile est appelée prothorax ou corselet, massif nettement plus large que long, aux côtés arrondis avec le maximum de largeur sur son tiers supérieur. Son tiers inférieur portant la première paire de pattes, est fortement sinué et accolé à la base des élytres [204]. Il porte 4 protubérances qui émergent d'un fond chagriné et empâté d'une pruinosité blanche, bien apparenté chez les individus vivants. Les élytres sont pourvus de lignes de points des stries, composées de 4 rangées longitudinales de fossettes bien marquées sur les inters stries et qui sont souvent mouchetées de sécrétion blanchâtre [193]. La base des élytres munis d'un écusson petit visible à l'œil nu. Les pattes sont courtes et peu propres à la marche; les jambes antérieures et moyennes s'insèrent sur des hanches globuleuses dont la cavité d'insertion reste largement ouverte en arrière, tandis que les jambes postérieures sont insérées sur des hanches, aplaties,

lamelliformes et canalicules. Les cuisses antérieures et moyennes sont accompagnées de trochanters partiellement visibles. Les tarsi ont 5 articles à tous les membres [205] (Figure 2.6).

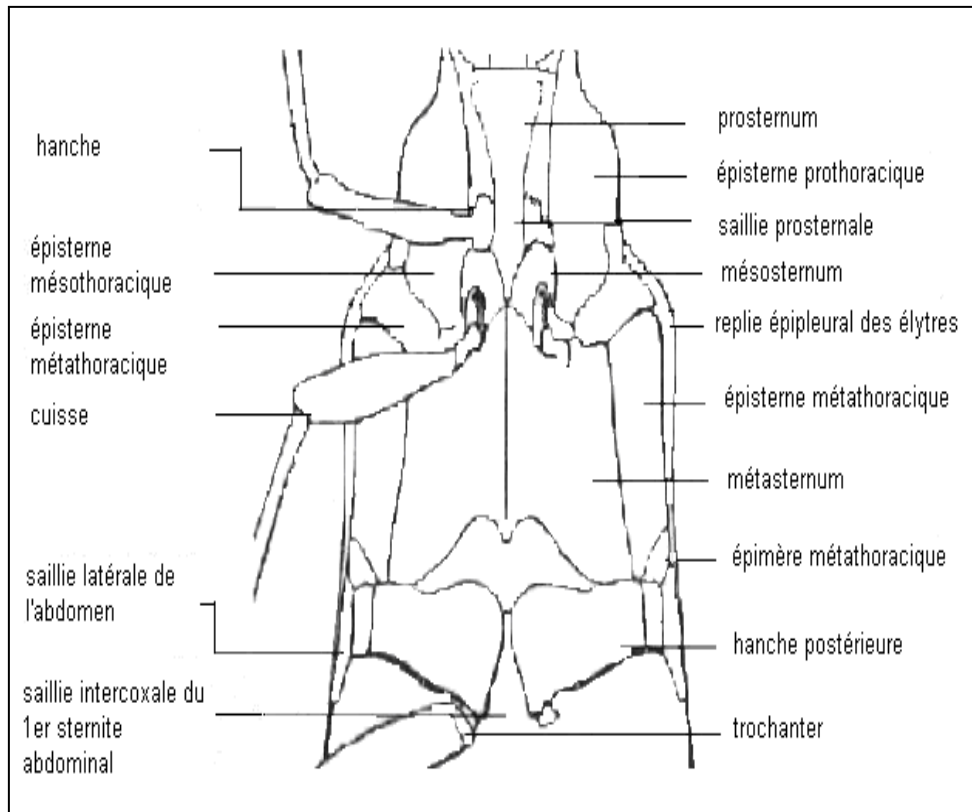


Figure 2.6: Schéma du thorax de l'adulte *Capnodis tenebrionis* [202]

2.1.3.4.3. L'Abdomen

Il compte cinq segments en dessous, les deux premiers étant soudés ensemble, la partie inférieure du prothorax (prosternum) se termine par une saillie qui se loge dans une cavité sternale formée par le mésosternum et le métasternum (Figure 2.7). Leurs ailes sont étendues sous les élytres dans toute leur longueur sans être plissées ou pliées [206].

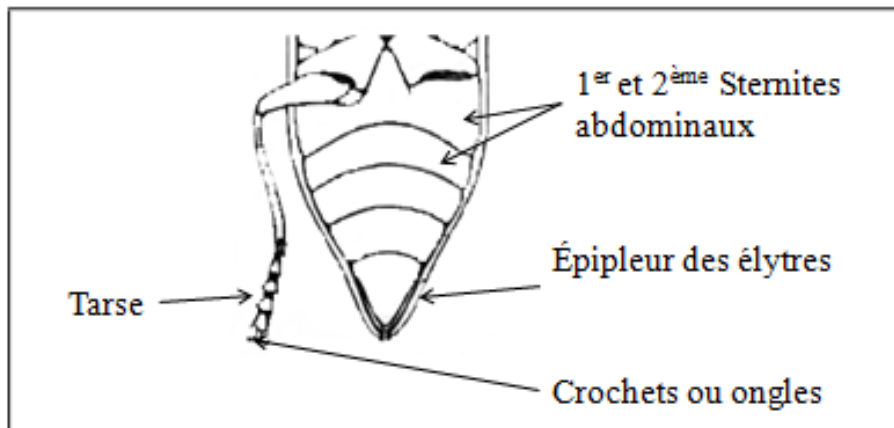


Figure 2.7: Schéma de l'abdomen de l'adulte *Capnodis tenebrionis* [202]

2.1.3.4.4. Le Dimorphisme sexuel chez adulte

D'après Balachowsky [193], la femelle est généralement plus grosse et plus lourde que le mâle, ainsi le dernier sterno abdominal est parabolique chez la femelle tandis qu'il est tronqué chez le mâle. Ce dernier est pourvu d'une dépression médiane qui se termine vers l'anus. (Femelle : longueur moyenne = $2,44 \pm 0,05$ cm ; prothorax = $0,97 \pm 0,02$ cm ; poids = $0,81 \pm 0,04$ g ; Mâle : longueur moyenne = $2,27 \pm 0,04$ cm ; prothorax = $0,90 \pm 0,02$ cm ; poids = $0,61 \pm 0,03$ g) [207] (Figure 2.8).

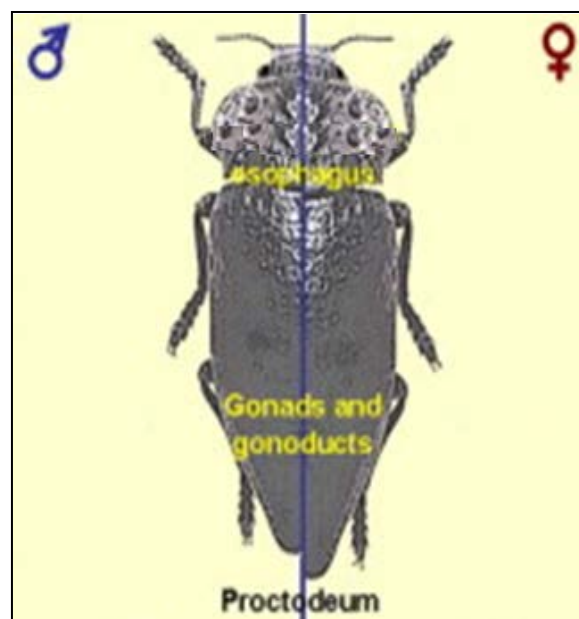


Figure 2.8: Dimorphisme sexuel chez les adultes *Capnodis* [208]

2.2. Caractéristiques biologiques

2.2.1. Cycle évolutif

Le cycle évolutif du capnode dépend étroitement des facteurs biotiques et abiotiques. Selon Rivnay [195] in Gindin et al. [209], le développement larvaire prend 6 à 18 mois selon la région. Ainsi le développement immature dure 13 mois en Espagne [210 in 211]. Ce même auteur précise que la durée de l'éclosion à la nymphose dure environ 60 jours à une température de 33°C et 100 jours environ à une température de 27°C. La durée du cycle évolutif prend deux années dans les zones à climat frais [212]. En fait, dans la plupart des cas, le cycle du Capnode est bisannuel [211 ; 213] (Figure 2.9) [214 modifié].

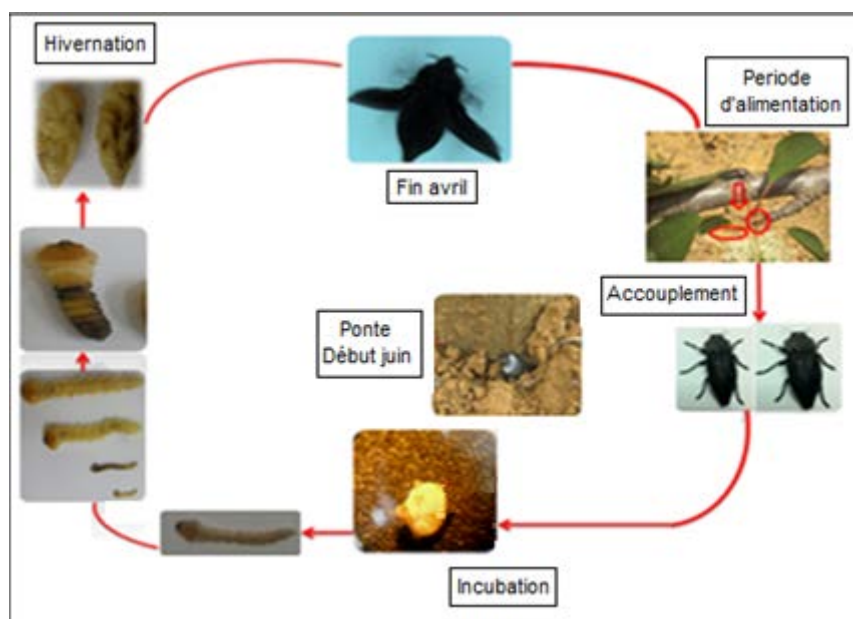


Figure 2.9: Cycle évolutif du bupreste *Capnodis tenebrionis* (de l'œuf à l'Adulte) [214 modifié].

2.2.1.1. Accouplement

Selon Balachowsky et Mesnil [204] et Peyer [201] la parade du Capnode n'a lieu qu'au cours de la saison chaude soit vers la mi-juillet, sans que l'accouplement ne s'observe guère avant le mois de juillet. Celui-ci s'effectue en plein jour, sur les

rameaux des différents arbres fruitiers à noyaux. La durée de copulation est comprise généralement entre 3 et 6 mn [193]. Le mâle se tient agrippé sur la femelle pendant une longue durée.

2.2.1.2. Ponte

La ponte s'effectue généralement dans des fissures du sol sec, sous les porte-greffes, près des arbres ou à proximité du collet à quelques centimètres du sol [215 ; 216 ; 209]. Le nombre d'œufs pondus peut aller de 50 à 300 [201 ; 193; 217] Par contre certains auteurs tels que Benyehuda et *al.* [215]; Losurdo [218] et Gindin et *al.* [209], pensent qu'une femelle peut pondre jusqu'à 1000 œufs de juin à la fin août. La ponte atteint son maximum en début d'Août Garrido [210]. L'alimentation joue un rôle primordial dans la maturité sexuelle [219]. Il en est de même pour la température de l'air lorsque celle-ci est supérieure ou égale à 26°C [193 ; 220].

2.2.1.3. Incubation

D'après Balachowsky et Mesnil [204], l'éclosion des œufs du Capnode est assez rapide, et la durée de l'incubation varie selon les conditions climatiques. Cette durée est de 12 à 13 jours en moyenne à une température variant de 28°C à 30°C et une humidité relative de 65% [220]. L'avortement des œufs est étroitement lié avec l'augmentation de l'humidité ; en effet il est d'autant plus élevé que l'humidité est forte [220 ; 221].

2.2.1.4. Evolution de la larve néonate

Dès son éclosion, la larve néonate d'une durée de 6 à 15 jours, est très active. Elle se reconnaît à son corps de couleur brunâtre, allongé et étroit qui porte généralement des pinceaux de longs poils locomoteurs latéraux et caudaux. Cette structure disparaît après la première mue.

Elle a une tête fortement chitineuse et un péristome constitué d'un épistome, hypostome et pleurostome qui sont attachés avec les pièces buccales. Les mandibules, élargies à la base, sont de formes triangulaires, chitineuses un peu plus

longues que larges. Le labre est de forme légèrement subquadrata et le clypéus, de forme transversale et glabre, est fortement membraneux. La largeur du prothorax est de 0,5 à 0,6 mm, tandis que la largeur de l'abdomen est de 0,3 à 0,4 mm [221].

La larve néonate cherche immédiatement à s'enfoncer dans le sol et à gagner sa plante hôte en moins d'une minute après l'éclosion [214 *in* 193]. Elle perd la faculté de déceler sa plante hôte au-delà du 20 cm. Elle peut également perdre cette faculté de se nourrir si jamais elle dépasse un jeûne de 24 heures.

2.2.1.5. La larve après pénétration

Dès que la larve atteint un organe hôte, racine ou collet elle y pénètre à la faveur d'accident du relief de l'écorce ou de blessures [222]. Bonnemaïson [223], précise que la larve du Capnode creuse des galeries sinueuses, très larges qu'elle bourre d'une fine sciure. Les larves s'alimentent principalement de la couche sous corticale et passe par quatre stades avant de se nymphoser. La durée totale de la vie larvaire est très variable et dépend beaucoup de facteurs abiotiques et biotiques. La durée de la vie larvaire s'échelonne entre 11 et 23 mois [222, *in* 193]. Les larves sont présentes pendant toute l'année [224 ; 225]. Leur identification se fait en mesurant la largeur moyenne sise au niveau de l'insertion antennaire, cet espace inter antennaire varie de 2 à 4 mm, au dernier stade larvaire qui dure 10 mois (Tableau 193) [212, *in* 193].

Tableau 2.1: Mensurations et durée des stades larvaires du Capnode

Larves	Moyenne de largeur inter antennaire en mm des larves	Durée des stades larvaires
Larve I	0,34	6 à 9 jours
Larve II	0,61	9 à 24 jours
Larve III	1,37	11 à 32 jours
Larve IV	2,92	10 mois

[193]

2.2.1.6. Nymphose

Au terme de sa croissance, la larve se nymphose et passe par deux stades distincts, celui de la prénymphe qui dure en moyenne 13 jours, puis de la nymphe qui

s'étale entre 20 et 25 jours. D'après Christian [200] *in* Balachowsky [193], la prénymphe se fait progressivement par un raccourcissement net de la larve qui s'épaissit et devient jaune cireux, elle mesure alors 2 à 3 cm. A ce moment apparaissent les ébauches de pattes. Tajnari [226], a pu déterminer la répartition en profondeur des loges nymphales (Figure 2.10) qui se fait près du sol. En effet, 95% des loges nymphales sont situées entre 5 cm et 15 cm au-dessous du sol. Avec 9,2% entre 0 et 5 cm, 23% entre 5 et 10 cm et 0,28% entre 30 et 40 cm au-dessous du niveau du sol, au-delà les logettes sont inexistantes.

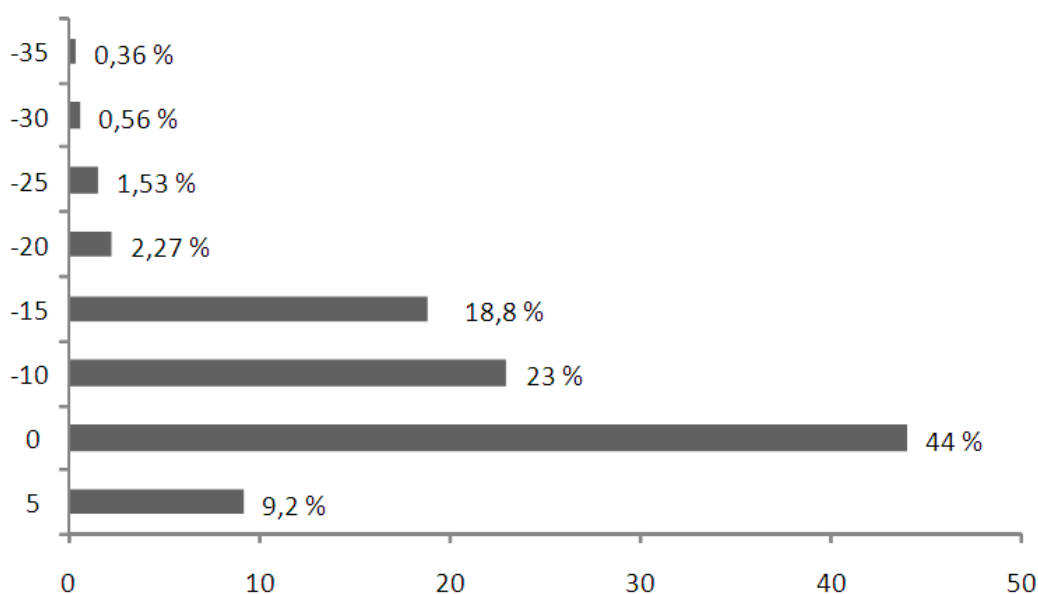


Figure 2.10: Représentation en profondeur des loges nymphales de *Capnodis tenebrionis* [226]

Le passage de la prénymphe à la nymphe est très rapide et s'accomplit toujours en une nuit. La nymphose se fait dans une véritable coque nymphale, ovale, sculptée dans le bois et entourée de fibres de bois finement déchiquetées ou dans une logette ovoïde, à parois lisse, de 3 cm de long situé à peu de profondeur, sous l'écorce. Ces logettes sont toujours vides de larves en hiver. En Espagne les prénymphe et les nymphes se trouvent dans le tronc de l'arbre de juillet à septembre [210]. La nymphose a lieu au printemps de la deuxième année qui suit la ponte et dure une trentaine de jour [201].

2.2.1.7. Adulte

Les imagos apparaissent en mai [213]. Ils sont issus des éclosions de l'année précédente et ayant passé une hibernation. Les adultes de la nouvelle génération ont été observés le 25 juillet et le 1 août respectivement en 1950 et 1951 à Sefroun au Maroc [222 *in* 193]. Ils ne se reproduisent pas, mais s'alimentent peu et iront hiverner dès l'automne sous divers abris. En outre les sorties de la nouvelle génération est très échelonnée et dure toute l'été.

2.2.2. Hibernation

L'hibernation a lieu au cours des deux premières années dans les galeries du bois à l'état larvaire ou au plus tard à l'état adulte à une faible profondeur, sous des mottes de terres. Les individus qui sont nés tardivement c'est-à-dire à la veille de l'hiver, sont généralement immatures et inféconds [201 ; 227].

En Crimée les nymphes de l'arrière saison donnent des adultes qui hivernent en état de diapause imaginale, dans leurs loges, pendant tout l'hiver. Elles ne sortaient qu'au printemps de la troisième année. Selon Rekk *in* Balachowsky et Mesnil [204], l'hibernation se fait à l'état larvaire (larve de première année ou de deuxième année) alors que les adultes passent l'hiver sous les mottes, à une faible profondeur. En Algérie et en France méridionale, les adultes de la nouvelle génération ne se produisent pas, s'alimentent peu et iront hiverner dès l'automne sous divers abris [193].

2.3. Dégâts du bupreste sur *Prunus*

2.3.1. Généralités sur les plantes hôtes

Considéré comme un arbre rustique, les *Prunus* résistent au froid de l'hiver et croit en tous lieux; la plupart des ses variétés ont besoin d'un repos végétatif d'au moins 800 heures, elles sont à cultiver en altitude entre 500 et 1000 mètres [228]. Bretaudeau et Faure [229], confirment que même dans les cas de gelées printanières, son abondante floraison lui assure presque toujours une fructification

suffisante. Les températures trop basses peuvent causer des dégâts aux boutons floraux, aux fruits, aux yeux et à l'arbre lui même. Les températures trop élevées peuvent provoquer des brûlures sur les feuilles, les fruits et sur les troncs [230]. Le prunier et le cerisier comme tout arbre fruitier, leur développement se déroule sur plusieurs années: quinze à trente ans ou plus.

De par le monde, il existe de nombreuses espèces de pruniers dont certaines semblent à l'origine des variétés cultivées, dont : *Prunus domestica* L. [231]. Ainsi deux sous-genres du genre *Prunus* sont bien adaptés en Algérie dont *Prunus domestica* (européen). Le Cerisier comprend des variétés de deux espèces voisines, mais d'origine différentes rattachant les uns au genre prunier et les autres au genre cerisier [232]. Il résiste aux grands froids de l'hiver, Son aire culturale optimale en Algérie se situe sur les versants Nord entre les altitudes de 500 m et 900 m au dessus [231].

2.3.2. Ampleur des dégâts en Algérie

D'après Anonyme [233], la première apparition de *C. tenebrionis* (L. 1758) en Algérie était en janvier 1934 à Sidi Salem(Annaba), puis Oued El Fedha (Ain defla) en 1935, puis un autre cas dans la Mitidja plus précisément à Baba Ali (Alger) en Mars 1942, à l'heure actuelle le Capnode est signalé sur tout l'étendu de la Mitidja, Médéa, Tizi-Ouzou, Miliana, Mohammedia, Constantine et Guelma (Figure 2.11).

Le Cerisier en Kabylie est toujours menacé par cet insecte parasite plus connu sous le nom de Capnode (*C. tenebrionis*). La superficie totale des cerisaies de Tizi Ouzou a baissé sensiblement en espace de trente ans, passant de 300 000 hectares à 1266 hectares, la production de ce fruit a finalement chuté sur près de 20 000 quintaux à la fin de la récolte de l'année 2011. Ce cerisier meurt lentement d'une année à l'autre bien que de nouvelles plantations voient le jour. La Station Régionale de Protection des Végétaux (S.R.P.V.) de Drâa-Ben-Khedda (Tizi Ouzou) a fait état d'une enveloppe de 4 milliards de centimes pour traiter les superficies des Cerisiers.

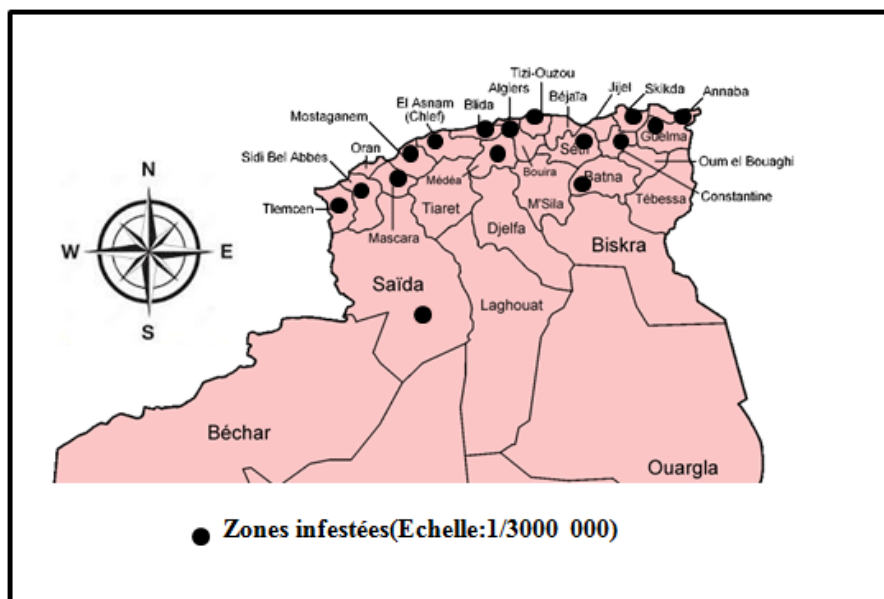


Figure 2.11: Principales zones infestées par le Capnode en Algérie [233]

A Médéa sa présence a été constatée en 1982, dans la commune d'El Azizia puis il s'est étendu sur toute la wilaya [233]. Anonyme [234], avait estimé les Infestations des cultures par le Capnode (*C. tenebrionis*) en montagnes et en haute plaine dans la wilaya de Médéa durant la décennie 1995-2005 (Tableau 2.2) (Figure 2.12).

Tableau 2.2: Infestation des cultures par *Capnodis tenebrionis* dans la wilaya de Médéa durant la décennie (1995-2005)

Zones	Superficie (ha) totale	Superficie infesté (ha)	% par rapport à la zone	% par rapport à la Wilaya
Montagneuse	8047	1300	16,15	13,80
Hautes plaines	1154	120	10,39	1,27
Sud	219	80	36,52	0,84

[234]

L'enquête réalisée en 2005 par la Station Régionale de Protection des Végétaux (S.R.P.V.), ressort que le Capnode est présent sur toutes les espèces fruitières à noyaux et plus particulièrement sur le Cerisier qui constitue sa plante hôte préférentielle où les dégâts ont dépassé 75% sur une période de 3 à 4 ans [234].

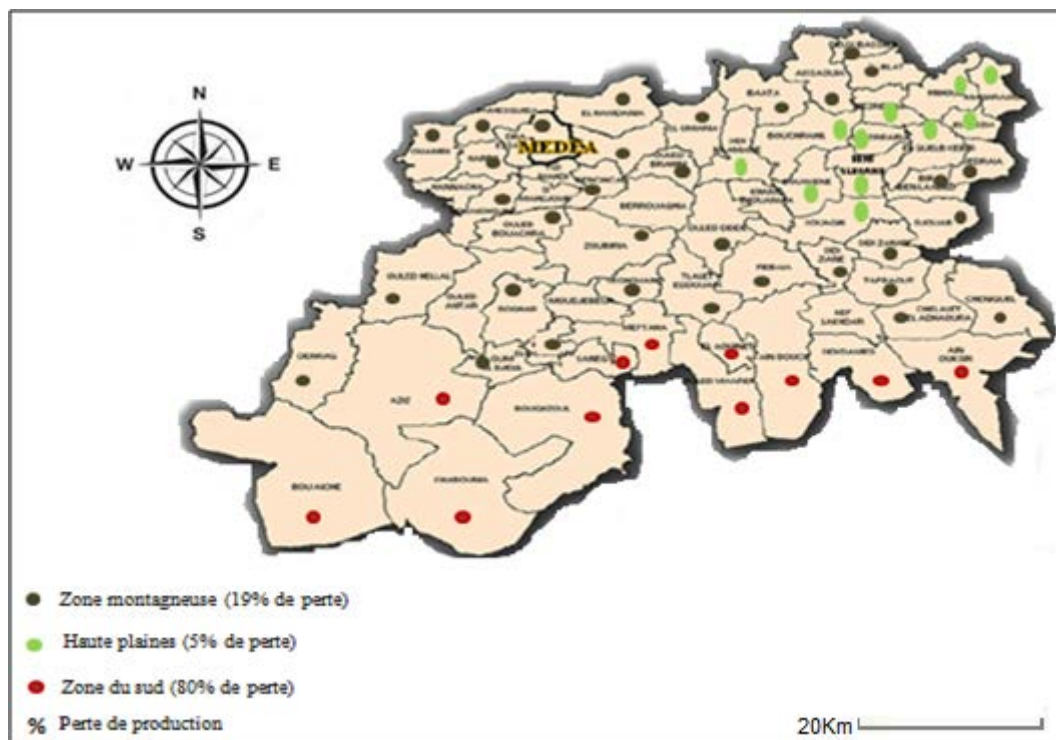


Figure 2.12: Carte représentative des infestations de *Capnodis tenebrionis* dans la wilaya de Médéa [234]

2.3.3. Impact des dégâts sur les différents compartiments du plant

Suite aux graves dégâts engendrés par le Capnode, l'Union Européenne (U.E.) a inclus celui ci sur la liste des organismes nuisibles qui porte atteinte à la qualité des fruits à noyau, et aussi aux matériels de multiplication (porte-greffes) [235]. Garrido [210], ajoute que les arbres attaqués par le *C. tenebrionis* deviennent très sensibles aux attaques des coléoptères du genre *Scolytus*.

Cependant il faut distinguer entre les dégâts causés par les adultes et ceux des larves. Les adultes, pour se nourrir, défeuillent partiellement les arbres en dévorant les pétioles, détruisant les bourgeons et décortiquant en surface les pousses tendres à peine lignifiées [193]. La larve est le principal agent des dommages causés aux arbres ; creusant des galeries sinueuses ascendantes ou descendantes. Elle occasionne un déséquilibre entre la partie aérienne et le système racinaire [200]. Les ravages de la larve commencent au cours de la première ou la deuxième année, sur les racines des arbres [237], si bien que quelques larves

suffisent pour tuer un arbre adulte en 1 ou 2 ans [215]. Les adultes entraînent une défoliation, en se nourrissant sur les rameaux et les branches jeunes [210], et surtout sur les bourgeons à la base des pétioles lorsque leur nombre devient important [216]. Les dégâts sont plus graves dans les pépinières qui sont sous serres du fait de la chaleur engendrée par l'effet serre que dans les vergers des arbres fruitiers [221].

Les larves se nourrissent du bois en arrachant de minuscules particules (fibres) grâce à un liquide sécrété par la bouche qui ramollit le bois de l'écorce, dont il mordille avant de les rejeter [239]. Ce sont les larves qui causent des dégâts considérables du fait que sa durée s'étale sur plus de 12 mois. La larve affaiblit progressivement l'arbre au fur et à mesure que leur taux d'infestation augmente sur les racines et le collet [238]. Les arbres qui ont une déficience alimentaire et un manque d'eau, font apparaître une exsudation de gomme importante au niveau des troncs et des branches, suite aux attaques des larves [240].

2.4. Lutte (notion de lutte raisonnée)

La lutte contre les insectes nuisibles en général et le Capnode en particulier, a fait l'objet d'un très grand nombre de travaux depuis plus d'un demi-siècle sans donner des résultats probants en raison de la méconnaissance de la bio écologie de l'insecte en question. Ce n'est qu'après la deuxième guerre mondiale et grâce au progrès acquis sur les différents paramètres biologiques et le comportement que la protection des vergers est rendu possible avec l'utilisation de plusieurs moyens de lutte, notamment culturale, chimique et même biologique.

2.4.1. Etude du milieu

De manière générale, avant de s'intéresser aux bioagresseurs, il est indispensable de bien connaître les caractéristiques du milieu dans lequel ils vont vivre : climat, sol, environnement. Les mécanismes mis en œuvre pour gérer les ravageurs et les maladies impliquent un travail holistique couvrant souvent plusieurs échelles (plante, parcelle et paysage) et gérant des multitudes d'interactions et des effets antagonistes. On résume souvent ces connaissances à l'aide d'un schéma de fonctionnement d'un champ cultivé (Figure 2.13) [241].

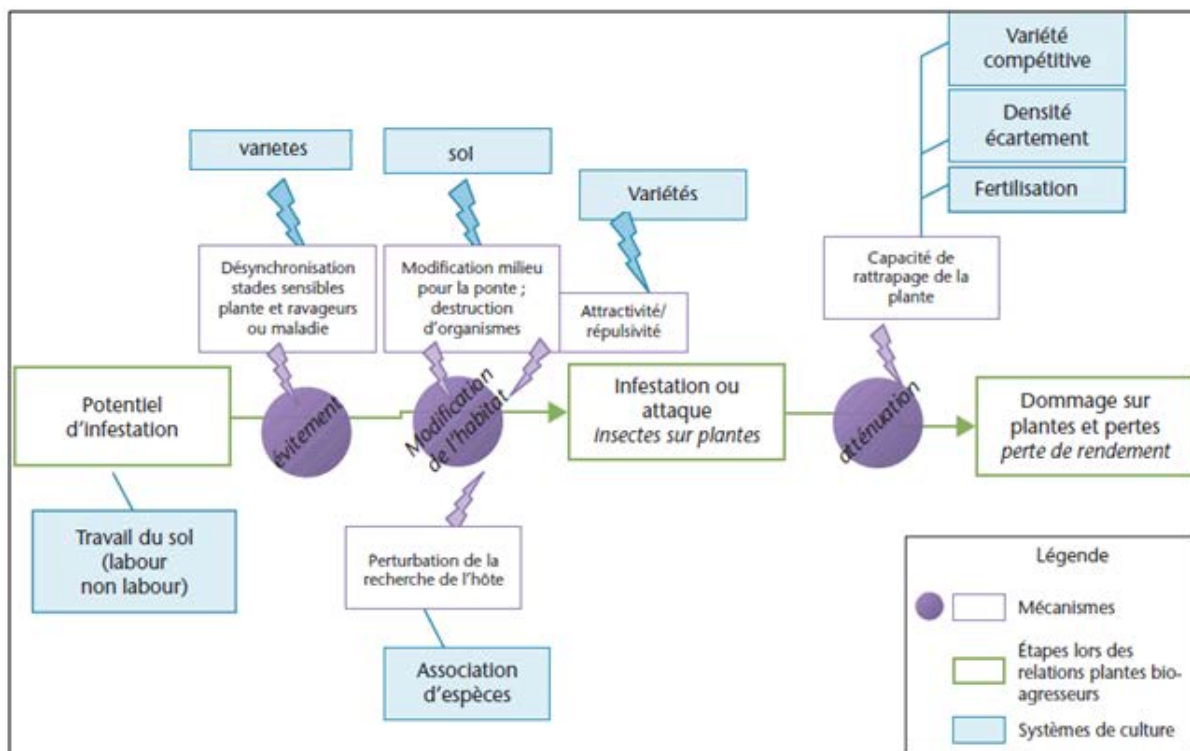


Figure 2.13: Schéma fonctionnelle des interactions couvert-bioagresseur et des effets attendus des leviers agronomiques à l'échelle de parcelle [241]

Ce schéma montre de manière très générale les modes d'action des différents leviers agronomiques qui permettra de favoriser la régulation des insectes ravageurs» [242].

2.4.1.1. Favoriser l'évitement des attaques

Cette action consiste à mettre en place des combinaisons de pratiques visant à modifier l'environnement de la culture afin d'éviter l'installation primaire du bioagresseur, dûment lorsqu'elle est sensible [241]. Ce monitoring environnemental contribue à mieux préserver la santé des arbres [243].

L'arboriculture fruitière s'adapte plus ou moins au microclimat, de ce fait un bon respect des exigences d'ordre pédoclimatiques et nutritionnelles minimise la vulnérabilité de la plante hôte vis-à-vis de son ravageur. De plus, l'utilisation de porte greffes favorable, permet d'adapter les arbres aux sols qui les portent, d'homogénéiser les vergers et de maintenir les arbres à des dimensions acceptables pour leur conduite [244].

2.4.1.1.1. Respect des besoins climatique des *Prunus*

Le prunier est peu exigeant en eau. Les variétés précoces mûrissant en juin, se contentent d'une pluviométrie moyenne de 400 mm/an, tandis que celle mûrissant en juillet nécessitent au minimum 500 mm de pluie/an. Parmi les sous-genres du genre *Prunus*, le cerisier *Prunus domestica* est bien adapté en Algérie [245]. Ce dernier figure parmi les essences fruitières les plus rustiques [228]. En montagne croit et fructifie jusqu'à 700-800 mètres d'altitude et exige beaucoup de lumière [229]. Mahhou [246], ajoute que le cerisier résiste aux grands froids de l'hiver et que le griottier supporte des températures voisines de -15°C.

L'eau d'irrigation est un facteur déterminant, toutefois, il faut admettre qu'une insuffisance en eau maintient les racines en surface d'où une exposition plus grande aux attaques des bioagresseurs xylophage. Ainsi la réussite d'une plantation fruitière est fonction de la disponibilité de l'eau tout au long de l'année [230]. Les exigences en eau sont importantes de la nouaison à un mois avant la récolte, en effet pour permettre une bonne mise à fruits l'année suivante, les yeux à bois doivent être bien alimentés en Août-septembre [234].

2.4.1.1.2. Respect d'affinité entre portes greffes et sols

Le Prunier préfère le sol profond bien drainé craint les sols légers, ainsi que les sols secs sablo-limoneux très fin (pH en dessous de 6) [229]. Il tolère bien le calcaire et une salinité de 2 à 4% en sol lourd, au-delà de cette fourchette la floraison coule, et l'arbre gommose fortement [247]. Au delà de 10% de calcaire actif, il y a risque de chlorose [231].

Les sols qui conviennent le mieux aux cerisiers sont les sols silico-argileux ou silico-limoneux, légers, profonds, et perméables. Il redoute les sols lourds compacts, car il se montre extrêmement sensible à l'asphyxie radriculaire. Toutefois certain types de porte greffe permettent l'adaptation du cerisier dans des sols marginaux quelque peu calcaire tel que portes greffes Sainte Lucie [248].

C'est au choix de porte greffe que dépend la réussite et l'avenir de la plantation, il conditionne le rendement futur, la précocité et la longévité de l'arbre. Les portes greffes mal adaptés provoquent les dépérissements et augmentent la mortalité [249]. De ces faits, le succès d'une plantation dépend largement d'un choix judicieux de l'association « variété/porte greffe » [231 ; 250]. En Algérie, les observations ont amené à mettre en garde les producteurs contre le porte greffe Ste Lucie pour les terres lourdes et humides, et a préconiser du merisier, voir du griottier [234].

2.4.1.1.3. Respect des besoins nutritionnels des *Prunus*

Le succès d'une bonne récolte, dépend de la bonne gestion de l'itinéraire phytotechnique ainsi que du raisonnement d'utilisation des intrants nutritionnels. La fumure doit permettre ainsi de satisfaire l'ensemble des besoins avec une attention particulière à la fumure azotée (Tableau 2.3 et 2.4) [245], car c'est elle qui fait pousser le jeune arbre où trois apports sont nécessaires durant le cycle végétatif : février, juin et fin août [230].

Tableau 2.3: Calendrier d'apport de fumure sur Prunier en Algérie

Eléments	0-3 ans	4-10 ans	11 ans et + (fumure constante)
Fumier	10 Kg	50 Kg tous les 2 ans	50 Kg tous les 2 ans
N	0,06 Kg	0,04Kg	0,40 Kg
P	0,05 Kg	0,06Kg	0,80kg
K	0,10 Kg	0,06kg	0,80kg

[245]

Tableau 2.4: Calendrier d'apport de fumure sur Cerisier en Algérie

Elément	Dose par arbre (en unité fertilisante)		
	1 à 5 ans	6 à 10 ans	Plus de 10 ans (Fumure constante)
Fumier	10 Kg	50 Kg tous les 2 ans	50 kg tous les 2 ans
Azote	0,050 Kg	0,175 Kg	0,250 Kg
Acide phosphopotassique	0,100 Kg	0,300 Kg	0,400 Kg

[245]

2.4.1.2. Modifier l'habitat ou perturber le milieu du bioagresseur

Il convient de retenir les résultats obtenus par Chararas [251], qui reconnaît que les conditions climatiques jouent un rôle important puisqu'elles conditionnent l'activité d'envol, l'activité nutritionnelle et le développement des adultes au moment de la sélection de la plante hôte par l'insecte. De plus, l'influence de la nature du sol est un facteur fort important dans la mesure où les dégâts peuvent se répercuter à chaque variation d'une des composantes physiques du sol. Perturber le milieu consiste à défavoriser le microclimat nécessaire au développement d'un bioagresseur [252].

Le levier le plus connu engagé contre les insectes est le travail du sol. Ce dernier provoque des perturbations physiques majeures du milieu et peut avoir des effets directs et indirects sur la dynamique des populations, via son influence sur leur cycle de vie, et ainsi sur leurs dégâts (Figure 2.14) [253]. Pour certains insectes, entre autre le Capnode, l'influence du travail du sol n'est possible que via une modification de leur comportement de ponte [254]. L'absence de travail du sol peut aussi modifier la texture et rend le sol moins propice à la ponte de l'insecte [255].

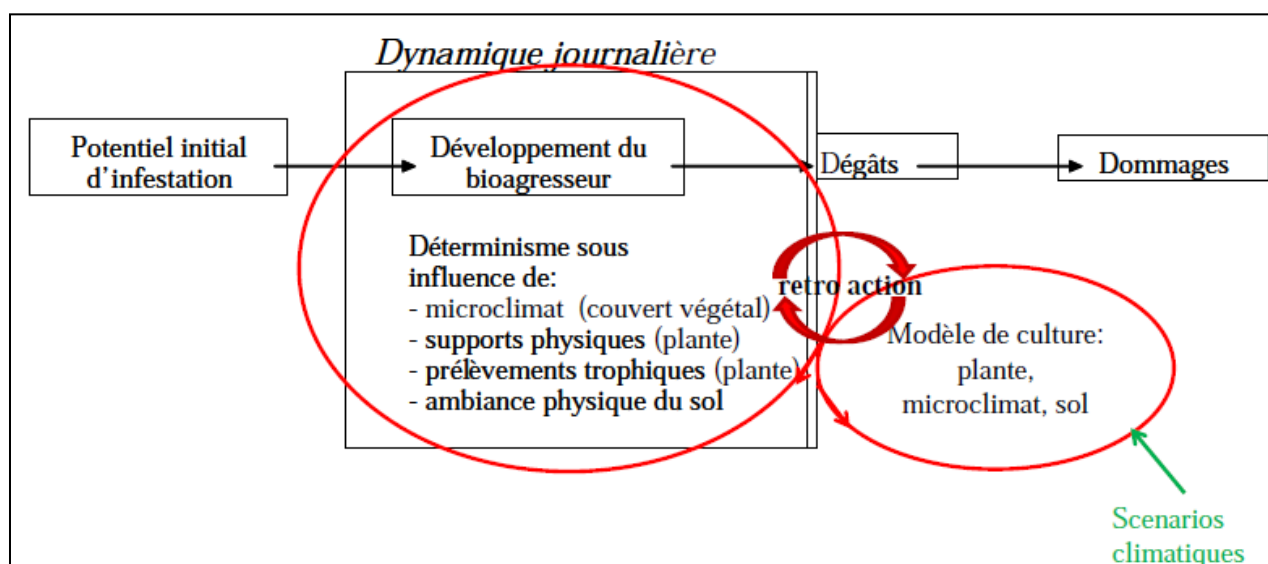


Figure 2.14: Modèle de fonctionnement du bioagresseur forcé par des scénarios climatiques et environnementaux [253]

Le choix variétal ou le choix d'espèces est également un autre moyen de perturber le milieu, car il influence le comportement de recherche de la plante hôte, étant donné que le comportement du choix chez les insectes ravageurs des cultures est basé principalement sur des signaux chimiques [256], ou visuels, comme la couleur, la taille, l'architecture de la plante et la structure de la feuille [257; 258], l'introduction d'une espèce végétale non apparentée à l'hôte déclenche distinctement trois mécanismes qui tentent d'expliquer l'effet perturbateur :

- (i) Un effet de la qualité de l'hôte, car l'architecture, le microclimat sont différents du couvert pur, ce qui peut provoquer un changement de comportement des insectes ravageurs, se traduisant par un effet « leurre », une attractivité modifiée ;
- (ii) Un effet « concentration des ressources », très lié au premier [260; 261] qui émet l'hypothèse que la probabilité pour un insecte ravageur de trouver la plante hôte dans un couvert monospécifique est plus grand que dans un couvert pluri spécifique;
- (iii) Un effet « ennemis naturels » [261], qui émet l'hypothèse que la réduction du nombre de ravageurs peut être indirectement liée à la présence plus importante d'ennemis naturels, attirés davantage par ces ressources.

L'enjeu d'une agriculture durable consiste à piloter interactions couvert/bioagresseurs et ennemis naturels via les pratiques agricoles [262]. Il est intéressant de signaler que chaque levier a un effet très partiel et qu'ils doivent être associés de manière cohérente pour bénéficier d'une synergie et assurer une production agricole rentable [263]

2.4.2. Méthodes culturales

Il est connu que le Capnode est un ravageur des plantations fruitières déficientes ou mal entretenues. En revanche les cultures biens équilibrées et suffisamment irriguées en été, résistent aux attaques d'autant plus que les œufs et les jeunes larves du premier stade sont très sensibles à l'humidité du sol [221]. A cet effet, l'agriculteur devra prendre en considération les techniques culturales préconisées par Balachowsky [193] à savoir:

- Eviter les plants infestés
- Arrachage des arbres dépérissants ou morts
- Ne pas laisser à proximité des vergers les arbres infestés afin d'éviter les risques de réinfestation.
- Eliminer les rameaux desséchés
- Taille des arbres doit permettre une régularisation du développement végétatif par rapport au système racinaire
- Apport d'engrais et de fertilisants nécessaires à une végétation rigoureuse
- Choix de variétés et de porte-greffes reconnus résistants. L'amandier amer résiste fortement aux attaques ainsi que les arbres greffés sur cette espèce, tels que l'abricotier et pêcher.
- Augmentation de la fréquence de l'irrigation, en cas d'attaque temporelle
- Élimination des espèces sauvages comme le prunellier et l'aubépine, qui évoluent près du tronc de l'arbre et dans lesquels l'insecte peut vivre.
- Faire autour du tronc une plastique ou géotextile, comme un cône tronqué, qui se tient bien au tronc à 20 cm au-dessus de la base de l'arbre. Cela permettra d'éviter l'entrée des adultes et entraver la ponte. L'application de plastique est préconisée en été seulement.
- Capnodage c'est-à-dire la collecte mécanique des adultes. C'est une opération coûteuse et à efficacité limitée. Il est conseillé de le faire durant l'automne où la présence des adultes dans les arbres est importante [264].

2.4.3. Méthodes chimiques

2.4.3.1. Contre les adultes

Pour mettre en œuvre une lutte contre les adultes du bupreste noir (*C. tenebrionis*), il est recommandé d'utiliser les produits qui agissent par ingestion [265]. Actuellement, les substances actives qui se sont révélées efficaces contre les adultes du Capnode notamment sur Cerisier sont : Chlorpyrifos 25%, Chlorpyrifos 75%, Phosmet 20%, Phosmet 50%, Imidaclopride 20%. La méthode la plus efficace de traitement est basée sur la pulvérisation par jet dirigé sur les parties aériennes des arbres dans deux moments clés:

- Lorsque les adultes quittent leurs refuges d'hivernage de mai jusqu'au début de la ponte.
- Lorsque les nouveaux adultes émergent (août à septembre), c'est-à-dire avant de quitter les vergers et disposer sous différents abris pour hiverner [264].

2.4.3.2. Contre les larves

La lutte contre les larves consiste à appliquer des traitements du sol qui sont dirigés contre les larves néonate ou les larves jeunes venant de pénétrer dans les racines. Ces traitements sont les plus efficaces, mais leur importance diminue significativement avec l'âge des larves de 3 et 4 stades ayant atteints plus de 4cm de long qui sont sous l'écorce et donc difficile à atteindre avec le produit. Le traitement repose sur deux applications l'une au début de l'été et l'autre à la fin. Les produits ayant donné des résultats satisfaisants sont : Mocap, Phoxime, Asmidion 5%. La méthode de traitement consiste à faire des cuvettes de 1mètre autour du tronc, et à y enfuir le produit. Enfin on irrigue les cuvettes afin de faire pénétrer le produit dans le sol [215].

Par ailleurs Sana-Passino et Delrio [269], ont montré au laboratoire l'efficacité de certains pesticides contre les larves néonates. Il s'agit de l'Isofenphos + Phoxime, Chlorpyriphos, Diazion et le Carbaryl, tout en signalant que les formulations les plus toxiques sont : Chlorpyriphos et Isofenphos + Phoxime avec respectivement une mortalité de 83,3% et 76,2% sans mentionner les doses utilisées.

2.4.4. Moyens biologiques

A l'heure actuelle, la lutte contre *C. tenebrionis*, repose principalement sur l'utilisation de produits chimiques contre les larves néonate et les adultes qui sont les plus sensibles [267 ; 238]. Mais pour la première fois un parasitoïde appartenant à la famille des Braconidae de l'ordre des Hyménoptères a été signalé sur les larves dans les vergers d'abricot et de prunier au sud de la Sicile (Italie) : Il s'agit d'un éctoparasitoïde appelé *Spathuis erythrocephalus* Wesmael (L., 1838) dont les larves sont grégaires et éctophages qui s'attaquent surtout aux larves matures ayant une longueur qui oscille entre 4 à 6 cm. Cet ectoparasite est capable de rechercher et

d'accueillir les larves dans le sol jusqu'à une profondeur de 20 cm. En 2006, plus de 35% des larves ont été parasités, bien que les individus de *C. tenebrionis* les plus proches de la surface du sol, soient les plus faciles à atteindre [268].

Plusieurs champignons tels que *Beauvaria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* ont été utilisés en tant que nouvelles méthodes de lutte contre les larves néonates qui constituent une menace majeure pour plusieurs arbres fruitiers à noyaux dans plusieurs pays. Après inoculation, le taux de mortalité après 10 jours varie de 23,5% à 100% de mortalité. *Beauvaria bassiana* a causé également une importante réduction sur l'éclosion des oeufs, soit un taux de mortalité de 84% et 94,5%. Ces résultats indiquent que *B. bassiana* et *M. anisopliae* peuvent être considérés comme prometteurs pour une nouvelle approche pour prévenir les infestations de larves de *C. tenebrionis* [235].

Les nématodes ayant démontré leur efficacité contre les larves néonates, appartiennent essentiellement aux familles des Steinernematidae et des Heterorhabditidae. Ces nématodes ont été testés avec plusieurs souches : *Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae*, *S. arenarium* et *Heterorhaniditis bacteriophora*. Ils ont entraîné respectivement des taux de mortalité de 100%, de 96%, de 91% et de 60%. Toutes les souches testées ont été efficaces contre les larves, plus particulièrement *S. carpocapsae* qui s'est caractérisée par une rapidité d'infection à l'égard des larves par rapport aux autres souches [269].

2.4.5. Estimation financière d'un programme de lutte sur terrain dans la wilaya de Médéa

Ci-après un programme de lutte réalisé en 2005 par la direction des services agricole de la wilaya de Médéa, en plus d'une estimation financière de ce dernier [234]:

2.4.5.1. Mesures prophylactiques

-Capnodage: avant la ponte (avril-mai); (Objectif de ramassage: 20 000 unités /133 jours) (Figure 2.15)

-Fumures: Engrais phosphopotassique et Engrais azotés; (Coût de production: 300 DA)

-Irrigation: Destruction des œufs et des larves (Mai-juin);

-Taille

Coût de Capnodage=40 000 DA

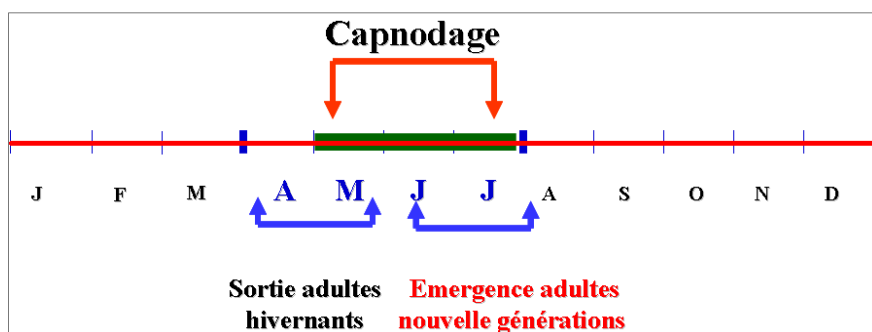


Figure 2.15: Schéma représentatif de la période du Capnodage à Médéa [234]

2.4.5.2. Mesures de lutte chimique

Traitement d'hiver (huile jaune); **Traitement printanier**: Insecticides du sol (Avril-Mai); **Traitement estival**: Insecticide du sol (Juillet-Aout) (Figure 2.16).

Coût de produit: $2 \times 45\,000 \text{ DA} \times 7550 = 67\,950\,000 \text{ DA}$;

Coût de l'application: $2\,000 \text{ DA} \times 7550 \text{ ha} = 15\,100\,000 \text{ DA}$;

Coût de la lutte chimique=83 050 000 DA

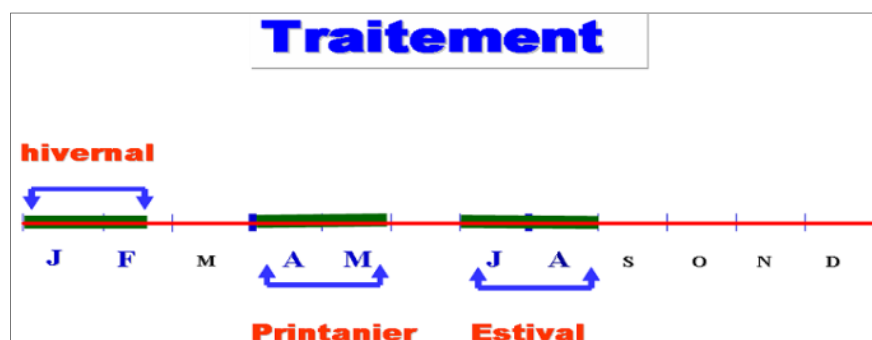


Figure 2.16: Schéma représentatif de la période du traitement à Médéa [234]

2.4.5.3. Mesures de réhabilitation

-Arrachage et incinération: Arbre fortement attaqués (6 300 000 DA.);

-Replantation (14 250 000 DA).

Coût total de la réhabilitation=20.550 000 DA.

En plus du coût de l'encadrement technique:

Coût de l'encadrement technique=80 000 DA (8 Atelier).

Coût global de l'opération de lutte: 103720 000 DA

MATÉRIEL ET METHODES

CHAPITRE 3: MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1. Introduction

Les cultures fruitières prennent une part importante dans la production agricole [270], mais leur production a une tendance à diminuer ces derniers temps suite à de nombreux facteurs nuisant à leur bon développement, parmi lesquels, l'insuffisance de technicité, la mauvaise conduite des arbres fruitiers par les agriculteurs, ainsi que la présence permanente des maladies et des ravageurs. Chez les arbres à noyaux, le Capnode (*C. tenebrionis*) figure parmi les déprédateurs majeurs les plus dangereux, suite à sa résistance face aux traitements phytosanitaires, ainsi qu'à son cycle biologique mystérieux. Par le biais de ses pièces buccaux (type broyeur), les larves entraînent presque invariablement la mort des sujets contaminés, ajouté à cela l'attaque des adultes qui défeuillent parfois partiellement les arbres à noyau. De même, leur cycle biologique assez long leur permet d'exploiter leurs plantes-hôtes d'une manière maximale tout en répondant aux modifications de leur environnement [202], qui influence hautement la nature et la qualité d'exsudats (richesse en éléments solubles, notamment en produit soluble azotes) [271].

3.2. Présentation globale de la région d'étude

3.2.1. Situation géographique

La wilaya de Médéa est située au cœur de l'Atlas Tellien, entre 600 à 1200 mètres d'altitude. Elle se situe à 2°50'55" de longitude et 36°11'59" de latitude nord. Elle s'étend sur une superficie cadastrale de 8700 Km². Administrativement, elle est limitée: au nord par la wilaya de Blida, à l'ouest par les wilayas de Ain Defla et Tissemsilt, à l'est par les wilayas de Bouira et M'sila et au Sud par la wilaya de Djelfa (Figure. 3.1) [272].



Figure 3.1: Limites géographiques de Médéa [273]

3.2.2. Caractéristiques climatiques

Le climat est l'ensemble des phénomènes qui caractérisent l'atmosphère, ces fluctuations provoquent d'une année à l'autre des variations qui augmentent ou diminuent les rendements des cultures. Néanmoins, son action s'exerce sur toutes les phases du développement de ces dernières.

3.2.2.1. Variations des températures

Parmi les facteurs climatiques, la température est le plus important [274]. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère [275]. Et Dreux [274], indique que pour chaque espèce ne peut vivre que dans un certain intervalle de température limité au-dessus par des températures létales maximales et au-dessous par des températures létales minimales. En dehors de cet intervalle, elle est tuée par la chaleur ou par le froid. Et les valeurs des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales de la région de Médéa sont regroupées dans le tableau 3.1

Tableau 3.1.: Températures mensuelles moyennes, maximales et minimales exprimées en degrés Celsius et enregistrées en 2009, 2010, 2011 et 2012 dans la station météorologique de Médéa.

		Mois											
		Jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aout	sept	oct	nov	dec
2009	T Max	7,5	9,7	13,9	13,2	23	29,6	34,2	31,2	23,5	21	16,2	12,5
	T Min	3,3	2,9	6,7	5,9	14	19,2	23,6	21,4	15,5	13	9,9	6,3
	T Moy	5,4	6,3	10,3	9,55	18	24,4	28,9	26,3	19,5	17	13,1	9,4
2010	T Max	9,1	11,1	13,6	17,3	19	26,3	33,6	31,9	26,5	20	12,2	11,7
	T Min	4,7	4,9	6,7	19,2	26	15,7	22,3	21,2	16,2	12	7,2	5
	T Moy	6,9	8	10,2	18,3	23	21	27,9	26,5	21,3	16	9,7	8,3
2011	T Max	10,5	9,2	13,3	19,9	21	26,3	31,4	33,6	28,1	21	14	10,4
	T Min	4,5	3	6	11,2	13	16,9	20,7	22	17,7	12,4	8,3	4,7
	T Moy	7,5	6,1	9,7	15,6	17	21,6	26,1	27,8	22,9	16,7	11,2	7,5
2012	T Max	10,3	5,9	13,8	14,7	24	31,5	33,1	35,4	27,6	22	14,6	10,9
	T Min	3,5	6	6,5	6,8	14	20,6	21,5	24,3	17,2	13,1	8,9	5,2
	T Moy	6,9	5,9	10,2	10,8	19	26,1	27,3	29,85	22,4	17,6	11,8	8,1

[276]

En 2009, le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de 28.9°C., une température maximale de 34.2°C., et une température minimale de 23.6°C. Le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de 5.4°C., une température maximale de 7.5°C., et une température minimale de 3.3°C (Tab. 3.1). Il est à souligner que la valeur thermique mensuelle moyenne la plus forte et la plus faible est signalée en 2009. Pour l'année 2010, juillet et août présentent les deux mois les plus chauds avec respectivement 27.9°C, et 26.5°C, et janvier représente le mois le plus froid avec une température moyenne de 6.9°C. Quant à l'année 2011, le mois d'août note une température moyenne élevée avec 27.8°C. et la valeur la plus faible est signalée au mois de février avec 6.9°C. Même pour l'année 2012, on retrouve le mois d'août qui enregistre la valeur la plus élevée en température moyenne avec 29.9°C et le mois de février qui note la valeur la plus basse avec 5.9°C. (Tab. 3.1).

3.2.2.2. Répartition des précipitations

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale [275]. Selon Dreux [274], les animaux terrestres ont tous besoin d'une alimentation en eau pour compenser les pertes inévitables dues à la transpiration et à l'excrétion.

Et les exigences en humidité des espèces animales sont très variables et peuvent être différentes suivant les stades de leur développement et suivant les fonctions vitales envisagées. Dans le même sens, Dajoz [277], écrit qu'elle exerce son influence sur la vitesse de développement des animaux, sur leurs répartitions dans les biotopes et sur la densité de leurs populations. Et la pluviométrie est la hauteur annuelle des précipitations en un lieu, exprimée en centimètres ou en millimètres [274]. Le tableau3.2 regroupe les hauteurs mensuelles des précipitations de la région de Médéa.

Tableau3.2: Pluviométrie mensuelle des années allant de 2009 à 2012.

	Mois												Annuel
	Jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aout	sept	oct	nov	dec	
2009	181	25	76	126	45,8	0	8,6	6,6	86	17,6	85	92	750,3
2010	82	147	85	35	60,1	9,2	0	19	23	105	131	78	773,2
2011	92	164	71	144	120	24	4,2	7	3	58,3	150	65	902,2
2012	47	212	125	165	25,6	2,9	2,5	3,5	9,8	54,5	129	21	795,9

[276]

Le tableau 3.2, regroupe les hauteurs mensuelles des précipitations dans la station météorologique de Médéa. On remarque une grande variabilité des précipitations entre les mois et entre les années. Le maximum de précipitation a été enregistré au cours de l'année 2011 avec 902.2 mm (Tableau 3.2) et le minimum annuel est de 750.3 mm est noté en 2009. En effet le régime de précipitations est de type méditerranéen avec un minimum en été. En général, les mois les plus secs sont juin, juillet, et août pour les quatre années considérés. Durant l'année 2009, la quantité de pluie la plus importante est de 181mm enregistrée en mois de janvier, et la plus faible est de 0mm notée au mois de juin. En 2010, le mois le plus pluvieux est novembre avec 131mm de pluie, et une baisse hauteur de pluie a été enregistrée durant le mois de juillet avec 0mm. Alors que pour l'année 2011, c'est l'année la plus pluvieuse par rapport aux deux précédentes. La valeur la plus élevée est marqué en mois de février avec 164mm et la plus basse est notée pendant le mois d'août avec 3mm. Quant à l'année 2012, le mois de février est noté comme le mois le plus pluvieux avec 212mm, et juin est le mois ou la valeur de précipitation la plus basse avec 2.5mm (Tableau 3.2).

3.2.3. Synthèse climatique

Afin de classer la région d'étude parmi les divers types de climats, les deux variables climatiques, températures et pluviométrie sont utilisés pour tracer les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausсен et le quotient pluviométrique d'Emberger.

3.2.3.1. Diagrammes ombrothermique de GAUSSEN

D'après DAJOZ [277], Gausсен considère que la sécheresse s'établit lorsque les précipitations totales exprimées en millimètres sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degrés Celsius ($T=2P$). Le diagramme ombrothermique pour l'année 2009, montre que cette dernière note deux périodes humides entre coupées par une période sèche. La première période humide s'étend du mois de janvier à la mi-mai, suivie par la première période sèche allant de mi-mai jusqu'au fin août et par une deuxième période humide du mois de septembre jusqu'au fin décembre, cette dernière est interrompue par une deuxième période sèche au mois d'octobre (Figure3.2). Alors que pour l'année 2010, elle a connu une période sèche assez courte et dure que quatre mois débutant par la fin du mois de mai, juin, juillet, août jusqu'au fin de septembre (Figure3.2). Quant à l'année 2011, la période humide s'étend sur deux phases, de janvier au début de juin, et de début du mois d'octobre jusqu'au fin de mois de décembre. Alors que la période sèche de l'année 2012, elle était plus importante, commençant par le début de mai jusqu'au début du mois d'octobre (Figure3.2). Le diagramme ombrothermique de Médéa de 1995 à 2012 est caractérisé par l'existence d'une période humide assez importante allant de janvier jusqu'au fin du mois de mai, et du début d'octobre jusqu'au fin de décembre. Cette période pluvieuse est interrompue de fin de mai jusqu'au fin du mois d'août indiquant la période sèche (Tableau 3.3.) (Figure3.3).

Tableau 3.3: Températures et pluviométrie moyennes mensuelles de la région de Médéa durant la période 1995-2012.

	Mois												Annuel
	Jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aout	sept	oct	nov	dec	
T.Min.(°C)	4,1	4,7	6,9	8,6	13,1	18,1	11,3	11,1	16,6	13,5	7,9	5,1	11,7
T.Max.(°C)	9,1	10,1	13,5	15,8	11,1	17,6	31,5	30,8	15,1	10,7	13,3	9,5	19
T.moy.(°C)	6,6	7,4	10,2	12,2	12,1	17,85	21,4	20,95	15,85	12,1	10,6	7,3	15,35
P. moy. (mm)	84,9	156	98	131	67,7	11,8	4,06	7,03	17,5	44,3	87,6	51,3	773,6

[276]

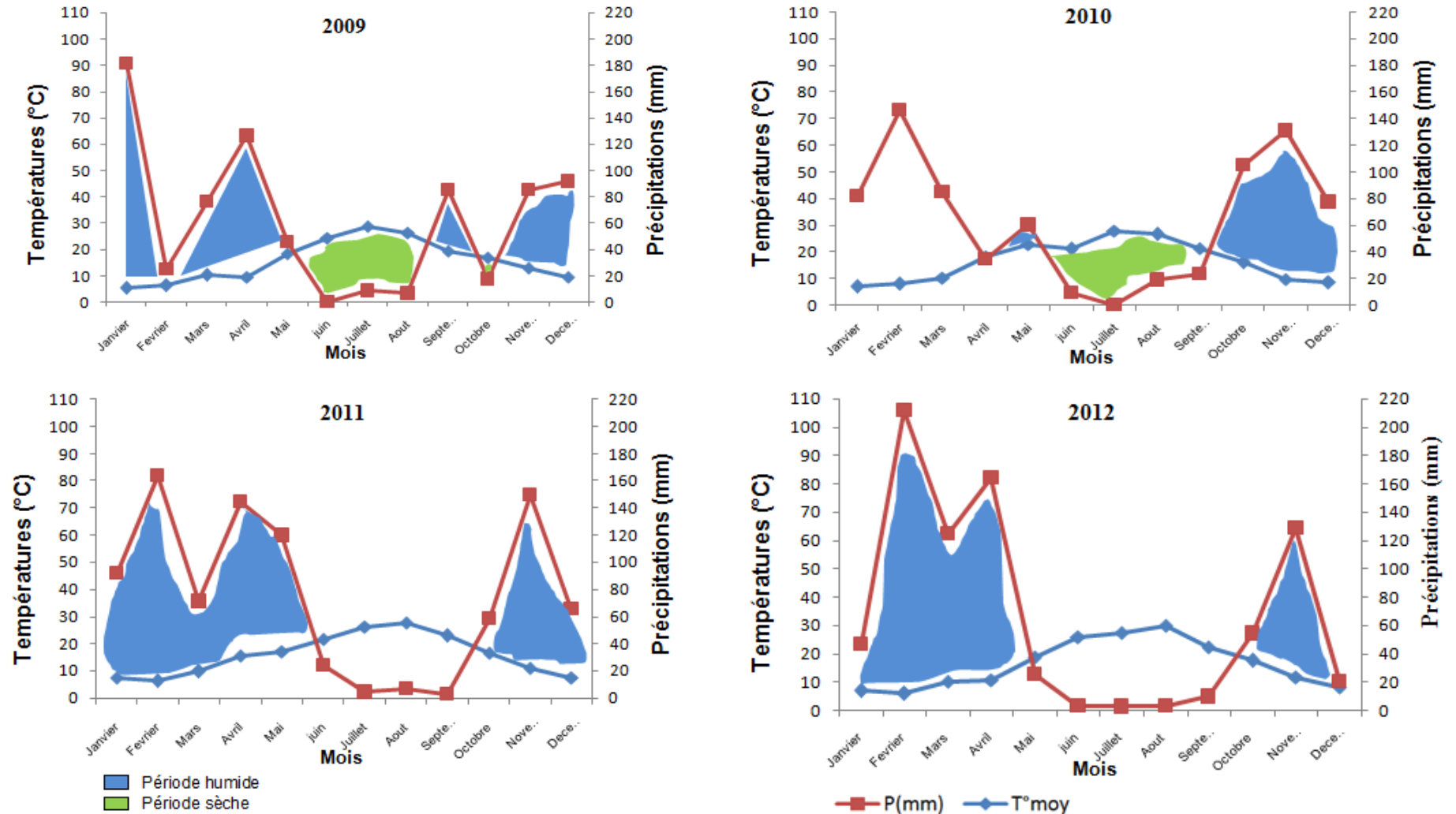


Figure3.2.: Diagrammes ombrothermiques de la région de Média durant les quatre années d'étude.

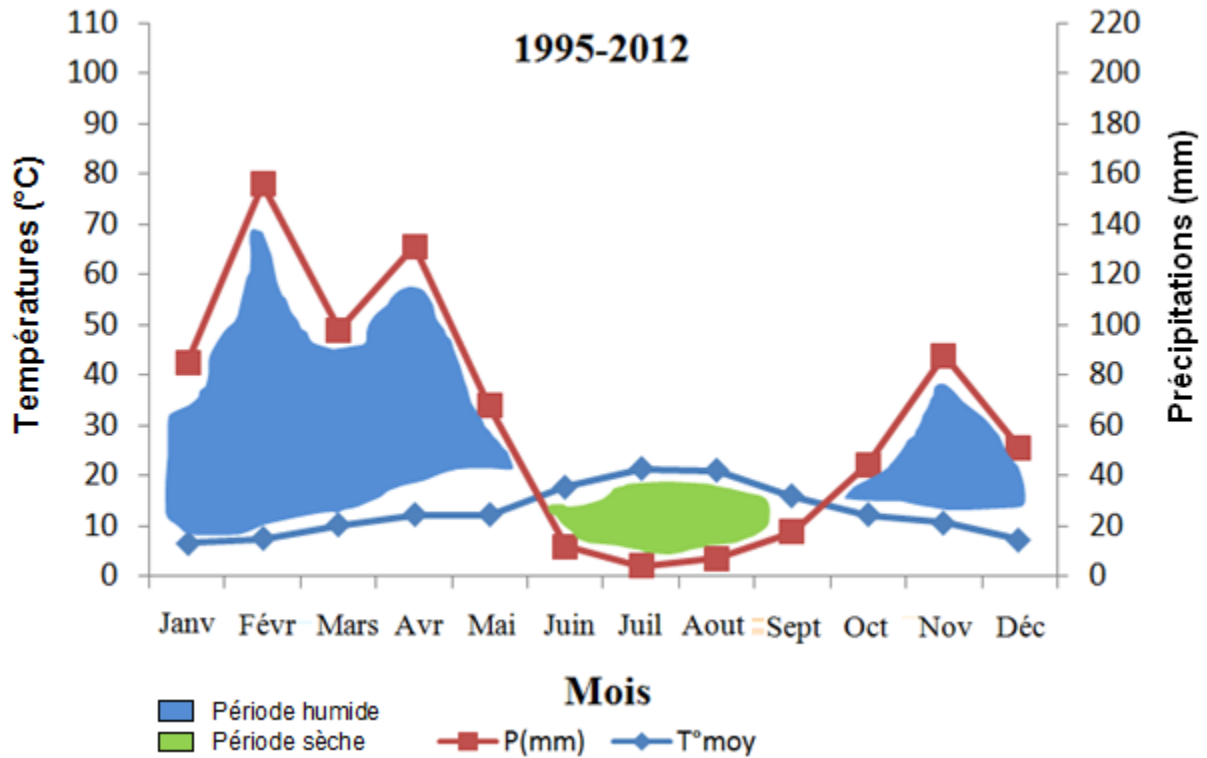


Figure 3.3.: Diagrammes ombrothermiques de la région de Médéa durant la période 1995-2012.

3.2.3.2. Climagramme d'Emberger

Pour identifier le climat de la région de Médéa, nous avons fait appel au quotient pluviométrique d'Emberger qui se base sur le régime des précipitations et des températures. Le coefficient pluviométrique d'Emberger est calculé selon la formule adaptée par Stewart [278].

$$Q_2 = 3,43[P / (M - m)].$$

P : Pluviométrie annuelle exprimée en mm.

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en °C.

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en °C.

En reportant la valeur du Q_2 (87,48) dans le climagramme d'Emberger, il en ressort que la région de Médéa présente un climat méditerranéen avec une variante sub-humide à hiver doux (Figure. 3.4).

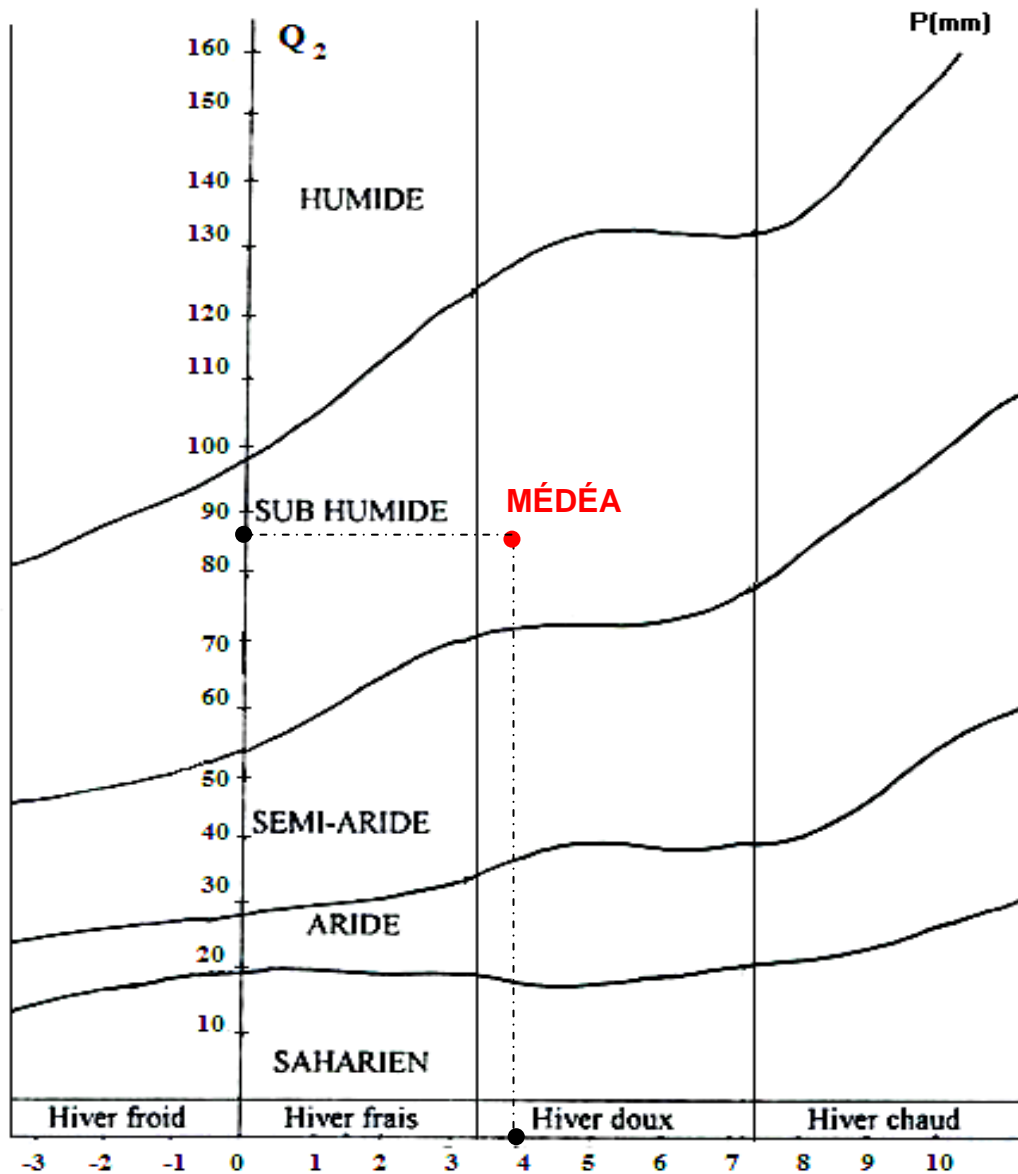


Figure 3.4: Localisation de la région de Médéa dans le Climagramme d'Emberger

3.3. Présentation et description de la zone d'étude

L'étude touchant l'effet de la qualité chimique de la plante hôte sur le comportement de *C. tenebrionis* a lieu dans les vergers de Rosacées, parmi les plus représentatifs de la région de Médéa, particulièrement à la commune de Benchicao.

La commune de Benchicao se situe à 2°51' de longitude et 36°12' de latitude nord. Elle présente des altitudes atteignant parfois 1175 m, caractérisé par des pentes de grandes lignes, de crêtes formant ainsi plusieurs dépressions. Elle est limitée par : la commune de Ouzera au nord, la commune d'Ouled-Brahim à l'est, Tizi el mahdi et Si Mahjoub à l'ouest et nord-ouest et Berrouaghia au sud. Les sols de la commune sont caractérisés par les flancs marneux ou schisteux qui ont des dépressions très prononcées. D'après la Délégation Communale de Vulgarisation (D.C.V.) de la subdivision agricole d'Ouzera, les sols de la région de Benchicao sont généralement de type argileux-limoneux [279]. Ce même auteur ajoute que le couvert végétal s'étend sur les zones montagneuses qui sont dépourvues de terres à hautes potentialités agricoles. On peut diviser le territoire communal en trois zones selon la végétation existante qui dépend principalement de la constitution géomorphologique du sol. La forêt occupe la partie nord et centrale de la commune. Elle se compose principalement des essences suivantes : le cèdre, le chêne vert, le pin d'Alep.... etc. Les maquis couvrent la partie sud et centrale de la commune avec une superficie assez importante. La vocation primordiale de la région de Benchicao est essentiellement la viticulture et l'arboriculture fruitière. L'arboriculture fruitière occupe une superficie de 1581ha. Elle est constituée par des espèces rustiques

Situé dans un lieu dit Haouch Chanas, Celui ci appartient à la ferme pilote de Si Hmamou. Il est situé au sud ouest de la commune de Benchicao à une distance de 5 km du chef lieu de la commune. Plantée en 2001, les deux parcelles d'étude comportent respectivement une plantation de prunier (*Prunus domestica*) et une plantation de cerisier (*Prunus cerasus*), ayant étaient choisies au hasard, parmi 6 unités de parcelles découpées suivant la nature de leur sol (Tableau 3.4) et (Figure. 3.5).

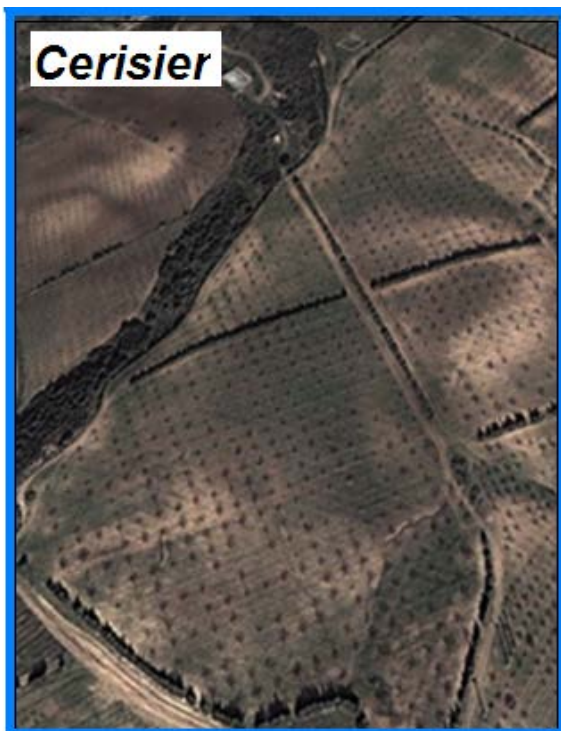


Figure 3.5: Localisation des parcelles expérimentales dans la station d'étude [279]

Les deux parcelles ont reçu au courant de la campagne agricole 2009-2010, une série de traitements phytosanitaires visant à contrôler une gamme diversifiée de bioagresseurs excepté *Capnodis tenebrionis* (Tableau 3.5).

Tableau 3.5: Pesticides utilisés à la ferme pilote en arboriculture fruitière pour l'année 2012

Pesticides	Matière active	Déprédateurs ou maladies
Pirimor	Pyrimicarbe	-Pucerons
Pelt 44 et Kuik	Thiophanate Méthyle et Méthomyl	- Carpocapse -Pucerons -Tavelure
Ultracide	Méthidathion	-Carpocapse -Pucerons -Mineuses
Karaté	Lambda- Cyhalotrine	-Carpocapse -Pucerons
Superyan40 EC	Méthidathion	-Pucerons et cochenilles

[280]

3.4. Matériel et méthodes d'études

Pour une meilleure évaluation des interactions existante entre *Capnodis tenebrionis* et son support nourricier, un schéma directeur a été établi pour élucider les canaux de recherches posés dans cette étude, incluant l'ensemble des paramètres supposés influencer la relation plantes hôtes / bioagresseur (Figure.3.6).

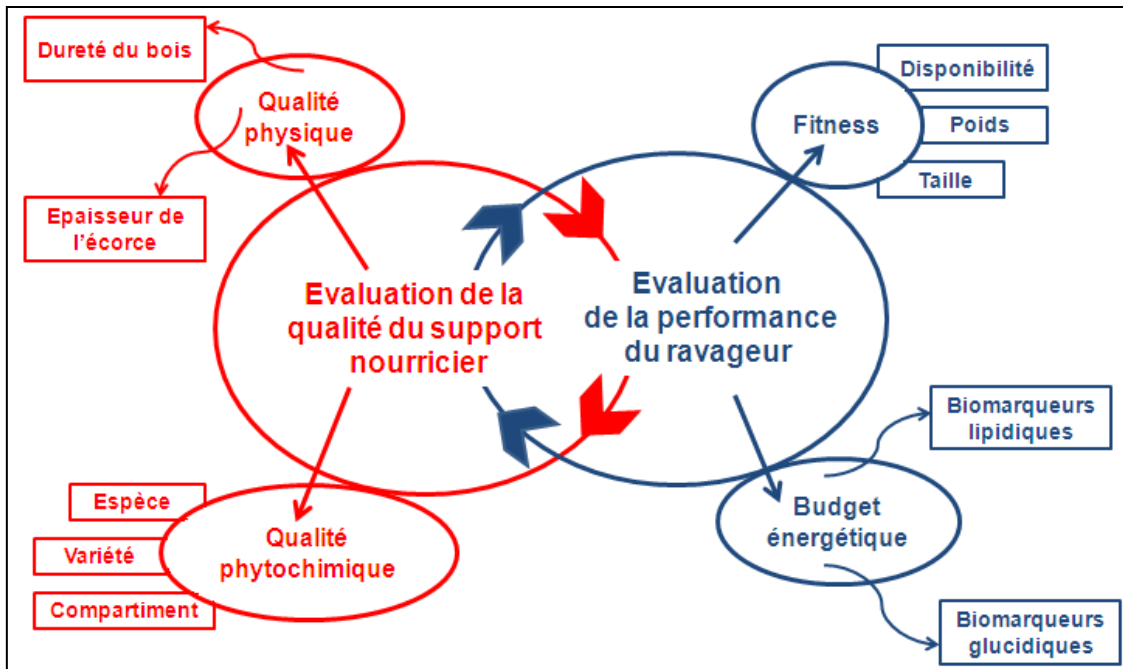


Figure 3.6 : Schéma hypothétiques de la stratégie adaptative de *Capnodis tenebrionis* en fonction de ses plantes hôtes

3.4.1. Matériel d'étude

La collecte des différentes formes biologiques ainsi que le matériel végétal destiné pour l'étude des différents aspects traités dans cette thèse sont réalisés sur des arbres de *Prunus* présentant la présence du ravageur *C. tenebrionis*, reconnus par des caractères symptomatologiques distincts. L'arbre est ainsi identifié par l'observation d'exsudations gommeuses sur les différentes parties du bois.

Arbre partiellement miné, extériorisant des défoliations des extrémités des branchettes, un flétrissement du feuillage et un dessèchement partiel de l'arbre (Figure. 3.7 a), quelques perforations au niveau des branches et des bourgeons souvent accompagnées d'exsudations gommeuses (Figure. 3.7 c)

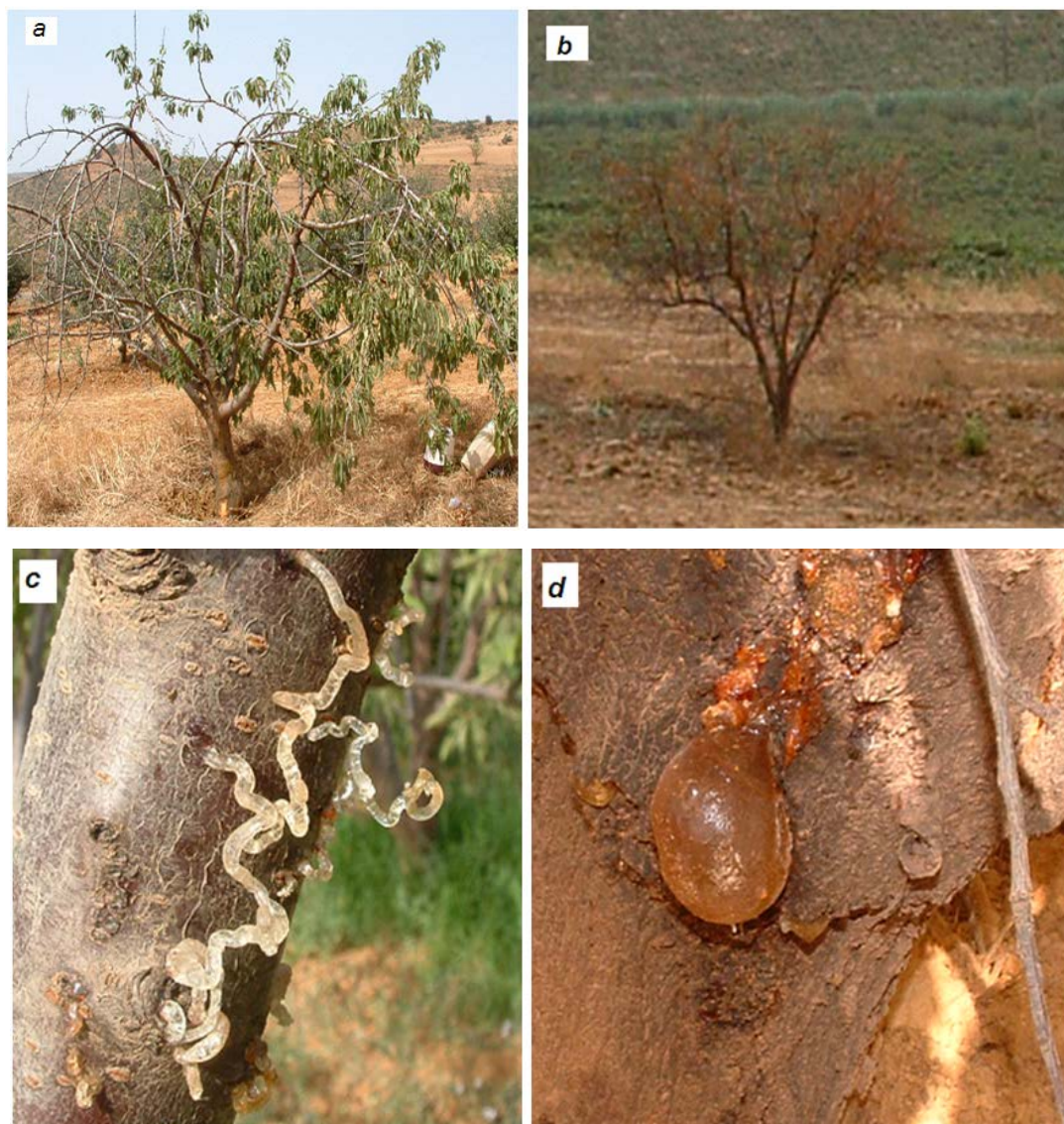


Figure 3.7: Symptômes d'un arbre attaqué par *Capnodis tenebrionis* (Original, 2005)

a: Partiellement miné; **b:** Totalement miné ;
c: Résine sur rameaux, **d:** Résine sur tronc.

- **Arbre totalement miné**, manifestant une production outrée d'exsudations gommeuses particulièrement au bas du tronc, parfois au niveau des perforations des branches (Figure. 3.7 d), les arbres sont complètement morts (cas fréquents chez les jeunes arbres) (Figure. 3.7a et 3.8a). Les symptômes interne visible au niveau des collets et des racines (0 cm jusqu'à 50 cm), sous forme de galeries sinueuses, remplies d'une fine sciure marron indiquant la présence de larves, tandis que les galeries noirâtres, indiquent la sortie de l'imago (Figure. 3.8b et c).



Figure 3.8: Symptômes d'un arbre totalement miné (Original, 2010)

a: Arrachage d'un arbre totalement miné
b : Collet infesté

3.4.2. Méthodes d'étude

3.4.2.1. Objectifs méthodologiques

L'étude de traits de vie de *C. tenebrionis* nous permet de dégager des informations quantitatives et qualitatives en lien avec la stratégie adaptative de ce ravageur, ainsi qu'à l'obtention d'informations pouvant être reliée aux caractéristiques du support nourricier afin de pouvoir établir une meilleure gestion phytosanitaire de ce fléau.

3.4.2.2. Étude du cycle de vie et de la succession temporelle des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur deux plantes hôtes de *Prunus* (L., 1753) (*Prunus cerasus* et *Prunus domestica*)

3.4.2.2.1. Principe et Objectif

L'objectif de cette étude est d'étudier la performance métabolique des larves *Capnodis* en relation avec la qualité phytochimique de deux plantes hôtes de *Prunus*. L'ordre d'arrivée écologique des formes biologiques de *C. tenebrionis* est estimé pour évaluer l'incidence du support nourricier sur l'accomplissement du cycle de vie.

3.4.2.2.2. Estimation des abondances des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis*

Nos prélèvements visant les formes biologiques du Capnode noir (Larves, Nymphes et Adultes) ont été réalisés au niveau de la région de Benchicao durant la période expérimentale qui s'est étalée du mois de juillet 2009 jusqu'au mois de décembre 2009, à raison de deux sorties/mois, soit 12 sorties sur le terrain dont au total 128 arbres comportant les symptômes caractéristique des attaques du Bupreste *C. tenebrionis* ont été prospectés.

Une fois l'arbre hôte détecté, nous avons creusé tout autour du collet jusqu'aux racines, puis à l'aide d'un marteau et d'un burin, nous avons enlevé l'écorce pour mettre les racines à découvert avec la plus grande attention pour ne pas abîmer les individus *Capnodis*. Les larves et les nymphes découvertes sont ramassées tantôt à la main, tantôt à l'aide d'une pince à préhension. Concernant les adultes, une chasse à la vue est opérée suivie par un ramassage des spécimens disponibles sur l'arbre prospecté. Le matériel animal échantillonné est mis au laboratoire dans des boites de pétris pour mensuration et analyse.

3.4.2.2.3. Estimation de la qualité phytochimique des deux *Prunus*

Dans le but d'estimer la valeur nutritionnelle du bois de *P. domestica* et *Prunus cerasus*, des fragments de 10 cm² du tronc des *Prunus* ont été prélevés au niveau de l'aubier (zone nourricière par excellence) durant chaque sortie. Le matériel végétal échantillonné est mis dans des sacs en papier. Après séchage à l'air libre et à une température ambiante, les échantillons sont réduits en poudre à l'aide d'un broyeur à hélice (Brand) pour d'éventuelles analyses.

3.4.2.2.3.1. Extraction et dosage de la cellulose et de l'hémicellulose

Pour l'extraction de la cellulose et des hémicelluloses, on a choisi le protocole de Chanda et *al.* [281]. Pour cela, 5g de résidu pariétal délignifié sont introduits dans un Erlen contenant 100ml de NaOH à 4% et mis sous agitation pendant 14 heures. Après filtration sur toile à blüter, le résidu est lavé avec de l'eau distillée puis avec l'acétone, ensuite séché à l'étuve à 60°C pendant 14 heures et enfin pesé. Cette partie représente la fraction cellulosique. Les deux filtrats obtenus sont neutralisés par l'acide acétique pur, puis précipités dans l'éthanol (1:3) pendant 14 heures.

Après centrifugation à 3600t/min pendant 30 minutes, le culot est lavé avec de l'eau distillée puis avec l'acétone, ensuite séché à l'étuve à 60°C pendant 14 heures et enfin pesé. Cette partie représente la fraction hémicellulosique.

3.4.2.2.3.2. Extraction et dosage de l'azote

Le dosage de l'azote est réalisé par la méthode de Kjeldhal [282], qui consiste à introduire dans un matras l'échantillon végétal sec, de l'acide sulfurique concentré et le catalyseur. Les matras sont soumis à une température de 420°C pour minéralisation. Dès l'apparition d'une solution limpide de la solution mère, on ajoute l'eau distillée pour dissoudre complètement les sulfates, puis on fait passer l'échantillon à la distillation. L'azote libre est récupéré dans un Erlen Meyer contenant 50ml de la solution indicatrice. La matière végétale est attaquée par H₂SO₄ concentré puis mise à l'ébullition en présence du catalyseur, l'azote est transformé

en $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. On distille avec un excès de soude et on titre l'ammoniac entraîné par H_2SO_4 .

La teneur en azote exprime en pour cent est obtenue par la formule:

$$\mathbf{N(\%) = (0,0014 \times V \times 100) / M.}$$

Avec :

V : Le volume de la solution d'acide versée à la burette lors du titrage;

M : La masse en gramme de la prise d'essai.

3.4.2.2.3.3. Extraction et dosage de Lignine

Les échantillons du bois proviennent des deux *Prunus* récoltées en plein champ ; après séchage à l'air libre et à une température ambiante, ils sont réduits en poudre à l'aide d'un micro-broyeur Culatti muni de tamis à trous circulaires de 0,7 mm de diamètre. La poudre est ensuite traitée au Soxhlet de façon exhaustive successivement à l'aide d'un mélange toluène-éthanol (2-1, v/v) puis d'éthanol puis d'eau. Les résidus pariétaux obtenus sont ensuite séchés par lyophilisation et stockés à 4 °C à l'abri de l'humidité.

La lignine standard dite « *sans préhydrolyse* » est estimée suivant le protocole voisin de celui d'Efland [283]. Les prises d'essais de 300 mg, pesées à 0,1 mg près, sont soigneusement dispersées dans l'acide sulfurique 72 p. 100 où elles subissent une hydrolyse acide pendant 2 h à $20^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$. Après dilution par de l'eau jusqu'à une teneur de 5p. 100 en acide sulfurique, le mélange obtenu subit une posthydrolyse par reflux sous ébullition douce et agitations périodiques pendant 3h. Le résidu insoluble, récupéré par centrifugation ou par filtration sur papier en fibre de verre (GFA, WHATMAN) placé sur le verre fritté d'un creuset de GOOCH porosité n° 3, est ensuite lavé jusqu'à neutralité du filtrat par de l'eau désionisée, 4 fois environ 50ml, puis il est séché à l'étuve jusqu'à poids constant puis incinéré à 550°C pendant 3 heures.

La lignine avec « *préhydrolyse acide simple* » est estimée suivant un protocole voisin de celui de Jarrige [284]. Les prises d'essais de 300 mg subissent une préhydrolyse par l'acide sulfurique à 5p. 100 pendant 4h sous reflux. Après retour à température ambiante, les résidus d'hydrolyse sont séparés par filtration sur creuset de GOOCH, porosité 1, couvert d'un papier en fibre de verre GFA (WHATMAN) en aspirant lentement sous vide. Le résidu de préhydrolyse resté sur le filtre, lavé 4 fois après remise en suspension par environ 50 ml d'eau désionisée est ensuite séché jusqu'à poids constant à 105°C. Le résidu sec, appelé lignocellulose, subit le protocole d'analyse standard « sans préhydrolyse » décrit plus haut donnant la lignine « avec simple préhydrolyse ».

La lignine « *avec préhydrolyse et lavage* » est estimée selon un protocole dérivé du précédent. La préhydrolyse et la filtration du résidu de préhydrolyse sont faites comme précédemment, mais le résidu est laissé humide sur filtre. Il est alors immédiatement dispersé par simple agitation dans 25 ml d'acide chlorhydrique fumant. La suspension, laissée à une température ambiante, est mise sous agitation lente pendant 15 mn puis elle est diluée par 25 ml d'eau et filtrée. Le résidu de préhydrolyse ainsi traité est lavé successivement par 100 ml d'eau, d'éthanol puis d'éther éthylique, il est enfin séché à 105°C. Après pesée, la lignocellulose obtenue subit le protocole d'analyse standard sans préhydrolyse décrit plus haut, donnant la lignine « avec préhydrolyse et lavage ». Lors du prétraitement par hydrolyse enzymatique selon Ellis et *al.*, [285], l'hydrolyse pepsique est faite à 37°C pendant 24h dans l'acide chlorhydrique 0,1 N sous agitation douce ; après lavage sur filtre, la teneur en lignine du résidu de cette préhydrolyse est déterminée par dosage avec préhydrolyse simple.

3.4.2.2.3.4. Extraction et dosage des protéines totales

Deux méthodes ont été utilisées pour l'extraction et le dosage des protéines totales. La méthode proposée par Bradford [286] pour le dosage des protéines solubles et celle d'Ammar et *al.* [287], pour le dosage des protéines hydrosolubles. Ainsi, 3g de matière fraîche foliaire préalablement broyée sont mis dans 5 ml de tampon phosphate (pH=7) contenant du polyvinilpyrrolidone.

La précipitation est facilitée par une centrifugation pendant 15 min à 4500 tr/min à -4°C . Le surnageant contenant les protéines pariétales est récupéré dans un autre tube et le culot est dissout dans 5 ml d'eau distillée et à nouveau centrifugé pour éliminer les résidus du tampon phosphate. Le culot est récupéré et redissout dans une solution de tampon phosphate + KCl (pH=7) et à nouveau centrifugé. Le surnageant résultant contenant les protéines cytoplasmiques est récupéré pour le dosage de ces dernières. Les valeurs d'absorbance obtenues par le biais d'un spectrophotomètre ($\lambda=595$) permettent ensuite de calculer la concentration initiale de protéines contenus dans les échantillons au moyen d'une courbe standard effectuée avec une protéine de référence (Ovalbumine) de manière à réaliser une série de dilutions afin d'obtenir les concentrations suivantes de protéines : 0,5, 0,25, 0,12, 0,062, 0,031, 0,016 et 0,0078 (mg/ml).

Les concentrations en protéines de chaque échantillon sont calculées à partir de la courbe d'étalonnage obtenues, à l'aide de l'équation $Y = 0,0010 X$ (Y : Absorbance (nm), X : Concentration de S.B.A. (mg/ml.))

Les teneurs en protéines sont obtenues par la formule suivante :

$\text{Teneur en protéines (mg/g M.F)} = \frac{\text{Quantité de la protéine (mg)} \times 200^*}{\text{Poids d'échantillon}}$ <p style="text-align: left; margin-top: 5px;">* Facteur de dilution</p>

3.4.2.2.3.5. Extraction et dosage des polyphénols

Lebreton *et al.* [288] préconisent après le broyage du matériel végétal sec une hydrolyse à l'HCl (2N) dans un bain marie bouillant pendant 40 minutes avec insufflation d'air toutes les 10 minutes, l'oxygène permettant l'oxydation des proanthocyanidine en anthocyanidine correspondantes ; après refroidissement de l'hydrolysate, on extrait dans une ampoule à décanter à deux reprises par l'éther diéthylique, les aglycones flavoniques.

La phase aqueuse (phase inférieure) de couleur rouge orange selon les échantillons contient les anthocyanes, nous mesurons son volume total puis nous dosons ces substances à 540 nm. L'épiphase étherée (phase supérieure) récupérée est traitée un peu plus tard. La phase qui contient les anthocyanes est ensuite reprise au n-butanol, la phase butanolique (phase supérieure) obtenue est de nouveau concentrée à deux reprises par de l'HCl (2N), elle contient les C-glycosyl-flavones. Une fois le volume des C-glycosyl-flavones mesuré, nous procédons au dosage de ces composés à 365 nm. La teneur des C-glycosides, et des anthocyanes sont calculés par la même formule

$$T(\text{mg} / \text{g}) = \eta \cdot \frac{DO}{\varepsilon} \cdot M \cdot V \cdot \frac{d}{p}$$

En utilisant les constantes suivantes pour les anthocyanes :

DO : densité optique à 540 nm

η : facteur correctif qui tient compte du rendement de transformation des proanthocyanes en anthocyanes et qui égal à 6

ε : coefficient d'absorption molaire égal à 34 700

M: masse molaire de la Procyanidine égale à 306 g

V: volume de la phase aqueuse mesuré après hydrolyse

d : facteur de dilution

P: poids sec du matériel végétal égal à 0.5 g

T: teneur absolue des anthocyanes en mg/ g de matière végétale sèche.

Et les constantes ci après pour les C- glycosides :

DO : densité optique à la longueur d'onde égale à 365 nm

ε : coefficient d'absorption molaire égal à 18 850

M : masse molaire d'un C-glycoside égal à 448 g

V : volume de la phase butanolique mesurée après concentration à l'HCl (2N)

d : facteur de dilution

p : poids sec du matériel végétal égal à 0.5 g

T : teneur absolue exprimée en mg / g de matière végétale sèche.

3.4.2.2.4. Estimation des réserves lipidiques des individus *Capnodis*

L'extraction et la quantification des réserves lipidiques ont été réalisées à partir des individus échantillonnés selon la méthode de Van Brummelen et Suijzand [289]. Selon ces auteurs, les lipides étant les macromolécules les plus hydrophobes (caractéristique chimique unique des lipides), ils peuvent être extraits sélectivement au moyen de solvants organiques.

Un mélange monophasique 1:2:0,8 (chloroforme : méthanol : eau bidistillée) est versé dans les tubes contenant les pucerons et est utilisé comme solution d'extraction. Les tubes sont ensuite mis à centrifuger pendant 5 minutes à (14772 tours/min) pour agiter le tout, puis on rajoute du chloroforme dans chaque tube, ce qui induit à la séparation du mélange en deux phases. L'opération de séparation des lipides est répétée à nouveau deux fois avec du chloroforme et ces solutions de chloroforme contenant les lipides sont récupérées et mises en commun, puis séchées sur sulfate de sodium. Les lipides sont récupérés après rinçage du sulfate de sodium avec du chloroforme. Chaque tube en verre est alors mis à évaporer à sec. On rajoute ensuite de l'acide sulfurique dans chaque tube que l'on met à chauffer pendant 10 min à 100°C. On laisse refroidir les échantillons jusqu'à ce qu'ils atteignent la température ambiante, et on rajoute le réactif vanilline dans chaque échantillon. La solution prend alors une couleur rose, et on lit la densité optique à 540nm au bout de 10 minutes. Le blanc est obtenu à partir d'une série de concentrations du cholestérol mélangé à l'acide sulfurique et au réactif de vanilline (Tableau 3.6).

Tableau 3.6 : Courbe standard de cholestérol

Solution mère (ml)	Quantité de cholestérol (µg/ml)	Concentration du cholestérol (µg/ml)	Absorbance à 540 nm
5,60	280	100	2,4993
2,80	140	50	1,3265
1,40	70	25	0,7262
0,70	35	12,50	0,3484
0,35	17,50	6,25	0,2106
0,17	8,75	3,12	0,1221

[289]

3.4.2.3 Principe de choix alimentaire chez les adultes *Capnodis tenebrionis* entre deux espèces de *Prunus* (*Prunus cerasus* et *Prunus domestica*)

3.4.2.3.1. Principe et Objectif

L'étude se propose d'évaluer l'incidence des molécules énergétiques et anti-appétantes (sucres totaux et tanins condensés) du pétiole et du limbe de *P. domestica* et *P. cerasus* sur l'évolution temporelle du conditionnement des adultes *Capnodis*

3.4.2.3.2. Estimation de l'abondance, longueur, et poids des adultes

Capnodis tenebrionis

Le matériel biologique destiné à notre essai a été limité aux adultes *Capnodis* en plus des échantillons d'organe végétal ciblé par l'insecte, représentés par les deux compartiments foliaire (limbe et pétiole). De nombreuses méthodes d'inventaire de la faune circulante ont été développées mais souvent pour répondre à des contraintes d'études très précises si bien qu'il n'existe pas de méthode « unique ». Une approche classique pour l'inventaire de la faune circulante consiste à utiliser le transect linéaire à surface (strip surveying). Cette méthode fournit un inventaire de bonne qualité ainsi que des informations spatialisées

Le principe de fonctionnement du transect linéaire à surface fixe se rapproche du transect linéaire, méthode efficace et simple [290]. En revanche, le transect linéaire à surface fixe présente le défaut de ne balayer qu'une surface réduite (20m) et en conséquence de surestimer l'abondance par hectare des arbres atteints (placées en parties hors du champ du transect). Pour corriger cet effet, nous avons choisi d'augmenter l'aire du transect par l'ajout des aires délimitées par les projections orthogonales des troncs sur le sol. Seuls les arbres dont l'âge est supérieur à 7 ans et gisant au sol sont inclus dans l'estimation. Les évaluations effectuées en baissant cette limite d'âge et/ou en ajoutant les autres catégories d'âges ont montré que les surfaces correspondantes sont négligeables par rapport à la surface du transect. L'usage prioritaire dans les analyses, de nombre d'éléments permet également de réduire le biais de la conversion à l'hectare [291].

La longueur des transects doit être fixée de manière à obtenir une surface d'inventaire suffisante tout en restant à l'intérieur d'un secteur homogène. Nous avons donc retenu, dans les secteurs les plus hétérogènes, des transects relativement courts (100m) disposés en croix orthogonale de 4 transects. Dans les parcelles homogènes sur de plus grandes surfaces, les transects sont parallèles et de plus grande longueur (250m), espacés entre eux de 100m. Ils sont alors orientés dans le sens de la pente ou parallèlement aux courbes de niveau selon la configuration topographique du terrain [292]

Les prélèvements d'adultes *Capnodis* ainsi que les feuilles avec pétioles ont été réalisés respectivement sur les arbres de *Prunus domestica* et *Prunus cerasus* obtenus par le biais des transects établis dans les deux vergers. Les investigations se sont étalées sur 5 mois (mai 2010 - septembre 2010), à raison de deux sorties/mois. Le matériel animal (femelles et males *Capnodis*) prélevé durant chaque sortie, est trié selon le sexe. Chaque individu est pesé grâce à une balance d'exactitude (Princeton Instruments, Model YP402N), et leurs longueurs sont estimées par un pied à coulisse numérique (Modele kenwood triblade série hb724 kw7), puis conservé à -20°C pour des analyses ultérieures, alors que le matériel végétal (feuilles et pétioles) prélevé est conservé à -20°C pour des analyses phytochimiques.

3.4.2.3.3. Estimation de la qualité phytochimique des deux *Prunus*

3.4.2.3.3.1. Extraction et dosage des sucres totaux

Les sucres solubles sont extraits en accord avec la méthode modifiée de Babu et *al.* [293]. Pour cette extraction, on broie 0,2 gramme de matière fraîche foliaire dans un mortier en présence de 1 ml d'éthanol 80 % que l'on introduit par la suite dans des tubes adéquats à la centrifugation. L'on ajuste les poids de ces tubes à l'aide du sable fin de polyvinylpyrrolidone K90 et on les introduit dans la centrifugeuse ; la centrifugation est faite à 2000 tr pendant 40 mn. Après écoulement des 40 mn, le surnageant de la centrifugation recueilli qui constitue l'extrait alcoolique brut, est mis dans des tubes éppendorfs que l'on conserve par la suite à froid. Il importe également de noter que la centrifugation s'est faite dans la chambre froide et ceci, pour éviter la dénaturation des enzymes.

Les sucres totaux solubles sont dosés par la méthode de Dubois et *al.* [294]. Pour le dosage, 50 µl d'extrait sont additionnés à 0,5 ml de phénol et à 1,5 ml de solution d'acide sulfurique (H₂SO₄). Le mélange est chauffé au bain marie à 100°C pendant 5 mn. Après refroidissement dans la glace fondante, la densité optique est mesurée à 485 nm contre un blanc dans lequel 50 µl d'alcool 80 % remplace l'extrait brut. Un étalon est construit grâce à une gamme (0 à 1mg/mol) de concentration d'une solution mère de glucose 1 mg/mol. Les valeurs obtenues sont reportées sur la

gamme étalon, à l'aide de l'équation $Y = 0,737X$ (Y: Absorbance (nm), X: Concentration de glucose (mg/ml.)

Les teneurs sont exprimées en mg/g de matière fraîche. La formule est la suivante :

$$\text{Teneur en sucres totaux solubles (mg/g M.F)} = \frac{\Delta DO_x \times V_{\text{alcool}}}{a \times V_{\text{extrait}} \times \text{PF}}$$

a: Coefficient directeur de la droite d'étalonnage ;

V_{alcool} : Volume d'alcool en ml ;

V_{extrait} : Volume d'extrait en μl ;

PF : Poids frais du matériel végétal utilisé en g

ΔDO_x : Variation de la densité optique

3.4.2.3.3.2. Extraction et dosage des tanins condensés

L'extraction et le dosage des tanins condensés ont été réalisés par la méthode de Price *et al.* [295]. Une double extraction est réalisée par un mélange d'acétone et d'eau distillée (7:3) et de la poudre végétale finement broyée. Le filtrat obtenu est évaporé sous pression réduite jusqu'à dessiccation. Les résidus secs sont humectés par 5 ml de méthanol chaud. Un mélange de tanins méthanolique et de solution vanilline-Hcl (1:5) est chauffé au bain marie pendant 20 min à 30°C, puis l'absorbance est lu à 535 nm. Le blanc est obtenu à partir d'une série (0 à 1mg/mol) de concentration d'une solution mère de concentrations de catéchol mélangé à l'eau distillée (1mg/mol). Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation $Y = 0,5595 X$ (Y: Absorbance (nm), X: Concentration de Catéchol (mg/ml.) Les teneurs sont exprimées en mg/g de matière fraîche. La formule est la suivante :

$$\text{Teneur en tanins (mg/g M.F)} = \frac{\text{Quantité de tanins}}{\text{Poids d'échantillon}}$$

3.4.2.3.4. Estimation des réserves lipidiques des femelles *Capnodis*

L'extraction et la quantification des réserves lipidiques à partir d'individus femelles *Capnodis* échantillonnées sur les deux plantes hôtes, ont été réalisées selon la méthode de Van Brummelen et Suijzand [289] (voir section 3.4.2.2.4).

3.4.2.4. Effet du stress alimentaire sur la stratégie évolutive des femelles du bupreste noir *Capnodis tenebrionis* traduite par la fluctuation de ses allocations énergétiques.

3.4.2.4.1. Principe et Objectif

L'objectif assigné à cette étude est de comprendre l'allocation du budget énergétique des femelles *Capnodis* évoluant sur des supports nourriciers différents à savoir le pétiole et le limbe de *Prunus domestica* et *Prunus cerasus*

3.4.2.4.2. Estimation de l'abondance, de la longueur, et du poids des femelles *Capnodis*

Selon la méthodologie d'échantillonnage du transect linéaire à surface (strip surveying) décrite dans la section (3.4.2.3.2). Le matériel animal (uniquement les femelles *Capnodis*) et végétale (pétiole et limbe des deux *Prunus*) conservés à -20°C sont repris pour les dosages métabolique et phytochimique.

3.4.2.4.3. Estimation de la qualité phytochimique des deux *Prunus*

3.4.2.4.3.1. Extraction et dosage des sucres totaux

L'extraction et le dosage des sucres totaux ont été réalisés selon la méthode de Babu *et al.* [293] décrite plus haut (voir section 3.4.2.3.3.1).

3.4.2.4.3.2. Extraction et dosage des tanins condensés

L'extraction et le dosage des tanins condensés ont été réalisés selon la méthode de Price *et al.* [295] décrite plus haut (voir section 3.4.2.3.3.2).

3.4.2.4.4. Estimation des réserves lipido-glucidiques des femelles *capnodis*

A partir des individus femelles de *Capnodis* échantillonnées sur les deux plantes hôtes, nous avons quantifié les biomarqueurs lipidiques et les biomarqueurs

glucidiques. L'extraction et la quantification des réserves lipidiques ont été réalisées selon la méthode de Van Brummelen et Suijzand [289] (voir section 3.4.2.2.4).

Concernant l'extraction et la quantification des réserves glucidiques, nous avons eu recours à la méthode de Win Decoen [296]. L'auteur signale que l'extraction et le dosage des sucres chez les insectes se font généralement à partir de l'hémolymphe. Dans notre dosage, du fait de la petite taille des pucerons, les sucres sont extraits à partir des insectes dans leur totalité. Les échantillons sont homogénéisés dans de l'eau bidistillée avec un broyeur, puis de l'acide trichloroacétique (T.C.A. 15%) est ajouté afin de faire précipiter les protéines. La précipitation est facilitée par une centrifugation pendant 10 minutes à 3000 r.p.m. à 4°C. Le surnageant contenant les sucres est récupéré dans un autre tube eppendorf et le culot est redissous dans une solution de T.C.A. 5%. Les échantillons sont à nouveau centrifugés pour précipiter les protéines restantes et le surnageant en résultant est ajouté au surnageant précédent. 250 µl de solution contenant les surnageants sont versés dans un tube eppendorf; auquel sont ajoutés rapidement 250 µl de phénol 5% et 1 ml de H₂SO₄. Le mélange est déposé dans un puit d'une microplaque à la lumière et la température ambiante. L'adsorption des échantillons est mesurée après 30 minutes à 490 nm. Le blanc est obtenu à partir d'une solution mère de glucose à 0,5mg/ml (5 mg de glucose dans 10 ml d'eau distillée), dont on effectue une série de dilutions afin d'obtenir les concentrations suivantes de glucose : 0,5, 0,25, 0,12, 0,062, 0,031, 0,016 et 0,0078 mg/ml.

3.4.2.4. Etude de la disposition des loges larvaires et nymphales de *Capnodis tenebrionis* en relation avec la qualité physicochimique du bois des deux *Prunus* attaqués

3.4.2.4.1. Principe et Objectif

L'étude est basée sur l'évaluation de la variation de l'abondance larvaire et du positionnement des loges nymphale de *Capnodis tenebrionis* en fonction de la qualité physique et phytochimique du greffon et du porte-greffe des *Prunus* cultivé et sauvage

3.4.2.4.2. Estimation de l'abondance des larves et des nymphes *Capnodis*

Les investigations se sont étalées durant la période mai - novembre 2012, coïncidant ainsi avec les grands traits de l'activité biologique du ravageur. A travers les 7 sorties réalisées sur terrain, un total de 70 arbres a été prospecté. Selon la méthodologie d'échantillonnage du transect linéaire à surface (strip surveying) décrite dans la section (3.4.2.3.2), de l'ensemble des arbres totalement miné et contenus dans les transects établis dans les parcelles homogènes et hétérogènes, 5 arbres de *Prunus domestica* et *Prunus cerasus* respectivement résistants et sensibles sont d'écorcés au niveau du Porte greffe et greffon afin d'estimer la disponibilité des larves tout stade confondu et des loges nymphales. Les larves récupérées sur le bois sont conservées à -20C° pour des analyses ultérieurs. Des fragments de bois sont pris entre écorce et liber, qui après séchage et broyage vont être analysés en terme de qualité phytochimique. De plus, des coupes de bois de 10 cm de long sur tronc sont réalisées dans le but de comparer la dureté des deux espèces de *Prunus*.

3.4.2.4.3. Estimation de la qualité phytochimique des deux *Prunus*

3.4.2.4.3.1. Extraction et quantification de la proline

La méthode suivie a été celle de Troll et Lindsley [297], simplifiée et mise au point par Dreiret Goring [298], qui à partir de la matière végétale fraîche mélangée au méthanol est chauffée à 85°C pendant 60 min. Après refroidissement, on a ajouté à l'extrait de l'acide acétique, de la ninhydrine et un mélange d'eau distillée, d'acide acétique et d'acide orthophosphorique (0,4:1:0,26) ; l'ensemble a été porté à ébullition pendant 30 min au bout desquelles, la couleur vire au rouge. Après refroidissement, l'addition du toluène induit à la séparation de la solution en deux phases: la phase supérieure contenant la proline est récupérée. Après addition du Na₂SO₄, on procède à la lecture de l'absorbance à 528 nm. Les valeurs obtenues ont été converties en teneur de proline à partir de la courbe étalon dont la relation est la suivante :

$$Y = 0,1043 X$$

Où

Y : Absorbance (nm)

X : Concentration de L-proline (mg/ml.)

3.4.2.4.3.2. Quantification des protéines totales des *Prunus*

L'extraction et le dosage des protéines totales ont été réalisés selon la méthode de Bradford [286] pour le dosage des protéines solubles et celle d'Ammar *et al.* [287], pour le dosage des protéines hydrosolubles décrites plus haut (voir section 3.4.2.2.3.4).

3.4.2.4.3.3 Quantification des sucres totaux des *Prunus*

L'extraction et le dosage des sucres totaux ont été réalisés selon la méthode de Babu *et al.* [293] décrite plus haut (voir section 3.4.2.3.3.1).

3.4.2.4.4. Analyse physique du bois

Les coupes de bois du Porte greffe et greffon échantillonnées sont soumises à un appareil d'écrasement (Presse hydraulique) afin d'estimer la dureté des différents bois récoltés.

3.4.2.4.4.1. Variation de l'épaisseur de l'écorce (expression de l'importance de l'écorce)

L'importance de l'écorce peut être exprimée en grosseur (diamètre) ou en surface terrière ou encore en volume. Le taux d'écorce dépend évidemment de l'essence, mais aussi d'autres facteurs. En effet, pour une même espèce, l'épaisseur d'écorce n'est pas uniforme le long du fût de l'arbre. De plus, à une même hauteur donnée dans des arbres de la même espèce, l'épaisseur d'écorce est très variable car elle dépend notamment (du diamètre, de la station, de l'altitude, de l'orientation, de facteurs génétiques).

Par le biais du mesureur d'écorce, aussi appelé jauge à écorce (« barkmätare » en suédois), le mesureur d'écorce est composé d'une tige en acier creuse profilée en demi-cercle, ayant une extrémité tranchante et comportant des graduations

millimétriques à l'autre extrémité. La tige coulisse dans un tube terminé par une plaque métallique perpendiculaire à l'axe d'enfoncement. L'appareil doit être tenu perpendiculairement à l'arbre et la tige est enfoncée à travers toute l'écorce. Il est recommandé d'effectuer deux mesures à des endroits diamétralement opposés.

Selon Polge [299], le taux d'écorce est ensuite calculé de la manière suivante:

Soit e l'épaisseur mesurée. Le diamètre sous écorce d_s se déduit du diamètre sur écorce d par la relation suivante :

$$d_s = d - 2.e$$

Le taux d'écorce sera alors déduit en calculant le rapport :

$$d - d_s / d$$

3.4.2.4.4.1. Variation de la dureté du bois entre les deux *Prunus*

Les coupes de bois ont été soumis à un duromètre (scléromètre PCE-HT-225A) afin d'évaluer la dureté du support nourricier du *C. tenebrionis*. Les scléromètres sont utilisés pour déterminer la dureté de surface et sont l'un des instruments les plus répandus dans le domaine des contrôles non destructifs (CND) de la force de compression des structures notamment le béton. L'appareil mesure une empreinte avec une valeur étalon qui après transformation (équations résistance de matériaux) détermine une dureté qui est exprimée en Shore. Les valeurs obtenues déterminent la suprématie de la dureté du bois selon les variétés *Prunus*.

3.4.2.5. Etude comparée de la toxicité de différentes doses d'un insecticide de synthèse à base de Tefluthrine sur les formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* dans les conditions naturelles

3.4.2.5.1. Principe et Objectif

L'objectif de cette étude consistait à déterminer les effets létaux et sublétaux d'une formulation à base de Tefluthrine 0,5% (Pyrethrénoïdes de synthèses) projetée pour être utilisée contre *Capnodis tenebrionis* en plein champ. La toxicité aiguë et les

effets chroniques de ce produit à la dose recommandée et à doses réduites vont être évalués en conditions de plein champ.

3.4.2.5.2. Matériel biologique et produit phytosanitaire

Les différentes formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* évoluant sur *Prunus domestica* et *Prunus cerasus* à la ferme pilote Si Hmamou (Benchicao-Médéa), durant la période juin-août de l'année 2012 ont été soumises à un stress chimique, par application d'une formulation granulée à base de Tefluthrine 0,5%. La formulation est un insecticide neurotrope de la famille des Pyrethrénoïdes de synthèses, il est doté d'une action systémique exceptionnelle : un mouvement ascendant vers les différentes parties de l'arbre en cas d'application racinaire. C'est une matière active préconisée pour lutter efficacement contre les taupins, sur la pomme de terre et la betterave sucrière.

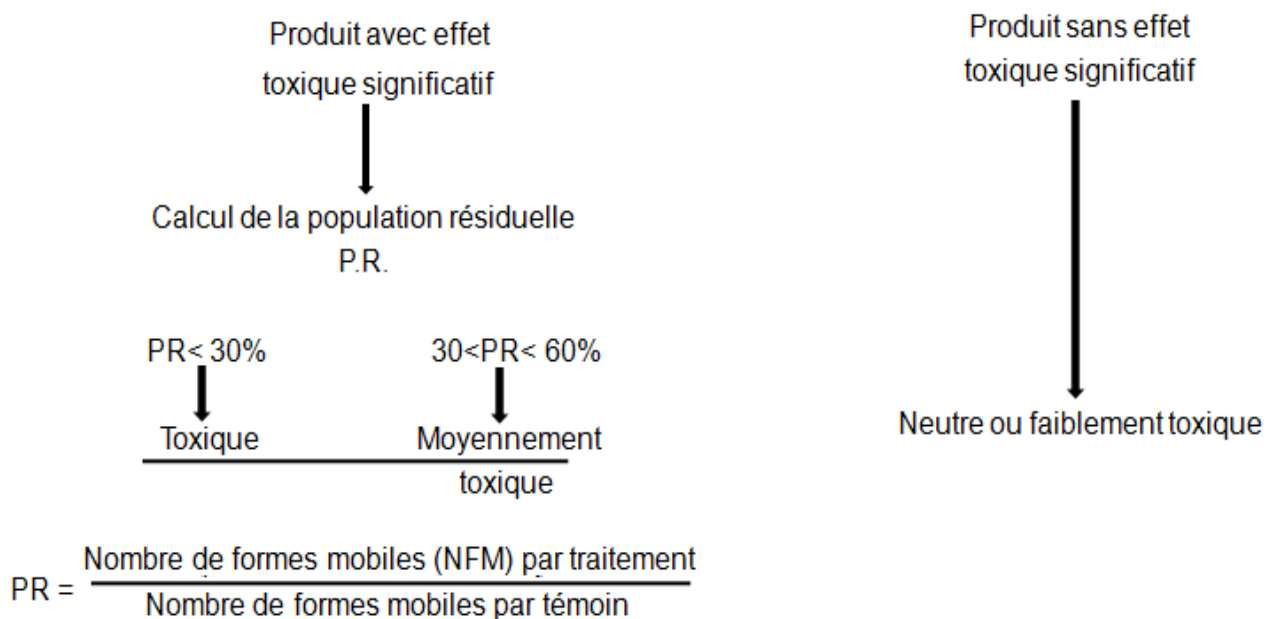
3.4.2.5.3. Modèle expérimental et prélèvements

L'assainissement phytosanitaire de *C. tenebrionis* est basé sur l'application de la matière active Tefluthrine 0,5% en 3 différentes doses à savoir : la demi-dose (5g./arbre), la dose prescrite (10g./arbre) et la double-dose (20g./arbre).

La formulation sous forme granulée est saupoudrée sur le sol au tour du tronc d'arbre, puis elle est enfouie dans le sol et arrosée à l'eau courante. L'eau permet ainsi son assimilation par l'arbre. L'essai est réalisé en bloc aléatoire complet à 3 répétition. Les trois doses du produit ont été utilisées par application racinaire par comparaison à un témoin négatif arrosé uniquement par de l'eau courante. Nos investigations d'estimation se sont maintenues chaque décennie durant toute la période qui a suivi l'application des différentes doses du produit. A partir des 12 blocs expérimentaux obtenus par le Bloc aléatoire complet dont chacun comporte 10 arbres, nous avons aléatoirement arraché puis décortiqué trois arbres de chaque microparcelle [300]. Les arbres (tronc et racines) sont décortiqués et les formes biologiques sont estimées en termes de disponibilité globale du Bupreste.

3.4.2.5.4. Evaluation des populations résiduelles

L'évaluation de l'effet toxique du traitement de l'insecticide de synthèse à base de Tefluthrine 0,5% appliqué sur l'insecte, a été estimée par la comparaison des populations résiduelles (P.R.) selon le Test de DUNNETT [301].



3.4.3. Analyses statistiques des données

Tous les essais ont été répétés au moins trois fois, Les résultats, présentés sous forme de courbes ou d'histogrammes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes, ces derniers ont été réalisés par le logiciel Excel.

3.4.3.1. Analyse de la variance

Notre but est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions. Pour cela, il est préconisé de réaliser une analyse de la variance. Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M).

Des tests de normalité et d'homoscédasticité ont été réalisés au préalable dans le but de vérifier que la variance des termes d'erreur soit constante pour chaque observation pour toutes valeurs des variables explicatives. Des analyses de la variance ont été réalisées à l'aide du test F pour les variables suivant la loi normale. Les comparaisons des moyennes des abondances et du budget énergétique des formes biologiques du Capnode noir, et de la qualité phytochimique des deux *Prunus* sont suivies par le test de Tukey. Parmi les variables participant le plus souvent à la variance totale, celles dont la contribution est significative au seuil de 0,05 ont été retenues. Le test s'est déroulé par le logiciel SYSTAT vers. 12 (SPSS, 2009).

3.4.3.2. Analyse multivariée

Les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP) [302]. Dans cette analyse, les métabolites sont groupés selon leur groupe plantes hôtes ou leur positionnement au niveau de l'arbre. A partir des trois premiers axes de l'analyse multivariée, une classification ascendante hiérarchique des métabolites est réalisée dans le but de détecter des discontinuités temporelles. La classification hiérarchique des facteurs lignes ou colonnes se fait en considérant les coordonnées sur les premiers axes, de telle sorte qu'au moins 50% de la variance cumulée soit observée. La distance euclidienne ainsi que la méthode de « Ward », basées sur les mesures de similarité entre variables a été prise en compte. Le test s'est déroulé par le logiciel (PAST vers. 1.37) [303].

3.4.3.3. Corrélations-régressions

Les relations univariées ont été explorées au moyen du test de corrélation de Pearson pour les variables suivant la loi normale. Une régression linéaire pas-à-pas a permis de réduire le nombre de variables environnementale explicatives au profit de celles expliquant le plus de variance, tout en conservant une part maximale de la variation. La valeur pour rentrer a été fixé à $\alpha = 0,75$. Le test s'est déroulé par le logiciel PAST vers. 6.0 [303].

Lorsque 2 variables quantitatives varient conjointement, on doit mesurer la significativité du coefficient de corrélation. En conditions paramétriques, il s'agit du coefficient r de Pearson et en conditions non paramétriques, du coefficient rho de Spearman. L'équation de la droite de régression est calculée lorsque les distributions sont en accord avec la normalité et que le coefficient de Pearson est significatif.

3.4.3.4. Régression multiple

Des analyses de régression multiple ont été effectuées en utilisant la version SYSTAT 12 afin d'indiquer les abondances des bioagresseurs en combinaisons linéaire avec les variables quantitatives du support nourricier (métabolites primaire et secondaires du bois des *Prunus*). L'application est accomplie par le logiciel SYSTAT vers. 12 (SPSS, 2009).

3.4.3.5. Test de wilcoxon

Le test de Wilcoxon est un test statistique non paramétrique [304], il s'agit entre autres de comparer les distributions d'un même caractère dans deux populations, observées sur deux échantillons différents. Le présent test a été utilisé pour l'approximation des écarts de la distribution temporelle des stades évolutifs du Bupreste entre les deux plantes hôtes.

RÉSULTATS

CHAPITRE 4: RÉSULTATS

4.1. Étude du cycle de vie et de la succession temporelle des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur deux plantes hôtes de *Prunus* (L., 1753) (*Prunus cerasus* et *Prunus domestica*)

4.1.1. Dynamique globale de l'abondance de *Capnodis tenebrionis* sur *Prunus*

L'étude de l'abondance du *Capnodis tenebrionis* évoluant sur le genre *Prunus*, nous a permis de cerner la fluctuation temporelle des formes biologiques par rapport à leur support nourricier. L'abondance globale du capnode semble avoir du recule sur *P. cerasus* par rapport au *P. domestica*. Les différences se manifestent entre les deux hôtes dès le mois de septembre et se maintiennent jusqu'au mois de décembre (Figure 4.1).

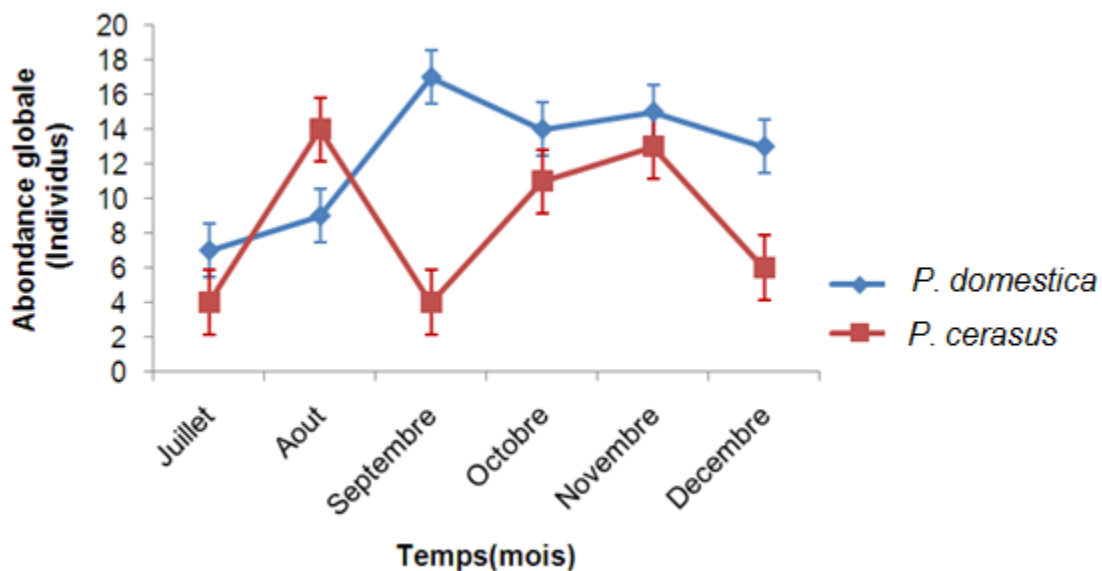


Figure 4.1: Fluctuation temporelle de l'abondance globale de *Capnodis tenebrionis* sur *Prunus*

A première vue, la figure 4.2, montre une différence frappante par rapport à la répartition temporelle des formes biologiques du Capnode, où *P. domestica* montre une structure plus équilibrée comparé au *P. cerasus*. Sur *P. domestica* (Figure 4.2a), le premier stade larvaire (L_1) se montre présent durant la période estivale qui couvre le laps de temps (aout - septembre), alors que sur *P. cerasus*, la disponibilité du même stade est faible et se manifeste uniquement durant le mois d'octobre (Figure 4.2b).

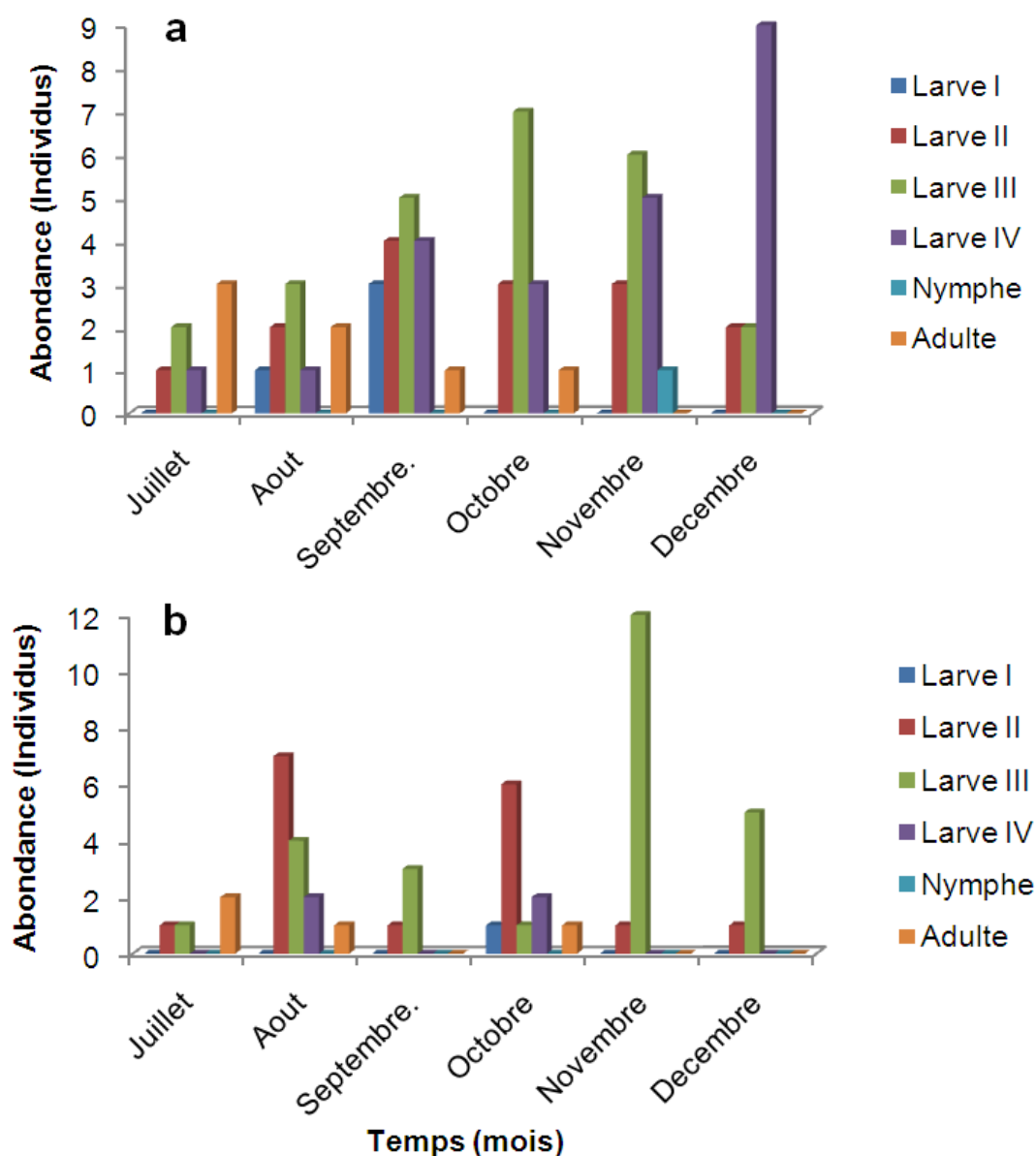


Figure 4.2 : Variation temporelle de l'abondance des différentes formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur *Prunus*

a : chez *p. domestica*, b : chez *p. cerasus*

Le deuxième et le troisième stade larvaire (L₂ et L₃), se montrent présents sur *P. domestica* le long de la période estivo-hivernale, avec des abondances en gradation positive dont le pic de disponibilité est enregistré entre les mois de septembre et octobre. Le déclin progressif des stades L₂ et L₃ laisse place au quatrième stade (L₄) qui s'affiche discrètement dès le mois d'août sur les deux plantes hôtes avec une abondance au profit de *P. domestica*. Le même stade se retraite sur *P. cerasus* dès le mois d'octobre alors qu'il accuse une présence assez apparente sur *P. domestica* même durant les mois de novembre et décembre (Figure 4.2). La forme biologique nymphale se présente précocement sur *P. cerasus* par comparaison au *P. domestica*. En revanche, les adultes se manifestent pareillement sur les plantes hôtes (Figure. 4.2).

L'évolution des stades larvaires semble très perturbée sur *P. cerasus* par rapport au *P. domestica*. Cette perturbation est en rapport avec la dominance du deuxième, troisième et quatrième stade larvaire qui se montrent présents le long des deux saisons. Le test de Wilcoxon confirmé par le test de Monte Carlo est avancé dans le but d'apprécier la variation d'abondance dans chaque point d'échantillonnage. La comparaison de l'abondance du quatrième stade larvaire et celle des adultes désignent la présence d'une différence significative au niveau des deux plantes hôtes avec un avantage au profit de *P. domestica* par rapport au *P. cerasus* (Tableau 4.1).

Tableau 4.1: Variation temporelle des différentes formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur *Prunus*

	L ₁ _pru	L ₁ _cer	L ₂ _pru	L ₂ _cer	L ₃ _pru	L ₃ _cer	L ₄ _pru	L ₄ _cer	Ad_pru	Ad_cer
Nombre (mois)	6		6		6		6		6	
Moyenne (Individus)	0,666	0,166	2,5	2,833	4,166	4,333	3,833	0,666	1,166	0,666
Médiane (Individus)	0	0	2,5	1	4	3,5	3,5	0	1	0,5
Test Wilcoxon (p)	1 ^{NS}		0,416 ^{NS}		0,916 ^{NS}		0,0071 ^{**}		0,0083 ^{**}	
Test Monte Carlo (p)	1 ^{NS}		0,5 ^{NS}		1 ^{NS}		0,0125 [*]		0,0248 [*]	

Pru : *P.domestica*, cer : *P.cerasus*, N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : significative à 1%
Ad : Adulte.

4.1.2. Performance métabolique de *Capnodis tenebrionis* en relation avec la qualité phytochimique du support nourricier

La sur numération en termes d'effectif des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur *P. domestica* nous a conduit à explorer la qualité phytochimique du support nourricier de ce xylophage. Au niveau du tronc des *Prunus*, le degré de lignification, la quantité d'azote, de protéines totales et de composés secondaires (Polyphénols) sont des exemples de facteurs qui varient durant la saison. Le bois des *Prunus*, servant de substrat nourricier aux larves *Capnodis*, pourrait affecter leur développement par une variation phénologique. Le liber du tronc des *Prunus*, où se nourrissent les larves *Capnodis*, devrait suivre une variation saisonnière de sa composition chimique. Peu d'études à ce jour ont tenté d'y jeter de la lumière.

Dans la présente approche, les analyses de la concentration en métabolites primaires (Cellulose, Hémicellulose, Lignine, Protéines totales et Azote) et métabolites secondaires (Polyphénols) dans le liber ont été effectuées afin d'estimer la valeur nutritionnelle du bois de chacun des deux *Prunus* à savoir *P. domestica* et *P. cerasus*.

La variation des quantités en métabolites primaires et secondaires accumulées aux niveaux du bois de *P. domestica* et de *P. cerasus* affiche des concentrations très contrastés. La cellulose et la lignine s'accaparent des taux les plus importants par rapport aux autres métabolites (Figure 4.3).

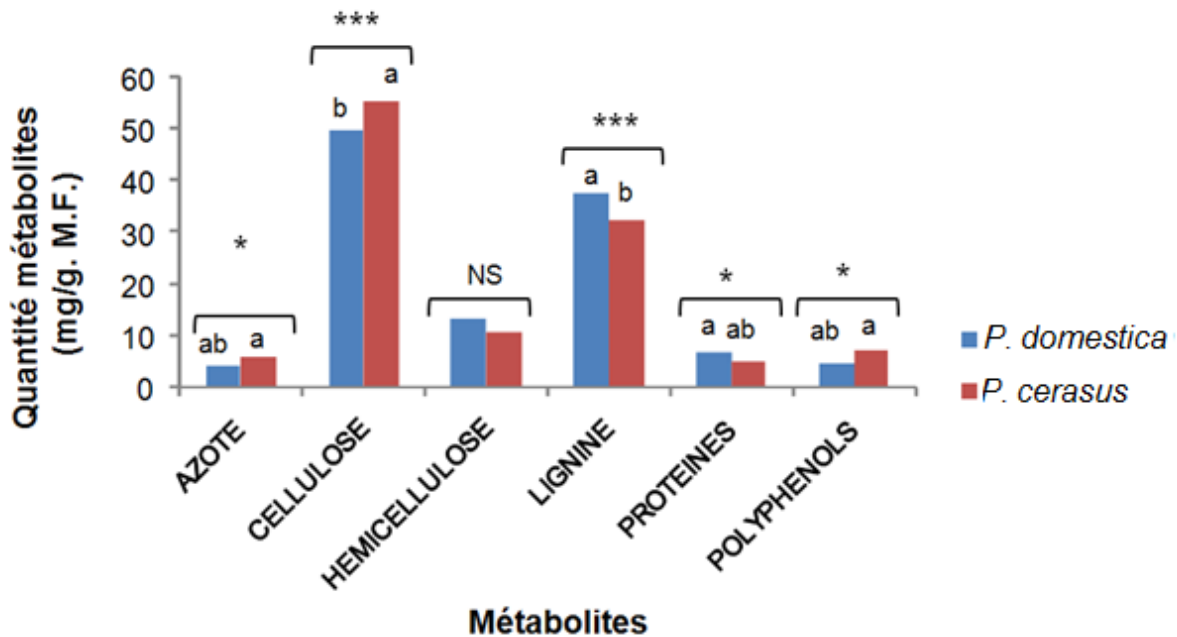


Figure 4.3: Variation des quantités de métabolites primaires et secondaires du bois des deux *Prunus*

a, b, ab: Groupe homogène (test Newman Keuls), NS: différence non significative, *: différence significative à 5%, ***: différence significative à 0,01%

La comparaison des quantités en métabolites fait ressortir les potentialités intrinsèques des deux espèces. *Prunus domestica* accumule d'une manière significative la lignine et les protéines totales. En revanche, *Prunus cerasus* accumule significativement la cellulose, l'azote et les polyphénols. Enfin, les deux espèces ont la même capacité d'accumulation de l'hémicellulose (Figure 4.3).

Le support nourricier du Capnode avec les remaniements de ses métabolites secondaires influence grandement le budget énergétique des différentes formes biologiques. Les résultats se sont intéressés à exposer l'effet direct des deux *Prunus* sur l'accumulation des réserves lipidiques. L'analyse de la variance montre une accumulation progressive des réserves dans un gradient (L₁-L₄), le maximum de réserves lipidiques est signalé chez les derniers stades (L₄ et nymphe) (Figure 4.4a). En revanche, les formes biologiques du capnode accumulent les lipides d'une manière plus prononcée sur *P. domestica* par rapport à *Prunus cerasus* (Figure 4.4b).

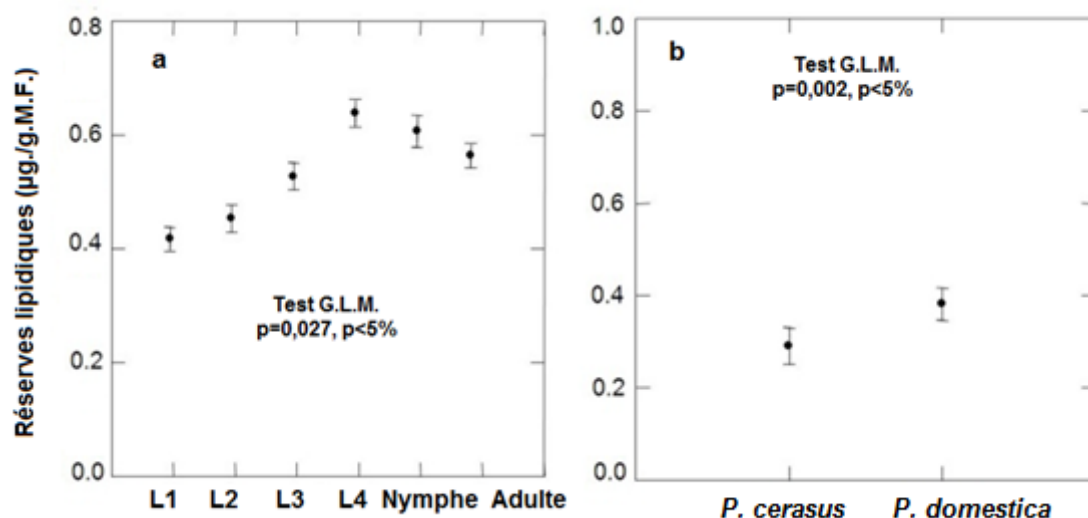


Figure 4.4 : Variation des quantités en réserves lipidiques des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur les deux *Prunus*

a : pour chaque stade larvaire, b : pour chaque espèce hôte

En parallèle, nous avons voulu connaître le degré d'affinité entre la capacité accumulatrice en métabolites des *Prunus* et l'allocation des réserves lipidiques des larves *Capnodis* (L_4). Une corrélation par le biais du coefficient de Pearson (r) a été menée pour appréhender la stratégie évolutive du Capnode sur les deux hôtes (Tableaux 4.2 et 4.3).

Tableau 4.2: Corrélation phytochimie des compartiments de *Prunus domestica* et le métabolisme lipidique des larves *Capnodis*

<i>Prunus domestica</i>	Lip_L1	Lip_L2	Lip_L3	Lip_L4	Cell.	Hem_cell.	Azt.	Lign.	Prot_Tot	Polyph.
Lip_L1	-	0,735	0,194	0,385	0,740	0,455	0,385	0,934	0,439	0,515
Lip_L2	-0,265	-	0,334	0,751	0,918	0,051 ₍₁₎	0,751	0,451	0,901	0,561
Lip_L3	0,806	-0,666	-	0,180	0,868	0,270	0,180	0,388	0,275	0,751
Lip_L4	0,615	-0,249	0,820	-	0,405	0,782	0,000 ₍₂₎	0,259	0,012 ₍₃₎	0,690
Cellulose	0,260	-0,082	-0,132	-0,595	-	0,616	0,405	0,221	0,348	0,055
Hémicellulose	-0,545	0,919 ₍₁₎	-0,730	-0,218	-0,384	-	0,782	0,721	0,935	0,282
Azt.	0,615	-0,249	0,820	1,000 ₍₂₎	-0,595	-0,218	-	0,259	0,012 ₍₄₎	0,690
Lignine	0,066	-0,549	0,612	0,741	-0,779	-0,279	0,741	-	0,304	0,533
Protéines totaux	0,561	-0,099	0,725	0,988 ₍₃₎	-0,652	-0,065	0,988 ₍₄₎	0,696	-	0,583
Polyphénols	-0,485	0,439	-0,249	0,310	-0,915	0,718	0,310	0,467	0,417	-

L1, 2, 3, 4 : Stade larvaire *Capnodis*, Lip : Réserves lipidiques, Cell. : Cellulose, Hém_cell. : Hémicellulose, Azt. :Azote, Lign. : Lignine, Prot_tot. : Protéines totales, Polyph. : Polyphénols

Tableau 4.3: Corrélation phytochimie des compartiments de *Prunus cerasus* et le métabolisme lipidique des larves *Capnodis*.

<i>Prunus cerasus</i>	Lip_L1	Lip_L2	Lip_L3	Lip_L4	Cell.	Hém_cell.	Azt.	Lign.	Prot_Tot	Polyph.
Lip_L1	-	0,343	0,518	0,330	0,951	0,591	0,277	0,320	0,538	0,053₍₁₎
Lip_L2	-0,657	-	0,050	0,336	0,218	0,619	0,221	0,200	0,169	0,421
Lip_L3	0,482	-0,940	-	0,630	0,127	0,398	0,482	0,449	0,040₍₂₎	0,487
Lip_L4	-0,670	0,664	-0,370	-	0,737	0,779	0,014₍₃₎	0,022₍₄₎	0,853	0,624
Cell.	0,049	-0,782	0,873	-0,263	-	0,134	0,617	0,554	0,229	0,969
Hém_cell.	0,409	0,381	-0,602	-0,221	-0,866	-	0,885	0,958	0,423	0,679
Azt.	-0,723	0,779	-0,518	0,986₍₃₎	-0,383	-0,116	-	0,003₍₅₎	0,689	0,537
Lign.	-0,680	0,801	-0,551	0,978₍₄₎	-0,446	-0,042	0,997₍₅₎	-	0,664	0,581
Prot_tot.	0,462	-0,831	0,960₍₂₎	-0,147	0,771	-0,577	-0,311	-0,336	-	0,412
Polyph.	-0,937₍₁₎	0,579	-0,513	0,376	-0,031	-0,321	0,463	0,419	-0,588	-

L1, 2, 3, 4: Stade larvaire *Capnodis*, Lip: Réserves lipidiques, Cell.: Cellulose, Hém_cell.: Hémicellulose, Azt.: Azote, Lign.: Lignine, Prot_tot.: Protéines totales, Polyph.: Polyphénols

Au niveau du *Prunus domestica* (Tableau 4.2), la performance évolutive des larves est visible dès le premier stade (L₁) avec une corrélation positive₍₁₎ permettant une accumulation marginalement significative des réserves lipidiques via une disponibilité très importante de l'hémicellulose. Les allocations lipidiques ont été nettement appréciables chez le quatrième stade larvaire (L₄). En effet, le gain lipidique des L₄ est lié positivement avec la disponibilité de l'azote₍₂₎ et des protéines totales₍₃₎. Enfin, au niveau du bois de *P. domestica* l'azote ne cesse d'augmenter avec l'évolution de la production des protéines totales₍₄₎

Au niveau du *P. cerasus* (Tableau 4.3), la richesse du bois en polyphénols constitue un levier contraignant à la performance métabolique du premier stade larvaire (L₁), qui se traduit par l'installation d'une corrélation négative entre les réserves lipidiques de L₁ et la disponibilité des polyphénols₍₁₎. La performance évolutive se différencie substantiellement dès l'apparition des stades larvaires L₃ et L₄. L'évolution des réserves lipidiques des L₃ est influencée significativement par la production des protéines totales₍₂₎. En revanche, les résultats montrent un penchant d'augmentation significative des réserves lipidiques des L₄ sous l'effet positif de la

disponibilité de l'azote⁽³⁾ et de la lignine⁽⁴⁾. La production de la lignine s'avère très liée à la forte disponibilité de l'azote dans le bois de *Prunus cerasus* ⁽⁵⁾.

4.1.3. Ordre d'arrivée écologique des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur deux plantes hôtes de *Prunus*

L'étude de la répartition temporelle des stades évolutifs par rapport au support nourricier, nous a permis de bien cerner le cycle évolutif du ravageur et ainsi de mieux visualiser l'ordre d'arrivée écologique des formes biologiques séparément sur les deux espèces de *Prunus*. Le Test crosscorrélacion, nous a permis à travers le calcul du «Lag» d'estimer le décalage temporel enregistré chez les différentes formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* (Tableau 4.4).

Tableau 4.4 : Décalage temporel des différents stades évolutifs de *Capnodis tenebrionis* selon les plantes hôtes.

Formes biologiques	Stades	Test crosscorrélacion		
		Barycentre (mois) (pic d'abondance maximale)	Lag (mois) (Décalage temporel)	Probabilité
Larves	L ₁ <i>P.domestica</i>	8,75	1	7,02×10 ⁻⁶
	L ₁ <i>P.cerasus</i>	10,00		
	L ₂ <i>P.domestica</i>	9,73	1	8,98×10 ⁻⁴
	L ₂ <i>P.cerasus</i>	9,48		
	L ₃ <i>P.domestica</i>	9,72	2	3,15×10 ⁻⁵
	L ₃ <i>P.cerasus</i>	10,92		
	L ₄ <i>P.domestica</i>	10,50	2	4,85×10 ⁻³
	L ₄ <i>P.cerasus</i>	11,61		
Adultes	Ad. <i>P.domestica</i>	8,00	1	2,61×10 ⁻²
	Ad. <i>P.cerasus</i>	8,25		

La ponte de *C. tenebrionis* commence en début juin pour *P.domestica*, et en début juillet pour *P. cerasus*. Sur *P. domestica* le stade larvaire fait son apparition à la mi-juin avec un pic d'abondance au mois d'Aout, Alors que chez *P. cerasus* l'apparition du premier stade s'affiche à la mi-juillet, enregistrant ainsi son abondance maximale au mois d'octobre (Test crosscorrélacion, Lag=1 ; p=7,02×10^{-6***}). Le deuxième stade larvaire fait son apparition en juin sur *P. domestica*, et en fin juillet sur *P. cerasus*, avec des pics d'apparition au mois de septembre (Test crosscorrélacion, Lag=1 ;

$p=8,98 \times 10^{-4**}$). Le troisième stade larvaire enregistre un décalage d'apparition de deux mois, entre les deux espèces de *Prunus*; l'apparition est signalée au mois de juillet sur *P. domestica* et au mois de septembre sur *P. cerasus*, avec des pics respectifs en septembre et octobre (Test crosscorrélacion, Lag=2,3; $15 \times 10^{-5**}$). Le quatrième stade suit le troisième stade dans son décalage d'apparition, et il affiche sa première présence au mois d'aout pour *P. domestica*, et au mois d'octobre pour *P. cerasus*, avec des pics d'apparitions respectives aux mois d'octobre et de novembre (Test crosscorrélacion, Lag=2 ; $2,61 \times 10^{-2*}$).

Capnodis tenebrionis hibernera durant la fin d'hiver (novembre – décembre), sous forme de nymphe ou d'adulte néoformé, pour devenir un adulte mature à la prochaine bonne saison, où il marque son pic d'apparition sur les deux espèces de *Prunus*, au mois d'aout (Test crosscorrélacion, Lag=1; $4,85 \times 10^{-3**}$) (Figure 4.5).

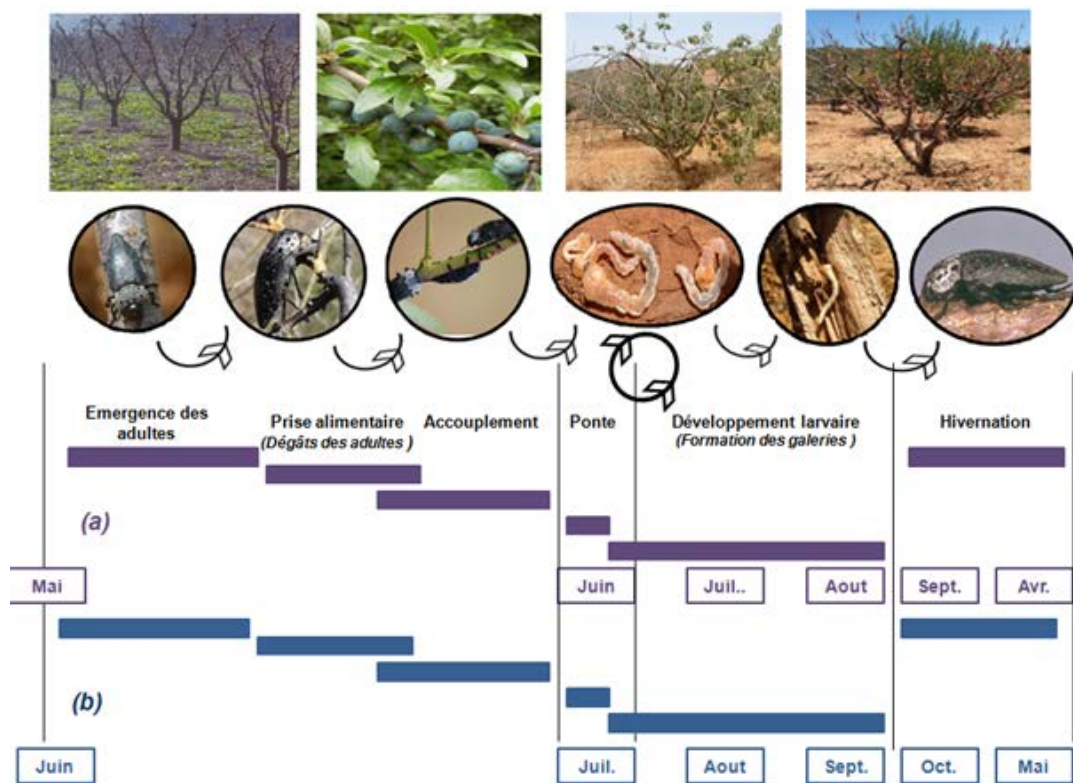


Figure 4.5 : Diagramme synthétique du cycle de vie de *Capnodis tenebrionis* sur *Prunus*

a : chez *p. domestica*, **b** : chez *p. cerasus*

4.2. Principe de choix alimentaire chez les adultes de *Capnodis tenebrionis* entre deux espèces de *Prunus* (*Prunus cerasus* et *Prunus domestica*)

4.2.1. Évolution temporelle du conditionnement des adultes *Capnodis* sur *Prunus domestica* et *Prunus cerasus*

L'étude s'est intéressée à la fluctuation numérique des adultes *Capnodis* évoluant sur deux espèces de *Prunus* (*Prunus domestica* et *Prunus cerasus*). Le dénombrement a touché 116 femelles et 189 mâles le long des trois saisons. La représentation globale de la distribution des individus *Capnodis* le long de la saison printanière, estivale et hivernale démontre une évolution d'abondance dissemblable entre les deux *Prunus* hôte. L'évolution numérique des individus sur *P. domestica* montre un pic en début été, suivi par une diminution progressive jusqu'à l'hiver. La même tendance est visible pour les individus évoluant sur *P. cerasus*, à la différence d'effectif moins important sur ce dernier (Figure 4.6).

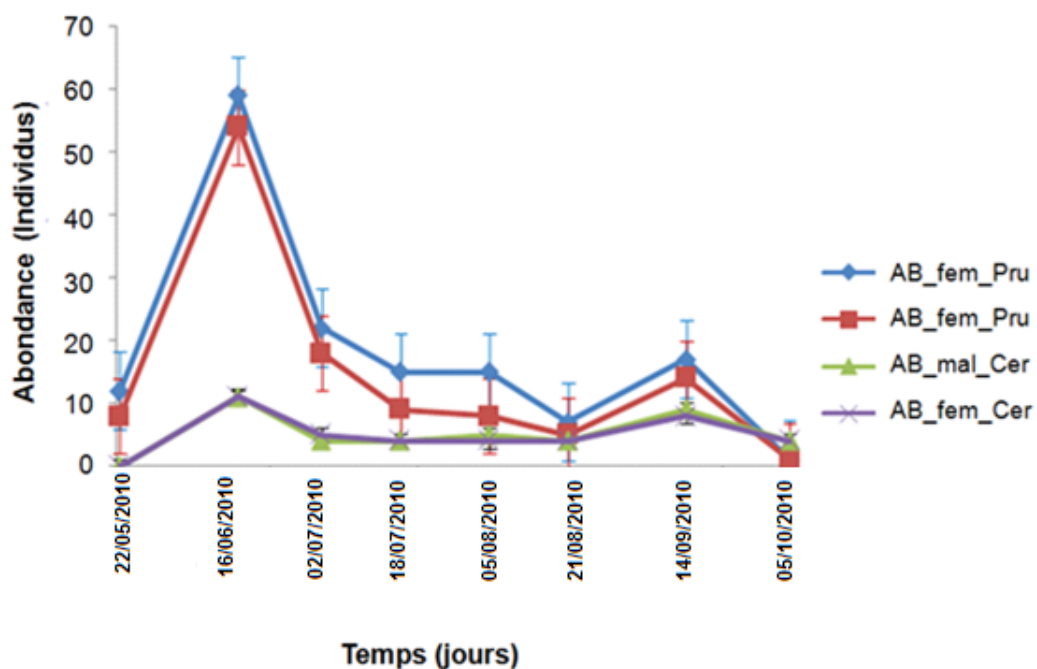


Figure 4.6 : Évolution temporelle des abondances des adultes *Capnodis*

AB :abondance , , mal : mâle ,fem : femelle, Pru : *Prunus domestica*, Cer : *Prunus cerasus*

La croissance pondérale des femelles se montre plus importante durant la saison estivale comparée aux deux autres saisons (Printemps, Hiver) qui affichent de très faibles mesures; mais d'autant plus prononcée sur *P. domestica* que sur *P. cerasus* (Figure 4.7a et b). En revanche, la longueur est stable durant toute la période d'étude, dont les femelles se montrent relativement élancées par rapport aux mâles (Figure 4.7a et b).

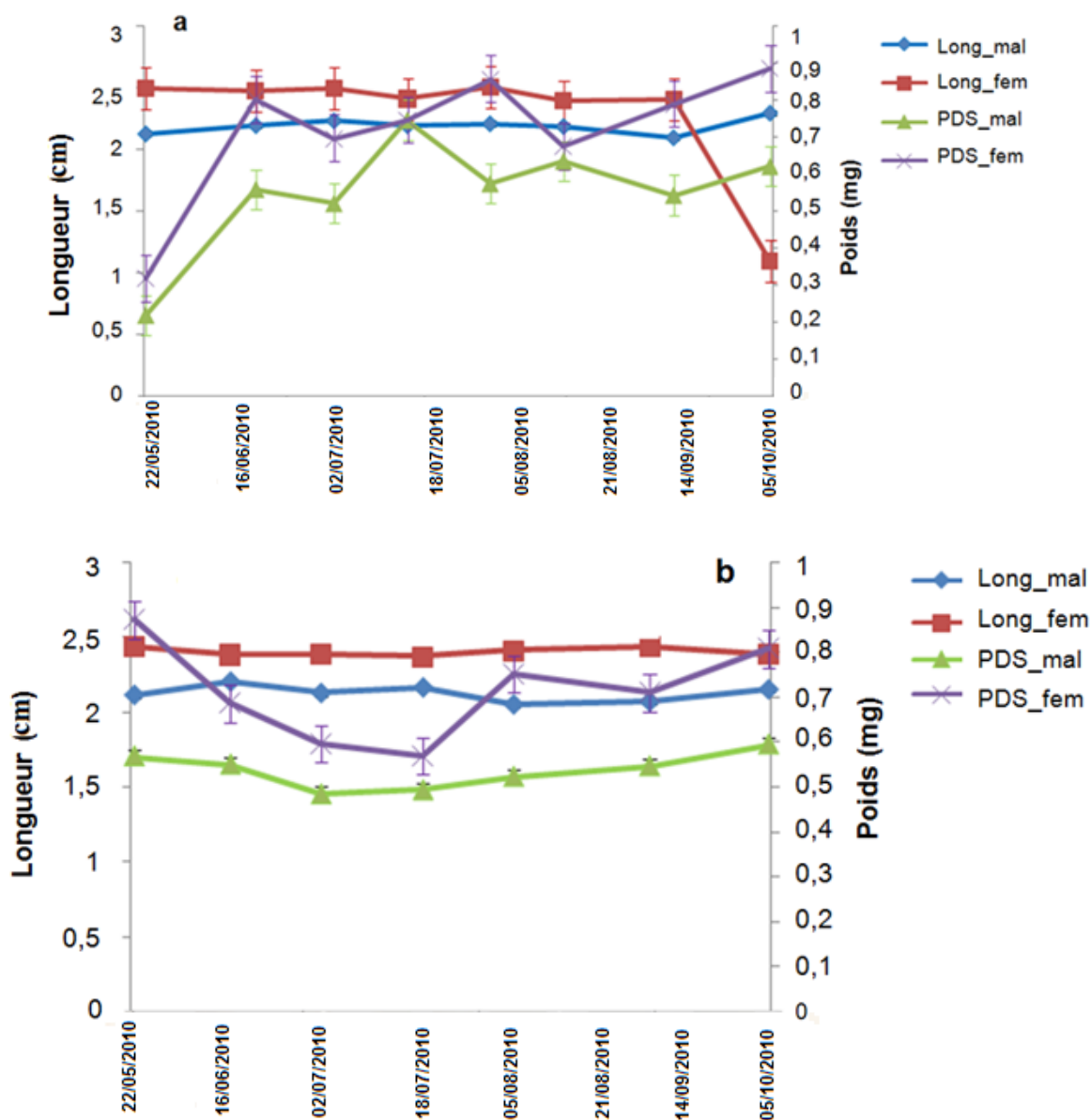


Figure 4.7 : Évolution temporelle des paramètres de conditionnement des adultes *Capnodis*

a : chez *p. domestica*, b : chez *p. cerasus*

Long : Longueur, PDS : Poids, mal : mâle fem : femelle ;

4.2.2. Évolution temporelle de la phytochimie de *P. domestica* et *P. cerasus*

La représentation graphique des fluctuations temporelles en éléments phytochimiques de *P. domestica* (Figure 4.8a), fait apparaître un très faible taux en tanins sur limbe en été qui prend de l'ampleur très rapidement le long de la saison hivernale. Les concentrations en sucres totaux et en tanins des pétioles affichent des fluctuations relativement plus stables comparées à ceux des limbes, qui présentent toujours des concentrations phytochimiques plus importantes. Chez *p. cerasus* (Figure 4.8b), les tanins présentent des concentrations relativement supérieures notamment pour le limbe en fin d'été, les sucres enregistrent des concentration proche entre limbe et pétiole à l'exception des début d'été en faveur du limbe.

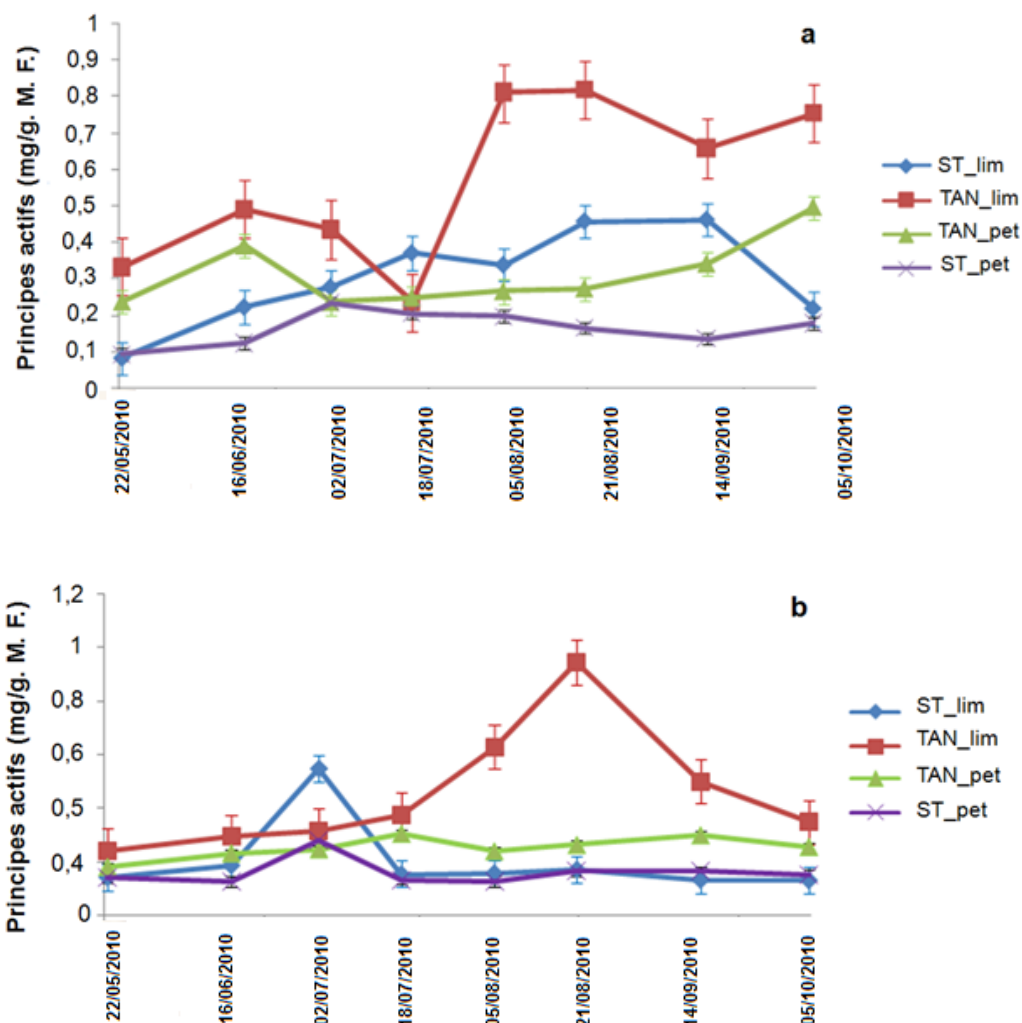


Figure 4.8: Évolution temporelle des sucres et des tanins des *Prunus*

a : *p. domestica*, b : *p. cerasus*, ST : Sucres totaux, TAN : Tannins condensés, pet : pétiole, lim : limbe.

4.2.3. Tendence du conditionnement de *Capnodis tenebrionis* sous l'effet de la qualité phytochimique des limbes et des pétioles de *Prunus* (cultivé et sauvage)

L'analyse en composantes principales, effectuée avec le logiciel PAST ver 1.95 et à partir des résultats, un effet temporel très contrasté est signalé entre les différentes molécules et les paramètres de conditionnement des adultes *Capnodis*. L'analyse est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance est exprimée sur les 2 premiers axes (Figure 4.9).

Chez *Prunus cerasus*, la projection des vecteurs à travers les deux axes montre une dispersion des paramètres de conditionnement et des molécules phytochimiques dont les poids et les abondances des mâles et des femelles *Capnodis* n'extériorisent aucun rattachement aux quantités tanniques et aux sucres totaux. L'effet des sucres totaux des pétioles et des limbes ne se fait remarquer sur la longueur des mâles *Capnodis* qu'au début du mois de juillet (Figure 4.9 *P.cerasus*).

Chez *Prunus domestica*, la projection des vecteurs montre un nombre assez important d'associabilité entre paramètres de conditionnement et les molécules phytochimiques. Il ressort un lien apparent entre tannins des pétioles/ poids des femelles *Capnodis*, sucres totaux des pétioles/ poids des mâles *Capnodis* et tannins des limbes/longueur des mâles *Capnodis* (Figure 4.9 *P.domestica*).

Enfin, il est à signaler que l'analyse en composantes principales sur l'effet des quantités tanniques et des sucres totaux sur le poids des femelles et des mâles est appréciable durant la saison estivo-automnale.

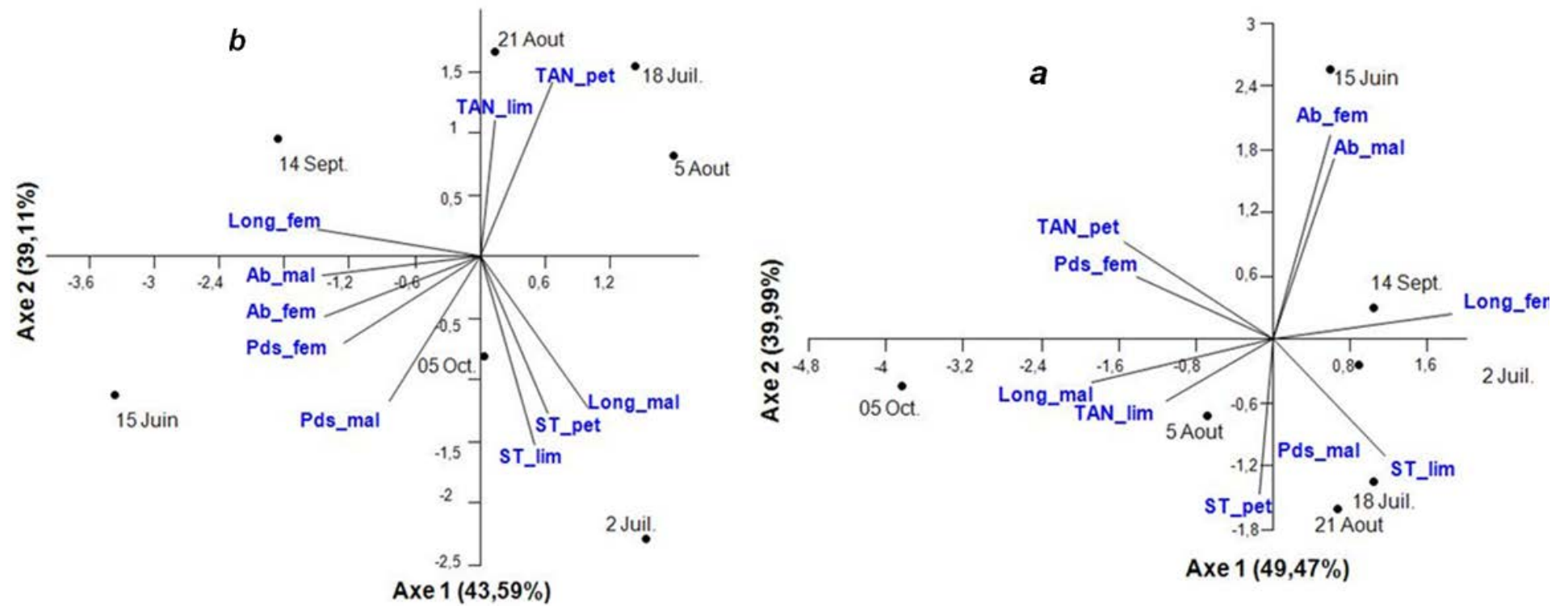


Figure 4.9: Projection des molécules phytochimiques des limbes et des pétioles de *Prunus* et des paramètres de conditionnement de *Capnodis tenebrionis* sur les deux axes de l'A.C.P.

ST : Sucres totaux, TAN : Tannins condensés, pet : pétiole, lim : limbe, ABD :abondance , Long : Longueur, Pds : Poids, mal : mâle ,fem : femelle

a : chez *p. domestica*, **b** : chez *p. cerasus*

La variété cultivée ainsi que la variété sauvage ont été sujette de quantification des sucres totaux et des tanins condensés, afin de percevoir la dissemblance quantitative entre les substances phytochimique des deux espèces.

L'évaluation de la qualité phytochimique par l'analyse de la variance type G.L.M réalisé sur la variété *P. domestica* démontre que les sucres totaux s'accumulent d'une manière très significative de mai à septembre (Figure 4.10a). Les mêmes résultats, bien qu'ils désignent un décalage d'accumulation dans les taux des sucres totaux entre les deux variétés, l'analyse de la variance ne signale pas de différence significative (Figure 10b). Concernant la capacité d'accumulation des compartiments en termes de sucres totaux, l'analyse montre clairement la richesse du limbe par rapport au pétiole (Figure 4.10c).

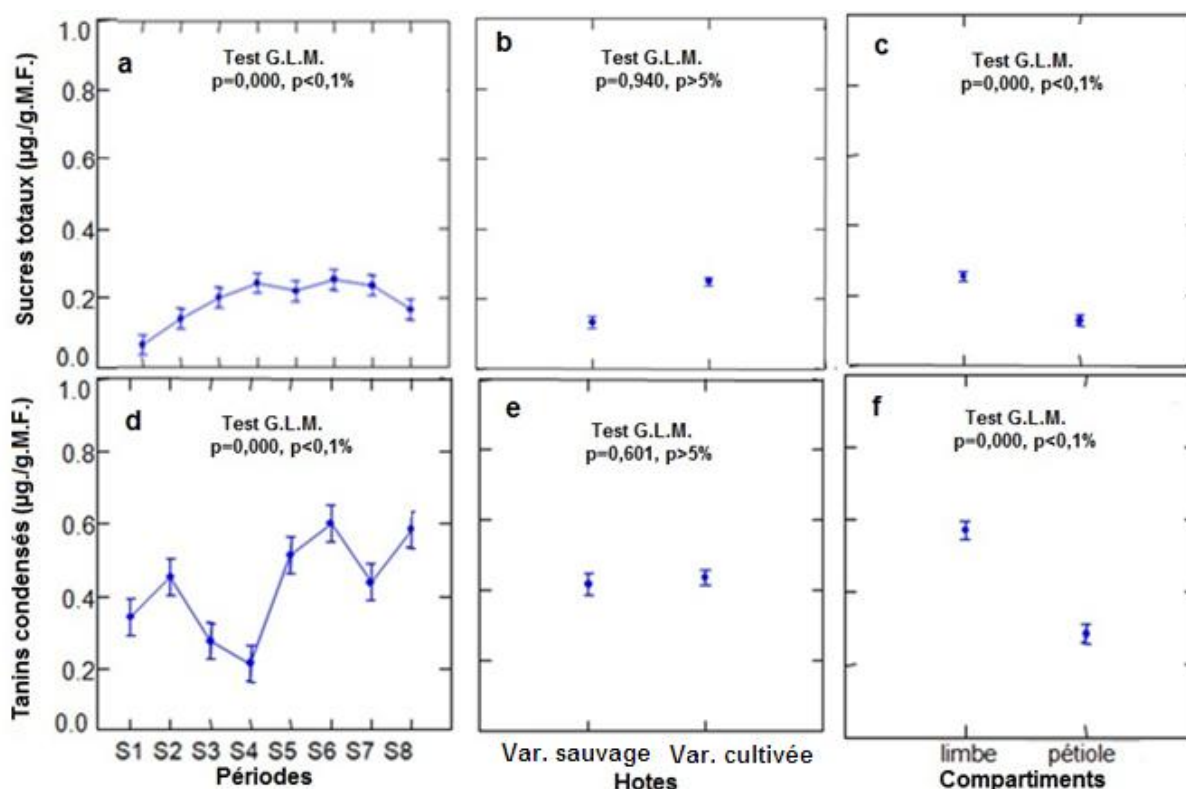


Figure 4.10 : Fluctuations phytochimiques sur *Prunus domestica* en fonction de la période, de l'hôte et du compartiment foliaire

S1= printemps 1, S2=printemps2, S3=été1, S4=été2, S5=été3, S6=été4, S7=hiver1, S8=hiver2, avec : Printemps1=mi-printemps, printemps2 = fin printemps. été1=début été, été 2+ été 3=mi- été, été4= fin été. Hiver1=début Hiver, Hiver2 =mi- Hiver

Au niveau de la même variété (*P. domestica*), l'accumulation des tanins condensés suit pareillement la fluctuation des sucres totaux avec une prééminence signalée au profit du limbe par rapport au pétiole (Figure 4.11a, b et c). La lecture des fluctuations des deux métabolites fait ressortir la présence d'une alternance d'accumulation entre sucres totaux et tanins condensés (Figure 4.11a et d).

Sur *Prunus cerasus*, les résultats affichent la même tendance d'accumulation des sucres totaux et des tanins condensés, avec une suprématie significative au profit du limbe par rapport au pétiole (Figure 4.11a, b et c). L'alternance de la capacité d'accumulation est aussi visible chez *P. cerasus* au même titre que *P. domestica* (Figure 4.11a et d).

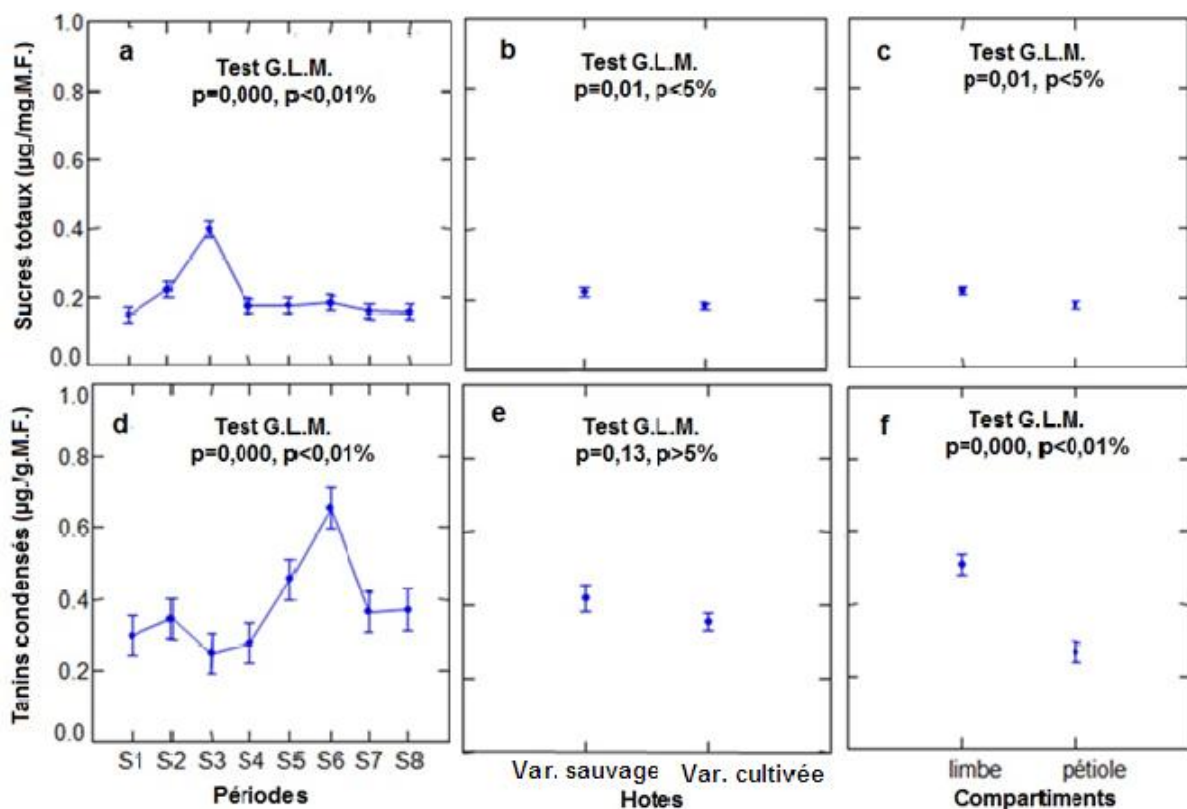


Figure 4.11: Fluctuations des sucres totaux sur *Prunus cerasus* en fonction de la période, de l'hôte et du compartiment foliaire

S1=printemps1, S2=printemps2, S3=été1, S4=été2, S5=été3, S6=été4, S7=hiver1, S8=hiver2, avec : Printemps1=mi-printemps, printemps2 = fin printemps. été1=début été, été 2+ été 3=mi- été, été4= fin été. Hiver1=début Hiver, Hiver2 =mi- Hiver

On a essayé de faire ressortir les corrélations qui peuvent exister entre la qualité phytochimique des pétioles et des limbes des *Prunus* et les paramètres de conditionnement des mâles et des femelles *Capnodis* sous l'effet de différents support nourricier par le calcul des valeurs du coefficient de Pearson. Les deux tableaux expriment les valeurs du coefficient de corrélation (Coefficient de Pearson) au dessous de la diagonale, alors que les probabilités associées sont mentionnées au-dessus de la diagonale (Tableau 4.5 et 4.6).

Tableau 4.5: Corrélation phytochimie des compartiments de *Prunus cerasus* et conditionnement des femelles *Capnodis*

<i>Prunus cerasus</i>	ST-lim	ST-pet	TAN-lim	TAN-pet	Ab-mal	Long-mal	Pds-mal	Ab-fem	Long-fem	Pds-fem
ST-lim	-	0,0029	0,519	0,504	0,607	0,143	0,797	0,895	0,534	0,873
ST-pet	0,924	-	0,724	0,823	0,492	0,330	0,617	0,731	0,665	0,948
TAN-lim	-0,296	-0,165	-	0,903	0,543	0,164	0,359	0,399	0,962	0,681
TAN-pet	-0,307	-0,105	0,058	-	0,785	0,331	0,418	0,676	0,744	0,412
Ab-mal	-0,238	-0,314	-0,280	-0,128	-	0,449	0,488	0,000	0,022	0,250
Long-mal	0,613	0,435	-0,589	-0,434	-0,345	-	0,871	0,576	0,065	0,537
Pds-mal	0,120	0,232	-0,412	-0,367	0,317	0,076	-	0,363	0,427	0,016
Ab-fem	-0,062	-0,161	-0,381	-0,195	0,972	-0,258	0,409	-	0,023	0,155
Long-fem	-0,286	-0,202	0,022	0,153	0,826	-0,726	0,361	0,822	-	0,121
Pds-fem	-0,075	-0,031	-0,192	-0,372	0,503	-0,284	0,848	0,599	0,641	-

ST : Sucres totaux, TAN : Tannins condensés, pet : pétiole, lim : limbe, Ab :abondance , Long : Longueur, Pds : Poids, mal : mâle ,fem : femelle

Tableau 4.6: Corrélation phytochimie des compartiments de *Prunus domestica* et conditionnement des femelles *Capnodis*

<i>Prunus domestica</i>	ST-lim	ST-pet	TAN-lim	TAN-pet	Ab-mal	Long-mal	Pds-mal	Ab-fem	Long-fem	Pds-fem
ST-lim	-	0,786	0,681	0,240	0,387	0,052* ₍₁₎	0,678	0,353	0,316	0,284
ST-pet	-0,127	-	0,543	0,219	0,321	0,268	0,707	0,259	0,967	0,611
TAN-lim	0,192	-0,280	-	0,494	0,380	0,885	0,476	0,428	0,502	0,470
TAN-pet	-0,512	-0,532	0,313	-	0,932	0,440	0,820	0,784	0,026* ₍₂₎	0,090* ₍₃₎
Ab-mal	-0,390	-0,442	-0,395	0,040	-	0,626	0,433	0,000	0,294	0,953
Long-mal	-0,751 ₍₁₎	0,487	0,068	0,351	-0,226	-	0,763	0,667	0,111	0,508
Pds-mal	0,193	0,176	-0,326	-0,106	-0,356	0,141	-	0,396	0,715	0,848
Ab-fem	-0,416	-0,494	-0,360	0,128	0,993	-0,200	-0,384	-	0,389	0,959
Long-fem	0,446	0,020	-0,308	-0,812 ₍₂₎	0,464	-0,654	-0,170	0,388	-	0,182
Pds-fem	-0,472	-0,236	0,330	0,685 ₍₃₎	-0,028	0,304	-0,090	-0,024	-0,569	-

ST : Sucres totaux, TAN : Tannins condensés, pet : pétiole, lim : limbe, Ab :abondance, Long : Longueur, Pds : Poids, mal : mâle ,fem : femelle

On constate à première vue, l'établissement de certaines affinités entre la qualité phytochimique des pétioles et des limbes et l'évolution du poids et longueur des males et femelles *Capnodis* chez *Prunus domestica*. Cette affinité entre la qualité phytochimique et les paramètres de conditionnement n'est pas signalée chez *Prunus cerasus*.

Sous l'influence d'une installation primaire sur *Prunus domestica*, nous signalons l'existence d'une corrélation négative entre les sucres totaux des limbes et la longueur des males ($r=-0,751$, $p=0,05$, $p\leq 0,05$), on note aussi la présence d'une corrélation négative entre les tannins des pétioles et la longueur des femelles ($r=-0,812$, $p=0,026$, $p<0,05$). On note aussi la présence d'une corrélation positive marginale entre les tannins des pétioles et le poids ($r=0,812$, $p=0,09$).

4.3. Effet du stress alimentaire sur la stratégie évolutive de *Capnodis tenebrionis* traduite par la fluctuation de ses allocations énergétiques

4.3.1. Évolution temporelle des paramètres de conditionnement et métaboliques des adultes femelles *Capnodis* en fonction de la qualité phytochimique des deux *Prunus*

Nous avons étudié les fluctuations numériques des adultes capnode évoluant sur le genre *Prunus*. Le dénombrement avait touché 116 femelles et 189 mâles le long de trois saisons (printemps, été et hiver). La distribution globale des individus *Capnodis* démontre une évolution numérique et pondérale plus importante en rapport avec une progression des concentrations en sucre totaux sur *Prunus domestica* comparé à *Prunus cerasus* qui affiche des concentrations plus faible à la mi-été. Durant cette dernière phase, les tannins condensés affichent une progression chez les deux espèces de *Prunus*. Quant aux quantités des réserves lipido-glucidiques, elles indiquent des fluctuations très variables entre les deux espèces hôtes, avec une hégémonie pour les réserves lipidiques (Figure 4.12).

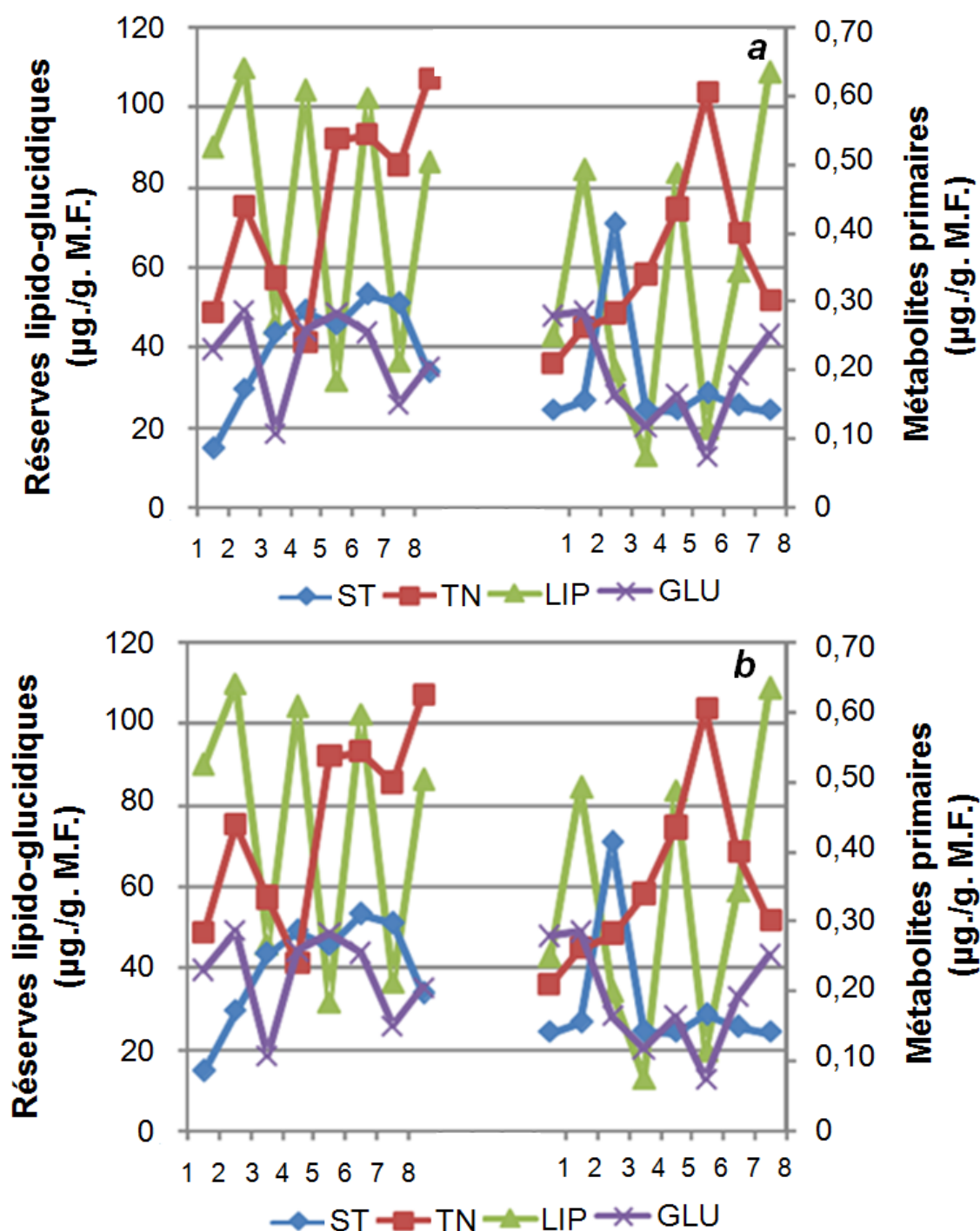


Figure 4.12: Évolution temporelle des taux des molécules phytochimiques des *Prunus* et paramètres de conditionnement et métaboliques des adultes femelles *Capnodis*

ST : Sucres totaux, TN : Tannins condensés, ABD : Abondance des femelles *Capnodis*, Long : Longueur des femelles *Capnodis*, PDS : Poids des femelles *Capnodis*, 1=mi-printemps, 2 = fin printemps, 3=début été, 4=mi-été, 5=fin été, 6=début Hiver, 7=mi-Hiver, 8=fin Hiver.
a : chez *p. domestica*, **b :** chez *p. cerasus*

4.3.2. Etude comparée de la variation temporelle des sucres totaux et des tanins condensés chez les deux *Prunus* cultivés et leur impact sur les réserves lipidiques de *Capnodis tenebrionis*

Nous nous sommes intéressé d'entrevoir la fluctuation des molécules biochimiques au niveau des variétés cultivées du genre *Prunus* à raison de l'importance accordé par les différentes formes biologiques du capnode à ce support nourricier et son impact en terme de capitalisation du budget énergétique.

Pour appréhender l'affinité des adultes femelles aux pétioles, nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.), aux différents compartiments foliaires (limbe, pétiole), de manière à étudier la différence qualitative et quantitative entre les deux espèces hôtes de *Prunus* (Figure 4.13).

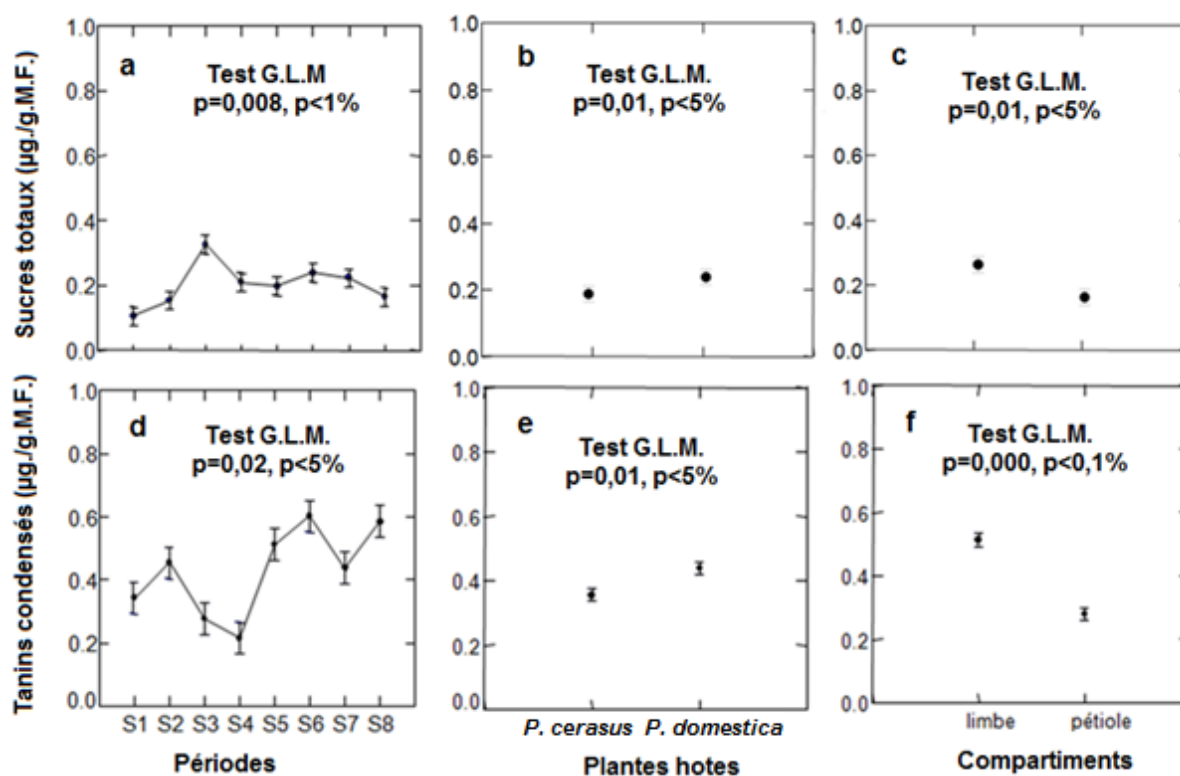


Figure 4.13 Variation des taux des sucres totaux et des tanins condensés chez les *Prunus* cultivés

Les résultats montrent clairement que les sucres totaux varient de manière très significative dans le temps (Figure 4.13a), avec des quantités appréciables en été. De même, les taux des sucres totaux se distinguent significativement chez *Prunus domestica* par rapport à *P. cerasus* (Figure 4.13b). Il est intéressant de constater aussi que ces quantités en sucres totaux diffèrent très significativement entre limbe et pétiole, avec des quantités plus importantes pour le limbe (Figure 4.13c). Le même test a été adopté pour évaluer la fluctuation des tannins condensés. Les résultats montrent nettement une différence quantitative significative des tanins par rapport à l'espèce hôte, avec le succès visible du *P. domestica* par rapport à *P. cerasus* (Figure 4.13e). Cette différence quantitative se traduit aussi entre les compartiments, où les quantités les plus importantes s'affichent au niveau du limbe (Figure 4.13.f)

La modulation des réserves énergétiques lipidiques a été soumise à une analyse de la variance type G.L.M. Les résultats expriment une variation quantitative hautement significative des réserves lipidique des femelles *Capnodis* sous l'influence du support nourricier qui se montre en faveur de *P.domestica* (Figure 4.14b). Contrairement à la variabilité saisonnière des allocations énergétiques qui s'avère non significative (Figure 4.14.a), malgré les fluctuations apparentes en début du printemps et en fin d'hiver.

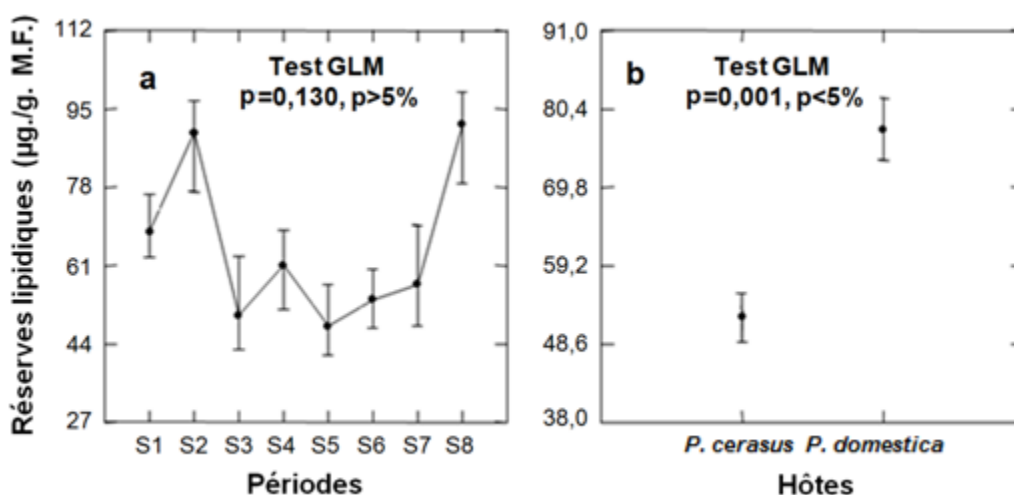


Figure 4.14: Etude comparée de la fluctuation temporelle des réserves lipidiques en fonction des hôtes

S1=mi-printemps, S2 = fin printemps. S3=début été, S5etS4=mi-été, S6= fin été. S7=début Hiver, S8=mi- Hiver

4.3.4. Effet des plantes hôtes sur les interactions paramètres de conditionnement et métaboliques des femelles *Capnodis* / qualité phytochimique de *Prunus domestica* et *Prunus cerasus*

Les données brutes relatives à la qualité phytochimique de *Prunus domestica* et *Prunus cerasus* ainsi que le bilan énergétique (réserves lipido-glucidiques) ont été soumis à une analyse de corrélation dans le but d'apprécier d'éventuelles relations entre le support nourricier et l'allocation énergétique. La comparaison des variables numériques est sollicitée dans le but de calculer le coefficient de corrélation de Pearson (r) ainsi que les probabilités associées (p) (Tableau 4.7 et 4.8).

Tableau 4.7: Corrélation phytochimie des compartiments de *Prunus domestica* et réserves énergétiques des femelles *Capnodis*

<i>P.domestica</i>	ST-lim	ST-pet	TAN-lim	TAN-pet	Lipid-F	Gluci-F	Ab-F
ST-lim	-	0,415	0,256	0,743	0,798	0,028	0,057
ST-pet	0,336	-	0,881	0,692	0,044	0,043	0,056
TAN-lim	0,455	0,063	-	0,300	0,359	0,534	0,550
TAN-pet	-0,138	-0,166	0,419	-	0,799	0,656	0,707
Lipid-F	0,108	0,787-	-0,375	0,107	-	0,057	0,057
Gluci-F	0,644	0,614	-0,259	-0,187	0,597	-	0,091
Ab-F	-0,249	0,542	-0,250	0,158	0,595	0,633	-

ST : Sucres totaux, TAN : Tannins condensés, Ab : Abondance des femelles *Capnodis*, Lipid-F : Biomarqueurs lipidiques des femelles *Capnodis*, Gluci-F : Biomarqueurs glucidiques des femelles *Capnodis*, pet : Pétiole, lim : Limbe.

Tableau 4.8: Corrélation phytochimie des compartiments de *Prunus cerasus* et réserves énergétiques des femelles *Capnodis*

<i>P.cerasus</i>	ST-lim	ST-pet	TAN-lim	TAN-pet	Lipid-F	Gluci-F	Ab-F
ST-lim	-	0,0009	0,669	0,947	0,590	0,433	0,898
ST-pet	0,926	-	0,899	0,752	0,822	0,743	0,941
TAN-lim	-0,180	-0,053	-	0,510	0,547	0,998	0,963
TAN-pet	-0,028	0,133	0,274	-	0,051	0,734	0,270
Lipid-F	-0,226	-0,095	0,251	0,722	-	0,080	0,045
Gluci-F	0,324	0,138	-0,0005	0,143	0,514	-	0,257
Ab-F	0,054	-0,031	-0,019	0,444	0,751	0,455	-

ST : Sucres totaux, TAN : Tannins condensés, Ab : Abondance des femelles *Capnodis*, Lipid-F : Biomarqueurs lipidiques des femelles *Capnodis*, Gluci-F : Biomarqueurs glucidiques des femelles *Capnodis*, pet : Pétiole, lim : Limbe

Pour visualiser les fortes relations des différents paramètres, nous avons établi les diagrammes suivants (Figure 4.15). Les flèches indiquent les relations entre les variables alors que les valeurs du coefficient indiquent la nature de la corrélation, en revanche les probabilités indiquent la solidité de la corrélation.

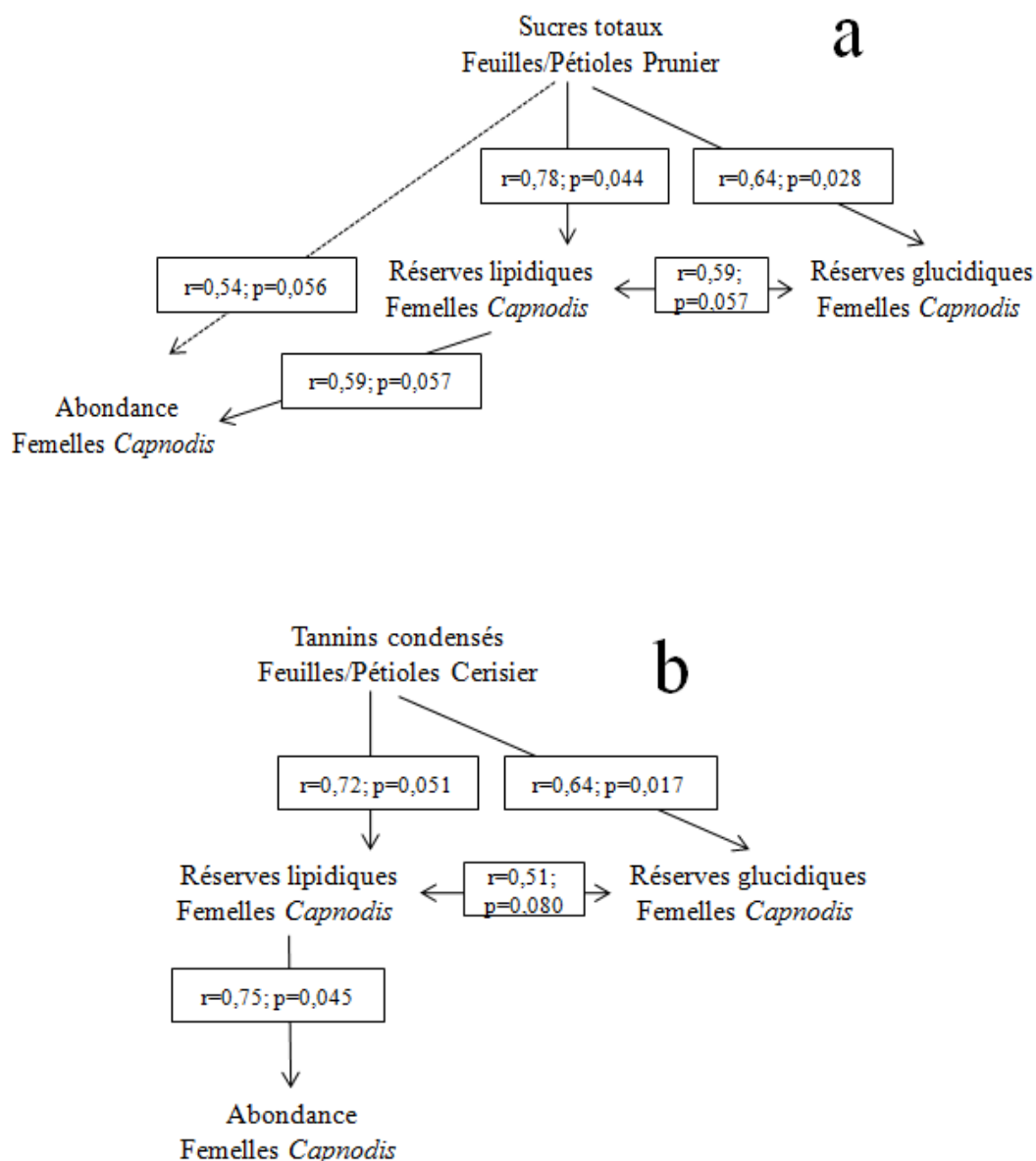


Figure 4.15: Diagramme récapitulatif des liaisons entre qualité phytochimique de la plante hôte et paramètres énergétiques des femelles *Capnodis*

a: Prunus domestica, b: Prunus cerasus, r : coefficient de Corrélation de PEARSON, p : probabilité associée

Le diagramme relatif à l'effet du *Prunus domestica* sur l'allocation énergétique des femelles *Capnodis* (Figure 4.15a) a permis d'établir une multitude de relations entre les différentes variables. Il en ressort que les sucres totaux des pétioles et des limbes sont corrélés positivement d'une part, aux réserves lipido-glucidiques avec une affinité très accusés aux réserves glucidiques. D'autre part, ils sont marginalement corrélés à l'abondance des femelles *Capnodis*. Bien que les réserves énergétiques expriment des liens assez intéressants, il faut signaler l'effet individualisé des réserves lipidiques sur l'abondance des femelles *Capnodis*.

Pour ce qui est de l'effet de *Prunus cerasus* sur l'allocation énergétique des femelles *Capnodis* (Figure 4.15b), le diagramme fait ressortir l'installation d'une nouvelle stratégie induisant le remaniement des réserves lipido-glucidiques. Chez *Prunus cerasus*, les tannins condensés des pétioles et des limbes sont corrélés positivement aux réserves lipidiques et glucidiques. Dans les deux cas de figure, c'est les réserves glucidiques qui relatent une affinité très marquée au support nourricier. Suivant les mêmes tendances, l'abondance des femelles *Capnodis* se trouve fortement corrélée aux réserves lipidiques.

4.4. Etude de la disposition des loges larvaires et nymphales de *Capnodis tenebrionis* en relation avec la qualité physicochimique du bois attaqué du *Prunus* (*Prunus domestica*, *Prunus cerasus*)

4.4.1. Variation de l'abondance larvaire de *Capnodis tenebrionis* en fonction de la qualité phytochimique des deux *Prunus*

Nos résultats obtenus ont fait objet d'un tableau récapitulatif incluant les analyses phytochimique (sucres totaux, la proline, protéines soluble et hydrosolubles), ainsi que l'abondance larvaire sur les deux compartiments du bois (porte-greffe et greffon), pour chaque espèce étudiée (tableau 4.9). Ainsi Ce tableau, présente l'évolution temporelle de l'abondance larvaire de *Capnodis tenebrionis* sous l'effet des métabolites de variétés sauvages et cultivés de deux espèces du genre *Prunus* (*P. domestica*, *P. cerasus*) par rapport à deux niveaux du bois (greffon, porte-greffe).

Tableau 4.9: Valeurs moyennes (\pm SE) des métabolites secondaires du genre *Prunus* sauvage et cultivé en rapport avec l'abondance des larves de *C. tenebrionis*

		<i>Prunus domestica</i>					<i>Prunus cerasus</i>					
		ST	Prol	PS	PHS	Ab	ST	Prol	PS	PHS	Ab	
cultivé	Porte-greffe	S1	10,75 \pm 0,96	0,19 \pm 0,013	0,15 \pm 0,014	0,15 \pm 0,007	24	10,80 \pm 0,972	0,069 \pm 0,004	0,094 \pm 0,008	0,207 \pm 0,010	3
		S2	11,33 \pm 1,01	0,22 \pm 0,015	0,16 \pm 0,014	0,18 \pm 0,009	15	10,85 \pm 0,9765	0,054 \pm 0,003	0,061 \pm 0,005	0,332 \pm 0,016	2
		S3	9,79 \pm 0,88	0,23 \pm 0,016	0,15 \pm 0,014	0,18 \pm 0,009	16	8,67 \pm 0,7803	0,174 \pm 0,012	0,065 \pm 0,005	0,211 \pm 0,010	5
		S4	10,03 \pm 0,90	0,16 \pm 0,011	0,23 \pm 0,021	0,12 \pm 0,006	27	8,71 \pm 0,7839	0,172 \pm 0,012	0,11 \pm 0,009	0,072 \pm 0,003	14
		S5	9,41 \pm 0,84	0,20 \pm 0,014	0,16 \pm 0,014	0,10 \pm 0,005	33	8,82 \pm 0,7938	0,176 \pm 0,012	0,267 \pm 0,024	0,075 \pm 0,003	14
		S6	9,70 \pm 0,87	0,16 \pm 0,011	0,20 \pm 0,018	0,09 \pm 0,004	13	9,44 \pm 0,8496	0,13 \pm 0,009	0,148 \pm 0,013	0,171 \pm 0,008	3
		S7	11,27 \pm 1,01	0,15 \pm 0,011	0,22 \pm 0,019	0,17 \pm 0,008	14	9,57 \pm 0,8613	0,123 \pm 0,008	0,154 \pm 0,013	0,132 \pm 0,006	17
	Greffon	S1	10,02 \pm 0,90	0,161 \pm 0,011	0,147 \pm 0,013	0,252 \pm 0,012	24	10,61 \pm 0,954	0,031 \pm 0,002	0,079 \pm 0,007	0,217 \pm 0,010	3
		S2	11,05 \pm 0,99	0,058 \pm 0,004	0,144 \pm 0,012	0,158 \pm 0,007	15	10,69 \pm 0,962	0,061 \pm 0,004	0,162 \pm 0,014	0,107 \pm 0,005	2
		S3	9,54 \pm 0,85	0,221 \pm 0,015	0,097 \pm 0,008	0,127 \pm 0,006	16	8,43 \pm 0,758	0,149 \pm 0,010	0,127 \pm 0,011	0,107 \pm 0,005	5
		S4	9,11 \pm 0,81	0,197 \pm 0,013	0,138 \pm 0,012	0,107 \pm 0,005	27	8,74 \pm 0,786	0,213 \pm 0,014	0,152 \pm 0,013	0,088 \pm 0,004	14
		S5	8,26 \pm 0,74	0,235 \pm 0,016	0,159 \pm 0,014	0,269 \pm 0,013	33	8,56 \pm 0,770	0,159 \pm 0,011	0,189 \pm 0,017	0,129 \pm 0,006	14
		S6	9,09 \pm 0,81	0,157 \pm 0,010	0,185 \pm 0,016	0,155 \pm 0,007	13	9,34 \pm 0,840	0,168 \pm 0,011	0,136 \pm 0,012	0,145 \pm 0,007	3
		S7	11,77 \pm 1,05	0,182 \pm 0,012	0,161 \pm 0,014	0,134 \pm 0,006	14	9,9 \pm 0,891	0,173 \pm 0,012	0,152 \pm 0,013	0,081 \pm 0,004	17
Sauvage	S1	9,09 \pm 0,81	0,118 \pm 0,008	0,166 \pm 0,014	0,059 \pm 0,002	0	9,02 \pm 0,811	0,108 \pm 0,007	0,067 \pm 0,006	0,078 \pm 0,003	0	
	S2	10,47 \pm 0,94	0,105 \pm 0,007	0,068 \pm 0,006	0,194 \pm 0,009	0	9,2 \pm 0,828	0,103 \pm 0,007	0,12 \pm 0,010	0,12 \pm 0,006	0	
	S3	8,13 \pm 0,73	0,151 \pm 0,010	0,105 \pm 0,009	0,162 \pm 0,008	0	9,16 \pm 0,824	0,137 \pm 0,009	0,044 \pm 0,003	0,144 \pm 0,007	0	
	S4	9,09 \pm 0,81	0,144 \pm 0,010	0,06 \pm 0,005	0,141 \pm 0,007	0	8,06 \pm 0,725	0,146 \pm 0,010	0,032 \pm 0,002	0,106 \pm 0,005	0	
	S5	7,10 \pm 0,63	0,131 \pm 0,009	0,166 \pm 0,014	0,122 \pm 0,006	0	6,05 \pm 0,544	0,108 \pm 0,007	0,145 \pm 0,013	0,105 \pm 0,005	0	
	S6	10,53 \pm 0,94	0,081 \pm 0,005	0,14 \pm 0,012	0,148 \pm 0,007	0	10,42 \pm 0,937	0,09 \pm 0,006	0,137 \pm 0,012	0,149 \pm 0,007	0	
	S7	11,44 \pm 1,02	0,111 \pm 0,007	0,14 \pm 0,012	0,151 \pm 0,007	0	10,71 \pm 0,963	0,123 \pm 0,008	0,141 \pm 0,012	0,135 \pm 0,006	0	

S.T: Sucres totaux, Prol: Proline, P.S: Protéines solubles, P.Hs: Protéines hydrosolubles, Ab: Abondance des larves *Capnodis*. S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver.

De manière globale, l'analyse effectuée pour le porte greffe du *P. domestica* signale que le taux des sucres affiche une stabilité durant toute la période d'échantillonnage ; à la différence de la proline et des protéines solubles qui accusent une fluctuation inverse durant toute la période d'investigation du faite que la proline atteint ses valeurs minimales en même temps où les protéines solubles touchent ses valeurs maximales (mi-été=4^{ème} sortie). Le taux des protéines hydrosolubles connaît une diminution importante entre le début et la fin été (3^{ème} jusqu'à la 6^{ème} sortie), mais vers la fin des investigations, ils affichent des valeurs maximales

On note aussi que les taux des sucres totaux évoluent inversement aux taux des protéines hydrosolubles à l'exception de la période fin printemps (2^{ème} sortie) et la mi-été (4^{ème} sortie) qui révèlent une diminution synchrone des deux. Les taux des protéines solubles connaissent leurs concentration minimales en début d'été (3^{ème} sortie), et augmentent progressivement jusqu'à la fin de la même saison (6^{ème} sortie).

La fluctuation des sucres totaux chez le *P. domestica* entre espèce cultivée et sauvage, montre une évolution pratiquement similaire entre les porte-greffe des deux variétés, avec des concentrations plus élevé au début d'hiver, avec des concentrations respective de 11,77 µg/g et 11,44 µg/g. Les concentrations les plus faibles sont affichées dès la 5^{ème} sortie pour les portes greffe des deux variétés, ainsi que pour le greffon. *P. cerasus* affiche notamment des concentrations faibles à la cinquième sortie, avec des fluctuations de concentrations relativement proche entre greffon de la variété cultivée et porte greffe de la variété sauvage. Le tableau indique que l'abondance des individus Capnode est plus prononcée sur *P. domestica* et que leur pic d'abondance est signalé au cours de la période estivale (S3 jusqu'à S6).

L'évolution de la proline est différente entre porte-greffe et greffon des deux variétés, où les concentrations se montrent plus importante au niveau du porte-greffe de la variété cultivée comparé à la variété sauvage pour les deux espèces et que la concentration la plus importante était signalée en mi-été au niveau du greffon des

deux espèces avec des valeurs respectives de 0,235 et 0,213. La même période suscitée (mi-été) coïncide avec le pic numérique des individus *Capnodis*.

Les concentrations en protéines cytoplasmiques sont plus élevées chez les variétés cultivées; et d'autant plus au niveau du porte-greffe de la variété sauvage des deux espèces, alors que les protéines hydrosolubles ne présentent pas une trajectoire évolutive claire à l'exception des protéines hydrosolubles du porte-greffe qui affiche une évolution divergente que celle exprimée par les larves *Capnodis* chez les deux espèces de *Prunus*.

Il est intéressant de noter aussi que l'évolution numérique des larves se montre quasiment nulle pour les deux espèces sauvages, comparées aux variétés dites cultivées, avec des effectifs nettement plus importants sur *P. domestica* par rapport au *P. cerasus* où les valeurs les plus élevées sont affichées à partir de la 4^{ème} sortie.

4.4.2. Etude comparée de la qualité phytochimique sur la disponibilité larvaire de *Capnodis tenebrionis*

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M.), de manière à étudier d'une part la fluctuation temporelle des abondances larvaires de *Capnodis tenebrionis* et d'autre part, la fluctuation quantitative de la qualité phytochimique de deux espèces du genre *Prunus* (*P. domestica*, *P. cerasus*). Les variables quantitatives ont été scorées par rapport à deux variétés (cultivée, sauvage) à différents niveaux du bois de la partie aérienne (greffon, porte-greffe). Ce modèle permet d'étudier l'effet strict des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre facteurs (Figure 4.16).

Les résultats de l'analyse de la variance, montrent que la période exerce un effet hautement significatif sur l'abondance larvaire (F-ratio=6,150 ; p=0,00, p<0,01%) (Figure 4.16a) et sur la quantité des métabolites (F-ratio=4,563 ; p= 0,00, p<0,01%) (Figure 4.16d).

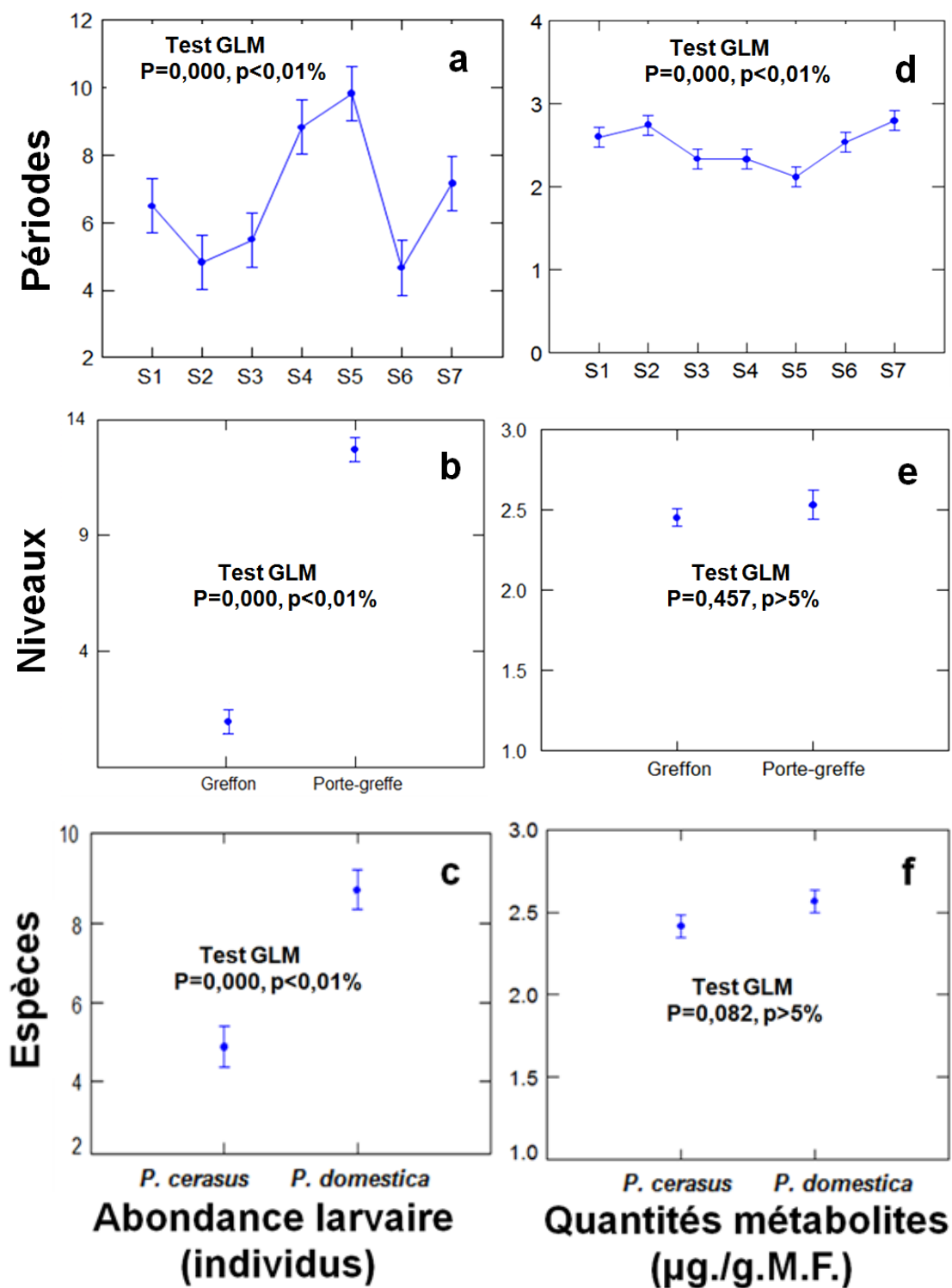


Figure 4.16: Effets comparés de l'accumulation des métabolites de deux espèces de *Prunus* selon le positionnement des attaques larvaires de *Capnodis tenebrionis*

a : fluctuations des abondances larvaire dans le temps, b : fluctuations des abondances larvaire entre niveau, c : fluctuations des abondances larvaire entre plantes hôte, d : fluctuations des métabolites dans le temps, e : fluctuations des métabolites entre niveau, f : fluctuations des métabolites entre plante hôte

Les mêmes résultats montrent que les niveaux à savoir le greffon et le porte-greffe affichent un effet significatif sur l'abondance des larves (F-ratio=345,24 ; $p=0,00$, $p<0,01\%$) (Figure 4.16b) alors que les taux des métabolites ne présentent pas de différences par rapport au niveau (F-ratio=0,556 ; $p=0,457$, $p>5\%$) (Figure 4.16e).

Les espèces *P. domestica* et *P. cerasus*, exercent un effet significatif sur l'abondance larvaire (F-ratio=43,67, $p=0,00$, $p<0,01\%$) (Figure 4.16c), bien que la probabilité est marginalement significative on estime que l'espèce exerce un effet significatif sur l'accumulation des métabolites (F-ratio=3,065 $p=0,082$, $p>5\%$) (Figure 4.16c).

La quantification des métabolites montre que les sucres totaux affichent des taux très significatifs par rapport aux autres métabolites entre autre, les protéines hydrosolubles, les protéines solubles et la proline (F-ratio=1,817 ; $p=0,00$, $p<0,01\%$) (Figure 4.17a) et que cette richesse en sucres totaux est prépondérante chez la variété cultivée (F-ratio=21,817 ; $p=0,080$, $p>5\%$) (Figure 4.17b).

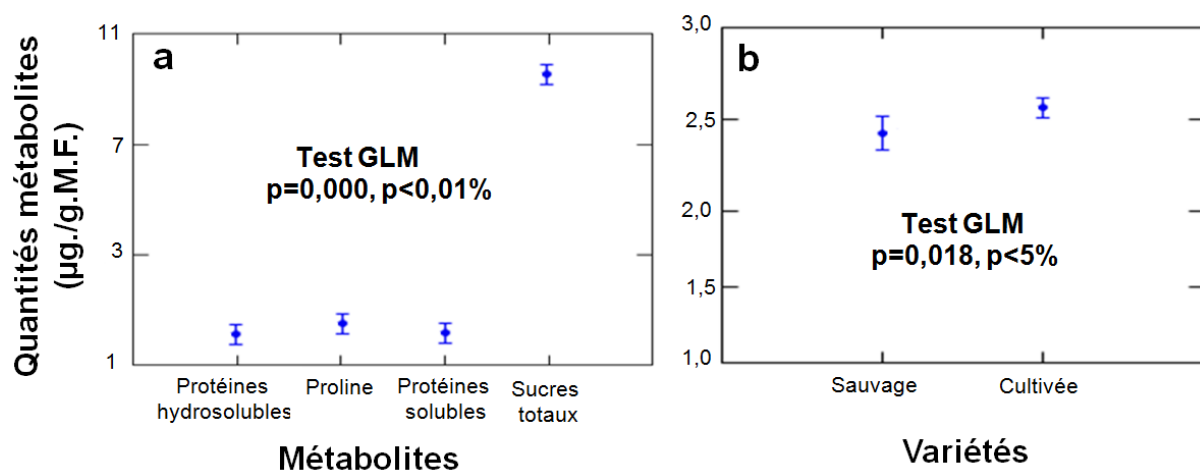


Figure 4.17 : Effets comparés de l'accumulation des métabolites de deux espèces de *Prunus* selon leur résistance ou sensibilité aux attaques larvaires de *Capnodis tenebrionis*

a : fluctuation des accumulation entre métabolites, b : fluctuation des accumulation en métabolites entre variété

Une lecture globalisant l'accumulation temporelle des métabolites secondaire et l'abondance larvaire chez *Capnodis tenebrionis* permet de dire que le développement larvaire est très exprimé chez *Prunus domestica* au niveau du porte-greffe, par conséquent, la fluctuation des métabolites secondaire se distingue par une accumulation accrue des sucres chez la variété cultivée

4.4.3. Tendances des affinités des larves *Capnodis* aux constituants phytochimiques des deux *Prunus*

Les résultats de l'analyse en composantes principales (A.C.P.), montrent la présence d'un effet temporel très distinct entre les différents métabolites et l'abondance larvaire de *Capnodis tenebrionis*. L'analyse est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés du fait que plus de 80% de la variance est exprimée sur les 2 premiers axes (Figure 4.18).

La projection des variables relatives aux abondances larvaires et aux taux d'accumulations des métabolites secondaires chez les espèces de *Prunus* cultivés montre une disparité très contrastée entre les différentes variables chez les deux espèces.

Chez *Prunus domestica* cultivé, l'abondance larvaire est corrélée positivement avec les accumulations de proline, alors que les accumulations des sucres totaux traduisent une réduction importante de la disponibilité larvaire. Cette évolution inverse chez le sucres/larves est vérifiée par la présence d'une corrélation négative entre les deux variables

Cependant, chez *Prunus cerasus* cultivé, l'abondance larvaire est corrélée positivement avec les accumulations des protéines solubles et d'un degré moins concernant les accumulations des protéines hydrosolubles. En revanche, la proline traduit une réduction importante de la disponibilité larvaire.

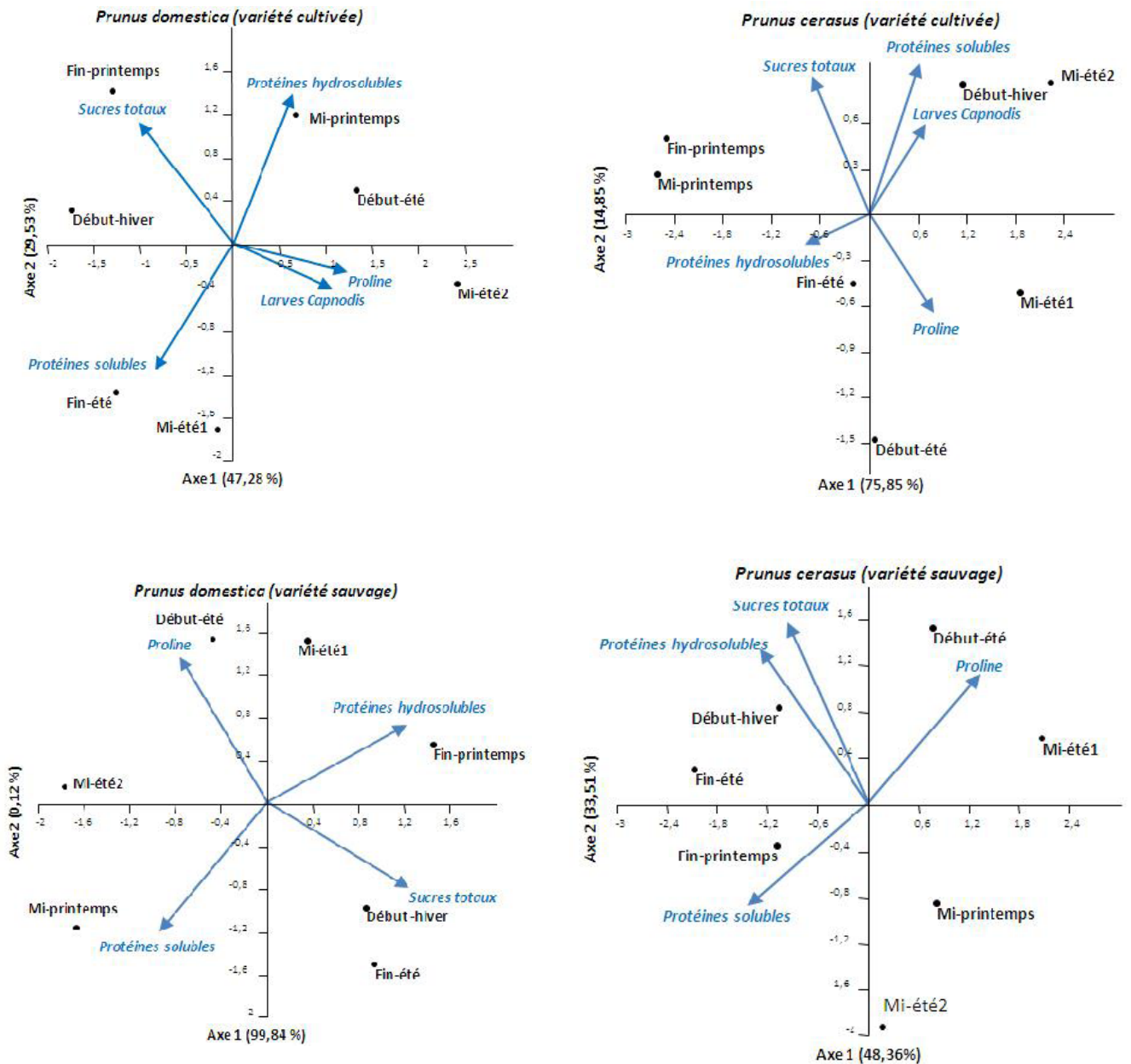


Figure 4.18 : Projection des abondances larvaires de *Capnodis tenebrionis* et de la qualité phytochimique des deux variétés de *Prunus* sur les deux axes de l'ACP.

Sucres_TOT : Sucres totaux, Protéines_HYD : Protéines hydrosolubles, Protéines_SOL : Protéines solubles, S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver

Chez les espèces sauvage de *Prunus* notamment le *P. domestica* et *P. cerasus*, l'absence des larves *Capnodis* serait lié essentiellement à la nature des accumulations des métabolites secondaires chez les deux espèces.

Les projections des variables désignent une relation très marquée entre les sucres et les protéines hydrosolubles chez *P. cerasus* sauvage alors que cette liaison est moins prononcée chez *P. domestica* sauvage.

Les valeurs propres du coefficient de corrélation montrent la nature des relations préétablies par excellence entre sucres et protéines hydrosolubles et le renoncement de la proline et des protéines solubles dans les interactions plantes hôtes–ravageurs (*Prunus* / larves *Capnodis*).

4.4.4. Affinité de la disponibilité des larves *Capnodis* aux constituants phytochimiques des deux *Prunus*

Nous avons étudié l'effet de la variation d'accumulation des métabolites secondaires sur la fluctuation de la disponibilité globale des larves *Capnodis*. Les résultats compilés dans les tableaux de la régression multiple indiquent la variation temporelle de la disponibilité larvaires (=constante) en fonction des métabolites secondaires des espèces hôtes à savoir *P. domestica* et *P. cerasus* (Tableau 4.10 et 4.11). Les liens établis entre disponibilité larvaire et métabolites secondaires seront estimé par référence à la valeur de la probabilité associée. La nature de la corrélation (positive, négative) sera désignée par référence à la valeur du coefficient.

Les tabulations relatives à la variation temporelle de la disponibilité larvaire affichent une abondance non significative sur *P. domestica* cultivé, cependant cette disponibilité exprime une relation modérée avec les sucres totaux, les protéines hydrosolubles et les protéines solubles. La proline se montre loin d'être un métabolite convoité par les larves *Capnodis* quant au choix de son support nourricier, cette relation est confirmée par la valeur forte de la probabilité. La confrontation des métabolites secondaires avec la disponibilité larvaire montre que les sucres totaux et les protéines hydrosolubles présentent une affinité très intime par rapport aux

protéines solubles. En fin, la disponibilité larvaire de *C. tenebrionis* exprime une affinité positive avec l'accumulation des protéines hydrosolubles, alors que les sucres totaux se montrent comme métabolite contraignant au développement larvaire.

Tableau 4.10: Régressions multiples appliquées à l'infestation larvaire de *Capnodis tenebrionis* en fonction de la qualité phytochimique du *Prunus domestica* cultivé

	Coeff.	Std.err.	t	p	R ²
Constant (larves)	1,2678	95,912	0,013219	0,99065	0
Sucres totaux	-4,2743	4,817	-0,88734	0,46851	0,32766
Protéines_hydrosolubles	157,53	133,93	1,1762	0,36055	0,11416
Potéines_solubles	149,87	202,12	0,7415	0,53564	0,0067948
Proline	66,762	178,77	0,37346	0,74468	0,23711

	Coeff.	Std.err.	t	p	R ²
Constant (larves)	31,776	42,44	0,74874	0,50837	0
Sucres totaux	-5,496	2,9858	-1,8407	0,16293	0,32766
Protéines_hydrosolubles	157,79	113,1	1,3951	0,25732	0,11416
Potéines_solubles	113,49	149,55	0,75887	0,50311	0,0067948

	Coeff.	Std.err.	t	p	R ²
Constant (larves)	53,978	29,069	1,8569	0,13689	0
Sucres totaux	-5,015	2,7588	-1,8178	0,14324	0,32766
Protéines_hydrosolubles	106,23	85,49	1,2426	0,28188	0,11416

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,01%

Les tabulations relatives à la variation temporelle de la disponibilité larvaire (tableau 4.10) affichent une abondance non significative sur *P. domestica* cultivé, cependant cette disponibilité exprime une relation modérée avec les sucres totaux, les protéines hydrosolubles et les protéines solubles. La proline se montre loin d'être un métabolite convoité par les larves *Capnodis* quant au choix de son support nourricier, cette relation est confirmée par la valeur forte de la probabilité. La confrontation des métabolites secondaires avec la disponibilité larvaire montre que les sucres totaux et les protéines hydrosolubles présentent une affinité très intime par rapport aux protéines solubles. En fin, la disponibilité larvaire de *C. tenebrionis*

exprime une affinité positive avec l'accumulation des protéines hydrosolubles, alors que les sucres totaux se montrent comme métabolite contraignant au développement larvaire.

Concernant les tabulations relatives à la variation temporelle de la disponibilité larvaire, ils affichent une abondance significative sur *P. cerasus* cultivé, cependant cette disponibilité manifeste une relation positive avec les accumulations de proline et des protéines hydrosolubles.

Tableau 4.11: Régressions multiples appliquées à l'infestation larvaire du Capnode en fonction de la qualité phytochimique de *Prunus cerasus* cultivé

	Coeff.	Std.err.	t	p	R ²
Constant (larves)	63,574	60,004	1,0595	0,40043	0
Sucres totaux	-0,93623	4,1013	-0,22827	0,84065	0,24006
Proline	-120,68	105,26	-1,1464	0,37027	0,42802
Protéines_solubles	-0,82211	30,312	-0,027121	0,98083	0,40625
Protéines_hydrosolubles	<u>-205,03</u>	63,445	-3,2317	<u>0,08388*</u>	0,8091

	Coeff.	Std.err.	t	p	R ²
Constant (larves)	62,96	45,389	1,3871	0,25949	0
Sucres totaux	-0,90939	3,2504	-0,27978	0,79783	0,24006
Prolines	-119,82	81,936	-1,4623	0,23983	0,42802
Protéines_hydrosolubles	<u>-204,13</u>	44,198	-4,6186	<u>0,019103*</u>	0,8091

	Coeff.	Std.err.	t	p	R ²
Constant (larves)	50,315	12,46	4,0381	<u>0,027322*</u>	0
Proline	<u>-98,952</u>	37,177	-2,6616	<u>0,076234*</u>	0,42802
Protéines_solubles	0,84761	24,329	0,034839	0,9744	0,40625
Protéines_hydrosolubles	<u>-196,5</u>	42,406	-4,6339	<u>0,018934*</u>	0,8091

	Coeff.	Std.err.	t	p	R ²
Constant (larves)	-5,9875	6,8315	-0,87646	0,43026	0
Proline	51,321	44,967	1,1413	0,31743	0,42802
Protéines_hydrosolubles	55,43	52,656	1,0527	0,35187	0,40625

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,01%

4.4.5. Variation de l'épaisseur de l'écorce chez les deux espèces de *Prunus* selon le greffon et le porte-greffe

La variation des épaisseurs de l'écorce montre une fluctuation apparente entre les deux espèces de *Prunus* (*Prunus. domestica* et *Prunus. cerasus*) avec une suprématie pour le *P. cerasus*. En revanche, l'épaisseur du greffon et du porte-greffe affiche des valeurs divergentes. Chez *P. domestica*, il apparaît que le porte-greffe est plus développé que le greffon, alors que chez *P. cerasus* le greffon affiche des valeurs plus importantes que le porte-greffe (Figure 4.19).

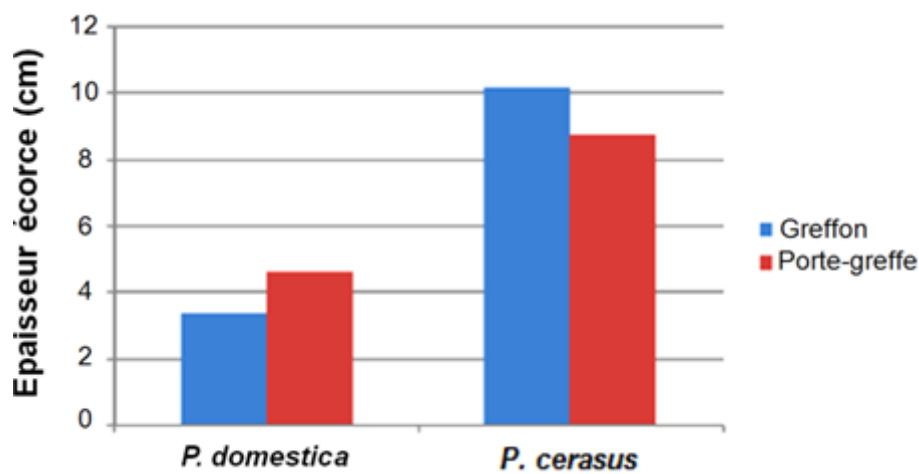


Figure 4.19 : Variation des épaisseurs du greffon et porte –greffe chez les deux espèces de *Prunus*.

Le recours à l'analyse de la variance type G.L.M., nous permet d'avancer que l'épaisseur de l'écorce est très prononcée chez *Prunus cerasus*, la valeur de la probabilité associée confirme la présence d'une différence très hautement significative. En revanche, l'épaisseur n'exprime pas une différence significative pour les variations entre greffon et porte-greffe (Figure 4.20).

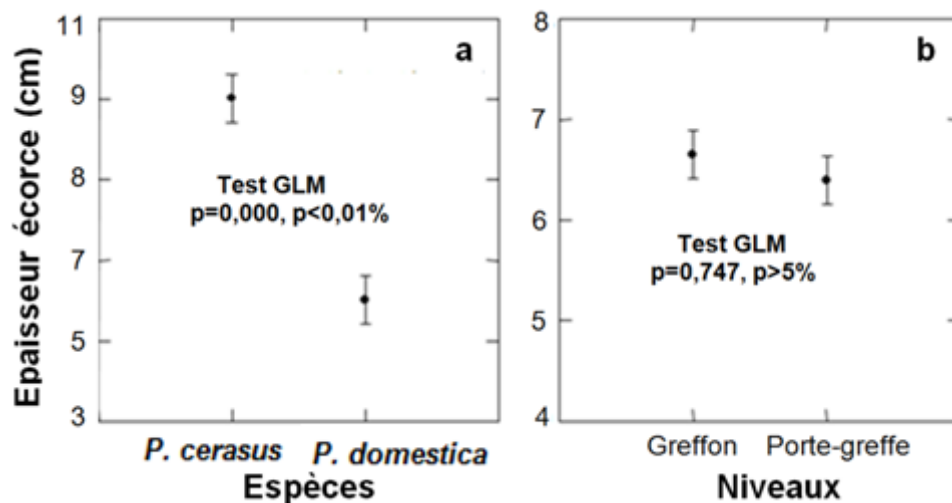


Figure 4.20 : Effets comparés de la variation des épaisseurs de l'écorce du greffon et porte –greffe (b) chez les deux espèces de *Prunus* (a).

4.4.6. Variation de la dureté du bois chez les deux espèces de *Prunus* selon le greffon et le porte-greffe

Les histogrammes ci dessous présentent une comparaison physique (dureté) entre les bois des deux *Prunus*. Cette représentation graphique montre que le paramètre dureté présente des valeurs contrastées entre les deux espèces de *Prunus* (*Prunus cerasus*, *Prunus domestica*), au profit de *Prunus cerasus* au détriment de *P. domestica* (Figure 4.21). En revanche, la comparaison de la dureté entre les deux compartiments pour la même espèce affiche des valeurs divergentes, où le greffon du *Prunus domestica* se montre relativement plus dur que son porte-greffe avec des valeurs respectives de 105 Shore et 115 Shore, alors que chez *Prunus cerasus*, le porte-greffe présente une dureté nettement supérieur que celle affichée pour le greffon avec des valeurs respectives de 220 Shore et 190 Shore (Figure 4.21).

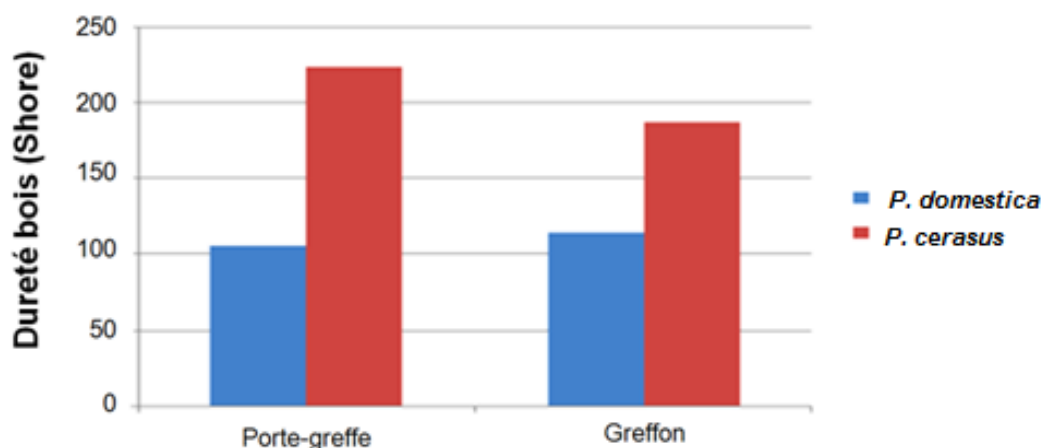


Figure 4.21 : Variation de la dureté du greffon et porte –greffe chez les deux espèces de *Prunus*

Le recours à l'analyse de la variance type G.L.M. entre les deux espèces de *prunus*, nous permet d'avancer que la dureté du bois est très importante chez le *P. cerasus*, avec une probabilité associée qui confirme la présence d'une différence très hautement significative ($p=0,00$, $p<0,01$) (Figure 4.22). Avec une moyenne de 220 Shore comparé au *P. domestica* qui affiche une moyenne approximative de 100 Shore.

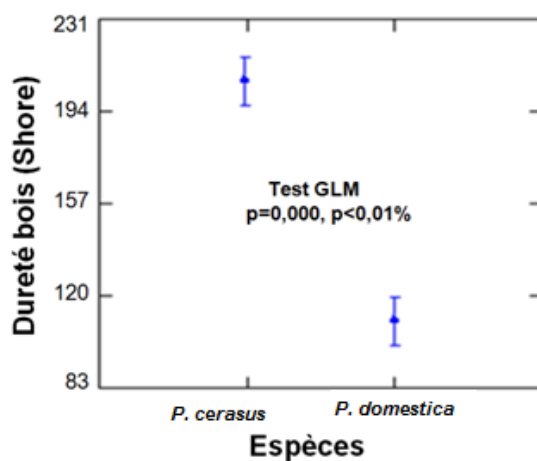


Figure 4.22: Effets comparés de la variation de la dureté chez les deux espèces de *Prunus*

4.5. Etude comparée de la toxicité de différentes doses d'un insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* dans les conditions naturelles

4.5.1. Fluctuation temporelle de l'abondance globale de *Capnodis tenebrionis* sous l'effet des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5%

L'abondance globale des différentes formes biologiques de *C. tenebrionis* sous l'effet de l'application des différentes doses de Tefluthrine 0,5% révèle une diminution importante dès le troisième jour d'application. La dose recommandée (10 g/arbre) et la double dose (20 g/arbre) affectent d'une manière cruciale la disponibilité des individus *Capnodis*. L'effet graduel négatif s'installe clairement dès le quatrième jour d'apport du produit. Bien que la reprise biocénotique de la disponibilité des individus *Capnodis* est apparente sous l'effet de la demi-dose (5 g./arbre) de Tefluthrine 0,5%, sous dose et double dose aucune reprise n'est à signaler même au-delà du septième jour d'après traitement (Figure 4.23).

Dans le but d'apprécier la variation d'abondance journalière durant la période d'évaluation de l'effet toxique de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5%, nous avons eu recours au Test de Wilcoxon qui a été confirmé par le Test de Monte Carlo. La comparaison par paire des effectifs dans chaque bloc du dispositif expérimental montre que la fluctuation des abondances au niveau des blocs témoins affiche une différence significative par comparaison aux abondances au niveau des blocs traité par la demi-dose de Tefluthrine 0,5%. Une mortalité très accusée est signalée chez les individus *Capnodis* évoluant sur *Prunus cerasus* (Tableau 4.12).

Tableau 4.12: Evaluation de la toxicité de la demi-dose de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur l'abondance globale de *Capnodis tenebrionis*

	TR <i>P.domestica</i>	TEM <i>P. domestica</i>	TRT <i>P.cerasus</i>	TEM <i>P.cerasus</i>	TRT <i>P. domestica</i>	TRT <i>P.cerasus</i>
Nombre (mois)	7		7		7	
Moyenne (Individus)	1,517	1,7756	0,95243	1,517	1,7756	0,95243
Médiane (Individus)	1,571	2	0,905	1,571	2	0,905
Test Wilcoxon (p)	0,012819*		0,029318*		0,017756*	
Test Monte Carlo (p)	0,01564*		0,034213*		0,01529*	

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%

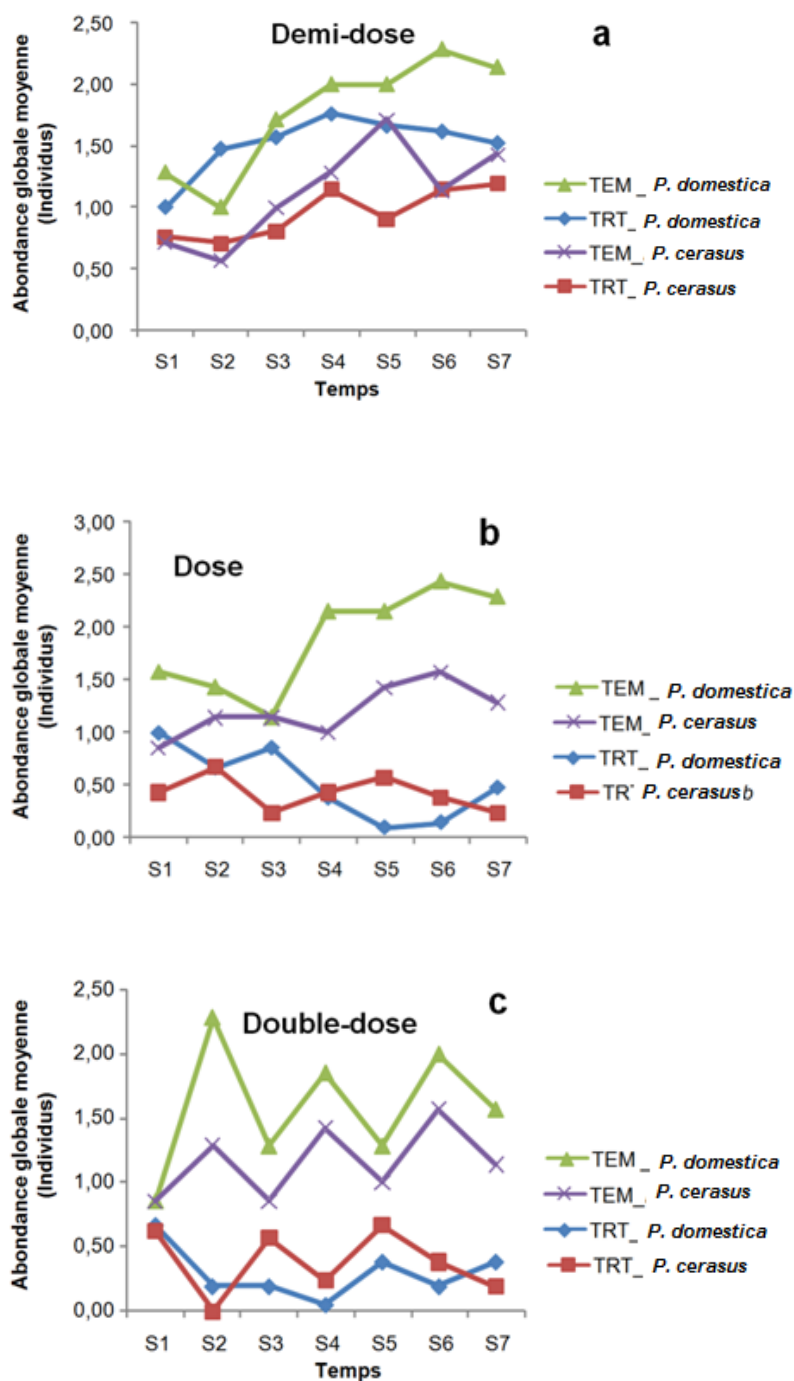


Figure 4.23 : Evaluation temporelle des abondances globales moyennes de *Capnodis tenebrionis* sous l'effet des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5%

S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver

L'abondance globale de *C. tenebrionis* sous l'effet de la dose recommandé de Tefluthrine 0,5% révèle la présence d'une différence significative entre les abondances témoins et traitées et cela pareillement chez *P. cerasus* et *P. domestica*, une différence non significative est enregistrée entre les abondances au niveau des individus évoluant sur *P. domestica* et *P. cerasus* (Tableau 4.13).

Tableau 4.13: Evaluation de la toxicité de la dose de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur l'abondance globale de *Capnodis tenebrionis*

	TRT <i>P.domestica</i>	TEM <i>P.domestica</i>	TRT <i>P.cerasus</i>	TEM <i>P.cerasus</i>	TRT <i>P.domestica</i>	TRT <i>P.cerasus</i>
Nombre (mois)	7		7		7	
Moyenne (Individus)	0,517	1,8777	0,4218	0,517	1,8777	0,4218
Médiane (Individus)	0,476	2,143	0,429	0,476	2,143	0,429
Test Wilcoxon (p)	0,0179*		0,0179*		0,7531 ^{NS}	
Test Monte Carlo (p)	0,0158*		0,0150*		0,8427 ^{NS}	

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%

La même tendance est signalée sur les abondances globales de *C. tenebrionis* sous l'effet de la double-dose de Tefluthrine 0,5% qui révèle la présence d'une différence significative entre les abondances témoins et traitées et cela similairement chez *Prunus domestica* et *Prunus mahale*, une différence non significative est enregistrée entre les abondances au niveau des individus évoluant sur *P. domestica* et *P. cerasus* (Tableau 4.14).

Tableau 4.14: Evaluation de la toxicité de la double-dose de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur l'abondance globale de *Capnodis tenebrionis*

	TRT <i>P.domestica</i>	TEM <i>P.domestica</i>	TRT <i>P.cerasus</i>	TEM <i>P.cerasus</i>	TRT <i>P.domestica</i>	TRT <i>P.cerasus</i>
Nombre (mois)	7		7		7	
Moyenne (Individus)	0,2924	1,5919	0,3808	0,2924	1,5919	0,9524
Médiane (Individus)	0,19	1,571	0,381	0,19	1,571	0,905
Test Wilcoxon (p)	0,0179*		0,0179*		0,3087 ^{NS}	
Test Monte Carlo (p)	0,0157*		0,0159*		0,3751 ^{NS}	

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%

4.5.2. Etude comparée de l'efficacité des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur l'abondance globale de *Capnodis tenebrionis*

Nous avons utilisé le modèle générale linéaire (G.L.M.) pour étudier la variation temporelle des abondances globales des individus *Capnodis* sous l'effet des différentes doses de Tefluthrine 0,5%. Ce model nous permet l'étude de l'effet strict des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre eux. Les résultats d'analyse sont consignés dans le tableau 4.15.

La variation temporelle des abondances globales des individus *Capnodis* présente une variation non significative. Les résultats montrent que la mortalité est significativement différente chez les deux hôtes. De même, les doses testées accusent des toxicités très hautement significatives sur les abondances des individus de *Capnodis* traités (Tableau 4.15).

Tableau 4.15: Modèle G.L.M. appliqué aux abondances des individus *Capnodis* selon les interactions des différents facteurs

Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
Périodes	0,228	6	0,038	0,356	0,900
Hôtes	1,404	1	1,404	13,136	0,001**
Doses	19,208	3	6,403	59,89	0,000***
Périodes x Hôtes	0,139	6	0,023	0,216	0,969 ^{NS}
Périodes x Doses	3,024	18	1,68	15,72	0,013*
Hôtes x Doses	1,611	3	0,537	5,024	0,007**
Périodes x Hôtes x Doses	0,937	18	0,052	0,487	0,943 ^{NS}
Var. intra	2,993	28	0,107	-	-

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,01%

Les présentations graphiques obtenues par le biais de test G.L.M., nous indiquent que les différentes doses appliquées maintiennent le niveau des populations assez faible et ceci durant toute la période du suivi qui s'est étalé sur sept jours (Figure 4.24a). Aussi, les doses appliquées accusent une mortalité très apparente sur les populations de *Capnodis* évoluant sur *Prunus cerasus* en comparaison au *Prunus domestica* (Figure 4.24b). En revanche, l'analyse graphique

par rapport à la probabilité associée, montre que la dose recommandée ainsi que la double dose de Tefluthrine 0,5% sont très toxiques par comparaison à la demi-dose. Cette dernière étant la moins toxique, mais son effet peut être décalé des mortalités naturelles enregistrées chez le témoin (Figure 4.24c).

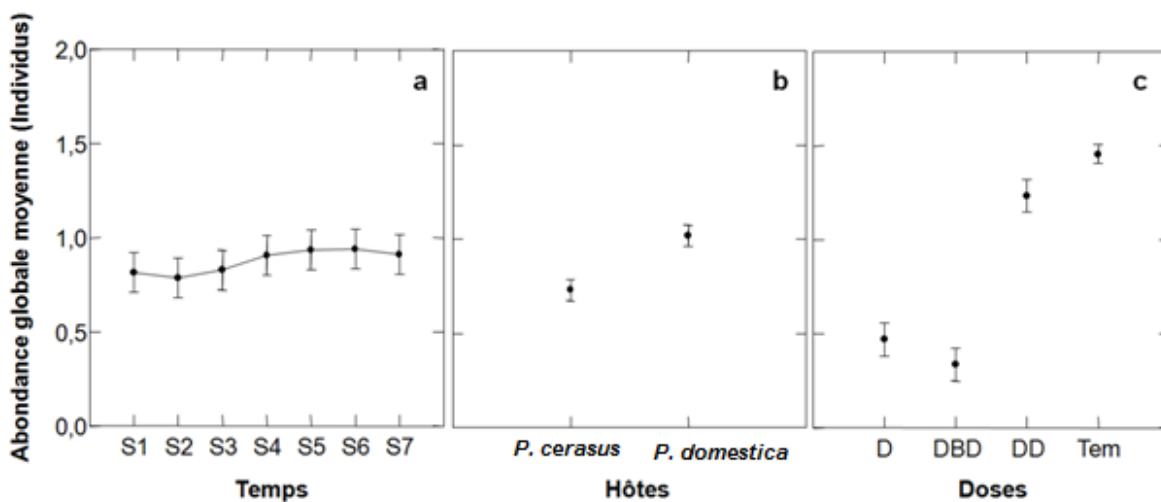


Figure 4.24: Effets comparés de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les abondances globales de *Capnodis tenebrionis*

Tem : Témoin, D : Dose, DD : Demi-dose, DBD : Double-dose

Dans le but d'appréhender l'évolution temporelle des abondances globales des individus *Capnodis* simultanément sous l'effet de l'activité insecticide de Tefluthrine 0,5%, nous avons eu recours à l'analyse de la variance type ANOVA.

L'interaction des facteurs Périodes/Doses de traitements dénote que la variation d'abondance des populations *C. tenebrionis* est statistiquement significative (F-ratio=15,72, $p=0,013$, $p<1\%$) (Tableau 4.15). On distingue un effet similaire et répressif de la dose recommandée et de la double-dose dès le deuxième jour d'application. En revanche, une similarité de fluctuation des abondances est enregistrée chez le bloc témoin et le bloc traité par la demi-dose de Tefluthrine 0,5% (Figure 4.25).

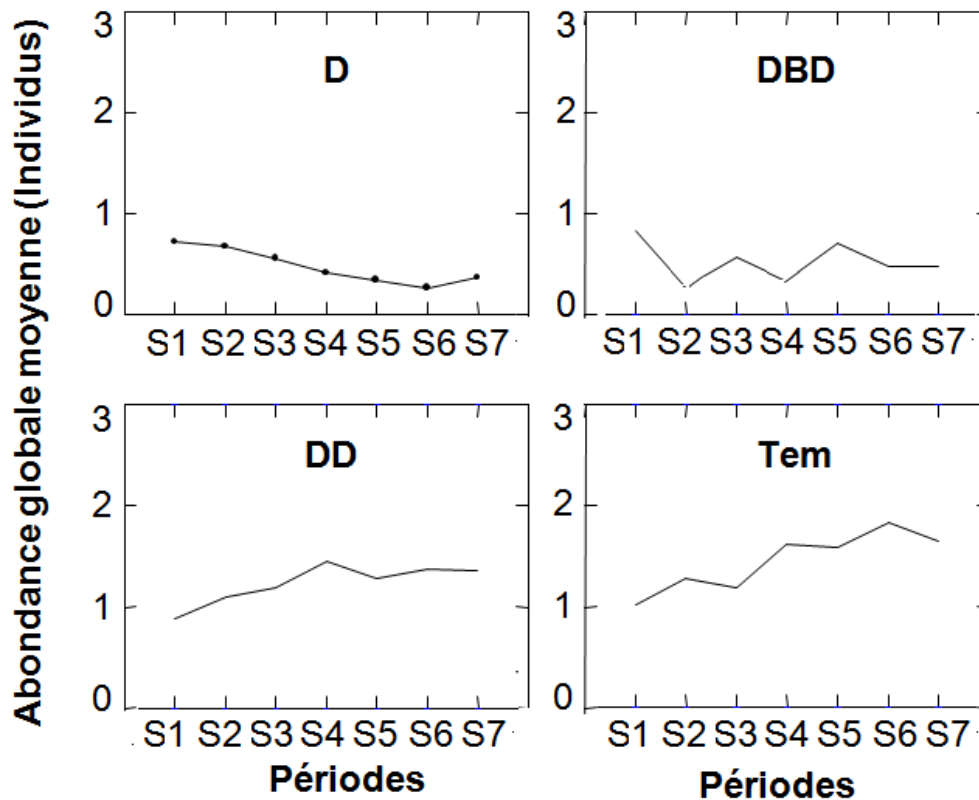


Figure 4.25: Estimation de l'efficacité temporelle des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les abondances globales de *Capnodis tenebrionis*

Tem : Témoin, D : Dose, DD : Demi-dose, DBD : Double-dose, S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver

L'interaction des facteurs Hôtes/Doses de traitements enseigne que la variation d'abondance des populations *C. tenebrionis* est statistiquement significative (F-ratio=5,024, $p=0,007$, $p<1\%$) (Tableau 4.15). On distingue un effet similaire de la dose recommandé et de la double-dose avec une efficacité apparente sur la disponibilité des individus *Capnodis* respectivement chez le *Prunus domestica* et *Prunus cerasus*. En revanche, une similarité de fluctuation des abondances est enregistrée chez le bloc témoin et le bloc traité par la demi-dose de Tefluthrine 0,5% (Figure 4.26).

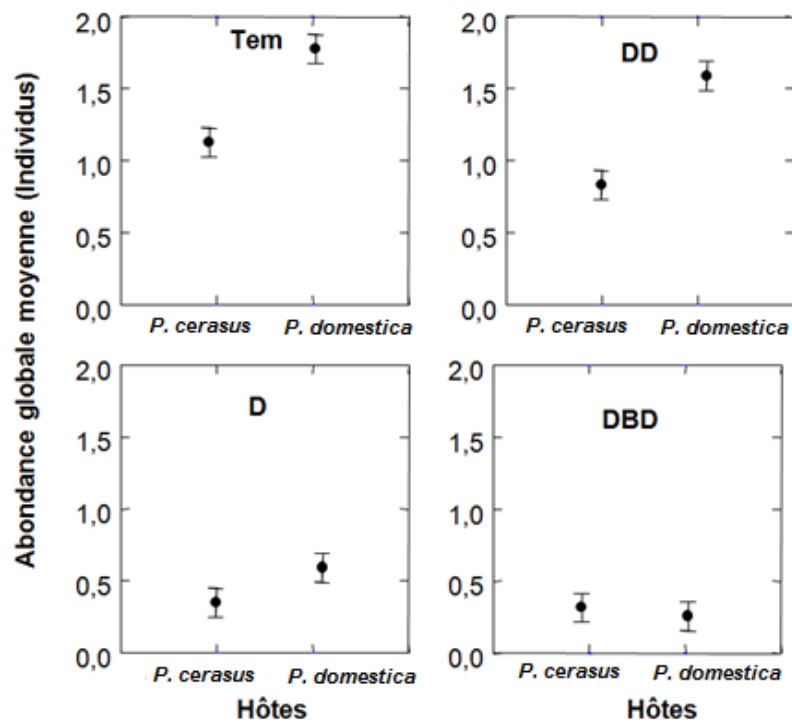


Figure 4.26: Estimation de l'efficacité des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les abondances globales de *Capnodis tenebrionis* évoluant sur les deux *Prunus*

Tem : Témoin, D : Dose, DD : Demi-dose, DBD : Double-dose

4.5.3. Fluctuation temporelle des populations résiduelles des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sous l'effet des différentes doses de l'insecticide de synthèse

La variation temporelle de la population résiduelle des individus *Capnodis* sous l'effet des fortes doses (Figure 4.27b) de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% révèle une toxicité remarquable ($PR < 30\%$) dès le troisième jour d'exposition à la dose recommandée. Les individus évoluant sur *P. domestica* étant les plus touchés (Figure 4.27b). Cette toxicité est d'autant plus foudroyante sur les individus de *Capnodis* dès le deuxième jour d'exposition à la double dose Tefluthrine 0,5%. L'augmentation de la période d'exposition conduit logiquement à une augmentation de la mortalité et par conséquent une réduction flagrante de la disponibilité des individus *Capnodis* (Figure 4.27c).

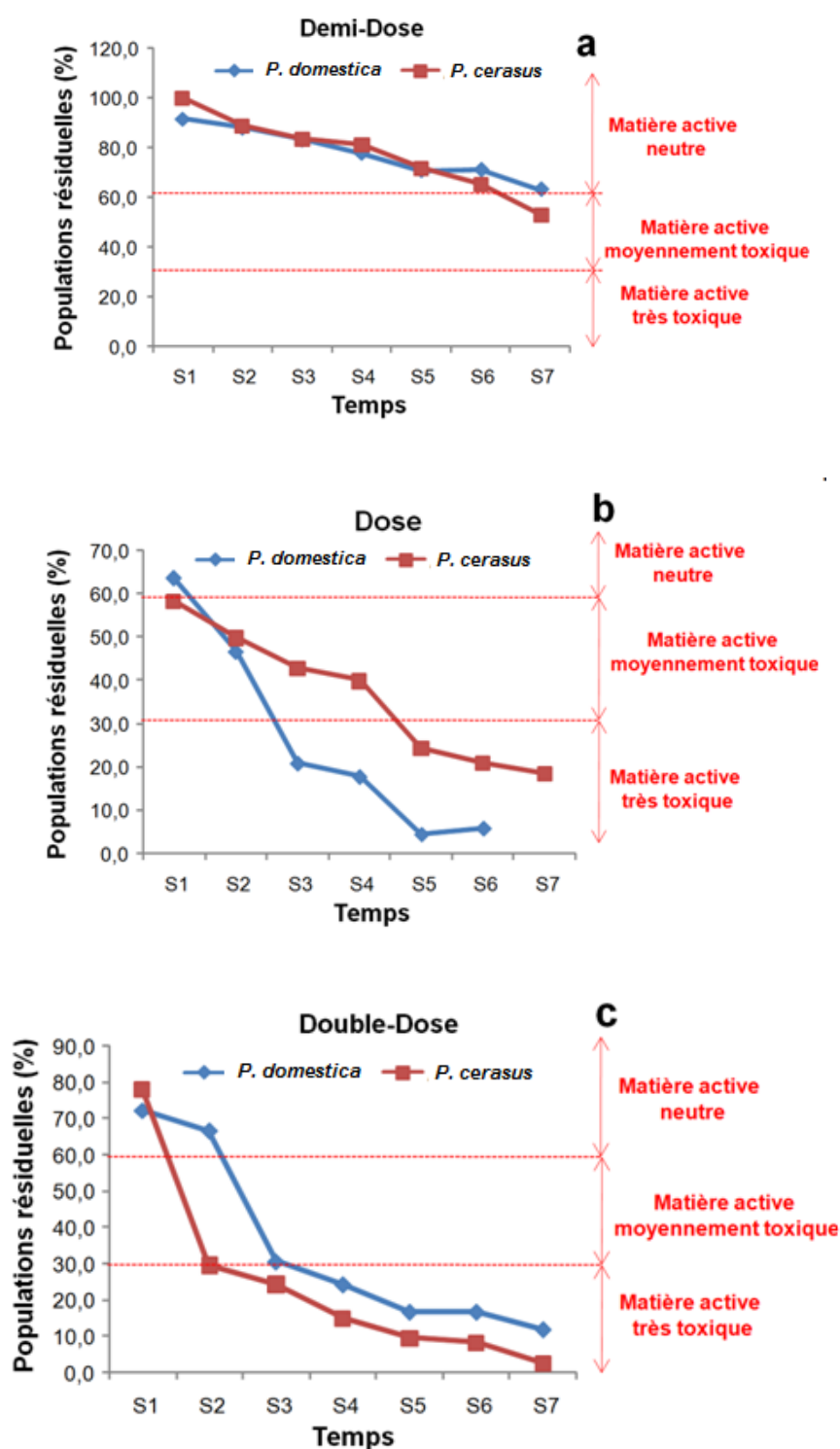


Figure 4.27 : Evaluation temporelle des populations résiduelles de *Capnodis tenebrionis* sous l'effet des différentes doses du Tefluthrine 0,5%

S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver

Concernant la faible dose (Demi-dose), l'analyse du graphique de la fluctuation des populations résiduelles des individus *Capnodis*, montre que la demi-dose de Tefluthrine 0,5% a un effet neutre sur le ravageur. Ce n'est qu'à partir du septième jour d'exposition que le produit manifeste une toxicité moyenne (Figure 4.27a).

4.5.4. Etude comparée de l'efficacité des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les populations résiduelles des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis*

Nous avons utilisé l'analyse de la variance type modèle général linéaire (G.L.M.), pour expliquer l'effet temporel de la toxicité des différentes doses de Tefluthrine 0,5% sur les individus *Capnodis* disponibles sur les deux hôtes de *Prunus*. Les résultats sont consignés dans le tableau 4.16.

Tableau 4.16: Modèle G.L.M. appliqué à l'abondance globale des individus *Capnodis* en fonction des différents facteurs

Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
Périodes	13336,614	6	2222,769	23,661	0,000***
Hôtes	71,753	1	71,753	0,764	0,389 ^{NS}
Doses	19830,042	2	9915,021	105,544	0,000***
Var. intra	3006,157	32	93,942	-	-

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,01%

L'efficacité temporelle des traitements appliqués désigne une différence très hautement significative entre les populations résiduelles de *C. tenebrionis* d'avant traitement et d'après traitement (F-ratio=23,661, p=0,000; p<0,01%) (Tableau 4.16 et Figure 4.29a). Les différences très hautement significatives des doses de Tefluthrine 0,5% appliquées ont montré une action toxique où on signale une chute de la disponibilité jusqu'au septième jour d'exposition sous dose recommandé et double-dose (F-ratio=105,544, p=0,000; p<0,01%) (Tableau 4.16 et Figure 4.28b).

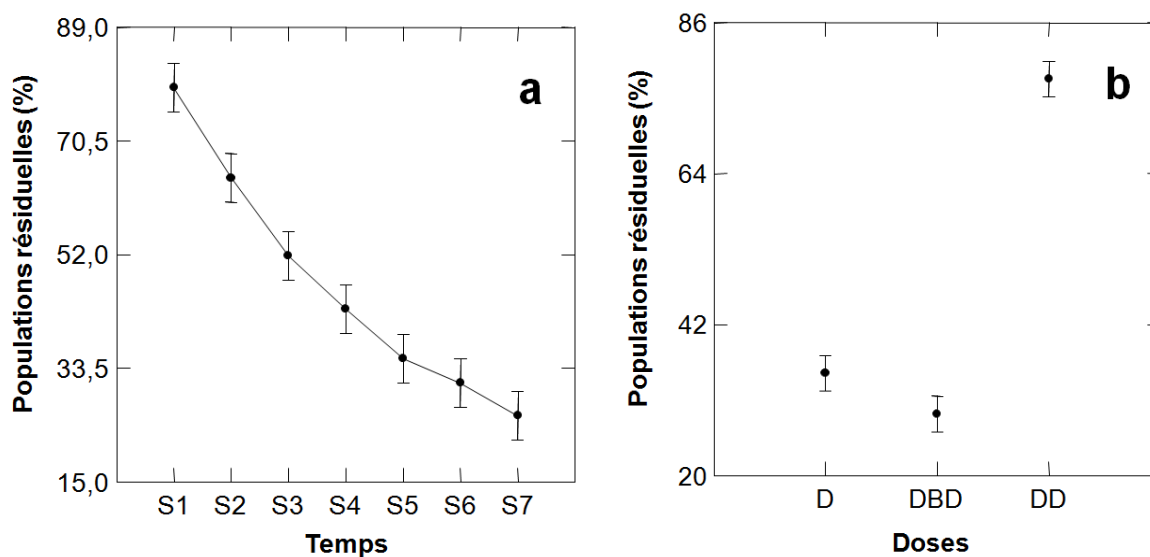


Figure 4.28 : Effet temporel des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les populations résiduelles des individus *Capnodis*

Tem : Témoin, D : Dose, DD : Demi-dose, DBD : Double-dose, , S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver

Le recours à l'analyse de la variance type G.L.M., nous a permis de visualiser le comportement de l'insecticide Tefluthrine 0,5% sous les différentes dilutions proposées par l'étude. Le résultat d'interaction des facteurs Périodes/Doses est consigné dans le tableau 4.17.

Tableau 4.17: Modèle G.L.M. appliqué aux populations résiduelles des individus *Capnodis* selon l'interaction périodes/doses

Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
Périodes	13336,614	6	2222,769	28,458	0,000
Doses	19830,042	2	9915,021	126,940	0,000
Périodes x Doses	1437,637	12	1198,03	15,34	0,0189*
Var. intra	1640,273	21	78,108	-	-

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,01%

Les populations résiduelles des individus *Capnodis* présentent une variation temporelle très hautement significative (F-ratio=15,34 ; $p=0,0189$; $p<5\%$) (Tableau 4.17).

On constate que la dose et la double-dose montrent une toxicité progressive (PR<30%) jusqu'au septième jour, avec un effet très toxique de la matière active respectivement dès le quatrième et le troisième jour (Figure 30). Alors que la demi-dose reste neutre du fait que les populations résiduelles au-delà de 60% (PR>60%) (Figure 4.29).

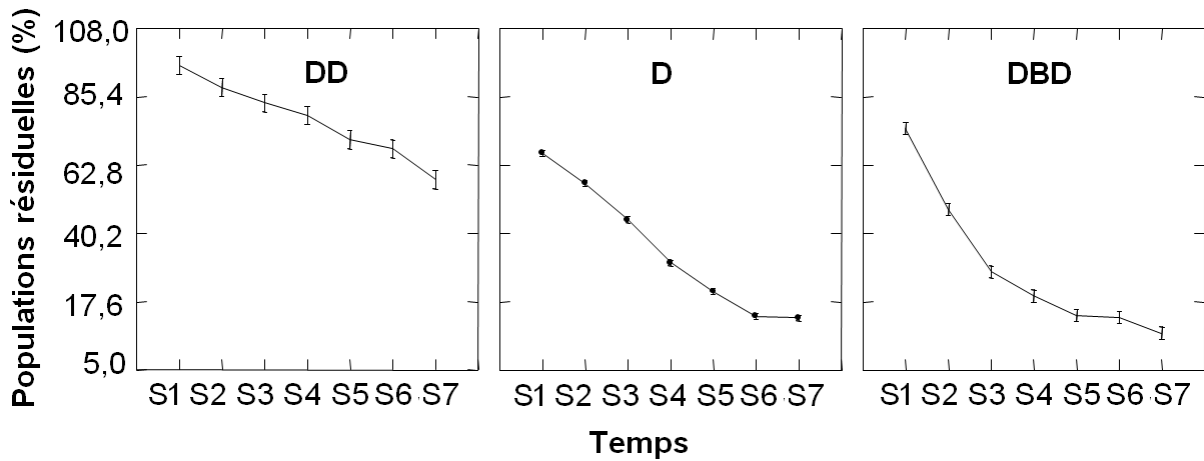


Figure 4.29: Effets comparés de l'efficacité temporelle des différentes doses de l'insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les populations résiduelles des individus *Capnodis*

Tem : Témoin, D : Dose, DD : Demi-dose, DBD : Double-dose, , S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver

DISCUSSION GÉNÉRALE

CHAPITRE 5: DISCUSSION GÉNÉRALE

5.1. Étude du cycle de vie et de la succession temporelle des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur deux plantes hôtes de *Prunus* (*Prunus cerasus* et *Prunus domestica*)

5.1.1. Variabilité du cycle évolutif de *Capnodis tenebrionis* exprimée par ces réserves énergétiques lipidiques

L'espèce *C. tenebrionis* (L., 1758) depuis son introduction en Algérie en janvier 1934 puis à Médéa en 1982, s'est multipliée dans le complexe arboricole et son expansion se poursuit actuellement presque dans tous les vergers à arboriculture fruitière à noyaux vu les conditions climatiques favorables à son développement (Température estivale comprise entre 25°C et 40°C). Les infestations par le capnode ont des conséquences économiques lourdes et peuvent souvent causer la mort des plantes à cause des galeries larvaires dans les racines [304]. Ces dégâts semblent aggraver d'une part, à la grande plasticité de ce ravageur face aux contraintes environnementales (cycle biologique assez confu allant de 1an à 2 ans) et d'autre part à sa résistance aux traitements phytosanitaires.

Le temps de développement, le taux de natalité/mortalité et le conditionnement des larves sont les indices de performance les plus importants et les plus documentés dans le cadre des études reliées à la dynamique des populations d'insectes [305]. Ainsi l'étude du cycle biologique de ce Bupreste, nous a conduits à l'étude de sa fitness globale et de son succès reproducteur sur deux supports nourriciers par excellence *P.domestica* et *P.cerasus*.

En se basant sur les propos de Chabousous [306] " *Entre la plante et l'insecte les rapports sont fondamentalement de nature nutritionnelle*" on constate que la perturbation dans la distribution des individus entre les deux *Prunus* est d'ordre nutritionnelle dans la mesure où les *Prunus* étudiés représentent la source première et unique de nourriture pour ce ravageur. En conditions naturelles, ces espèces sont

exposées à divers facteurs abiotiques et biotiques dont les variations peuvent affecter leurs croissance [307 ; 308 ; 309 ; 310 ; 311]. Ces changements “conditions de stress” chez les plantes peuvent moduler leurs interactions avec consommateurs primaire et par conséquent, elles peuvent montrer des effets bénéfiques ou néfastes sur les insectes phytophages [312 ; 313].

L'appréciation de la tendance évolutive de *C. tenebrionis* par le test de Monte Carlo (Tableau. 4.1) démontre une perturbation dans la distribution temporelle des différents stades, principalement pour le quatrième stade larvaire et les adultes, reflété sur le terrain par un retard du premier envole en faveur des adultes *Capnodis* évoluant sur *P. domestica*, et confirmé statistiquement par le Test crosscorrélacion (Tableau. 4.4) qui affiche un décalage dans l'ordre d'arrivée écologique approximative de deux mois pour L₃ et les L₄ et un décalage de un mois pour les adultes (Figure 4.5). Cangussu & Zucoloto [314], expliquent que la plante comme source d'énergie, influence directement le temps de développement, ainsi le pourcentage d'adultes émergents, la taille des individus à l'émergence, et la quantité d'énergie corporelle stockée se trouvent grandement affectés. Les mêmes auteurs, signalent aussi que les producteurs affectent différemment la partition énergétique des insectes holométaboles et hétérométaboles [315].

Ainsi une analyse de réserves énergétiques des individus *Capnodis* semble importante pour mieux comprendre ce retard évolutif existant chez les individus évoluant sur *Prunus cerasus*. Cependant la compréhension des différentes composantes de ces allocations énergétiques chez les insectes reste difficile à appréhender a cause des traits de vies relatives aux différents stades de développement.

L'analyse G.L.M. appliquée aux concentrations des réserves énergétiques lipidiques des différentes formes biologiques de *C. tenebrionis*, affiche de faibles quantités en gradation positive du L₁ au L₃ dont le pic de réserves s'affiche pour le quatrième stade larvaire (Figure 4.4a). Les résultats obtenus corroborent avec les propos de Kooijman [315] qui signale que chaque stade adaptatif présente des besoins et donc une allocation énergétique spécifique; ceci explique parfaitement la

faible disponibilité des L₄ sur *P. cerasus* qui présentent des besoins énergétiques plus importantes et donc un besoin nutritif plus accru pour les L₃ permettant leur transition vers le prochain stade, ce besoin semble donc peu disponible chez la plante hôte suscitée.

Le soutien des processus métaboliques présente une éphémérité temporelle, [316], ceci a été confirmé dans nos résultats, où l'analyse G.L.M. nous affiche une diminution en réserves à partir du stade nymphale jusqu'au stade adulte. Foucreau [316], ajoute qu'au moment de la diapause nymphale, les réserves de la larve suffisent à assurer la métamorphose. La biomasse structurelle de la larve est ainsi convertie en réserves d'énergie pour la nymphe. Et que l'énergie contribuant initialement à la maturation des larves peut en partie être réallouée à la reproduction des adultes [315]. Donc, l'allocation énergétique chez les larves n'est certainement pas complètement découplée de la reproduction future de l'organisme à l'état adulte [315].

Une demande absolue en énergie pour les individus entraîne un désavantage lorsque les conditions de ressources sont limitantes [317 ; 318]. Ce désavantage peut être rétabli par la capacité de discrimination des larves envers les ressources trophiques proposées en termes de valeur nutritionnelle, avec une préférence pour celles permettant la meilleure performance [314]. Cette discrimination envers le support nutritif est très significative chez *C. tenebrionis* qui montre une orientation préférentielle envers *P. domestica* sur le quel les individus présentent d'importantes réserves lipidiques comparé aux individus évoluant sur *Prunus cerasus* (Figure 4.4b), qui se trouve ainsi considéré comme source de nourriture peu idéale pour le développement du bioagresseur et qui était à l'origine du décalage adaptatif de ce Bupreste.

En définitif, le degré d'associabilité entre la disponibilité lipidique résultante d'un compromis évolutif (trade-off) d'allocation des ressources entre les différents traits d'histoire de vie [319], et la qualité médiocre du support alimentaire, a engendrer une capitalisation d'une quantité limitée d'énergie, étant donné que l'expression d'un trait étant coûteuse et que toute énergie allouée à un trait n'est plus

disponible pour l'expression d'un autre. Cet état de fait a conduit le Bupreste à se maintenir tout en retardant le rythme de développement larvaire sur *Prunus cerasus*.

5.1.2. Implication des métabolites du bois dans les fluctuations des réserves énergétiques

Les fluctuations des réserves énergétiques sont conditionnées par la disponibilité et la variabilité des éléments nutritifs en fonction des variations saisonnières qui vont agir sur le cycle biologique de l'insecte [320]. Cependant une analyse de métabolites primaires et secondaires (cellulose, hemicellulose, azote, lignine, protéines totaux et polyphénols) du bois des deux *Prunus* était nécessaire pour mieux comprendre l'impact de la qualité phytochimique sur l'allocation du budget énergétique de *C. tenebrionis*. Les résultats obtenus montrent clairement le degré d'associabilité existant entre les éléments nutritifs suscités et les réserves énergétique des différents stades larvaire (Figure 5.1)

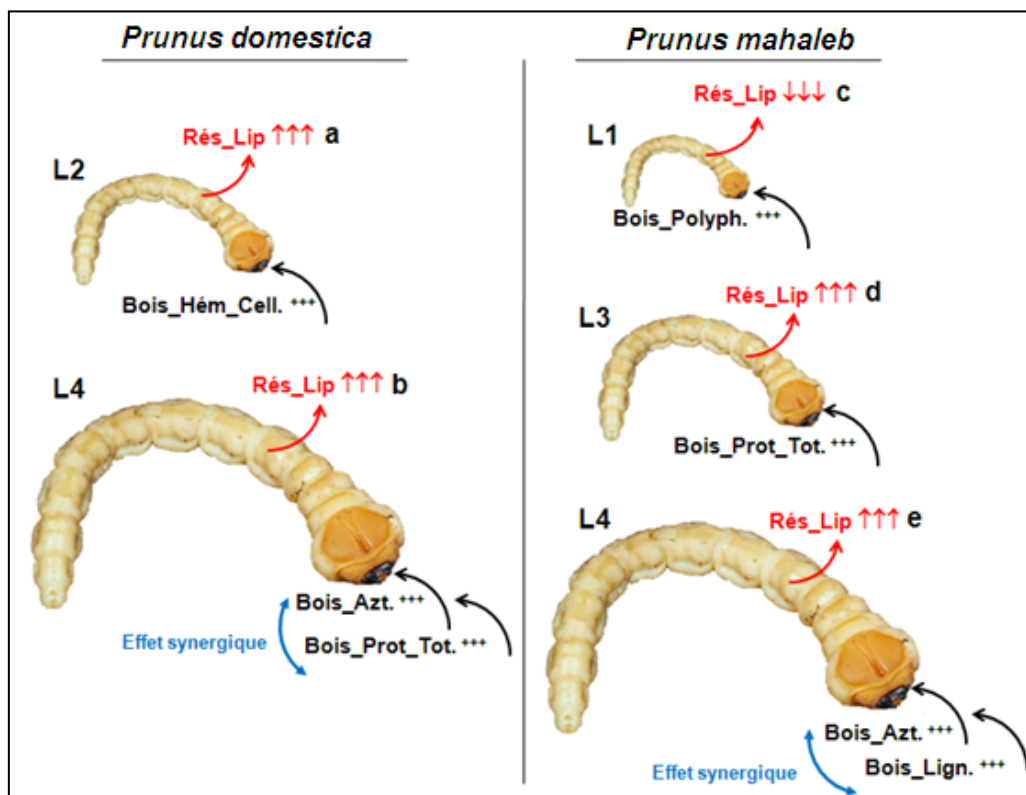


Figure 5.1: Corrélations temporelles entre les métabolites du bois et les concentrations des réserves énergétiques lipidiques des larves *Capnodis*

La cellulose, l'hémicellulose et la lignine, sont trois éléments constituant la paroi cellulaire du bois et considéré comme réducteur de digestibilité [321]. A la différence de la cellulose, l'hémicellulose est principalement amorphe et par conséquent sa réactivité chimique plus importante, lui procure une dégradation plus élevée [322], et donc une digestibilité plus facile par les xylophages. L'expression schématique (Figure 5.1) des valeurs du coefficient de corrélation (Tableau. 4.2 et 4.3) indique que le stade larvaire (L_2) évoluant sur *P. domestica* est lié positivement à la disponibilité de l'hémicellulose, ce lien trophique positif proclame la présence d'hémicellulase (enzyme responsable d'hydrolyse de l'hémicellulose) chez les jeunes stades larvaires de *C. tenebrionis*.

La cellulose représente 40 à 50% du bois, alors que hémicellulose ne représente que 15% [323], cette faible proportion d'hémicellulose ne semble pas satisfaire les besoins énergétiques du dernier stade larvaire (L_4) qui a renoué d'autres voies de substitution pour couvrir les besoins évolutifs. Les nouvelles liaisons sont confirmées par les corrélations positives établies avec l'azote et les protéines totales. Plusieurs auteurs notamment Bidon [324], confirme l'influence de ces deux éléments nutritifs sur la croissance larvaire des insectes [324]. Le type de protéines et le taux d'azote affectent la durée de développement larvaire, de plus un faible taux d'azote accroît le taux de mortalité et réduit la digestibilité des protéines [325]. Durzan et Lopushanski [326], confirment l'existence d'une forte relation entre les performances de l'insecte et le taux d'azote. Si le support nourricier ne contient pas ou contient de faibles quantités de protéines, le développement larvaire est affecté quel que soit le taux d'azote total [327]. La perturbation du métabolisme de l'azote, est liée à hydrolyse des protéines, de sorte que les concentrations en protéines diminuent tandis que celles en acides aminés, notamment la proline, augmentent [325]. De tel propos fait penser à un lien de dépendance et de synergie existant entre l'azote et les protéines totales.

Chez *P. cerasus*, le taux d'Azote enregistré au niveau du bois montre son affinité avec la capacité accumulatrice des réserves lipidiques pour le stade larvaire

(L₄). L'accumulation en réserves lipidiques chez le même stade, est soutenue par l'importance de la lignine, ce dernier étant un composé indigeste, sa dégradation nécessite la présence de ligninolyse synthétisée par de nombreuses bactéries et champignons hébergés dans le tube digestif des xylophages [328]. La relation positive exprimée entre les réserves lipidiques du quatrième stade larvaire et la lignine en remplacement aux protéines, malgré la difficulté de son hydrolyse, signifie que les faibles concentrations en protéines chez *P. cerasus* ne couvrent pas les besoins énergétiques élevés de ce stade, alors que la lignine autant que fibres alimentaires constitué principalement de polysaccharides [329], représente une source plus satisfaisante du point de vue énergétique. De plus, Dadd [330], informe que certaines espèces sont capables de remplacer entièrement les protéines par les sucres.

Chez *P. cerasus*, les faibles concentrations en protéines totales comparé au *P. domestica* (Figure 4.3), évoque une source d'énergie favorable au développement des larves du troisième stade (Figure 4.4b), qui présente moins d'exigences en termes d'énergie par rapport au quatrième stade.

Soumises aux attaques des insectes phytophages, les plantes disposent d'un système de défense qui limite les attaques des insectes phytophages, les polyphénols autant que métabolites secondaires, sont des alcools aromatiques intégrés dans ce système de défense [331]. Les teneurs en polyphénols expriment une différence bien distincte entre les deux *Prunus*, avec un succès pour *Prunus cerasus* (Figure 4.3). Ce dernier résultat ajouté au succès hautement significatif en matière de cellulose, justifie nos premiers résultats qui considèrent *Prunus cerasus* comme élément indigeste. La synthèse de polyphénol oxydase et d'inhibitrices protéases, sont à l'origine des effets négatifs sur la fitness des insectes [332]. Les polyphénols peuvent agir par la réduction de la nourriture consommée, dont la réduction de la disponibilité de l'azote nutritionnelle [333 ; 334 ; 335 ; 336 ; 337]. Cette réduction de disponibilité peut avoir un lien avec l'absence de corrélations entre l'azote et les gains lipidiques chez les trois premiers stades évolutif de *C. tenebrionis* contraignant ainsi les propos de Ramanjulu et Sudhakar [338], ainsi que

ceux Delaunay et Verma [339], qui affirment l'influence positive de l'azote sur la vitesse de développement des jeunes larves (Figure 4.3).

La caractéristique la plus déterminante des polyphénols est leur capacité de former des complexes (par précipitation) avec les polymères naturels comme les protéines nutritives, les enzymes digestives et les polysaccharides (amidon, cellulose, hémicellulose etc.) [340; 341; 342]. Nos résultats peuvent avoir une orientation dans ce sens, dans la mesure où l'hémicellulose chez *Prunus cerasus* ne présente aucune corrélation avec les réserves énergétiques des différents stades larvaires (Tableau. 4.3), contrairement à *P. domestica* (Tableau.4.2), on suppose que les fortes concentrations en polyphénols chez *Prunus cerasus* ont pu donner avec l'hémicellulose des complexes indigestes (Figure 4.3). De plus, cette forte concentration en polyphénol influence négativement de manière très significative le développement du premier stade larvaire (L₁) de *C. tenebrionis* (Tableau. 4.3). Du fait de leurs faibles réserves lipidiques et une pauvre microflore intestinale, les larves *Capnodis* (L₁) évoluant sur *Prunus cerasus*, n'ont pas pu surmonter l'effet toxique des polyphénols, à la différence des autres stades qui savent mieux gérer l'effet néfaste de ses métabolites (polyphénols). En contre partie, les larves évoluant sur *P. domestica* semblent avoir moins de facteurs nutritionnels contraignants (faibles concentrations en polyphénols) dont elles ont pu le neutraliser depuis leurs premiers stades de développement.

Au terme de cette approche, on retient que les composés chimiques produits par les plantes sont probablement le facteur le plus important contrôlant le déroulement du cycle évolutif des insectes. Ces composés de structures et natures variées peuvent avoir des effets attractifs ou répulsifs lors de l'orientation olfactive, phagostimulants ou anti-appétants lors de l'essai d'alimentation ou toxiques pour les insectes et d'autres herbivores.

5.2. Principe de choix alimentaire chez les adultes de *Capnodis tenebrionis* entre espèces, variétés et compartiments foliaire

De copieuses recherches se sont intéressés aux exigences alimentaires des larves *Capnodis* notamment celui de Lichou et *al.* [343]. Néanmoins, les composés chimiques modulant le développement des adultes sont très peu documentés. Ainsi, La présente approche vise à mettre le point sur les préférences alimentaires des l'adultes en terme de sucres totaux et tannins condensés.

Pour comprendre le comportement d'un individu, il est nécessaire de connaître sa table de vie et les effets des interactions intra et inter spécifiques [344]. En particulier, à travers cette approche, nous avons tenté de mettre en évidence l'impact de l'alimentation sur le développement des adultes *Capnodis*, en matière d'espèce hôte (*P. domestica* et *P. cerasus*), et de compartiment attaqué (limbe, pétiole). De plus, il nous semblait utile de prendre en considération le paramètre variétal (sauvage et cultivée) qui s'affichait sur le terrain comme un élément gouvernant le choix d'attaque.

L'étude des traits de vie des adultes *Capnodis* (abondance, taille, poids), confirme les préférences de ce dernier pour *P. domestica*. Ces propos sont avancés par Futuyma [345], qui signale que les substances chimiques contenues dans les plantes jouent un rôle très important dans l'évolution des insectes au saint de son hôte. Ces mêmes résultats expliquent parfaitement ceux de Lagaude [346], qui a établi une classification décroissante des arbres attaqués par le capnode réalisée au Maroc, et qui démontre que le *P. domestica*, japonais et commun enregistre un taux d'attaque de 42% se présente comme l'espèce la plus sensible suivie par *Prunus cerasus* avec un taux d'attaque de 34% et enfin l'Abricotier avec un taux d'attaque de 12%.

Dans leur environnement, les insectes phytophages sont susceptibles de rencontrer au cours de leurs existences une gamme de ressources dont la qualité nutritive est très variable. Leurs préférences sont expliquées par la présence de composés chimiques dans la plante ayant des facultés attractives ou répulsives pour

les ravageurs, de plus la variabilité dans la qualité nutritive entre les plantes relève de plusieurs facteurs, dont la nature des espèces [347]. Sur la base de cette littérature, on relate le succès numérique de *C. tenebrionis* face aux concentrations élevées en sucres totaux chez *P. domestica* comparé à *P. cerasus* (Figure 4.6 et Figure 4.13b). Nos déductions rejoignent parfaitement celles de Harvey [348] et McLaughlin [349], qui déclarent que les sucres solubles sont reconnus pour leur effet positif sur le gain en poids des adultes tout en minimisant le temps de développement. Cependant, il est la principale source d'énergie pour les insectes [350]. En rappel, Brewer et al. [351], ajoutent que les sucres solubles sont des composés nutritifs qui jouent un rôle primordial dans la croissance et le développement des insectes phytophages.

Des changements physico-chimiques s'opèrent dans la plante hôte tout au long de la saison de croissance, d'où un remaniement dans les concentrations des sucres totaux et des tanins condensés. Pour une espèce phytophage, ces changements impliquent une variation dans la qualité de sa nourriture [352 ; 353]. Le laps de temps qui conjugue fitness des consommateurs primaires et conditions optimales du milieu est connu sous le terme de fenêtre phénologique de susceptibilité [354 ; 355 ; 353]. La lecture des résultats montre que les concentrations en éléments phytochimiques, notamment les sucres totaux sont tributaire du temps (Figure 4.10 a,d et 4.11a,d), ce résultat nous fait rappeler les propos de Hunter [356], qui trouve que la synchronisation d'attaque en fonction du développement de l'hôte joue un rôle clé dans la survie et la dynamique de certaines populations d'insectes. En général, plus la saison de croissance avance, plus la qualité de la ressource diminue [354], Ceci explique la grande disponibilité d'espèces sur *Prunus cerasus* en périodes printanières, et sur *Prunus domestica* en période estivale, qui coïncide avec le stade de fructification (Riche en éléments nutritifs). De plus, en dépit des males adultes, les femelles adultes enregistrent des baisses pondérales vers la fin d'été, ceci nous conduit à supposer que cet indice de performance confronté à une qualité nutritive médiocre se trouvera en phase d'épuisement des réserves d'entretiens dans le but de maintenir le supplément de réserves pour le conditionnement de la progéniture, donc le choix stratégique des femelles *Capnodis* favorise la reproduction au détriment de la survie et la croissance.

Il est connu que les tannins condensés inhibent la croissance, le développement et la fécondité de plusieurs insectes herbivores [357]. Cependant, en plus de leur effet négatif, les tannins condensés peuvent avoir des effets positifs ou même neutres sur ces herbivores [353]. Dans cette même optique l'analyse G.L.M. affiche des concentrations en tanins condensés significativement plus supérieur sur *P. domestica* (Figure 4.13e) qui ne semblent pas affecter les préférences alimentaire de ce Bupreste, et laisse supposer d'une part, que la forme adulte dispose au niveau intestinale des enzymes capable d'hydrolyser la liaison tannins-protéines, ce qui rend les tanins soluble est ainsi sans effet, et d'autres part, que les concentrations des tannins condensés au niveau des feuilles de *Prunus* n'avaient pas encore atteint le seuil toxique pour ce Coléoptère, cette dernière idée rejoint la littérature récente qui stipule que seulement les concentrations en tannins qui surpassaient les niveaux diététiques normaux tendent à décourager l'alimentation des insectes [357]. Les résultats désignent clairement les préférences alimentaires du ravageur pour les pétioles qui renferment moins de concentration en tanins comparé aux limbes chez les deux variétés *Prunus* (Figure 4.11c et f), cet état de fait vient renforcer notre hypothèse sur l'effet des tanins condensés, et laisse penser que les adultes *Capnodis* évitent les compartiments foliaire de forte concentration en tanins, d'où leur choix pour les pétioles comme support nourricier tels que Steinly, Berenbaum, [358] l'avaient annoncé. Par ailleurs, les tannins condensés peuvent agir comme phagostimulant pour certains insectes [359 ; 360]. Dans le même sens d'idée, l'analyse multivariée (Figure 4.9) dresse sans équivoque la corrélation positive établie entre les paramètres de fitness du ravageur et la phytochimie de leurs plantes hôtes (Figure 4.10 et 4.11), entre autres, l'effet des concentrations en tanins condensés des pétioles de *P. domestica* sur le poids des femelles *Capnodis* ce qui simule un effet phagostimulant des faibles concentrations en tanins condensés.

Dethier [361], a émis l'hypothèse que les tannins solubles inhibent les récepteurs de sucres chez certains insectes faisant ainsi considérer la plante comme une source de nourriture inappropriée. De tels mécanismes permettraient à ces produits d'agir comme agents de défense sans être ingérés, et nous permettent de comprendre la corrélation négative signalée entre le développement des adultes mâles

et la disponibilité des sucres totaux des limbes qui semblent être inhibé par les concentrations plus élevées en tannins comparé aux pétioles (Figure 4.7).

Sur le plan variétal, nos résultats approuvent un succès quantitatif très significatif des concentrations en sucres totaux chez les variétés cultivées comparé aux variétés sauvages, ces mêmes résultats présentent inversement des concentrations plus prononcées en matière de tannins condensés chez les variétés sauvages des deux *Prunus*. Ces fluctuations phytochimiques entre variétés semblent justifier l'attraction des adultes pour les variétés cultivées qui renferment plus de sucres totaux et moins de tannins condensés, présentant ainsi un support nutritif très favorable au développement de *C. tenebrionis*

Cette approche nous permet de conclure que la nature de l'espèce hôte module significativement le comportement des adultes *Capnodis* sur le plan alimentaire et agrégatif. Le succès numérique et la tolérance à la surexpression des tanins condensés chez les individus *Capnodis* évoluant sur *P. domestica* expriment sans doute l'adéquation des choix stratégiques développés dans le processus évolutif du capnode.

5.3. Effet du stress alimentaire sur la stratégie évolutive des adultes *Capnodis tenebrionis* traduite par les fluctuations de leurs allocations énergétiques

À travers cette section, nous avons tenté de mettre en évidence la modulation des paramètres de conditionnement et du budget énergétique des femelles de *C. tenebrionis* sous l'effet du stress alimentaire. Les résultats escomptés permettent aux phytopharmaciens une meilleure compréhension de l'expression de la table de vie de ce ravageur.

Il est intéressant de signaler que le succès numérique et pondéral des femelles *Capnodis* sur *Pr. domestica* est accommodé avec le gain significatif en réserves (Figure 4.14b), cette capacité de mise en réserves semble être le résultat d'une balance entre la prise de nourriture et les demandes de réserves par des processus tels que la reproduction, la maintenance et la croissance [362]. Ristola et

al. [363], relatent que la fluctuation des réserves énergétiques est très dépendante du panel phytochimique exercé par l'effet saisonnier, ce qui va moduler l'optimum écologique des femelles [364]. Il a été démontré que lors d'un déséquilibre nutritionnel, les femelles peuvent avoir des régressions ovariennes et donc, une faible performance de ponte [365]. Ce phénomène va permettre aux femelles *Capnodis* d'allouer ses ressources à leur longévité tout en reportant leur oviposition à un moment où les conditions seraient optimales. Ainsi la qualité nutritionnelle moins appréciable du *Prunus cerasus* retarde à notre avis le développement des adultes ayant des besoins énergétiques élevés. De plus, cette faible source d'énergie que ce *Prunus* procure, semble être aggravé par son entrée en dormance à partir de mi-été.

Les adaptations opérées sur les traits d'histoire de vie permettent donc aux individus de mieux répondre en termes de valeur sélective aux pressions de sélection qu'ils subissent dans leur habitat [366 ; 367 ; 368]. Stearns [366] et Roff [369] estiment que les traits d'histoire de vie correspondent aux caractéristiques des individus d'une espèce et aux événements majeurs au cours de leur vie qui contribue à la production et la survie des descendants (système de reproduction, masse à l'état adulte et la longévité). De ce qu'il vient d'être avancé nous pouvons dire que les traits d'histoire de vie de *C. tenebrionis* sont décrits suite à des corrélations établies qui vitrines une liaison très étroite entre les réserves glucidiques et surtout lipidiques avec les concentrations en sucres totaux (Figure 4.15).

Il est établi depuis longtemps que face à des substances toxiques présentes dans la plante, les insectes ont développé diverses stratégies d'installation primaire qui vont de l'emmagasinement à la désintoxication du principe actif. De ce fait, d'importantes réactions métaboliques seront mises en place pour diminuer ou éviter les dommages causés par les métabolites de la plante hôte. Ces mécanismes coûtent en énergie et en ressources, ce qui entraîne une plus faible disponibilité pour la construction des réserves énergétiques [362], ces effets, nous semblent intéressants dans l'esprit d'interpréter la différence significative des réserves énergétiques lipidiques entre les femelles *Capnodis* des deux hôtes. Il est important de signaler que les individus évoluant sur *P. domestica*, utilisent instantanément le surplus en sucres totaux disponible dans la ration alimentaire leur permettant ainsi de

gérer les fortes quantités des tannins condensés ingérés en même temps avec le repas saturant. L'utilisation instantanée des quantités glucidiques assure un stockage lipidique et une détoxification des complexes tanniques (Figure 4.15). Cette approche va dans le sens des observations de Martikainen et Rantalainen [370], qui estiment qu'en face d'un stress, les individus devraient faire un choix stratégique en termes d'orienter le bilan énergétique vers l'alimentation ou réaliser une autre activité. Ce stress suscité semble incontournable chez les individus évoluant sur *P. cerasus*, où les faibles quantités en tannins condensés joueraient probablement le rôle d'un stimulateur gustatif qui permettrait aux femelles *Capnodis* de se rassasier d'un support végétal à faible taux en sucres totaux. Ces hypothèses nous ont été confirmées par les corrélations existantes entre la disponibilité en tanins condensés et les différentes réserves énergétiques.

On en conclut que la performance des femelles *Capnodis* est tributaire d'une part, de sa capacité de mise en réserves et d'autre part de la stratégie de gestion des traits d'histoire de vie. Le choix du support nourricier par les femelles *Capnodis* explique le bon management du bilan énergétique.

5.4. Etude de la disposition des loges larvaires et nymphales de *Capnodis tenebrionis* en relation avec la qualité physicochimique du bois attaqué des *Prunus*

Proportionnellement, le bois étant le support le plus pauvre en éléments nutritifs. Pour en avoir la même quantité qu'un fruit ou une feuille, il faut en ingérer une bonne plus grande quantité que celle qui serait sinon nécessaire, de plus, sa composition chimique et sa structure en font un aliment très dur à digérer [371]. Sergio et al. [372], précisent que les larves *Capnodis* creusent des galeries sinueuses, très larges qu'elle bourre d'une fine sciure et s'alimente principalement de la couche sous corticale du bois des *Prunus*. Pour mieux cerner la stratégie de la disposition des loges larvaires et nymphales de ce ravageur, une étude physicochimique de l'itinéraire des stades larvaires au niveau des plantes hôtes nous semblaient nécessaire.

5.4.2. Effet des paramètres physique sur l'installation larvaire

Les insectes xylophages se nourrissent à partir du bois et écorce, le plus souvent à la base de l'arbre et dans les racines principales. Ils préfèrent les plantations qui se trouvent en mauvaises conditions hydriques. Une parcelle bien irriguée, même située au milieu d'une zone très attaquée par le Capnode, ne sera pratiquement pas attaquée car sur sol humide, la mortalité des œufs est très importante [373]. De leur côté, les plantes possèdent un arsenal de défense contre leurs bioagresseurs. Ces défenses se traduisent par des mécanismes qui peuvent être soit passives si elles sont préformées ou actives si elles demandent un apport énergétique. Les défenses passives incluent les barrières de types physiques tels que l'écorce (pour les insectes xylophages) [374]. Ghomari [376], nous confirme la variabilité physique existante entre les différentes essences, et que la masse volumique (ou densité) des bois est très variable selon les espèces (de 350 à 1 100 kg/m³) et à l'intérieur d'une même espèce (avec des variations maximales de plus ou moins 15%). Ce même auteur, signale l'existence d'une corrélation étroite entre la masse volumique et la dureté du bois où les bois les plus durs sont les plus denses et les bois les plus tendres sont les plus légers. Ainsi, pour se développer, certains insectes ont besoin d'une certaine épaisseur d'écorce [375]. Niemela et al. [375], ajoutent que les défenses passives peuvent s'interpréter aussi par le positionnement stratégique des réservoirs de composés antimicrobiens. Les systèmes actifs, quant à eux, nécessitent de l'énergie cellulaire et sont contrôlés par le génome de la plante. Dans cette même optique, les résultats démontrent que la disponibilité des larves *Capnodis* est inversement proportionnelle à la dureté du bois attaqué et que la différence signalée entre les deux *Prunus* (Figure 4.20a), engendre une installation larvaire plus notable sur *P. domestica* que sur *Prunus cerasus* (Figure 4. 21). Ce constat, confirme notre hypothèse et laisse supposé que l'attraction du Bupreste noir en vers *P. domestica* est d'ordre mécanique qui peut être lié à ses caractéristiques physiques moins coriaces. En revanche, ni la dureté, ni l'épaisseur n'expriment une différence significative pour les variations physiques entre greffon et porte-greffe (Figure 4.20b, 4.22b) et donc l'orientation des larves vers le porte-greffe, ne semble pas dépendre des propriétés physiques du bois. Vis-à-vis des insectes à larve xylophage, les hôtes sont soit coriaces, soit peu coriaces [377]. De plus, il est

important de noter que la nature physique du bois prend son origine des différentes concentrations en cellulose, l'hémicellulose et lignine (Figure 4.3) [321].

De ce fait, l'écorce servant de substrat nourricier à de nombreuses espèces d'insectes, pourrait affecter le développement du xylophage suite à une variation phénologique qui peut facilement influencer le comportement du ravageur, ainsi une étude phytochimique complémentaire à cette étude physique nous semble essentielle, permettant ainsi de mettre le point sur les préférences de notre Bupreste,

5.4.2. Effet de la qualité phytochimique des compartiments des deux espèces de *Prunus* sur l'évolution des larves *Capnodis tenebrionis*

Au niveau de l'écorce, le degré de lignification, les quantités en cellulose, la quantité d'eau, de sucres, de protéines et de composés secondaires sont des exemples de facteurs qui varient durant la saison [378]. De même, les réserves d'hydrates de carbone et d'azote présentes en grandes quantités au début de la saison sont utilisées pour la croissance de l'hôte et diminuent au printemps [379]. Selon Schultz [380] les composés chimiques produits par les plantes sont probablement le facteur le plus important contrôlant le comportement des insectes dans la nature. Ces composés de structures et natures variées peuvent avoir des effets répulsifs, anti-appétants ou toxiques pour les insectes et d'autres herbivores [381]. Ces propos sont aussi signalés par Winks et Schimmer [382], qui trouvent que la présence de certains composés chimiques dans la plante hôte, ont pour effet l'attraction ou la répulsion des ravageurs.

Dans cette même optique, nous avons été voir l'esprit sélectif du Bupreste noir entre le greffon et le porte-greffe de *P. domestica* et *Prunus cerasus*, les tendances des histogrammes montraient plus d'affinité pour *P. domestica* comparé à *Prunus cerasus*. Ainsi, Martinez [383], confirme que les xylophages n'ont pas tous le même niveau de relation avec leurs hôtes. Plusieurs études ont montré que divers métabolites, entre autre les sucres, peuvent influencer le comportement des ravageurs [384]. Le screening des composés phytochimiques réalisé montre que les quantités moyennes des sucres totaux sont très élevées par comparaison aux taux

de proline et des protéines solubles et hydrosolubles (Figure 4.17). Nous présumons que la synthèse accrue des sucres totaux est dépendante de la conjugaison de l'état sanitaire de la plante, des conditions climatiques de la région. Et du mode cultural. Selon Chenafi et *al.* [385], le déficit hydrique, affecte le métabolisme des hydrates de carbone et entraîne une accumulation des sucres et d'autres composés organiques. Les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importants vu leur relation direct avec les processus physiologiques tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont le glucose, le fructose et le saccharose. Cortes et Sinclair [386] et Geingenberger et *al.* [387], ont attribué l'augmentation des sucres solubles à une dégradation des réserves amylacées suite à leurs conversions rapides en saccharose, comme il pourrait aussi être attribué à une inhibition de la synthèse de l'amidon. Donc, leur accumulation résulte d'avantage d'un déséquilibre métabolique; que d'une adaptation réelle de la cellule au stress en altérant la compartimentation des métabolites.

L'analyse multivariée montre que chez les deux *Prunus* cultivés, l'accumulation des sucres totaux traduit une réduction importante de la disponibilité larvaire. Cette tendance démontre clairement que les larves *Capnodis* ne s'appuient pas sur les sucres solubles dans leur alimentation. En revanche, l'abondance larvaire signalée chez *Prunus domestica* cultivé est soutenue par une accumulation de proline (Figure 4.18). Ramanjulu et Sudhakar [388], signalent qu'au niveau cellulaire, l'augmentation de la concentration des acides aminés, en particulier la proline, a été observée chez plusieurs espèces de plantes soumises à une contrainte hydrique. Dreier [391], précise que l'augmentation de la teneur en proline est une réponse protectrice des plantes à tous les facteurs qui entraînent une diminution en eau du cytoplasme. En effet, le transport de la proline de son lieu de synthèse au site de la résistance est admis depuis longtemps comme un paramètre important dans l'acquisition de cette résistance [392]. Maggio et *al.* [393], trouvent que l'accumulation de la proline se produit après l'acquisition de la résistance, c'est plutôt une conséquence qu'une cause de l'endurcissement. La proline localisée principalement dans le cytoplasme, agirait comme un cryoprotectant durant l'exposition de la plante à des températures gélives [394].

Blum [395], note l'existence d'une relation entre capacité d'accumulation de la proline et aptitude de récupération de la plante à l'issue d'un stress, et suggèrent que l'acide aminé sert d'énergie lors du retour aux conditions normales. Par projection des informations relatives au rôle de la proline et la disponibilité des larves *Capnodis*, nous rejoignons les conclusions de Martinez [383], qui considère que le *C. tenebrionis* est un ravageur de faiblesse, et ne se développe que sur des arbres affaiblis par des maladies ou par un mauvais état physiologique du sujet attaqué. La proline est donc souvent considérée comme un marqueur de stress [389]. Certains auteurs la considèrent comme une conséquence pathologique. Bien qu'il n'y ait pas toujours de corrélation entre la quantité de proline accumulée dans la plante et la tolérance de cette dernière à la sécheresse [390].

Pour *Prunus cerasus* cultivé, la disponibilité larvaire est liée à l'accumulation des protéines solubles. Ces résultats s'accordent avec les travaux réalisés par Bezzala [396], qui avance que la synthèse des protéines est étroitement liée au métabolisme des sucres lors du processus de la respiration à partir du cycle de Krebs, qui donne le squelette carboné pour la synthèse de la proline, où la synthèse des protéines, qui pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie requise durant le stress pour une compartimentation ionique et synthèse des osmolytes (sucre/proline). La plupart de ces osmolytes sont des composants azotés, ce qui traduit l'importance du métabolisme azoté sous conditions stressantes [176]. Une synthèse importante de protéines solubles accompagne ou précède l'acquisition de la résistance au stress, elle résulte du ralentissement de la croissance et d'un stockage des molécules dans le hyaloplasme ou dans certains organites (chloroplaste). Il semble que la synthèse de protéines spécifiques soit nécessaire à l'endurcissement [397]. Ses derniers propos expliquent la nature positive qui relie abondance larvaire et accumulation des protéines solubles chez le Cerisier cultivé à la place de la proline (cas du Prunier cultivé), du fait que les deux métabolites s'expriment dans le cas de stress.

Chez les *Prunus* sauvages, l'absence des larves *Capnodis* serait liée essentiellement à la nature des accumulations des métabolites secondaires chez les deux espèces où les projections des variables désignent une relation très marquée

entre les sucres et les protéines hydrosolubles chez le *P. cerasus* sauvage alors que cette liaison est moins prononcée chez le *P. domestica* sauvage.

Les besoins nutritionnels d'un insecte changent avec le temps selon les besoins pour la croissance, la reproduction, la diapause et la migration [10]. Le stade phénologique se matérialise par des changements de la composition biochimique qui agit sur la sélection des insectes phytophages [398 ; 399]. Finalement, cette ébauche conduira à cerner la nature des relations entre plante et parasites qui sont d'ordre nutritionnel. Nous estimons en final, que le succès du bupreste ne dépend pas uniquement de sa plasticité ou encore de l'état de sa plante hôte, mais c'est plutôt l'effet jumelé de tous les paramètres abiotiques, physiques, physiologiques et phytotechniques, qui fait que ce ravageur puisse vivre et évoluer.

5.5. Etude comparée de la toxicité de différentes doses d'un insecticide de synthèse Tefluthrine 0,5% sur les formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* dans les conditions naturelles

L'importance des dégâts provoqués par *C. tenebrionis* sur les *Prunus* explique le recours aux moyens chimiques d'efficacité rapide mais non durable. Les populations *Capnodis* peuvent souvent développer une résistance au bout d'un certain temps, parfois très court [400]. L'action des produits phytosanitaires sur les déprédateurs peut avoir comme conséquence divers changements internes. Une fois qu'un produit chimique pénètre l'organisme, il peut altérer directement le système endocrinien et indirectement l'attribution d'énergie; ceci affecte la capacité reproductrice de l'individu qui déterminera de sérieuses perturbations sur le plan individuel et interindividuel [401].

Les résultats relatifs à la toxicité de l'insecticide synthèse à base de Tefluthrine 0,5% entre autre la dose recommandé et la double-dose, met en évidence le caractère très toxique de la matière active du faite que la toxicité s'est manifesté dès le troisième jour d'exposition. A ce stade on peut prétendre que l'action du Tefluthrine entraîne la sidération immédiate (effet Knock-Down), en

affectant à la fois le système nerveux central et périphérique, inhibant la conduction du Na^+ et du K^+ dans les cellules nerveuses bloquant ainsi la transmission de l'influx nerveux [402].

A partir de nos résultats, on constate en effet que *C. tenebrionis* présente une fréquence relative élevée sous dose recommandée, tandis qu'il est rare et ne représente de ce fait qu'une faible fréquence relative sous double-dose au cours de la période d'investigation sur *P. domestica*. En général, la qualité de la ressource diminue, au fur et à mesure que la saison avance, étant donnée que la qualité phytochimique de *P. domestica* est plus prometteuse que celle de *P. cerasus*, ceci explique l'avantage numérique des larves *Capnodis* qui se rassasient pour assurer leurs besoins physio-métaboliques et assurer des réserves pour la phase nymphale. Ainsi le Tefluthrine 0,5% qui est doté d'une action systémique, ce qui implique le passage de la matière lors de l'action subérophage et de l'assimilation du bois dans l'organisme, a conduit à une réponse négative chez l'ensemble des larves *Capnodis*. Cette réponse se justifie par une perturbation des informations neurologiques sous l'action neurotrope de cette matière active affectant le contrôle des individus dans leur milieu [402].

La lecture des résultats démontre que dès l'application du traitement, la structure du peuplement se désintègre et devient moins nombreuse. L'hypothèse la plus simple qu'on doit y mettre est que le Tefluthrine 0,5%, confirme son action de choc sur les formes larvaires logées dans le tronc, sans avoir pour autant réagi sur les formes libres de l'espèce.

Particulièrement pour la demi-dose, nous signalons que son application ne se traduit pas par des effets attendus ; il convient cependant de ne pas faire d'amalgames entre échec du traitement et résistance. A ce stade d'étude, il nous est impossible de prouver que cette perte d'efficacité est liée à une modification du patrimoine génétique, mais nous essayerons dans les prochaines études d'élucider cet aspect sur le plan microscopique de l'essai, bien que plusieurs études incriminent l'installation d'une forme de résistance vraie ; entre autre Simon et al. [403], signalent que les buprestes sont également souvent cités lorsqu'on parle de résistance.

Selon Chaboussou [306], puisque la résistance se trouve en relation positive avec le niveau de la protéosynthèse dans les tissus, cela signifie peut être que la théorie de la trophobiose présente quelque chance de faire un pas de plus en avant dans l'explication de ce phénomène.

Le faible taux de mortalité ne peut s'expliquer que par l'action du produit qui est déposé directement sur cette structure, ainsi il exerce un effet combiné (i) *Physique*, qui consiste à former des émanations toxiques, cette dernière bloque toutes les échanges gazeux avec le milieu ambiant, et les individus du Bupreste voient leurs mécanismes respiratoire affaiblit. (ii) *Chimique*, la faible proportion du produit qui arrive à pénétrer à travers la structure parenchymateuse du xylème et atteint les individus du Bupreste, provoquant ainsi une toxicité aiguë de ces derniers.

En se basant sur le mode d'action du produit on pourra expliquer la mortalité enregistrée chez les larves *Capnodis*. Le contact avec la matière active par l'existence d'une affinité avec le support nourricier, de ce fait que le produit agit de manière systémique et cible les larves. A l'inverse du rapprochement entre le complexe xylème- déprédateur, le produit à base de Tefluthrine 0,5% n'agit pas sur les sites vitaux des adultes *Capnodis*, d'où on déduit que les mortalités chiffrées au cours de l'essai notamment celle qui coïncide avec la période d'exposition la plus longue. Selon Fournier et Bonderf [404], les produits antiparasitaires appliqués sur la partie aérienne des végétaux évoluent quantitativement et qualitativement au cours du temps et dépendent de leurs propriétés physique (volatilité, liposolubilité), qui sont extrêmement variable face aux facteurs climatiques, et à l'action des enzymes de la plante traitée, et l'impact final sur la persistance constituent ainsi un cas d'espèce. Cette altération des compositions de composés phytosanitaire constitue normalement la voie essentielle d'élimination [404].

Compte tenu de la complexité des relations qui s'interfèrent et qui régissent l'acte de survie et de l'émergence des adultes sains nous ne pouvons qu'émettre certaines hypothèses : (i) La source d'alimentation en nourriture qui sont accessibles sont polluées par le toxique de tel sorte que ces derniers finissent par être intoxiqués à leur tour. Selon Brillat [405], les insectes sont peu touchés par les insecticides

qu'ils régurgitent avec la nourriture, mais cela dépend de la dose létale. (ii) La diminution au fur et à mesure des populations larvaires qui constituent un élément clé pour l'accomplissement normale du cycle du parasite. Ce dernier est le premier sujet affecté par la consommation des réserves toxiques et par d'autres facteurs abstraits. (iii) Acquisition d'une forme de résistance après la deuxième génération par accoutumance physiologique progressive qui se traduit par des transformations cytoplasmiques. Selon Atallah et Nettles [406], les parasites traités réagissent au traitement par des changements au cours de la diapause pour réduire la quantité de pesticide déposée sur les sites biochimiques actifs, ainsi la cuticule a tendance à être chitinisée. Toutes les modifications dans les réponses des phytophages vis-à-vis des pesticides seraient dues à une résistance qui devient de plus en plus large et parmi les modifications qui accompagnent l'apparition de la résistance la réduction de la fécondité de l'espèce [407].

Il apparaît clairement de cette approche que les différents régimes de stress (différentes doses du produit de synthèse) ont montré un effet répressif sur le stade larvaire comparé au stade adulte. En règle générale, les effets des produits phytosanitaires sur les arthropodes et particulièrement les ravageurs des cultures, dépendent des traits de vie, des paramètres démographiques et du stade de développement au moment de l'application. Plus le produit est appliqué sur un stade jeune et plus l'espèce a une démographie lente, plus l'insecte est vulnérable et sa population susceptible de disparaître.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

En condition naturelle, l'insecte comme d'autres êtres est confronté sans cesse à divers régimes de stress qui façonnent ultimement son abondance et par conséquent sa distribution spatiotemporelle. Dans la mesure où l'organisme ne peut pas contourner l'effet du stress, sa croissance, son développement, sa fécondité et sa survie peuvent être affectés négativement. Si le stress devient extrême et persiste, la mortalité est inévitable.

Le temps de développement, la mortalité et le conditionnement des larves sont les indices de performance les plus importants et les plus explorés dans le cadre des études relatives à la dynamique des populations d'insectes. La mortalité enregistrée suite à l'application des méthodes de contrôle ou par l'ingestion des composés de défense produits par la plante hôte seront déterminants pour la Fitness.

Dans cette approche, nous avons essayé d'apporter notre contribution aussi minime soit elle, sur un redoutable ravageur Méditerranéen qui menace tous les vergers de Rosacées cultivées à noyaux à savoir par ordre décroissant, le Cerisier, l'Abricotier, le Prunier et le Pêcher. Les adultes, pour se nourrir, défeuillent partiellement les arbres en dévorant les pétioles, détruisant les bourgeons et décortiquant en surface les pousses tendres à peine lignifiées, alors que les larves, sont le principal agent des dommages causés aux arbres; creusant des galeries sinueuses ascendantes ou descendantes. Elles occasionnent un déséquilibre entre la partie aérienne et le système racinaire. Les arbres attaqués par *C. tenebrionis* deviennent très sensibles aux attaques des coléoptères du genre *Scolytus*.

Le but principal de la présente thèse était d'étudier les réponses biologiques du capnode noir au stress nutritif. Différents effets sont associés à la qualité du support alimentaire, en particulier sur la performance et sur le bilan métabolique. Jusqu'à présent, beaucoup d'études ont abordé la réponse des plantes aux stress

abiotiques et biotiques, mais peu d'études ont abordé les questions relatives à l'adaptation des insectes aux stress d'origine nutritif. A l'inverse des plantes, l'insecte par sa capacité de mouvoir, il peut atténuer l'impact d'un stress par voie physiologique (Diapause) ou/et par voie comportementale (choix de l'hôte). Dans la littérature, la plupart des comportements observés ont une explication aussi bien causale ("*Pourquoi?*") que fonctionnelle ("*comment?*").

L'étude est réalisée dans la wilaya de Médéa, région de Benchicao, caractérisée par un étage bioclimatique subhumide à hiver frais. Deux espèces de *Prunus* (*Prunus domestica* et *Prunus cerasus*) variétés cultivées et sauvages sont arrêtées et qui font partie des espèces les plus inféodées par le Capnode.

L'interprétation des résultats touchant l'interaction *Prunus-Capnodis* montre une variabilité des réserves énergétiques lipido-glucidiques entre les individus *Capnodis*, traduite par une régression temporelle de certains stades larvaires évoluant sur *Prunus cerasus*, qui proclament de faibles mesures de fitness (longueur, poids, abondance) comparé aux individus évoluant sur *P. domestica*. Cet état de fait est traduit par le degré d'associabilité entre la disponibilité lipidique résultante d'un compromis évolutif (trade-off) d'allocation des ressources entre les différents traits d'histoire de vie et la qualité médiocre du support alimentaire qui a engendré une capitalisation de quantité limitée d'énergie, Conduisant ainsi le Bupreste à se maintenir tout en retardant le rythme de développement larvaire sur *Prunus cerasus*.

Les composés chimiques produits par les plantes sont probablement le facteur le plus important contrôlant le déroulement du cycle évolutif des insectes. Ces composés de structures et natures variées peuvent avoir des effets attractifs ou répulsifs lors de la sélection du support nourricier. Cependant, l'étude des interactions phytochimie plante/ravageur annonce chez *P. domestica* des concentrations en hémicellulose qui ne semblent satisfaire que les jeunes stades larvaires et que les derniers stades renouent d'autres voies de substitution pour couvrir leurs besoins évolutifs notamment avec les protéines, et l'azote. Ce dernier présente des liens directs avec la capacité accumulatrice des réserves lipidiques. En cas de faibles proportions en protéine les individus *C. tenebrionis* installent des liens avec la lignine comme signalé chez *Prunus cerasus*.

Les polyphénols autant que substance antiappétante associée aux concentrations élevées en hémicellulose considéré comme élément indigeste, fait de *Prunus cerasus* un support nutritif médiocre pour les larves. En contre partie, les larves évoluant sur *P. domestica* semblent avoir moins de facteurs nutritionnels contraignants (faibles concentrations en polyphénols) qu'elles ont pu neutraliser depuis leurs premiers stades de développement. De plus, la baisse des taux d'azote à la fin d'été, fait allusion à la réponse métabolique des plantes hôtes au stress, en utilisant cet azote à des fins défensives, dont la fabrication des cyanoglycogènes en fait partie.

Les contraintes nutritionnelles constatées dans notre étude sont hâtivement visibles sur la distribution temporelle de *C. tenebrionis*, qui concrétise un décalage évolutif considérable sur *Prunus cerasus* comparé à *P. domestica*. Ce résultat est confirmé sur terrain par les envoles d'adultes qui se manifestent en premier lieu sur *Prunus domestica* puis sur *Prunus cerasus*, avec un retard approximatif de deux mois.

L'étude des traits de vie des adultes *Capnodis* (abondance, taille, poids), confirme les préférences de ces derniers pour *P. domestica*. Ces préférences sont expliquées par la présence de composés chimiques dans la plante ayant des facultés attractives, notamment les sucres totaux qui s'affichent avec des concentrations élevées, reconnus pour leur effet positif sur le gain en poids des adultes tout en minimisant le temps de développement. La lecture des résultats montre également que les concentrations en sucres totaux sont tributaires du temps, Ceci explique la grande disponibilité du capnode sur *P. cerasus* en période printanières, et sur *P. domestica* en période estivale, qui coïncide avec le stade de fructification riche en éléments nutritifs. De plus, en dépit des mâles adultes, les femelles adultes enregistrent des baisses pondérales vers la fin d'été favorisant ainsi la reproduction au détriment de la survie et la croissance.

Sur le plan effet variétal, la disponibilité larvaire chez les variétés cultivées est soutenue par une accumulation de proline, et que pour *Prunus cerasus* cultivé, la disponibilité larvaire est liée à l'accumulation des protéines solubles. L'absence des

larves *Capnodis* chez les variétés sauvages de *Prunus* étudiées serait liée essentiellement à la nature des accumulations des métabolites dont les résultats désignent une relation entre les sucres et les protéines hydrosolubles, qui se montrent de manière très marquée chez *Prunus cerasus*. Les différentes concentrations en tanins chez les quatre variétés *Prunus* étudiées prouvent que les tannins n'ont pas eu un effet répulsif contre ce ravageur. Les préférences alimentaires du ravageur pour les pétioles qui renferment moins de concentration en tanin comparé au limbe, viennent renforcer notre hypothèse sur les tanins, et laisse penser que les adultes Capnode évitent les compartiments foliaires de forte concentration en tanin, d'où leur choix des pétioles comme support nourricier. Par ailleurs, les corrélations établies entre les faibles concentrations en tanins condensés des pétioles de *P. domestica* et le poids des femelles *Capnodis* stipulent un effet phagostimulant de ces faibles concentrations en tanins sur les femelles.

L'étude de la disposition des loges larvaires de ce ravageur au niveau du tronc nous a conduits à une étude des caractéristiques physiques du bois attaqué dont les résultats préliminaires démontrent clairement un lien directe avec la disponibilité larvaire plus notamment sur *P. domestica*, qui est inversement proportionnelle à la dureté du bois attaqué. Ce constat, nous confirme que l'attraction du Bupreste noir vers sa plante hôte n'est pas uniquement d'ordre chimique, mais il peut être lié pareillement aux caractéristiques physiques.

En effet nos résultats, laisse constater en effet que *C. tenebrionis* présente une fréquence relative élevée sous la dose proscrite du Tefluthrine 0,5%, tandis qu'il est rare et ne représente qu'une faible fréquence relative sous une double-dose au cours de la période d'investigation. Dès l'application des traitements, la structure du peuplement se désintègre et devient moins nombreuse. Ceci, nous a conduit à conclure que le produit de synthèse à base de Tefluthrine 0,5%, exprime une réaction de choc sur les formes larvaires logées dans le tronc, sans avoir pour autant réagit sur les formes libres de l'espèce.

Pour faire face aux importants dégâts provoqués par *C. tenebrionis* sur les *Prunus* et renforcer le recours aux moyens chimiques d'efficacité rapide mais non

durable, une meilleure compréhension des traits de vie de ce Bupreste au sein de ses plantes hôtes, nous a permis de mieux cerner sa stratégie adaptative qui s'avèrent tributaire des variations temporelles physicochimiques, notamment les composés primaires qualifiés de nutritif et les composés secondaires qualifiés défensif, qui agissent directement sur l'accroissement ou la réduction du budget énergétique du Capnode, et qui seront ressentis directement sur sa fitness ainsi que sur le déroulement de son cycle biologique. De plus, la nature physique du support nutritif prend une bonne place dans cette interaction plante-ravageur.

L'originalité de ces résultats touchant à l'effet du stress alimentaire sur la fitness du capnode dans les zones de production potentielles des rosacées, mérite cependant d'être approfondie et approfondie par des études complémentaires à savoir :

- L'étude du cycle de vie du capnode mérite d'être approfondi et élargi à d'autres plantes hôtes hors des rosacées sur lesquelles il a été signalé ces dernières années. Une étude plus exhaustive au niveau chimique, notamment les composés organiques volatiles tels les phénols pourraient accroître nos connaissances sur la stratégie de sélection du support nourricier en conditions naturelles.

- Il serait très judicieux à partir de la vision de la stratégie adaptative de gestion du budget énergétique, d'apprécier la structure des générations de *C. tenebrionis* pour retracer le potentiel biotique des femelles évoluant sur des plantes hôtes à profil phytochimique différent, spécialement au cours de la saison printano-estivale. Plus précisément, la relation quantitative entre la nature des réserves et la fécondité des femelles devrait être abordée. Les différentes fractions lipidiques pourraient être analysées par HPLC (la chromatographie liquide à haute performance) couplée à un spectromètre de masse pour en quantifier les variations saisonnières. Certaines corrélations entre les facteurs du milieu et la quantité globale de lipides sont peut-être masquées par l'absence actuelle de précision.

- Enfin, nous ne pourrions pas écarter l'étude de l'influence de la conduite culturale dans les vergers de rosacées, sur la qualité phytochimique du support nourricier et par conséquent sur le potentiel biotique du capnode. Différents

paramètres démographiques peuvent être estimés tels que la précocité des pontes, la fécondité, le taux net de reproduction, le taux intrinsèque d'accroissement potentiel, le temps de doublement d'une population et le taux fini d'accroissement méritent plus de précision pour la compréhension de la reproduction optimale sur le terrain et intervenir en matière de lutte préventive.

APPENDICE A

LISTE DES SYMBOLES

A.C.P : Analyse multivariée factorielle en composantes principales.

ADN : Acide désoxyribonucléique.

ARN : Acide désoxyribonucléique.

B.A.C : Bloc aléatoire complet..

°C : Degrés Celsius.

G.L.M : Analyse de variance modèle linéaire globale.

HCl : Acide chlorhydrique.

H₂SO₄: Acide sulfurique.

KCl: Chlorure de potassium.

NaCl :Chlorure de sodium

L₁ : premier stade larvaire.

L₂ : deuxième larvaire.

L₃ : troisième stade larvaire.

L₄ : quatrième stade larvaire.

MPa : le mégapascal (unité de pression et de contrainte physique).

M.F.: Matière fraîche.

NAD : Le nicotinamide adénine dinucléotide.

NADP : Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate.

NaOH: Hydroxyde de sodium.

NH₄: ion ammonium.

P : Précipitation.

p : Probabilité associée.

pH : potentiel Hydrogène.

Q₂ : Le quotient pluviométrique ou indice climatique d'Emberger

r : coefficient de Corrélation de PEARSON,

T.C.A : Acide trichloroacétique

t/min : Tour/minute

T min : Température minimale

T moy : Température maximale

T max : Température maximale

λ : La longueur d'onde

μl : Microlit

APPENDICE B SYMPTOME ET DEGATS



Figure B.1 : photos de plants de *Prunus domestica* partiellement minés par les larves *Capnodis* (Original, 2005)



Figure B.2 : photos de plants de *Prunus domestica* complètement minés par les larves *Capnodis* (Original, 2005)



Figure B3 : Dégats de *Capnodis tenebrionis* sur tronc de *Prunus cerasus* (Original, 2009)



Figure B4 : Photos de larves *Capnodis* à l'intérieur du tronc (Original, 2009)



Figure B5 : Photo d'un imago et d'une prénympe *Capnodis* à l'intérieur de sa loge nymphale (Original, 2005)



Figure B6 : Photo d'un imago *Capnodis tenebrionis* à l'intérieur de la loge nymphale avant sa sorti du tronc d'e *prunus domestica* (Original, 2005)



Figure B7 : Identification et mensuration des différents stades larvaires
(Original, 2012)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **RABBINGE R., 1989.** Simulation and systems management in crop protection, *PUDOC III Stimulation monographe* 32, 442p.
2. **AUBERTOT J.N., BARBIER J.M. A., CARPENTIER A., GRIL J.J., GUICHARD L., LUCAS P., SAVARY S., SAVINI I., VOLTZ M., 2005.** *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux.* INRA et Cemagref (France), 64p.
3. **ZADOKS C.J. et SCHEIN R.D., 1979.** *Epidemiology and plant disease management.* Oxford University Press, 427p.
4. **David'yan G .E., 2003.** *Capnodis tenebrionis (L.). Peach flatheaded rootborer.* Récupéré de: http://www.agroatlas.ru/en/content/pests/Capnodis_tenebrionis/
5. **ANONYME, 2012.** Estimation de la production fruitière à noyau dans la région de Médéa. Service des statistiques de la Direction des services agricoles de Médéa, 20p.
6. **STOUT M. J., WORKMAN K. V., BOSTOCK R. M., et S. S. DUFFEY.1998.** Specificity of induced resistance in the tomato. *Lycopersicon esculentum, Oecologia* 113:74-81.
7. **OHGUSHI T, HUNTER M. PRICE W. 1992.** *Effects of resource distribution on animal-plant interactions.* ed. Academic press, New York, 505P
8. **WATT A.D., LEATHER S.R., HUNTER M.D. et KIDD N.A.C., 1990.** *Population dynamics of forest insects.* Ed. Andover, London, 408 p.
9. **BAUCE É., CARISEY N. et DUPONT A., 2001.** Implications des relations alimentaires plante-insecte dans la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. *Actes du colloque « Tordeuse des bourgeons de l'épinette : l'appivoiser dans nos stratégies d'aménagement » tenu à Shawinigan,* pp.27-32.
10. **MOPPER S., 2005.** Phenology: The role of time in structuring space for herbivorous insect populations. *Annales Zoologici Fennici* 42:327-333.
11. **BARAT 2007.,** *Interactions plante-insecte, spécialisation et invasion biologique : Ecologie évolutive des ajoncs (genre Ulex) et de leurs charançons spécifiques (genre Exapion) en Bretagne.* Thèse Doctorat, Univ. Rennes 2, France, 167p.
12. **LICHOU J., MANDRIN J.F. et CHAUVIN-BUTHAUD B., 2009.** Le Capnode: un ravageur méditerranéen en recrudescence. *Arboriculture Fruitière,* 637:30–32.

13. **HARVEY, G.T., 1974.** Nutritional studies of eastern spruce budworm (Lepidoptera:Tortricidae). *Canadian Entomologist*, 106:353-365.
14. **ROFF D.A., 1992.** *The Evolution of Life Histories: Theory and Analysis*. Ed. Chapman and Hall, New York, 421.
15. **GINDIN G., KUZNETSOVA T., PROTASOV A., BEN YEHUDA S. et ENDEL Z., 2009.** Artificial diet for two flat-headed borers, *Capnodis spp.* (Coleoptera: Buprestidae), *Eur. J. Entomol.* 106: 573–581.
16. **GHOMARI S.M., 2011.** Le suivi des opérations de repeuplement par deux Cyprinidés : Carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) et Carpe à grande bouche (*Aristichthys nobilis*) au niveau du barrage Gargar, Wilaya de Relizane-Algérie. *Actes du 2ème Colloque International sur la Biodiversité et écosystèmes littoraux (BEL 02), Oran, Algérie, INOC, Izmir*, pp. 189 -195.
17. **MORAN N. et HAMILTON W.D., 1980.** Low nutritive quality as a defense against herbivores. *Journal of Theoretical Biology*, 86:247-254.
18. **Daan S. et J.Tinbergen 1997.** Adaptation of Life Histories. *In Behavioural Ecology: an evolutionary approach. Blackwell Science, 4th Edition Chapter*, 13:311-333.
19. **STEARNS S.C., 1992.** *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press, Oxford, 264p.
20. **ROFF D.A., 1997.** *Evolutionary Quantitative Genetics*. Ed. Chapman and Hall, New York, 537p.
21. **OHGUSHI T., 2012.** *Ecological communities: Plant mediation in indirect interaction webs*. Cambridge University Press, Angleterre, 460p.
22. **Watt A.D., 1988.** Effects of stress-induced changes in plant quality and host-plant species on the population dynamics of the pine beauty moth in Scotland: partial life tables of natural and manipulated populations. *J. Appl. Ecol.*, 25:209–221
23. **BAUCE É., CRÉPIN M., et CARISEY N., 1994.** Spruce budworm growth, development and food utilization on young and old balsam fir trees. *Oecologia* 97: 499-507.
24. **MARTINEZ M., 2008.** Les insectes xylophages : qui sont-ils ? Que mangent-ils ? *Rev Horticole*, 508:11-13.
25. **FRIEND W.G., 1958.** Nutritional requirements of phytophagous insects. *Annual review of entomology*, 3:57-74.

- 26. WOLFERSBERGER M.G., 2000.** Amino acid transport in insects. *Annual review of entomology*, 45:111-120.
- 27. NATION J.I., 2008.** *Insect physiology and biochemistry*. CRC Press, Boca Raton, 552p.
- 28. CARTER C., SHAFIR S., YEHONATAN K.J., PALMER R.G., THORNBURG R., 2006.** A novel role for proline in plant floral insect. *Nature wissens chaften* 93: 72-79.
- 29. RYAN R.O., VAN DER HORST D.J., 2000.** Lipid transport biochemistry and its role in energy production. *Annual review of entomology*, 45:233-260.
- 30. FEBVAY G., RAHBÉ Y., RYNKIEWIEZ M., GUILLAUD J., BONNOT G., 1999.** Fate of diatar sucrose and neosynthesis of amino acids in thepea aphid acrotypus pisum, reard on different diets. *Journal of experimental biology* 202: 2639-2652.
- 31. WOODS H A., KINGSOLVER J.G., 1999.** Feeding rate and the structure of protein digestion and absorbtion in lipidopteran midgut. *Archive of insect biochimistryand physiology* 42: 74-87.
- 32. HAHN D.A., 2005.** Larval nutrition affects lipid storage and growth, but not protein or carbohydrate storage in newly eclosed adults of the grasshopper *shistocerca Americana*. *Americana journal of insect physiology* 51:210-1219.
- 33. WILKINSON T.L., KOGA R., FUKATSU T., 2007.** Role of host nutrition in symbiot regulation impact of dietary nitrogen on proliferation of obligate and facultative bacterial endosymbionts of the pea aphid. *Applied and environnemental microbiology* 73:1362-1366.
- 34. HOWARD R.W., BLOMQUIST G.J., 2005.** Entomological, behavioral, and biochemical aspects of insect hydrocarbon. *Annual review of entomolog* 50, 371-393.
- 35. AWMACK C.S., LEATHER S.R., 2002.** Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 47: 817-844.
- 36. DADD R.H., 1973.** Insect nutrition: current development and metabolic implication. *Annu. Rev. Entomol.*, 18:331-420.
- 37. MATTSON W.J., SLOCUM S.S. et KOLLER C.N., 1983.** Spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*) performance in relation to foliar chemistry of its host-plants., Ed. Montgomery, *workshop on forest defoliator-hostinteractions*, April 5-7 New Haven, pp. 55-66.
- 38. CHAPMAN R.F., 1998.** *The Insects: structure and function*, Cambridge University Press, pp.69-93.

- 39. DADD R.H., 1985.** Nutrition: organisms. In: *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, Ed. Pergamon Press, Oxford, 4:313-390.
- 40. REINECKE J.P., 1985.** Nutrition: Artificial diets. In: *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. Ed. Pergamon Press, vol. 4: 391- 419.
- 41. DALY H.V., 1998.** *Introduction to insect biology and diversity*. Oxford University Press, New York, 682p.
- 42. SAUVION N., CALATAYUD P.A., THIÉRY D., MARION-POLL F., 2013.** Interaction insectes-plantes. ISBN IRD 978-2-7099-1746-9, 754 p.
- 43. PAULION R., 1988.** *Biologie des coléoptères*. Ed. Le chevalier, Paris, 380p.
- 44. LEKOUNOUNGOU S.T., 2008.** *Evaluation et Compréhension des Mécanismes fongiques impliqués dans la dégradation du bois*. Thes. Doc., Fac. des Sciences et Techniques, Univ. Nancy-1, France, 186p.
- 45. ADAIR S., KIM S.H., BREUIL C., 2002.** A molecular approach for early monitoring of decay basidiomycetes in wood chips. *FEMS. Microbiol. Lett.*, 211: 117-122.
- 46. SAKA S. 1991.** *Chemical composition and distribution*. In: *wood and cellulosic*, Ed. M. Dekker, new York, 928p.
- 47. DELGENES J.P., MOLETTA R. et NAVARRO J.M. 1989.** Production of ethanol from hemicellulosic and cellulosic hydrolysates of wheat straw using *Pichia stipitis*. *Biomass for Energy and Industry*, 5th E.C. Conference: 2258-2262.
- 48. Divne C., Stahlberg J., Reinikainen T., Ruohonen L., Pettersson G., Reinikeainen T., Ruohonen L., Pettersson G., Knowles J.K.C., Teeri T.T., Jones T.A., 1994.** The three dimensionale structure of cellobiohydrolase I from *Trichoderma reesei*. *Sci.* 265: 524-528.
- 49. MARCHESSEULT R.H., SUNDARAJAN P.R. 1983.** Cellulose, the polysaccharides, molecular biology series. G.O. Aspinall Ed., New York, 2: 11-95.
- 50. FENGEL D. et WEGENER G. 1984.** *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin : 613p.
- 51. JACQUINOT B., RAYMOND B. et FRONTERE L. 1989.** Procédé Bertin d'hydrolyse acide des matériaux lignocellulosiques. *Biomass for Energy and Industry*, 5th E.C Conference: 282-288.
- 52. NIMZ H.H. 1974.** Beech lignin proposal of a constitutional scheme. *Angew. Chem. Int. Ed.* 13:313-321.

- 53. TERIS A., VAN BEEKA B., KUSTERA F., CLAASSENA W., TIENVIERIB T., BERTAUD F., LENON G., PETIT-CONIL M., SIERRA-ALVAREZ R., 2007.** Fungal bio-treatment of spruce wood with *Trametes versicolor* for pitch control: Influence on extractive contents, pulping process parameters, paper quality and effluent toxicity. *Biores. Technol.* 98: 302-311.
- 54. BAUCH J., SCHMIDT O., HILLIS W.E., YAZAKI Y., 1977.** Deposits in the heartshakes of dactyldium species and their toxicity against fungi and bacteria. *Holzforsch.* 31: 1-7.
- 55. SOLÁR R, KURJATKO S, MAMO M, KOSIKOVÁ B, NEUSCHLOVÁ E, VYBOHOVÁ E., 2007.** Selected properties of beech wood degraded by brown-rot fungus *Coniophora puteana*. *Drvna Industrija*, pp: 3-11.
- 56. SMITH M.H., GOLD M.H., 1979.** *Phanerochaete chrysosporium* b-glucosidase: induction, cellular localization, and physical characterization. *Appl. Environ. Microbiol* 37: 938-942.
- 57. JANJA Z.A.M., 2003.** GC analysis of extractive compounds in beech wood. *J. Sep. Sci.* 26: 1292-1294
- 58. SCHOONHOVEN I.M., VAN LOON J., DICKE P., 2005.** *Insect plante biology*. 2nd Ed., Oxford, 440p.
- 59. TORSSELL K.B.G., 1983.** *Natural product chemistry: a mechanistic and biosynthetic approach to secondary metabolism*. John Wiley & Sons Ltd, New York, 401p.
- 60. PAINTER, 1951.** Insecte resistance in crop plants. Mac Millan, New York, 520 p.
- 61. VAN EMDEN H.F., 1987.** The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Scientific Horticulture*, 17 121-136
- 62. FORKNER R.E., HUNTER M.D., 2000.** What does goes up must come down? Nutrient addition and predation processure on oak herbivores. *Ecology* 81, 1588-1600.
- 63. PANDA N., KHUSH G.S., 1995.** *Host plant resistance to insect*. Ed. Oxfordshine: CAB International, U.K., 431p.
- 64. KENNEDY J.S., 1978.** The concepts of olphactory'arrestment and attraction. *Physiological entomology*, 3:91-98.
- 65. STOCKHOFF 1993.** Ontogenetic Change in Dietary Selection for Protein and Lipid by Gypsy Moth Larvae. *Insect Physiology J.*, Vol. 39, N°8, pp. 677-686.

- 66. AUGER, 2002.** Induced response of the leek to attacks of the leek moth. Consequences on host foraging behaviour of the parasitoid, *Diadromus pulchellus*. 8th European Workshop on Insect Parasitoid, Tours, France, 1-5 September, pp.129-138.
- 67. WILLIAMS V.M., PORTER L.J., HEMINGWAY R.W., 1983.** Molecular weight profiles of proanthocyanidin polymers. *Phytochemistry* 22: 569-572.
- 68. KUMAR R., VAITHIYANATHAN S., 1990.** Occurrence, nutritional significance and effect on animal productivity of tannins in tree leaves. *Animal Feed Science and Technology* 30: 21-28.
- 69. LOOMIS W.D., 1974.** Overcoming problems of phenolics and quinines in the isolation of plant enzymes and organelles. *Methods in Enzymology*, 31: 528-544.
- 70. MOLE S., WATERMAN P.G., 1987a.** A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies, Techniques for biochemically defining tannins. *Oecologia* 72: 148-156.
- 71. PRICE M.L., HAGERMAN A.E. et BUTLER L.G., 1980.** Tannin in sorghum grain: effects of cooking on chemical assays and on antinutritional properties in rats. *Nutritional Reports International* 21 (5): 761-767.
- 72. TAKECHI M., TANAKA Y., 1987.** Binding of 1,2,3,4,6-pentagalloyl glucose to proteins, lipids, nucleic acids and sugars. *Phytochemistry* 26: 94-97.
- 73. MOLE S., WATERMAN P.G., 1987b.** Tannic acid and proteolytic enzymes: enzyme inhibition or substrate deprivation? *Phytochemistry* 26: 99-102.
- 74. RAO K.S., PRABHAVATHI T., 1982.** Tannin content in foods commonly consumed in India and its influence on ionisable iron. *J. Science of Food and Agriculture*, 33: 89-96.
- 75. MATTSON W.J., HAACK A.R., LAWRENCE R.K., SLOCUM S.S., 1991.** Considering the nutritional ecology of the spruce budworm in its management. *Forest Ecology and Management* 39: 183-210.
- 76. GAFFNEY S.H., MARTIN R., LILLEY T.H., HASLAM E., MAGNOLATO D., 1986.** The association of polyphenols with caffeine and α - and β -cyclodextrin in aqueous media. *J. Chemical Society, Chemical Communications*, 107-109.
- 77. HAGERMAN A.E., BUTLER L.G., 1980.** DETERMINATION of protein in tannin-protein precipitates. *J. Agricultural and Food Chemistry* 28: 944-947.
- 78. HAGERMAN A.E., BUTLER L.G., 1981.** The specificity of proanthocyanidin-protein interactions. *J. Biol. Chem.* 256: 4494-4497.

- 79. ASANO K., SHINAGAWA K. et HASHIMOTO N., 1982.** Characterization of haze-forming proteins of beer and their roles in chill haze formation. *J American Society Brewing Chemists* 40: 147-154.
- 80. BERNAYS E.A., COOPER D.G., BILGENER M., 1989.** Herbivores and plant tannins. *Advances in Ecological Research* 19: 263-302.
- 81. FEENY P.P., 1970.** Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillar. *Ecology* 51: 565-581.
- 82. BERNAYS E.A., CHAMBERLAIN D.J., MCCARTHY P., 1980.** The differential effects of ingested tannic acid on different species of Acridoidea. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 28: 158-166.
- 83. KLOCKE J.A., CHAN B.G., 1982.** Effects of cotton condensed tannin on feeding and digestion in the cotton pest *Heliothis zea*. *Journal of Insect Physiology* 28: 911-915.
- 84. LAWSON D.L., MERRITT R.W., KLUG M.J., MARTIN J.S., 1982.** The utilization of late season foliage by the orange striped oakworm, *Anisota senatoria*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 2: 242-248.
- 85. REESE J.C., CHAN B.G., WAISS A.C.J., 1982.** Effects of cotton condensed tannin, Maysin (corn) and Pinitol (soybeans) on *Heliothis zea* growth and development. *J.Chem. Eco.*8: 1429-1436.
- 86. BERENBAUM M., 1983.** Effects of tannin on growth and digestion in two species of Papilionids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 34: 245-250.
- 87. BERENBAUM M., 1980.** Adaptive significance of midgut pH in larval Lepidoptera. *American Naturalist* 115: 138-146.
- 88. BERNAYS, E.A., 1978.** Tannins: an alternative viewpoint. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 24: 44-53.
- 89. KEATING S.T., SCHULTZ J.C., YENDOL W.G., 1990.** The effect of diet on gypsy moth (*Lymantria dispar*) larval midgut pH, and its relationship with larval susceptibility to a baculovirus. *J. Invertebrate Pathology* 56: 317-326.
- 90. APPEL H.M., SCHULTZ J.C., 1994.** Oak tannins reduce effectiveness of thuricide (*Bacillus thuringiensis*) in the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *J. Economic Entomology* 87: 1736-1742.
- 91 CAVALIER-SMITH T., 1994.** Origins of secondary metabolism evolution and function: Products or processes. *Chemoecology*, 5 (2): 89–95

- 92. SCHOONHOVEN L.M., 1982.** Biological aspects of antifeedants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 31: 57-69.
- 93. DETHIER V., 1982.** Mechanism of host-plant recognition. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 31: 49-56.
- 94. FEENY P.P., 1976.** Plant apparency and chemical defense. *Recent Advances in Phytochemistry* 10:1-40.
- 95. HAGERMAN, A.E., BUTLER L.G., 1980.** Determination of protein in tannin-protein precipitates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 28: 944-947.
- 96. AWMACK, C.S. & LEATHER, S.R., 2002.** Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47: 817-844.
- 97. STAMP N., 2003.** Out of the Quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Biology* 78: 23-55.
- 98. HAUKIOJA E., RUOHOMÄKI K., SUOMELA J., VUORISALO, T., 1991.** Nutritional quality as a defense against herbivores. *Forest Ecology and Management* 39: 237-245.
- 99. KAITANIEMI P., RUOHOMAKI K., OSSIPOV V., HAUKIOJA E., PIHLAJA K., 1998.** Delayed induced changes in the biochemical composition of host plant leaves during an insect outbreak. *Oecologia* 116: 182-190.
- 100. OSIER T.L., HWANG S.Y. & LINDROTH R.L., 2000.** Effects of phytochemical variation in quaking aspen *Populus tremuloides* clones on gypsy moth *Lymantria dispar* performance in the field and laboratory. *Ecological Entomology* 25: 197-207.
- 101. TIKKANEN, O.P., NIEMELA, P. & KERANEN, J., 2000.** Growth and development of a generalist insect herbivore, *Operophtera brumata*, on original and alternative host plants. *Oecologia* 122: 529-536.
- 102. BENREY B., DENNO R.F., 1997.** The slow-growth-high-mortality hypothesis: a test using the cabbage butterfly. *Ecology* 78: 987-999.
- 103. APPEL H.M., SCHULTZ J.C., 1992.** Activity of phenolics in insects: the role of oxidation. *J. Chem. Ecol.* 19:1521-1552.
- 104. BERENBAUM M., 1980.** Adaptive significance of midgut pH in larval Lepidoptera. *American Naturalist* 115: 138-146.
- 105. FELTON G.W., DUFFEY S.S., 1991.** Reassessment of the role of gut alkalinity and detergency in insect herbivory. *Journal of Chemical Ecology* 17: 1821-1836.
- 106. MARTIN M.M., ROCKHOLM D.D., MARTIN J.S., 1985.** Effects of surfactants, pH, and certain on precipitation of proteins by tannins. *J.Chem.Ecol.* 11: 485-494.

- 107. APPEL H.M., MARTIN M.M., 1990.** Gut redox conditions in herbivorous lepidopteran larvae. *J.Chem. Ecol.* 16: 3277-3290.
- 108. NICHOLS-ORIONS C., 1991.** Condensed tannins, attine ants, and the performance of a symbiotic fungus. *J. Chem. Ecol.* 17: 1177-1196.
- 109. BERNAYS E.A., CHAMBERLAIN D.J., MCCARTHY P., 1980.** The differential effects of ingested tannic acid on different species of Acridoidea. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 28: 158-166.
- 110. BARBEHENN R.V., MARTIN M.M., 1992.** The protective role of the peritrophic membrane in the tannin-tolerant larvae of *Orgyia leucostigma* (Lepidoptera). *J. Insect Physiology* 38: 973-980.
- 111. BERNAYS E.A., CHAPMAN R.F., 2000.** Plant secondary compounds and grasshoppers: beyond plant defenses. *J.Chem. Ecol.* 26: 1773-1794.
- 112. MOLE S., ROGLER J.C., MORELL C.J., BUTLER L.G., 1990.** Herbivore growth reduction by tannins: use of Waldbauer ratio techniques and manipulation of salivary protein production to elucidate mechanisms of action. *Biochemical Systematics and Ecology* 18: 183-197.
- 113. ROBBINS C.T., HAGERMAN A.E., AUSTIN P.J., MCARTHUR C., HANLEY T.A., 1991.** Variation in mammalian physiological responses to a condensed tannin and its ecological implications. *Journal of Mammalogy* 72: 480-486.
- 114. HAGERMAN ROBBINS 1993.** Condensed tannin purification and characterization of tannin associated proteins. *J. Agricultural and Food Chemistry* 28: 947- 952.
- 115. MEHANSO, H., BUTLER, L.G. & CARLSON, D.M., 1987.** Dietary tannins and salivary proline rich proteins: Interaction, induction and defense mechanisms. *Annual Review of Nutrition* 7: 423-440.
- 116. MAKKAR H.P.S., BECKER K., 1998.** Do tannins in leaves of trees and shrubs from Africa and Himalayan regions differ in level and activity? *Agroforestry Systems* 40: 59-68.
- 117. MCKEY D., WATERMAN P.G., MBI C.N., GARTLAN J.S., STRUHSAKER, T.T., 1978.** Phenolic content of vegetation in two African rain forests: *Ecological implications.* *Science* 202: 61-64.
- 118. KELMAN W.M., TANNER G.J., 1990.** Foliar condensed tannin levels in Lotus species growing on limed and unlimed soils in South-eastern Australia. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 52: 51-54.

- 119. FREDEEN A.L., GAMON J.A., FIELD C.B., 1991.** Response of photosynthesis and carbohydrate partitioning to limitations in nitrogen. *Plant, Cell and Environment* 14: 963-970.
- 120. KRAPP A., STITT M., 1994.** Influence of High Carbohydrate Content on the Activity of Plastidic and Cytosolic Isoenzyme Pairs in Photosynthetic Tissues. *Plant, Cell & Environment* 17: 861-866
- 121. PERATA P., LORETI E., GUGLEILMINETTI L., ALPI A., 1998.** Anaerobic carbohydrate metabolism in wheat and barley, two anoxia-intoleant cereal seeds. *J. experimental botany* 47, 999-1006.
- 122. TJOELKER MG, REICH PB, OLEKSYN J. 1999.** Changes in leaf nitrogen and carbohydrates underlie temperature and CO₂ acclimation of dark respiration in five boreal tree species. *Plant, Cell and Environment* 22:767–778.
- 123. BIDON Y., 1993.** *Influence des sucres solubles et de l'azote sur la croissance, le développement et l'utilisation de la nourriture par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Choristoneura fumiferana (Clem.))*. Thèse de Maîtrise des Science. Université Laval, Ste-Foy (Québec), Canada, 63 pp.
- 124. RAMANJULU S., SREENIVASALU N, GIRIDHARA S., SUDHAKAR C., 1998.** Photosynthetic characteristics in mulberry during water stress and rewatering. *Photosynthetica* 35: 259-263. DOI: 10.1023/A:1006919009266.
- 125. DIB T., MONNEVEUX P., ARAUS J.L. 1992.** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II: Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie* 12:381-393.
- 126. BELLINGER Y., F. LARHER, 1987.** Proline accumulation in higher plants: A redox buffer? *Plant Physiol.* 6: 23-27.
- 127. CARCELLER J., 1995.** Proline and the export of N. compounds from senescing leaves of maize under water stress. *INRA interdrought*, pp.1-5.
- 128. AGRAWAL A, 1998.** Induced responses to herbivory and increased plant performance. *Science* 279: 1201-1202.
- 129. AGRAWAL A., KARBAN R., 1998.** *Why induced defenses may be favored over constitutive strategies in plants*. Univ. Princeton. NJ., 382p.
- 130. AGRAWAL A., 2001.** Leaf damage and associated cues induced aggressive and recruitment in a neotropical ant-plant. *Ecology*, 79(6):2100–2112

- 131. MAURICIO R., 1998.** Costs of resistance to natural enemies in field populations of the annual plant *Arabidopsis thaliana*. *The American Naturalist*. Vol. 151, No. 1, pp. 20-28.
- 132. STRAUSS S. AGWAL A., 1999.** Ecolog and evolution of plant tolerance to herbivory. *Trends Ecol.* vol.14: 179-185.
- 133. LEIMU R., KORICHEVA J., 2006.** A meta-analysis of tradoeoffs between plant tolerance and resistance to herbivores: combinig the evidence form ecological sties. *Oikos* 112, 1-9.
- 134. PEACOCK L., HERRICK S., 2000.** Responses of the willow beetle *Phratora vulgatissima* to genetically and spatially diverse *Salix* spp. plantations. *J.Applied Ecology* 37, 821–831.
- 135. HAJJAR R., HODGKIN T., 2007.** The use of wild relatives in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years. *Euphytica* 156:1-13.
- 136. KESSLER A., BALDWIN I.T., 2002.** Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 53: 299–328.
- 137. ALBORN H.T., TURLINGS T.C.J., JONES T.H., STENHAGEN G., LOUGHRIN J.H., TUMLINSON J.H., 1997.** An elicitor of plant volatiles from beet armyworm oral secretion. *Science* 276: 945–949
- 138. MATTIACCI I., RUDELLI S., ROCCA B.A., GENINI S., DORN S., 2001.** Systematically-induced response of cabbage plants against a specialist herbivore. *Pieris brassicae*. *Chemoecology* 11, 167-173.
- 139. THALER J.S., 2002.** Jasmonate-inducible plant defenses cause increased parasitism of herbivores. *Nature* 399: 686–688.
- 140. DICKE M., 2001.** Are herbivore-induced plant volatiles reliable indicators of herbivore identity to foraging carnivorous arthropods? *Entomol. Exp. Appl.* 91: 131-142.
- 141. STOUT M.J., FIDANTSEF A.L., DUFFEY S.S., BOSTOCK R.M., 1999.** Signal interactions in pathogen and insect attack: Systemic plant-mediated interactions between pathogens and herbivores of the tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 54: 115–130.

- 142. FIDANTSEF A.L., STOUT M.J., THALER J.S., DUFFEY S.S., BOSTOCK R.M., 1999.** Signal interactions in pathogen and insect attack: expression of lipoxygenase, proteinase inhibitor II, and pathogenesis-related protein P4 in the tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 54: 97–114.
- 143. KORSLOOT A., VAN GESTEL C.A.M., VAN STRAALLEN N.M., 2004.** *Environmental Stress and Cellular Response in Arthropods*. CRC Press, Boca Raton, 208p.
- 144. NEVEN, L.G. 2000.** Insect Physiological Responses to Heat. Postharvest. *Biology and Technology* 21: 103-111.
- 145. FIELD H. 2005** The ecology of Hendra virus and Australian bat lyssavirus. PhD thesis, The University of Queensland, Brisbane.209p.
- 146. HOFFMANN A.A., Parsons P.A., 1991.** *Evolutionary Genetics and Environmental Stress*. Ed., Oxford University Press, New York, USA. 284 p.
- 147. ARMITAGE S.A.O., SIVA-JOTHY M.T., 2005.** Immune function responds to sélection for cuticular colour in *Tenebrio molitor*. *Heredity* 94, 650-656.
- 148. DE BRUYN L., SCHEIRS J., VERHAGEN R., 2002.** Nutrient stress, host plant quality and herbivore performance of a leaf mining fly on grass. *Oecologia* 130, 594-599
- 149. DAJOZ R., 2007.** *Les insectes de la forêt : Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier*, Lavoisier/Tec.et Doc, Paris, 648p.
- 150. THOMPSON J. N., PELLMYR O., 1991.** Evolution of oviposition behavior and host preference in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 36, 65-89.
- 151. THOMPSON J. N., 1988.** Evolutionary ecology of the relationship between oviposition preference and performance of offspring in phytophagous insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 47: 3-14.
- 152. DINGLE, 1978.** Competition: butterflies eliminate milkweed bugs from a caribbean island. *Oecologia* 37, p 133-136.
- 153. BECK S. D., 1965.** Resistance of plants to insects. *Annu. Rev. Entomol.*10,207-232.
- 154. KOSTAL V., TOLLAROVA M. AND SULA J., 2004.** Adjustments of the enzymatic complement for polyol biosynthesis and accumulation in diapausing cold-acclimated adults of *Pyrrhocoris apterus*. *Journal of Insect Physiology* 50: 303–313.

- 155. COOPER R., KAPLAN S., 1982.** Adaptive coin-flipping : a decision théoric examination of natural selection for random individual variation. *Biol.* 94: 135-51.
- 156. RAUPP, M. J., ET DENNO, R. F. 1983.** *Leaf age as a predictor of herbivore distribution and abundance in Variable plants and herbivores in natural and managed systems*, Academic Press, New York, 734 p.
- 157. MENU F., DEBOUZIE D., 1993.** Coin-flipping plasticity and prolonged diapause in insects : example of the chestnut weevil *Curculio elephas* (Coleoptera: Curculionidae) *Oecologia*, Springer Verlag (Germany) 93, pp.367-373.
- 158. MENU F., 1993.** Strategies of emergence in the chestnut weevil *Curculio elephas* (Coleoptera: Curculionidae) *Oecologia*, Springer Verlag (Germany) 96, pp: 383-390.
- 159. HOPPER K. R., 1999.** Risk spreading and bet-hedging in insect population biology. *Annual Review of Entomology* 44, 535–560.
- 160. ROCHAT D., NAGNAN-LE MEILLOUR P., ESTEBAN-DURAN J.R., MALOSSE C., PERTHUIS B., MORIN J.P., DESCOINS C., 2000.** Identification of pheromone synergists in American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* , and attraction of related *D ynamis borassi* (Coleoptera, Curculionidae). *J. Chem. Ecol.* 26:155-187.
- 161. ROCHAT D., MA LOSSE C., LETTERE M., DUCROT P.-H., ZAGATTI P., RENOU M., DESCOINS C.,1991.** Male-produced aggregation pheromone in the American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae): Collection, identification, electrophysiological activity and laboratory bioassay. *J. Chem. Ecol.* 17: 2127-2141.
- 162. MENU F, GINOUX M, RAJON E, LAZZARI CR, RABINOVICH J., 2010.** Adaptive Developmental Delay in Chagas Disease Vectors: An Evolutionary Ecology Approach, *PLoS neglected tropical diseases*, vol. 4(5), pp: 1-10.
- 163. SIROT E, BERNSTEIN C., 1996.** Time sharing between host searching and food searching in parasitoids: state-dependant optimal strategies. *Behav Ecol* 7:189–194.
- 164. TENHUMBERG B., SIEKMAN G., KELLER M.A., 2006.** Optimal time allocation in parasitic wasps searching for hosts and food. *Oikos* 113:121-31.
- 165. LAWTON J.H., 1983.** Plante architecture and the diversity of phytophagous insects. *Annual review of Entomology*, p-p: 23-39.

- 166. K.V. Madhava Rao, A.S. Raghavendra, K. Janardhan Reddy, 2006.** *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Ed. Springer, 345p
- 167. ISAACS, R., BYRNE, D.N., HENDRIX, D.L., 1998.** Feeding rates and carbohydrate metabolism by *Bemisia abaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on different quality phloem saps. *Physiological Entomology* 23, 241-248.
- 168. SCHEIRS J., DE BRUYN L., 2005.** Plant mediated effects of drought stress on host preference and performance of a grass miner. *Oikos* 108, 371-385.
- 169. ENGLISH-LOEB G., STOUT M.J., DUFFEY S.S., 1997.** Drought stress in tomatoes: changes in plant chemistry and potential nonlinear consequences for insect herbivores. *Oikos* 79, 456-468.
- 170. GARG B.K., KATHJU S., BURMAN I.L., 2001.** Influence of water stress on water relations, photosynthetic parameters and nitrogen metabolism of moth bean genotypes. *Biologia Plantarum* 44, 289-292.
- 171. HAIE B.K., BAIE J.S., PRITCHARD J., MASTERS G.J., BROWN V.K., 2003.** Effects of host plant drought stress on the performance of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* (L.): a mechanistic analysis. *Ecological Entomology* 28, 666-677.
- 172. INBAR M., DOOSTDAR H., MAYER R.T., 2001.** Suitability of stressed and vigorous plants to various insect herbivores. *Oikos* 94, 228-235.
- 173. HUBERTY A.F., DENNO R.F., 2004.** Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: A new synthesis. *Ecology* 85, 1383-1398.
- 174. MATTSON W.J., HAACK A.R., LAWRENCE R.K., SLOCUM S.S., 1991.** Considering the nutritional ecology of the spruce budworm in its management. *Forest Ecology and Management* 39: 183-210.
- 175. BEN KHALED L., OUARRAQI E.M., ZID E., 2007.** Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique, *Acta Botanica Gallica*, 154(1):101-116, DOI:10.1080/12538078.2007.10516047
- 176. BERGMANN H., 1995.** Activation of stress resistance in plants and consequences for product quality, *J. Appl. Bot.* 73:153–161.
- 177. ALBERT P.J., BAUCE É., 1994.** Feeding preferences of fourth- and sixth-instar spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) larvae for foliage extracts from young and old balsam fir hosts. *Environmental Entomology* 23: 645-653.
- 178. CHRISTMANN A., WEILER E.W., STEUDLE E., GRILL E., 2007.** A hydraulic signal in root-to-shoot signalling of water shortage. *The Plant Journal* 52: 167-174.

- 179. OSWALD C.J., BREWER M.J., 1997.** Aphid-barley interactions mediated by water stress and barley resistance to Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 26, 591-602.
- 180. BULTMAN T.L., Bell G.D., 2003.** Interaction between fungal endophytes and environmental stressors influences plant resistance to insects. *Oikos* 103, 182-190.
- 181. CABRERA H.M., ARGANDONA V.H., ZUNIGA G.E., CORCUERA L.J., 1995.** Effect of infestation by aphids on the water status of barley and insect development. *Phytochemistry*, 40, 1083-1088.
- 182. HAIE B.K., BAIE J.S., PRITCHARD J., MASTERS G.J., BROWN V.K., 2003.** Effects of host plant drought stress on the performance of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (L.): a mechanistic analysis. *Ecological Entomology* 28, 666-677.
- 183. PONS X., TATCHELL G.M., 1995.** Drought stress and cereal aphid performance. *Annals of Applied Biology* 126, 19-31.
- 184. HUBERTY A.F., DENNO R.F., 2004.** Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: A new synthesis. *Ecology* 85, 1383-1398.
- 185. LYNCH M.E. KAPLAN I., DIVERY G.P., DENNO R.F., 2006.** Host plant mediated competition via induced resistance: interaction between pest herbivores on potatoes. *Ecological Applications* 16, 855-864.
- 186. Maddison D.R., 2000.** Larvae of *Bembidiini* (Coleoptera: Carabidae): subtribes Tachyina and Xystosomina. *European Journal of Entomology*, 97:223-240.
- 187. DHOUBI M.H., 2002.** *Introduction à l'entomologie*. Centre de publication universitaire. Tunis., 226 p.
- 188. PAULIAN R., 1988.** *Biologie des coléoptères*. Ed. Lechevalier, Paris, 719 p.
- 189. THERY A., 1928.** *Etude sur les Buprestidés de l'Afrique du Nord*. Mem. Soc. Sci. Nat. Maroc, 260p.
- 190. COUTIN R., Silva-Dias J.C., 1997.** *Capnodis tenebrionis*., Fiche de Hyppz. Zoologie, www.lnra.fr consulté le 29 février 2012.
- 191. HASTIR P., GASPAS C., 2002.** Les « richards » (Coleoptera – Buprestidae) de la faune de Belgique: éthologie, phénologie, classification et systématique. *Notes fauniques de Gembloux* 47: 3-40.
- 192. GRASSE P., 1949.** *Traité de Zoologie Anatomie, Systématique, Biologie*. Ed. Masson & Cie, T. IX., 1069 p.

- 193. BALACHOWSKY A.S., 1962.** *Entomologie appliquée à l'agriculture. Coléoptères.* T.I, Ed. Masson, Paris, 564 p.
- 194. PERRIER L., 1927.** *La Faune de la France illustrée.* Librairie. Delagrave, T.V, 1^{er} partie, 192 p.
- 195. RIVNAY E., 1946.** Physiological and ecological studies on the species of *Capnodis* in Palestine (Col: Buprestidae). III. Studies on the adult. *Bull. Entomol. Res.*, 37: 273-280.
- 196. VENET M., 1950.** *Action toxicologique de divers insecticides sur le Capnode.* Ed. Feret, Paris, 123p.
- 197. FERON M., 1949.** La ponte du *Capnodis tenebrionis* L. *Rev. Path. Vég. Ent. Agr. France*, T. 27, pp : 96-105.
- 198. GUESSOUS A., 1948.** Le Capnodage dans la région de Casablanca, N° 219, pp : 42-44.
- 199. GOUGUENHEIM M. R., PERRIER D., RUNGS CH., 1950.** Remarques sur les larves de deux Buprestides du système racinaire des Rosacée fruitières (*Capnodis tenebrionis* L. et *Aurigena unicolor* Ol.). *Revue de Pathologie végétale et d'Entomologie agricole* 29(3): 152-156.
- 200. CHRESTIAN P., 1955.** *Le Capnode noir des Rosacées.* Protectorat de la République Française au Maroc, Service de la Défense des Végétaux. Travaux originaux n. 6, Rabat, 141 p.
- 201. PEYER P., 1945.** *Les pruniers sauvages et cultivés.* Imprimerie Paul Vallier, 223 p.
- 202. ANONYME, 2013.** http://denbource.free.fr/schemas_panorpa_meridionalis, consulté le: 20/03/2013.
- 203. AUBER, 1971.** *Coléoptères de France.* T.I, Ed. Bouée & Cie, 258 p.
- 204. BALACHOWSKY A. ET MESNIL L., 1935.** *Les insectes nuisibles aux cultures cultivées leurs mœurs, leurs destruction.* *Traité d'entomologie agricole.* Ed. Masson, Paris, 627 p.
- 205. ALFORD D.V., 1991.** *Ravageurs des végétaux d'ornement arbre, arbuste, fleurs.* Ed. Masson, Londres, 434 p.
- 206. GIRAD M., 1873.** *Elémentaire D'entomologie.* Ed. Ballière & Fils, 836 p.

- 207. BONSIGNORE C. P., BELLAMY C., 2007.** Daily activity and flight behaviour of adults of *Capnodis tenebrionis* (Coleoptera: Buprestidae), *European Journal of Entomology*, 104(3): 425-431.
- 208. MORTON A., GARCIA DEL PINO F., 2008.** Effectiveness of different species of entomopathogenic nematodes for biocontrol of the Mediterranean Flatheaded rootborer *Capnodis tenebrionis* (Linné) (Coleoptera; Buprestidae) in potted peach tree. *J. Invert. Pathol.* Vol. 97 (2); 128 - 133.
- 209. GINDIN G., KUZNETSOVA T., PROTASOV A., BEN YEHUDA S ET MENDEL Z., 2009.** Artificial diet for two flat-headed borers. *C. sp* (Coléoptère: Buprestidae). *Eur. J. Entomol*, 106: 573-581.
- 210. GARRIDO A., DEL BUSTO T., 1986** - El gusano cabezudo (*Capnodis tenebrionis* L ; Col: Buprestidae). *Agrícola. Vergel.* 49: 23-29.
- 211. MARTINEZ DE ALTUBE M., STRAUCH O., FERNANDEZ DE CASTRO G ET MARTINEZ PENA A., 2007.** Control of the flat-headed root borer *Capnodis tenebrionis* (Linne) (Col: Buprestidae) with the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* (Weiser) (*Nematoda: Steinernematidae*) in a chitosan formulation in apricot orchards. *Rev. Bio Control* 53: 531-539.
- 212. MARTIN H., 1951.** Contribution à l'étude du Capnode noir des arbres fruitiers (*Capnodis tenebrionis* L.) dans la région d'Alger. *Rev. Pathol. Vég, Entomol. Agr. France.* 30, 97-113.
- 213. COUTIN R., 2001.** Faune entomologique du cerisier. *Fiche pédagogique*, n°120, 19-22 pp.
- 214. GAIRAUD, R; BESSON, J, 1950.** Contribution à l'étude du bupreste du pêcher (*Capnodis tenebrionis*) dans la Mitidja (Algérie). *Rev. Path. Veg*, 29: 119 – 136.
- 215. BEN YEHUDA S., ASSAEL F ET MENDEL Z., 2000.** Improved chemical control of *Capnodis tenebrionis* and *C. carbonaria* in stone fruit plantation in Israel. *Phytoparasitica*, 28 (1): 27-41.
- 216. BONSIGNORE C.P., VAN ACHTERBERG C., VACANTE C., 2008.** Premier record du Braconidae comme parasitoides de *Capnodis tenebrionis* (Linneaus) (Coléoptère-Buprestidae), avec des notes sur l'écologie de *Spathius erythrocephalus* Wesmael (Hymenoptera : Braconidae). *Zoologie. Medidilinger*, 82 (44):489-498.
- 217. del Mar Martinez de Altube M., Strauch O., Fernandez De Castro G. Peña. M., 2008.** Control of the flat-headed root borer *Capnodis tenebrionis* (Linné) (Coleoptera: Buprestidae) with the entomopathogenic nematode *Steinernema*

carpocapsae (Weiser) (Nematoda: Steinernematidae) in a chitosan formulation in apricot orchards. *BioControl*, 53(3):531-539

218. LOSURDO N., 2006. *Actualita prospettive nella lotta al Buprestide nero delle Rosacee, Capnodis tenebrionis (L) (Coleoptera: Buprestidae).* Thèse de metrise en technologies agricoles, Univer. Basilicata, Fac. Agraria, 69 p.

219. MALAGON J., GARRIDO A ET DEL BUSTA T., 1988. Oviposicion de *Capnodis tenebrionis* L. (Col: Buprestidae) en ambiente controlado. *Agronomie*, 8 (4): 367-371.

220. CAREME C., SGHAIER T., TANJAQUI A., 1993. Consolidation de la défense des cultures. *Pub. Agr. INPV. (Maroc)*, 25: 22-31.

221. MARANNINO P., DE LILLO E., 2007. *Capnodis tenebrionis* (L. 1758) (Coleoptera: Buprestidae): Morphology and behaviour of the neonate larvae, and soil humidity effects on the egg eclosion. *Ann.soc.Entomol.Fr.*43 (02) 145-154.

222. FRAVAL A., FEVRE E., COUTIN R., MINOST C ET LAPORTE V., 1997. *Capnodis tenebrionis.* Fiche de Hyppz. Zoologie. Ed. Acta et Inra.

223. BONNEMAISON, 1962. *Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts.* Ed. Sep., Paris, T. II, 503p.

224. GARRIDO A ET DEL BUSTO T., 1986. El gusano cabezudo (*Capnodis tenebrionis* L ; Col: Buprestidae). *Agricola. Vergel.* 49: 23-29.

225. HMIMINA M., SEKKAT A., LAHFA L ET HISTANE M., 1988. Cycle biologique de *Capnodis tenebrionis* L. (Coleoptera : Buprestidae) dans la région de Meknès. *Actes. Inst. Agron. Vétérinaire. Hassan II*, 8 (1-2) :41-49.

226. TAJNARI H, 1984. *Biologie du capnode noir dans la région de Marrakech et essais d'efficacité de cinq insecticides,* Rapp. Inst de la prot. Marrakech, pp:32-40.

227. VILLATTE R., BENASSY C., BOURNIER A., CAILLAVET H., FERON M., GENDRIER J. P., GROSCLAUDE C., LECLANT F., MARBOUTIE G., MILLAIRE H. G., MORVAN G., MOUCHART A., RAMBIER A., REBOULET J. N., VIGOUROUX A., 1974. *Aperçu sur les ravageurs et maladies. Pêcher I.* Imprimerie. Laboureur, Paris,107 p.

228. GAUTIER M., 1987. *La culture fruitière. V.1 : L'arbre fruitier,* Ed.Technique et documentation, Paris, 492 p.

229. BRETAUDEAU J., FAURE Y., 1991 – Atlas D'arboriculture Fruitière Ed. Lavoisier, Vol. 3, Paris, 224p.

- 230. COUTANCEAU M., 1962** Arboriculture fruitière. Technique et économie des cultures de rosacées fruitières ligneuses. Ed. Ballière et Fils., Paris. 575 p.
- 231. BONDOUX P., 1978.** Etude des moyens de lutte contre les gelées. *Journées nationales d'information sur la lutte contre les gelées*, pp : 125-151.
- 232. BENTTAYEB, Z.D., 1993.** Biologie et Ecologie des Arbre Fruitier. *Col. Cours d'agronomie. Inst. Agro. Chlef. Edit. O.P.U., Alger*, 139.
- 233. ANONYME, S.D.** enquête réalisée par l'Institut National de la Protection des Végétaux (I.N.P.V.) sur les premières installations du Capnode en Algérie. Consulter en fevrier 2009.
- 234. ANONYME., 2005.** *Les pertes économiques causées par le Capnode dans la région de Médéa et conduite à tenir.* Enquête réalisée par l'Institut National de la Protection des Végétaux (I.N.P.V.), 32p.
- 235. Marannino P., Santiago-Alvarez C., De Lillo E., Quesadamoraga E., 2008.** Evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorok. To target larvae and adults of *Capnodis tenebrionis* L (Coleoptera: Buprestidae) in soil and fiber band applications. *Jour. Invert. Pathol*, 97: 237-244.
- 236. GARRIDO A., 1984.** Bioecologia de *Capnodis tenebrionis* L, (Col: Buprestidae) y orientaciones para su control. *Bol. Serv. Defensa contro Plagas e Ispeccion Fitopat.*, 10 (2): 205-221.
- 237. MALAGON J ET GARRIDO A., 1990.** Relacion entre el contenido en glicosidos cianogenéticos y la resistencia a *Capnodis tenebrionis* (L.) en frutales de jueso. *Bol. Sanidad. Veg., plagas*, 16(2): 499-503.
- 238. BONSIGNORE C. P ET BELLAMY C., 2007.** Daily activity and flight behaviour of adults of *Capnodis tenebrionis* (Coleoptera: Buprestidae). *Eur. Jour. Entomol* 104: 425-431.
- 239. RIVNAY E., 1944.** Physiological and ecological studies on the species of *Capnodis* in Palestine (Col., Buprestidae). *Bull. Entoml. Res.*, 37: 273-280.
- 240. OUKABLI A., MAMOUNI A., 2005.** Le prunier. *Bull Mensuel d'informatique et de liaison du PNTTA*. N°126. Inst. Nati. Agr. Vétér. Hassan II. Rabat, 17p.
- 241. VALANTIN-MORISON M., BUTIER A., BERDER J., 2011.** Mixing Winter oilseed rape (WOSR) and legume to smoother weeds, disturb insects and reduce nitrogen use in spring: possible or not? *13th International Rapeseed Congress June 5-9, Prague, Czech Republic*, 180p.

- 242. ATTOUMANI R., 2011.** Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. [http:// agriculture.gouv.fr /ecophyto](http://agriculture.gouv.fr/ecophyto), consulté le 14 février 2013.
- 243. MEYNARD J.M., DORE T., LUCAS P., 2003.** Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes Rendus Biologies*, 37-46.
- 244. BRETAUDEAU F., FAURE A., 1991.** *Généralité sur les cultures des arbres fruitiers*. Ed. Lavoisier, Vol. 1, 289p.
- 245. ANONYME, 2003.** Schéma directeur. *Direction des Services Agricoles (D.S.A.) sur les conduites agricole local (wilaya de Medéa)*, 130 p.
- 246. MAHOU H., 2009.** Rosacées fruitières au Maroc -Analyse du secteur. *Rev. Agriculture du Maghreb*, n°35, pp: 54-61.
- 247. GIORGI M., CAPOCASA F., SCALZO J., MURRI G., BATTINO M., MEZZETTI B., 2005.** The rootstock effects on plant adaptability, production, fruit quality and nutrition in the peach (cv. 'Suncrest'). *Sci. Hortic.* 107, 36-42.
- 248. LAURI P.E., CLAVERIE J. 2001.** Conduite du cerisier. *Réussir Fruits et Légumes* (199), 42-45.
- 249. LETERME E., 1989.** *Le Greffage (Les technique les plus courante et plantation des arbres fruitières)*. Ed.Reny et Canitrot, 216p.
- 250. KROMP B., 1999.** Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture Ecosystems & Environnement*, 74 : 187-228.
- 251. CHARARAS C., 1979.** *Ecophysiologie des insectes parasites des forêts*. Ed. Charas., Paris, 297 p.
- 252. CHAUVIN R., AGUILLARD J., 1946.** Les données récentes de la microclimatologie et leur importance en écologie entomologique. *Ann. Biol.*, 22, p-p: 165-166.
- 253. ALTIERI M.A., 1999.** The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agri. Ecosyst Environ.*, 74 : 19-31.
- 254. THORBEEK P., BILDE T.** Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *J. Appl. Ecol.* 41:526-38.
- 255. BUCHS G., KATZUR S., 2004.** Cultivation techniques as means to control pests in organic oilseed rape production. *IOBC/wprs Bull.*, 27: 225-36.

- 256. CAUBEL G., BOSSIS M., GENIER G., GUY P., 1977.** Mise au point d'un test de sélection de luzernes résistantes à *Ditylenchus dipsaci*. *Sci Agron. Rennes*, pp.25-32.
- 257. FREE J.B., WILLIAMS I.H., 1978.** The response of pollen beetle, *Meligethes aeneus*, and the seed weevil, *Ceutorhynchus assimilis*, to oilseed rape, *Brassica napus*, and other plants. *J. Appl. Ecol.*, 15: 761-74.
- 258. HOPKINS R.J., EKBOM B., 1999.** The pollen beetle, *Meligethes aeneus*, changes egg production rate to match host quality. *Oecologia*, 120 : 274-8.
- 259. ULMER BJ, DOSDALL LM., 2006.** Emergence of overwintered and new generation adults of the crucifer flea beetle, *Phyllotreta cruciferae* (Goeze) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Crop Protection*, 25: 23-30.
- 260. TAHVANAINEN J.O., ROOT R.B., 1972.** The influence of vegetational diversity on the population ecology of a specialized herbivore, *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera : Chrysomelidae). *Oecologia*, 10: 321-46.
- 261. ROOT R.B., 1973.** Organisation of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats : the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr*, 43 : 95-124.
- 262. MÉDIÈNE S., 2011.** Agroecosystem management and biotic interactions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(3), 491-514.
- 263. WILLIAMS I.H., 2010.** *The major insect pests of oilseed rape in Europe and their management.* pp.1-43 in biocontrol-based integrated management of oil seed reap. DOI: 10.1007/178-90-481-3983-5_1, Springer science+buisnes media, 463p.
- 264. SERGIO F., MARCHESI L., 2005.** Top predators and biodiversity. *Nature* 236, 192p.
- 265. GARRIDO A., MALAGON J., DEL BUSTO T., 1990.** Toxicidad de plaguicidas por contacto e ingestion sobre adultos de *Capnodis tenebrionis* (L) (Coleoptera: Buprestidae). *Bol. Sanidad Veg. Plagas*, 16 (1): 165-172.
- 266. SANNA-PASSINO G. et DELRIO G., 2001.** Eficacia de plaguicidas sobre larvae de *Capnodis tenebrionis* (L). *Bull. San. Veg., Plagas*, 27: 59-64.
- 267. SEKKAT A., HMIMINA M., JOUDADI A., PEYRON X., et MAZOUZI B., 1997.** Fipronil, insecticide pour lutter contre les larves neonates du Capnode noir des arbres fruitiers. *Quatrième Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture*, 6-8 janvier 1997, Le Corum, Montpellier, France, T.II: 347-354.

- 268. DEL MAR MARTINEZ DE ALTUBE, M., STRAUCH, O., DE CASTRO, G.F. et PEÑA, A.M., 2007.** Control of the flatheaded root borer *Capnodis tenebrionis* (Linné) (Coleoptera: Buprestidae) with the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* (Weiser) (Nematoda: Steinernematidae) in a chitosan formulation in apricot orchards. DOI: 10.1007
- 269. DEL PINO G., F., MORTON A., 2005.** Efficacy of entomopathogenic nematodes against neonate larvae of *Capnodis tenebrionis* (L.) (Coleoptera:Buprestidae) in Laboratory trials. *Bio Control*, Vol. 50, 307-316.
- 270. MENDEL Z., ASSAEL F., BEN YEHUDA S., 2003.** Host selection and root colonization of cyanogenic stone fruit species by *Capnodis tenebrionis* spp. (Col: Buprestidae). *Ann. Entomol. Soc.* 96: 127-134.
- 271. SCHULTZ J.C., 1983.** Impact of variable plant defensive chemistry and susceptibility to naturel enemies. Ed. *American Chemical Society*, Washington, pp. 37-54.
- 272. SKENDER M., 1978.** *Monographie de la wilaya de Médéa*. Serv. D'anim. et Plan. Eco., Médéa, 126p.
- 273. ANONYME, 2013.** <https://www.google.fr/intl/fr/earth>, Médéa, Algérie, consulté le 20 fevrier2013.
- 274. DREUX P., 1980.** *Précis d'écologie*. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231p.
- 275. RAMADE F., 1984.** *Eléments d'écologie: Ecologie fondamentale*. Ed. Mc. Graw-Hill, Paris, 397 p.
- 276. ANONYME, 2013.** Relevés climatologiques (2005-2012). O.N.M., 21p.
- 277. DAJOZ R., 1985.** *Précis d'écologie*. Ed. Dunod, Paris, 505 p.
- 278. STEWART P., 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique; Quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Afri. Du nord*, pp. 24-24.
- 279. ANONYME, 1998.** *Schéma directeur du développement agricole de la wilaya de Médéa*. Min. D'agr., Direc. Agr. de Médéa, 260p.
- 280** *Fiches techniques des suivis parcellaires (chana, safsafo) des arbres fruitiers à noyaux (Prunier, Cerisier)*. Ferme pilote Hmamou (Benchicao), Médéa. 50p.
- 281 CHANDA M., O'DRISCOLL K.F. et REMPELL G.L., 1983.** Cyanide detoxification by selective ion exchange with protonated poly(4-vinyl pyridine). *J. Chem.Technol. Biotechnol.*, 33A, 97-108.

- 282. KJELDAHL J., 1883.** Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z. Anal. Chem.* 22 :366-382.
- 283. EFFLAND M.J., 1977.** Modified procedure to determine acid-insoluble lignin in wood and pulp. *TAPPI*, 60: 143-144.
- 284. JARRIGE R., 1961.** Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères. I. - Fractionnement des constituants par les hydrolyses acides. *Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys.*, 1:163-212.
- 285. Ellis G. H., Matrone G., Maynard L. A., 1950.** A 72 percent H₂SO₄ method for the determination of lignin and its use in animal nutrition studies. *J. Anim. Science*, 5: 285-287.
- 286. BRADFORD, M., 1976.** A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Anal. Biochem.* 72:248-254.
- 287. AMMAR, M., BARBOUCHE, N., and BEN HAMOUDA, M.H. 1995.** Action des extraits décomposés des feuilles de *Cestrum parquii* et de *Olea europea* sur la longévité et la croissance du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*. *Med. Fac. Lanbouww. Univ. Gent.* 60: 831-836.
- 288. LEBRETON P., JAY M. et VOIRIN B., 1967.** Sur l'analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. *Chim. Anal.* 49(7): 375-383.
- 289. VAN BRUMMELN T.C., et SUIJFZAND S.C., 1993.** Effects of benzofalpyrene on survival, growth and energy reserves in the terrestrial isopods *Oniscus asellus* and *Porcellio scaber*. *The Science of the Total Environment, Suppl.* 51, 921-929.
- 290. STAHL G., RINGVALL A., FRIDMAN J., 2001.** Assessment of coarse woody debris, a methodological overview. *Ecological Bulletin* 49: 57-70.
- 291. GERGOIRE T.G., AFFLECK D.L.R., VALENTINE H.T., 2004.** Conditioning inference on line orientation in line intersect sampling, *Forest Inventory, Planning, and Modelling*, Norway, 8 p.
- 292. ROUVINEN S., KUULUVAINEN T., 2001.** Amount and spatial distribution of standing and downed dead trees in two areas of different fire history in a boreal Scot pine forest. *Ecological Bulletin* 49:115-127
- 293. BABU S.S.V., SHAREEF M.M., SHETTY P.K.A. AND SHETTY T.K., 2002.** HPLC method for amino acids profile In biological fluids and inborn metabolic disorders of aminoacidopathies. *Indian J. Clin. Biochem.* 17 (2): 7-26.

- 294. DUBOIS M., GILLES K. A., HAMILTON J.K., REBERS P.A. and SMITH F., 1956.** Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*. 28(3):350-356
- 295. PRICE M.L., VAN SCOYOC S., BUTLER. L.G., 1978.** A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agr. Food Chem.* 26:1214-1218.
- 296. WIN DECOEN T., 2000.** Influence of metals on reproduction, mortality and population growth in *Onychiurus armatus* (Collembola). *Journal of Applied Ecology* 22, 967-978.
- 297. TROLL W., LINDSLEY J., 1955.** A photometric method for the determination of proline. *J. Boil. Chem.* 215, 655-660.
- 298. DREIER W., GÖRING M., 1974.** Der Einfluss hoher Salzkonzentration auf verschiedene physiologische Parameters von Maiswurzeln. *Naturwiss* 23, 641-644
- 299. POLGE H., 1962.** Recherches sur l'utilisation de prélèvements effectués à la tarière de Pressler pour l'étude des propriétés physiques et mécaniques des bois. *Revue Forestière Française*, Vol.10, 98 p.
- 300. MAGALI C., 2009.** *Lutte intégrée en serres florales et en verger de pomme.* Programme National Agriculture et développement durable (France), 78p.
- 301. VASSEUR R.; SCHVESTER D., 1957.** Biologie et écologie du Pou de San José (*Quadraspidiotus perniciosus* Comst.) en France. *Annales des Epiphyties et de Phytogénétique* 8 :5-66.
- 302. TER BRAAK C.J. F., PRENTICE I.C., 1988.** A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research* 18: 271-317.
- 303. HAMMER O., HARPER D.A.T. et RYAN P.D., 2001.** *PAST: Paleontological Statistics Soft ware Package for Education and Data Analysis.* *Palaeontologia Electronica*, 4:1-9 pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- 304. GOUGUENHEIM M. R., PERRIER D., RUNGS Ch. 1950 -** Remarques sur les larves de deux Buprestides du système radiculaire des Rosacée fruitières (*Capnodis tenebrionis* L. et *Aurigena unicolor* Ol.). *Revue de Pathologie végétale et d'Entomologie agricole* 29(3): 152-156.

- 305. WESELOH R.M.; ANDREADIS T.G., 1982.** Possible mechanism for synergism between *Bacillus thuringiensis* and the *gypsy moth* (Lepidoptera: Lymantriidae) parasitoid, *Apanteles melanoscelus* (Hymenoptera: Lymantriidae) parasitoid, *Apanteles melanoscelus* (Hymenoptera: Braconidae). *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 75: 435-438;
- 306. CHABOUSSOU F., 1980.** *Les plantes malades des pesticides. Base nouvelle de prévention contre maladies et parasites.* Ed. DEBARD, Paris, 200p.
- 307. FIDANTSEF A.L., STOUT, M.J., THALER, J.S., DUFFEY, S.S., 1999.** Signal interactions in pathogen and insect attack: expression of lipoxygenase, proteinase inhibitor II and pathogenesis-related protein P4 in tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 54, 97-114.
- 308. WALLING L., 2000.** The myriad plant responses to herbivores. *Journal of Plant Growth Régulation* 19, 195-216.
- 309. DUCEPPE M.O., 2004.** *Étude protéomique de l'induction des mécanismes de défense chez la pomme de terre (Solanum tuberosum L.)*, Mém. Master Sc, Université Laval, Québec, Canada, 68p.
- 310. Scheirs et De Bruyn, 2005.** Plant mediated effects of drought stress on host preference and performance of a grass miner. *Oikos* 108, 371-385.
- 311. KING C., JACOB H.S., BERLANDIER F., 2006.** The influence of water deficiency on the relationship between canola (*Brassica napus* L.), and two aphid species (Hemiptera: Aphididae), *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) and *Brevicoryne brassicae* (L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 57, 439-445.
- 312. KARBAN R., AGRAWAL A., MANGEL M., 1997.** The benefits of induced defenses against herbivores. *Ecology* 78, 1351-1355.
- 313. MARTINSEN G.D., DRIEBE E.M., WHIHAM T.G., 1998.** Indirect interactions mediated by changing plant chemistry: Beaver browsing benefits beetles. *Ecology* 79, 192-200.
- 314. CANGUSSU J.A., ZUCOLOTO F.S., 1992.** Nutritional value and selection of different diets by adult *ceratitis capitata* flies (Diptera, Tephritidae). *J.insectphysiol.* 38: 485-91.
- 315. KOUIJMAN S., 2008.** *Dynamic energy and mass budgets in biological systems*, 2nd rev. ed. Cambridge Univ. Press, 426p.

- 316. FOUCREAU N., 2010.** *Stratégies de survie en saison sèche au cours du stade de développement chez deux espèces du complexe d'Anopheles gambiae.* Mém. Master2, Univ. Rennes 1, 34p.
- 317. KLEIBER M., 1932.** Body size and metabolism. *J. Holgardia.* Vol. 6, n°11, 39p.
- 318. REIM M., 2006.** Maternal control of vertebrate dorsoventral axis formation and epiboly by the POU domain protein Spg/Pou2/Oct4. *J. Development.*133(14):2757-2770.
- 319. KUMBASLI M., 2005.** *Etudes sur les composés polyphénoliques en relation avec l'alimentation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Choristoneura fumiferana (Clem.))* Thèse Philosophiae Doctor (Ph.D.), Fac. Fores. Géom., Univer. Laval, QUÉBEC, 150p.
- 320. ALBERT P.J., PARISELLA S., 1985.** Feeding preferences of eastern spruce budworm larvae in two-choice tests with combinations of hostplant extracts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 38: 221-225.
- 321. BANGALA D.B.M., Masimango N.T., 2014.** Aspects pratiques de la valorisation des résidus lignocellulosiques par la digestion fongique. *Rev. congo sciences vol.2, n°2, www.congosciences.org*
- 322. BRODBECK B., STRONG D., 1987.** Amino acids nutrition of herbivorous insects and stress to host plants. In: Insect outbreaks. *Academic Press*, pp. 347-364.
- 323. MATTSON W.J., HAACK R.A., 1987.** The role of drought stress in provoking outbreaks of phytophagous insects. Insect outbreaks. *Academic Press*, pp. 365-407.
- 324. BIDON Y., 1993.** *Influence des sucres solubles et de l'azote sur la croissance, le développement et l'utilisation de la nourriture par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Choristoneura fumiferana (Clem.)).* Thèse de Maîtrise ès Science. Univ. Laval, Ste-Foy (Québec), Canada, 63 pp.
- 325. WANG Y., ZHANG P., FUJII H., BANNO Y., YAMAMOTO K., ASO Y., 2004.** Proteomic studies of lipopolysaccharide-induced polypeptides in the silkworm, *Bombyx mori*. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 68, 1821-1823.
- 326. DURZAN D.J., LOPUSHANSKI S.M., 1968.** Free and bound amino acids of spruce budworm larvae feeding on balsam fir and red and white spruce. *J. Insect Physiology* 14: 1485-1497.
- 327. STICHER L., MAUCH-MANI B. et MÉTRAUX J. P., 1997** – Systemic acquired resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35, 235-270.

- 328. BALACHOWSKI A.S., 1935.** *Entomologie appliquée à l'agriculture*. Ed. Masson., T.I. Paris.
- 329. PARK C. J., SHIN R., PARK J. M., LEE G. J., YOU J. S. et PAEK K. H., 2002.** Induction of pepper DNA encoding a lipid transfer protein during the resistance response to tobacco mosaic virus. *Plant Mol Biol.* 48: 243-54.
- 330. DADD R.H., 1985.** *Nutrition: organisms. In: Comprehensive Insect physiology, Biochemistry and pharmacology*. Ed. Pergamon press, Vol. 4, Oxford, 632p.
- 331. GREEN T.R., RYAN C.A., 1972.** Wound-induced proteinase inhibitor in plant leaves: A possible defense mechanism against insects. *Science* 175: 776-777.
- 332. LYNCH M.E., KAPLAN I., DIVERY G.P., DENNO R.F., 2006.** Host plant mediated competition via induced resistance: interaction between pest herbivores on potatoes. *Ecological Applications*, 16, 855-864.
- 333. BERNAYS E.A., CHAPMAN R.F., 2000.** Plant secondary compounds and grasshoppers: beyond plant defenses. *Journal of Chemical Ecology*, 26: 1773-1794.
- 334. KLOCKE, J.A. & CHAN, B.G., 1982.** Effects of cotton condensed tannin on feeding and digestion in the cotton pest, *Heliothis zea*. *J.Insect Physiology*, 28: 911-915.
- 335. LAWSON D.L., MERRITT R.W., KLUG M.J., MARTIN J.S., 1982.** The utilization of late season foliage by the orange striped oakworm, *Anisota senatoria*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2: 242-248.
- 336. REESE J.C., CHAN B.G., WAISS A.C.J., 1982.** Effects of cotton condensed tannin. *J. Chemical Ecology*, 8: 1429-1436.
- 337. FEENY P.P., 1975.** Biochemical coevolution between plants and their insect herbivores. In: *Coevolution of Animals and Plants*, Univ.Texas Press, Austin, pp. 3-19.
- 338. HARVEY-RAMANJULU S., SREENIVASULU N., SUDHAKAR C., 1997.** Effect of water stress on photosynthesis in two mulberry genotypes with different drought tolerance. *photosynthetica* 35 (2): 279- 283
- 339. DELAUNE A.J., VERMA D.P.S., 1993.** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant j.*, 4, 215-223.
- 340. LOOMIS W.D., 1974.** Overcoming problems of phenolics and quinines in the isolation of plant enzymes and organelles. *Methods in Enzymology*, 31: 528-544.

- 341. MOLE S., WATERMAN P.G., 1987.** A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies. I. Techniques for chemically defining tannins. *Oecologia*, 72: 137-147.
- 342. PRICE P.W., 1986.** Ecological aspects of host plant resistance and biological control: interaction among three trophic levels. In: Boethel D.J., Eikenbary R.D. (ed) Interactions of plant resistance and parasitoids and predators of insects. *Reports International* 21 (5): 761-767, pp. 11-30
- 343 LICHOU J., MANDRIN J.M., CHAUVIN B., 2008.** *Le Capnode, un ravageur méditerranéen en recrudescence*. Infos-Ctifl, 30p.
- 344. BEGON M., COLIN R., JOHN I., 2006.** Ecology from Individuals to Ecosystems. Ed. Forth, 738 p
- 345. FUTUYMA D.J. 1983.** *Selective factors in the evolution of host choice by phytophagous insects*. Academic Press, Florida. 257 p.
- 346. LAGAUDE H. 1948.** Etude sur le grand Bupreste des arbres fruitiers: *Capnodis tenebrionis*. *Congrès pomologique de France*, 152p.
- 347. WINK M. SCHIMMER O., 1999.** *Modes of action of defensive secondary metabolites. in Functions of Plant Secondary Metabolites and Their Exploitation in Biotechnology*. Ed. Wink M (CRC Press, Boca Raton, FL), 400p.
- 348. HARVEY G.T., 1974.** Nutritional studies of eastern spruce budworm (Lepidoptera:Tortricidae). *Canadian Entomologist*, 106: 353-365.
- 349. MCLAUGHLIN B.M., 1986.** *Performance of the spruce budworm, Choristoneura fumiferana in relation to dietary and foliar levels of sugar and nitrogen*. Thèse de Maîtrise ès Sciences, Michigan State Univ., East Lansing, Michigan.86p.
- 350. CARISEY N., BAUCE É., 2002.** Does nutrition-related stress carry over to spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae) progeny? *Bulletin of Entomological Research* 92: 101-108.
- 351. BREWER W., CAPINERA J.L., DESHON R.E., WALMSLEY M.L., 1985.** Influence of foliar nitrogen levels on survival, development and reproduction of western spruce budworm, *Choristoneura occidentalis* (Lepidoptera: Tortricidae). *Canadian Entomologist*, 117: 23-32.
- 352. HOUSE H., 1965.** Insect nutrition (The physiology of insecta). Vol. I. *Academie Press*, New York. p-p. 769-813.

- 353. FEENY P.P., 1992.** The evolution of chemical ecology: contributions from the study of herbivorous insects. *in* G.A. Rosenthal and M.R. Berenbaum, editors. Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites. Vol. II. *Academic Press*, Orlando, Florida, USA. pp. 1-44.
- 354. KEATING S.T., HUNTER M.D., SCHULTZ J.C., 1990.** Leaf phenolic inhibition of gypsy moth nuclear polyhedrosis virus. Role of polyhedral inclusion body aggregation. *J. Chemical Ecology*, 16: 1445-1456.
- 355. LAWRENCE R.K., MATTSON W.J., HAACK R.A., 1997.** White spruce and spruce budworm: defining the phenological window of susceptibility. *Canadian Entomologist*, 129(2): 291-318.
- 356. HUNTER A. F. et ELKINTON S., 2000.** Effects of synchrony with host plant on population's offspring-feeding lepidopteran. *Ecology*, 81(5):1248-1261.
- 357. STAMP N., 2003.** Out of the Quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Biology*, 78: 23-55.
- 358. STEINLY B.A., BERENBAUM M., 1985.** Histopathological effects of tannins on the midgut epithelium of *Papilio polyxenes* and *Papilio glaucus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 39: 3-9.
- 359. BERNAYS E.A., CHAMBERLAIN D.J., 1980.** A study of tolerance of ingested tannin in *Schistocerca gregaria*. *J. Insect Physiology* 26: 415-420.
- 360. BERNAYS, E.A., WOODHEAD, S., 1982.** Plant phenols utilized as nutrients by a phytophagous insect. *Science*, Ed. Dethier 216: 201-202.361.
- 362. HAIE, B.K., BAIE, J.S., PRITCHARD, J., MASTERS, G.J., BROWN, V.K., 2003.** Effects of host plant drought stress on the performance of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (L.): a mechanistic analysis. *Ecological Entomology* 28, 666-677.
- 363. RISTOLA T., PELLINEN J., ROUKOLAINEN M., KOSTAMO A., KUKKONEN J. V. K., 1999.** Effect of sediment type, feeding level and larval density on growth and development of a midge (*Chironomus riparius*). *Environ toxicol chem*, 1999, 18:756-764.
- 364. BAIER P., 1996.** Inference of vigour and host quality of Norway spruce, *Picea abies*, towards the development of *Typographus* (Coleoptera: Scolytidae). *Entomologia Generalis* 21 (1-2) 27-35.
- 365. BAUER M., 1996** Zur Untersuchung des Blutzuckerspiegels bei gesunden ketotischen Milchkühen, *Tierärztl. Umschau* 51, 481p.

- 366. STEARNS S.C., 1976.** Life history tactics: a review of the ideas. *Quarterly Review of Biology* 51, 3-47.
- 367. STEVENS D.J., HANSELL M.H., FREEL J.A., MONAGHAN P., 1999.** Developmental trade-offs in caddis flies: increased investment in larval defence alters adult resource allocation. *Proceedings of the Royal Society, London B* 266, 1049-1054.
- 368. REZNICK D., 1985.** Costs of reproduction: an evaluation of the empirical evidence. *Oikos* 44, 257-267.
- 369. ROFF D.A., 1992.** *The Evolution of Life Histories: Theory and Analysis.* Chapman and Hall, New York, 529.
- 370. MARTIKAINEN E. A., RANTALAINEN M.L., 1999.** Temperature-time relationship in collembolan response to chemical exposure. *Ecotoxicology and environmental safety*, 42: 236-244.
- 371. ENOKI A., TANAKA H., FUSE G., 1988.** Degradation of lignin-related compounds, pure cellulose, and wood components by whit-rot and brown-rot fungi. *Holzfors*, 42 : 85-93.
- 372. SERGIO G., PABLO G B ET DEL CARMEN CRESPO M., 2008.** Gusano cabezudo (*Capnodis tenebrionis*). *Boletín. Fitosanitario.*, 3: 220p.
- 373. KÜNCKEL D'HERCULAIIS J., 1893.** Contributions à l'histoire naturelle des larves de Buprestides: la première larve de *Julodis onopordi* Fabr. *Annales de la Société Entomologique de France* 62: 92-95.
- 374. CARMONA M., LAJEUNESSE J., MARC T., JOHNSON J., 2011.** Plant traits that predict resistance to herbivores. *Functional Ecology*, 25(2):358-367.
- 375. NIEMELA P., CHAPIN F. S., BRYANT J. P. SIREN S., 1988.** *Mechanisms of woody plant defenses against insects.* Ed. Springer-Verlag, 572p.
- 376. GHOMARI F., 2007.** Science des matériaux de construction. Univ aboubekr belkaid, fac. Sci. Ing., dép. génie civil, pp.28-50.
- 377. GASTON S., VOYNET D., 2010.** *Le bois dans tous ses états.* N°168 , Paris, pp.8-13.
- 378. REDMER D.A., REYNOLD I.P., 2001.** Redmer DA, Doraiswamy V, Bortnem BJ, et al. Evidence for a role of capillary pericytes in vascular growth of the developing ovine corpus luteum. *Biol. Reprod*, 65:879–889.
- 379. KOZLOWSKI T, KRAMER, P J et PALLARDY S G., 1991.** The physiological ecology of woody plants. *Éd. Academie Press, San diego, Toronto*,411p.

- 380. SCHULTZ J. C., 2002.** *How plants fight dirty.* Nature, 267p.
- 381. LOUIS S., 2004.** *Diversité structurale et d'activité biologique des Albumines entomotoxiques de type 1b des graines de Légumineuses.* Thèse Doctorat. INSA. Lyon, 259p.
- 382. WINKS M., SCHIMMER O., 1999.** Modes of action of defensive secondary metabolites, In: M. Wink, (Ed.), *Function of Plant Secondary Metabolites and their Exploitation in Biotechnology*, Sheffield Academic Press, Sheffield. UK, pp : 17–133.
- 383. MARTINEZ M., 2008.** Les insectes xylophages : qui sont-ils ? Que mangent-ils ? *Rev Horticole*, N°508, Montpellier. pp .11-13.
- 384. ARDNT, S.K., S.C. CLIFFORD, W. WANEK, H.G. JONES, AND M. POPP. 2007.** Physiological and morphological adaptations of the fruit free *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiol* 21: 705715.
- 385. CHENAFI H., AÏDAOUI A., BOUZERZOUR H., SACI A. 2006.** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian J Plant Sci.*, 5: 854-860.
- 386. CORTES P.M., SINCLAIR T.R., 1985.** The role of osmotic potential in spring sap flow of mature sugar maple trees *Acer saccharum*. *J. Exp. Bot.*, 36:12–24.
- 387. GEIGENBERGER P., REIMHOLZ R., DEITING U., SONNEWALD U., STITT M., 1999.** Decreased expression of sucrose phosphate synthase strongly inhibits the water stress-induced synthesis of sucrose in growing potato tubers. *Plant Journal* 19, 119-129.
- 388. RAMANJULU S., SUDHAKAR C., 2000.** Proline metabolism during dehydration in two mulberry genotypes with contrasting drought tolerance. *Journal of Plant Physiology* 157 (1), 81-85.
- 389. DELAUNAY A.J., VERMA D.P.S., 1993.** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, 4: 215-223.
- 390. LAMAZE T., TOUSCH D., SARDA X., GRIGNON C., DEPIGNY-THIS D., MONNEVEUX P., BELHASSEN E., 1994.** Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français* 45 : 75-85.
- 391. DREIER W., 1987.** La teneur en proline et la résistance des plantes aux sels. *Biol. Plant.*, 25:81-87.

- 392. BELLINGER Y., BENSAOUD A., LARHER F. 1991.** Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for tress tolerance. *Colloque Physiology-Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments*, Montpellier (France). Éd. Les colloques 55, I.N.R.A., Paris.
- 393. MAGGIO A., BRESSAN R.A., HASEGAWA P.M. et LOCY R.D. 1997.** Moderatly increased constitutive proline does not alter osmotic stress tolerance. *Physiologia Plantarum*. 101: 240-246.
- 394. GALIBA G. et ILDIKO K, 1995.** Carbohydrates in wheat and Maize plants under water stress. *INRA, Inter drought, V-10. In : Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides*, Paris, pp. 465-472.
- 395. BLUM A., 2005.** Drought resistance, water-use efficiency and yield potential: Are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Aust. J. Agric. Res.*, 56: 1159-1168.
- 396. BEZZALLA A., 2005.** *Essai d'introduction de l'arganier (argania spinosa (L.) Skeels) dans la zone M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse.* Mémoire de Magistère en Sciences agronomique, Université Al Hadj Lakhadar- Batna, Batna, p.143.
- 397. DURE L. 1993.** Structure motifs in LEA proteins of higher plants. *American Society of Plant Physiologists*, Rockville: 91-103.
- 398. ALFARO R., LEWIS K., KING J., EL-KASSABY Y.A., BROWN G., L.D. SMITH. 2000.** Budburst phenology of sitka spruce and its relationship to white pine weevij attack. *For. Eco. Management* 127: 19-29.
- 399. GOMEZ S., FERRY M., 2005.** El picudorojo (*Rhynchophorus ferrugineus O.*) plaga mortal de las palmeras. *Plantflor*, 102:106-111.
- 400. PESSON P., LOUVEAUX J., 1984.** *Pollinisation et productionn végetales.* INRA-Paris, 663p.
- 401. LAGADIC TH. CAQUET I., 1996.** Biomarqueurs en Ecotoxicologie : Aspects Fondamentaux. *Collection d'Écologie*, Éditions Masson, Paris, 393-401.
- 402. ATKINS E. L., KELLUM D., ATKINS K. W., 1981.** *Reducing pesticide hazards to honey bees: mortality prediction techniquesand integrated management strategies.* Division Agr. Sci., Univ.California, University of California, 23p.

- 403. SIMON C., FRATI F., BECKENBACH A., CRESPI B., LIU H., FLOOK P., 1994.** Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene sequences and a compilation of conserved polymerase chain reaction primers. *Annals of the Entomological Society of America* 87, 651–702.
- 404. FOURNIER E. ET BONDERF J., 1983.** *Les produits antiparasitaires à usage agricole. conditions d'utilisation et toxicologie.* Ed. Lavoisier, 333p.
- 405. BRILLET 1966.** Racial différences in division of the honey bee (*Apis mellifera*). *Etymologie*, 108: 115-126.
- 406. ATALLAH Y. H., NEWSOM L. D., 1966:** Ecological and nutritional studies on *Coleomegilla maculate* (Coleoptera: Coccinellidae). *J. econ. Ent.*, 59: 1181-1187.
- 407. GRERGHION G.P., TAYLOR C.E., 1977.** Operation influence in the evolution of insecticide resistance. *J. economic entomology* 70, 653-658.

**CAPNODIS TENEBRIONIS (LINNAEUS, 1758) LARVAL AND NYMPHAL LODGES
DISPOSITIONS ACCORDING TO PHYSICO-CHEMICAL COMPOSITION OF
PRUNUS DOMESTICA AND PRUNUS CERASUS**

L. Brahimi^{1,2} and et Z. E. Djazouli^{1*}

¹Université Blida1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des
Biotechnologies, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie

²Centre Universitaire de Relizane, Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature
et de la Vie, Département des Sciences de la Nature et de la Vie, Bourmadia, Relizane,
Algérie.

Received: 14 January 2017 / Accepted: 20 April 2017 / Published online: 01 May 2017

ABSTRACT

Capnodis tenebrionis is a Coleoptera presented as a xylophagous insect specialist, common of the Rosaceae orchards. The physico-chemical quality of host plants can provide useful information to define the most appropriate time for control of this pest. From this perspective, the present study focused on the positions of larval lodges of *C. tenebrionis* on its hosts *Prunus* spp. The results showed that the larval availability depend on water soluble and soluble proteins in spite of the total sugars on *Prunus domestica* and of proline on *P. cerasus*, respectively. The high density of *P. cerasus* wood appears to have favored the trophic orientation of *Capnodis* larvae to *P. domestica*. Therefore, understanding the life history traits of *C. tenebrionis* will be necessary to improve its monitoring that appears to be influenced by biotic factors.

Key words: *Capnodis tenebrionis*, Phytochemistry, Physical quality, Rosaceae with nucleus, Variety

Author Correspondence, e-mail: zahro2002@gmail.com

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v9i2.21>



1. INTRODUCTION

1.1. Aperçu sur le bupreste noir *Capnodis tenebrionis* L.

Le Bupreste noir *Capnodis tenebrionis* L., 1758, originaire de la région méditerranéenne, est l'une des espèces les plus nuisibles des cultures fruitières à noyaux [1]. Son comportement est guidé par ses besoins vitaux, notamment la recherche d'un site pour se nourrir et augmenter son potentiel biotique [2]. Cet insecte provoque des dégâts considérables chez les espèces de la famille des rosacées et particulièrement le genre *Prunus* [1]. La plante hôte, support nutritif et demeure, peut conditionner l'abondance du Bupreste noir et affecter sa distribution. La composition chimique de la plante hôte a un impact considérable sur une gamme de processus biologiques fondamentaux notamment le comportement adaptatif du bioagresseur. De même, la relation entre les événements biologiques et la qualité physico-chimique des plantes hôtes peut fournir des informations utiles pour prédire les mêmes événements et définir le moment le plus approprié pour la lutte contre ce ravageur en utilisant la simulation de présence et la dynamique saisonnière dans les modèles régressifs [3-4]. Toutefois, la plupart des études sont réalisées en conditions contrôlées et les diètes alimentaires artificielles ont entraîné des variabilités notables sur le développement larvaire de *Capnodis* [5]. Dans les conditions naturelles, les travaux concernant l'influence des plantes hôtes sur la dynamique des stades biologiques de *C. tenebrionis* sont rares, probablement à cause des habitudes cryptiques de ses larves foreuses du bois et de la longue durée de vie qui caractérise l'insecte. Il est donc possible que son comportement diffèrerait entre les espèces hôtes en raison de leur nature physico-chimique. En effet, la connaissance des performances métaboliques sous différentes conditions trophiques constituait la première étape avant l'évaluation des risques d'accroissement des populations [6].

1.2. Objectifs et méthodes

Aucune étude n'a abordé les performances métaboliques de *Capnodis tenebrionis* dans les conditions naturelles. C'est dans ce cadre que s'articule notre travail portant sur l'effet de la qualité phytochimique ainsi que la variabilité des propriétés physiques du bois des *Prunus* sauvages et cultivés sur les traits de vie adaptatifs du Bupreste noir.

D'une altitude de 1122m, Benchicao ($2^{\circ}50'52''\text{E} - 36^{\circ}11'56''\text{N}$) appartient à l'éco-complexe montagneux de l'Atlas tellien [7]. Cette région d'étude est caractérisée par l'importance relative des taux pluviométriques, la moyenne annuelle dépasse 600 mm [8]. Les données météorologiques de la station de Benchicao durant la période étalée entre 1995-2012 classe la région dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais. La vocation primordiale de la région est essentiellement la viticulture et l'arboriculture fruitière. L'arboriculture fruitière occupe une superficie de 1581ha, constituée en partie par des espèces rustiques. Situé dans un lieu dit Haouch Chanas, le site d'étude est représenté par deux parcelles choisies au hasard parmi 6 unités découpées suivant la nature de leur sol comportant respectivement une plantation de *Prunus domestica* (variété Stanley greffée sur Myrobolon) et une plantation de *Prunus cerasus* (variété Bigarreaux greffée sur Saint-Lucie), âgées respectivement de 5 ans et 7 ans (Figure 1).

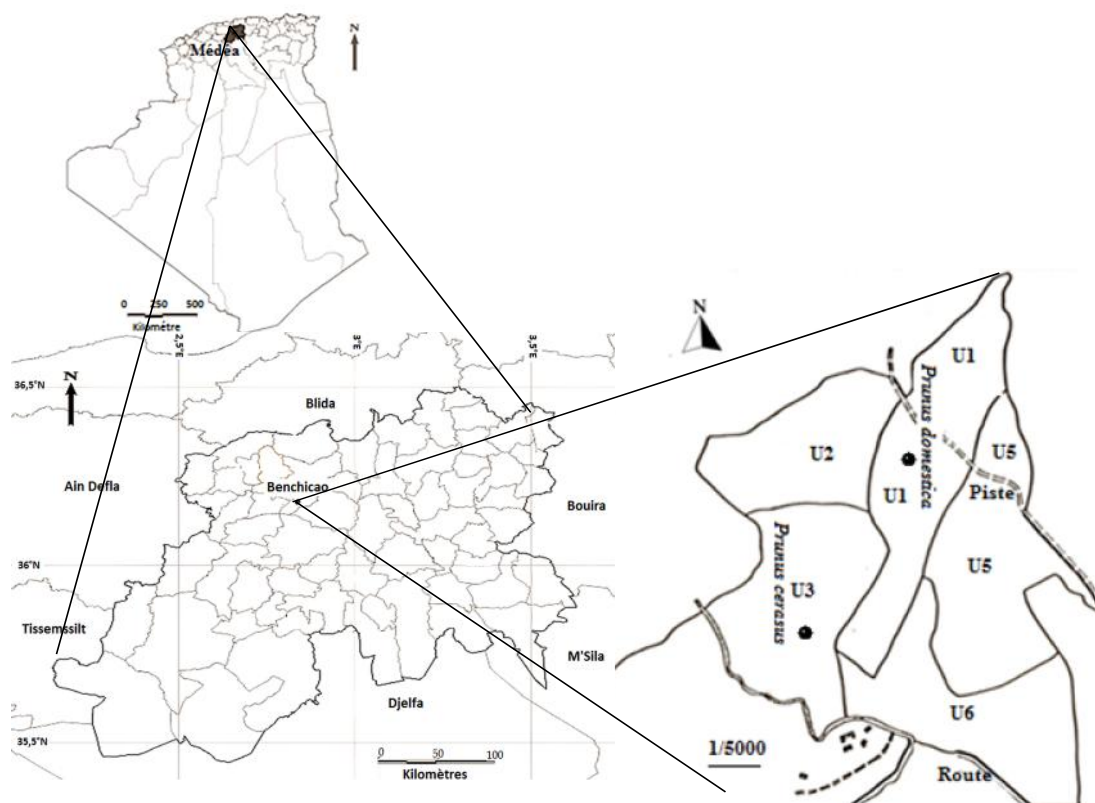


Fig.1. Localisation de la région, de la zone et du site d'étude (Médéa, Benchicao, Haouch chana) et positionnement des unités expérimentales

Le matériel végétal utilisé est du bois de porte-greffe et greffon (coupe sur tronc de 10 cm) et des fragments pris entre écorce et liber sur des arbres résistants et sensibles à *Capnodis tenebrionis* des deux espèces du genre *Prunus* (*P. domestica*, *P. cerasus*). La méthode de Vasseur et Schivester [9] a été adoptée. Pour chaque période d'investigation, dix arbres sont pris au hasard sur lesquels l'échantillonnage s'est intéressé aux sujets partiellement ou totalement minés reconnaissables par les symptômes externes telle que la coulée de résine signalant la présence de *C. tenebrionis*. L'échantillonnage hebdomadaire s'est étalé de mai à septembre 2012 coïncidant ainsi avec les grands traits de l'activité biologique du ravageur. A travers les 20 sorties réalisées sur terrain, un total de 320 arbres a été prospecté. L'abondance des formes larvaires tout stade confondu a été estimée sur les arbres pris par le dispositif expérimental comme élément d'investigation. Le matériel végétal prélevé est conservé à -20°C pour l'évaluation de la qualité phytochimique. Les coupes de bois ont fait l'objet d'une estimation comparée de la dureté et de l'épaisseur de l'écorce entre les deux espèces.

Pour les analyses phytochimiques du bois, plusieurs métabolites ont été considérés :

- *Quantification de la proline*

Une quantité de 50 mg de poids sec de matière végétale a été broyée avec 1 ml de 5% (p/V) d'acide Sulfosalicylique puis centrifugée pendant 15 minutes à 4 °C à 10 000 tours/min. Une aliquote (200 ml) de surnageant a été mélangée avec 800 ml d'Acide Acétique à 60% (v/v) contenant 1% (poids/volume) de Ninhydrine et l'homogénat a été incubé pendant 20 minutes à 95°C. Après refroidissement, 1 ml de Toluène a été ajouté et les échantillons ont été mélangés vigoureusement pendant 15s avant une incubation de 4 h dans l'obscurité à la température ambiante (24°C). La phase supérieure a été récoltée et son absorbance a été lue à 520 nm avec un spectrophotomètre (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japon). Les résultats sont exprimés en $\mu\text{mol.g}^{-1}$ en utilisant la proline comme standard.

- *Quantification des sucres totaux*

Une quantité de 50 mg de poids sec de matière végétale a été broyée avec 1,5 ml de tampon phosphate de potassium 0,1 M à pH 7,5 et ensuite été centrifugée pendant 15 minutes à 4°C à 10 000 tours/min [10]. Une aliquote (200 ml) de surnageant a été mélangée avec 1 ml de 12,5 N d'acide sulfurique contenant 0,1% (p/v) d'Anthrone et 0,1% (p/v) de Thiourée et

l'homogénat était incubé pendant 10 min à 95°C. Après refroidissement, l'absorbance a été lue à 625 nm avec un spectrophotomètre (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japon). Les résultats ont été exprimés en $\mu\text{mol.g}^{-1}$ de MF en utilisant du glucose comme étalon.

- *Quantification des protéines totales*

Deux méthodes ont été utilisées pour l'extraction et le dosage des protéines totales. La méthode proposée par Bradford [11] pour le dosage des protéines solubles, et celle d'Ammar et al. [12] pour le dosage des protéines hydrosolubles. Ainsi, 3g de matière fraîche foliaire préalablement broyée sont mis dans 5 ml de tampon phosphate (pH=7) contenant du polyvinilpyrrolidone. La précipitation est facilitée par une centrifugation pendant 15 min à 4500 tr/min à -4°C. Le surnageant contenant les protéines pariétales est récupéré dans un autre tube et le culot a été dissout dans 5 ml d'eau distillée et à nouveau centrifugé pour éliminer les résidus du tampon phosphate. Le culot a été récupéré et redissout dans une solution de tampon phosphate +KCl (pH=7), est à nouveau centrifugé. Le surnageant résultant contenant les protéines cytoplasmiques a été récupéré pour le dosage de ces dernières. Les valeurs d'absorbance obtenues par le biais d'un spectrophotomètre ($\lambda=595$) ont permis ensuite de calculer la concentration initiale de protéines contenues dans les échantillons au moyen d'une courbe standard effectuée avec une protéine de référence (Ovalbumine) de manière à réaliser une série de dilutions afin d'obtenir les concentrations suivantes de protéines : 0.5, 0.25, 0.12, 0.062, 0.031, 0.016 et 0.0078 mg/ml).

Concernant l'analyse physique du bois, deux propriétés ont été prises en compte :

- *Variation de l'épaisseur de l'écorce*

L'expression de l'importance de l'écorce peut être exprimée en grosseur (diamètre) ou en surface terrière ou encore en volume. Par le biais du mesureur d'écorce (jauge à écorce barkmätare), deux mesures à des endroits diamétralement opposés ont été effectuées en disposant l'appareil perpendiculairement à l'arbre et la tige doit être enfoncée à travers toute l'écorce. Selon Polge [13], le taux d'écorce est ensuite calculé de la manière suivante: Soit e l'épaisseur mesurée. Le diamètre sous écorce d_s se déduit du diamètre sur écorce d par la relation suivante: $d_s = d - 2.e$

Le taux d'écorce sera alors déduit en calculant le rapport: $d - d_s / d$

-Variation de la dureté du bois entre les deux Prunus

Les coupes de bois ont été soumises à un duromètre (scléromètre PCE-HT-225A) afin d'évaluer la dureté du support nourricier du *C. tenebrionis*. L'appareil mesure une empreinte avec une valeur étalon qui après transformation détermine une dureté qui est exprimée en Shore. Les valeurs obtenues déterminent la suprématie de la dureté du bois selon les variétés *Prunus*.

L'analyse statistique a concerné l'impact de l'épaisseur de l'écorce, la dureté du bois et les métabolites primaires et secondaires des plantes hôtes de *Prunus* sur l'évolution numérique de *C. tenebrionis*. Les analyses de la variance sont faites sur des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V. <15%). La signification des comparaisons des moyennes a été confirmée par un test de comparaison par paire (Test Tukey). Les contributions significatives retenues sont au seuil d'une probabilité de 5%, les calculs ont été déroulés par le logiciel SYSTAT vers. 12 [14]. La tendance de la variation temporelle de l'abondance larvaire de *C. tenebrionis* par rapport à leurs affinités aux métabolites des deux hôtes *Prunus* nous a été établie par une analyse en composante principale (A.C.P.). La projection des variables sur les deux axes de l'analyse multivariée a été conduite par le logiciel (PAST vers. 1.37). La régression multiple a été adoptée dans cette étude dans l'esprit de modéliser l'abondance larvaire aux constituants des *Prunus*. L'analyse a été déroulée par le logiciel (PAST vers. 1.37) [15].

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Variation de l'abondance larvaire de Capnodis tenebrionis en fonction de la qualité phytochimique des deux Prunus

Nos résultats obtenus ont fait objet d'un tableau récapitulatif incluant d'une part, les variations temporelles en métabolites (proline, sucres totaux, protéines solubles et hydrosolubles) des deux compartiments du bois (porte-greffe et greffon) chez les variétés sauvages et cultivés du genre *Prunus* et d'autres part, l'abondance des larves *Capnodis* (Tableau 1).

De manière globale, l'analyse phytochimique effectuée sur le porte-greffe de *P. domestica*

affichait une stabilité des concentrations en sucres totaux durant toute la période d'échantillonnage, à la différence de la proline et des protéines solubles qui accusaient une fluctuation inverse durant toute la période d'investigation du fait que la proline a atteint ses valeurs minimales en même temps où les protéines solubles ont touché leurs valeurs maximales notamment en plein été.

Le taux des protéines hydrosolubles ont connu une diminution importante entre le début et la fin été, mais vers la fin des investigations, ils ont affiché des valeurs maximales. La fluctuation des sucres totaux chez *P. domestica* entre variétés cultivées et sauvages ont montré une évolution pratiquement similaire sur porte-greffes, avec des concentrations élevées respectives de 11,77 $\mu\text{g/g}$ et 11,44 $\mu\text{g/g}$ en début d'hiver. Les concentrations les plus faibles étaient affichées pour les greffons au même titre que les porte-greffes à la mi-été.

P. cerasus affichait notamment des concentrations faibles en plein cœur de l'été, avec des fluctuations de concentrations relativement proches entre greffon de la variété cultivée et porte-greffe de la variété sauvage. Le tableau 1 indique que l'abondance des larves de *C. tenebrionis* est plus importante sur *P. domestica*, qui s'est affirmée d'avantage le long de l'été. L'évolution de la proline est différente entre porte-greffe et greffon des deux variétés, où les concentrations se montrent plus importantes au niveau du porte-greffe de la variété cultivée comparée à la variété sauvage et que la concentration paraît plus importante en mi-été pour le greffon des deux espèces avec des valeurs respectives de 0,235 $\mu\text{g/g}$ et 0,213 $\mu\text{g/g}$. Il est important de rappeler qu'au cours de la même période (mi-été) s'est affichée l'abondance maximale des larves *Capnodis*.

Chez les variétés cultivées, les concentrations en protéines solubles ont présenté une gradation temporelle positive plus marquée au niveau du porte-greffe comparé au greffon. Cependant, la même gradation est observée chez *P. cerasus* sauvage alors que chez *P. domestica* sauvage, les concentrations en protéines solubles ont enregistré une stabilité temporelle. En revanche, les protéines hydrosolubles ne représentent pas une fluctuation quantitative claire chez les variétés cultivées et sauvages. Concernant les larves *Capnodis*, leur disponibilité se trouve plus affinée au porte-greffe qu'au greffon et plus abondante chez *P. domestica*. Il est intéressant de noter aussi que l'évolution numérique des larves se montre quasiment nulle pour les deux espèces sauvages, comparées aux variétés dites cultivées.

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M.), de manière à étudier d'une part la fluctuation temporelle des abondances larvaires de *Capnodis tenebrionis* et d'autre part, la fluctuation quantitative de la qualité phytochimique de deux espèces du genre *Prunus* (*P. domestica*, *P. cerasus*). Les variables quantitatives ont été scorées par rapport à deux variétés (cultivée, sauvage) à différents niveaux du bois (greffon, porte-greffe). Ce modèle permet d'étudier l'effet strict des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre facteurs (Figure 2).

Les résultats de l'analyse de la variance, ont montré que la période exerce un effet hautement significatif sur l'abondance larvaire (F-ratio=6,150; $p=0,00$, $p<0,01\%$) (Figure 2a) et sur la quantité des métabolites (F-ratio=4,563; $p=0,00$, $p<0,01\%$) (Figure 2d). Les mêmes résultats ont montré que les niveaux (compartiments greffon et porte-greffe) ont affiché un effet significatif sur l'abondance des larves (F-ratio=345,24; $p=0,00$, $p<0,01\%$) (Figure 2b) alors que les taux des métabolites ne présentent pas de différences par rapport aux niveaux (F-ratio=0,556; $p=0,457$, $p>5\%$) (Figure 2e).

Les espèces *P. domestica* et *P. cerasus* ont exercé un effet significatif sur l'abondance larvaire (F-ratio=43,67, $p=0,00$, $p<0,01\%$) (Figure 2c), bien que la probabilité est marginalement significative, on estime que l'espèce a exercé un effet significatif sur l'accumulation des métabolites (F-ratio=3,065 $p=0,082$, $p>5\%$) (Figure 2c).

Tableau 1. Valeurs moyennes (\pm SE) des métabolites secondaires du genre *Prunus* sauvage et cultivé en rapport avec l'abondance des larves de *Capnodis tenebrionis*

		<i>Prunus domestica</i>					<i>Prunus cerasus</i>					
		S.T.	Prol.	P.S.	P.H.S.	Ab.	S.T.	Prol.	P.S.	P.H.S.	Ab.	
Cultivée	Porte-greffe	S1	10,75 \pm 0,96	0,19 \pm 0,013	0,15 \pm 0,014	0,15 \pm 0,007	20	10,80 \pm 0,972	0,069 \pm 0,004	0,094 \pm 0,008	0,207 \pm 0,010	3
		S2	11,33 \pm 1,01	0,22 \pm 0,015	0,16 \pm 0,014	0,18 \pm 0,009	15	10,85 \pm 0,9765	0,054 \pm 0,003	0,061 \pm 0,005	0,332 \pm 0,016	2
		S3	9,79 \pm 0,88	0,23 \pm 0,016	0,15 \pm 0,014	0,18 \pm 0,009	15	8,67 \pm 0,7803	0,174 \pm 0,012	0,065 \pm 0,005	0,211 \pm 0,010	5
		S4	10,03 \pm 0,90	0,16 \pm 0,011	0,23 \pm 0,021	0,12 \pm 0,006	26	8,71 \pm 0,7839	0,172 \pm 0,012	0,11 \pm 0,009	0,072 \pm 0,003	13
		S5	9,41 \pm 0,84	0,20 \pm 0,014	0,16 \pm 0,014	0,10 \pm 0,005	25	8,82 \pm 0,7938	0,176 \pm 0,012	0,267 \pm 0,024	0,075 \pm 0,003	14
		S6	9,70 \pm 0,87	0,16 \pm 0,011	0,20 \pm 0,018	0,09 \pm 0,004	13	9,44 \pm 0,8496	0,13 \pm 0,009	0,148 \pm 0,013	0,171 \pm 0,008	3
		S7	11,27 \pm 1,01	0,15 \pm 0,011	0,22 \pm 0,019	0,17 \pm 0,008	7	9,57 \pm 0,8613	0,123 \pm 0,008	0,154 \pm 0,013	0,132 \pm 0,006	17
	Greffon	S1	10,02 \pm 0,90	0,161 \pm 0,011	0,147 \pm 0,013	0,252 \pm 0,012	4	10,61 \pm 0,954	0,031 \pm 0,002	0,079 \pm 0,007	0,217 \pm 0,010	0
		S2	11,05 \pm 0,99	0,058 \pm 0,004	0,144 \pm 0,012	0,158 \pm 0,007	0	10,69 \pm 0,962	0,061 \pm 0,004	0,162 \pm 0,014	0,107 \pm 0,005	0
		S3	9,54 \pm 0,85	0,221 \pm 0,015	0,097 \pm 0,008	0,127 \pm 0,006	1	8,43 \pm 0,758	0,149 \pm 0,010	0,127 \pm 0,011	0,107 \pm 0,005	0
		S4	9,11 \pm 0,81	0,197 \pm 0,013	0,138 \pm 0,012	0,107 \pm 0,005	1	8,74 \pm 0,786	0,213 \pm 0,014	0,152 \pm 0,013	0,088 \pm 0,004	1
		S5	8,26 \pm 0,74	0,235 \pm 0,016	0,159 \pm 0,014	0,269 \pm 0,013	8	8,56 \pm 0,770	0,159 \pm 0,011	0,189 \pm 0,017	0,129 \pm 0,006	0
		S6	9,09 \pm 0,81	0,157 \pm 0,010	0,185 \pm 0,016	0,155 \pm 0,007	0	9,34 \pm 0,840	0,168 \pm 0,011	0,136 \pm 0,012	0,145 \pm 0,007	0
		S7	11,77 \pm 1,05	0,182 \pm 0,012	0,161 \pm 0,014	0,134 \pm 0,006	7	9,9 \pm 0,891	0,173 \pm 0,012	0,152 \pm 0,013	0,081 \pm 0,004	0
Sauvage	S1	9,09 \pm 0,81	0,118 \pm 0,008	0,166 \pm 0,014	0,059 \pm 0,002	0	9,02 \pm 0,811	0,108 \pm 0,007	0,067 \pm 0,006	0,078 \pm 0,003	0	
	S2	10,47 \pm 0,94	0,105 \pm 0,007	0,068 \pm 0,006	0,194 \pm 0,009	0	9,2 \pm 0,828	0,103 \pm 0,007	0,12 \pm 0,010	0,12 \pm 0,006	0	
	S3	8,13 \pm 0,73	0,151 \pm 0,010	0,105 \pm 0,009	0,162 \pm 0,008	0	9,16 \pm 0,824	0,137 \pm 0,009	0,044 \pm 0,003	0,144 \pm 0,007	0	
	S4	9,09 \pm 0,81	0,144 \pm 0,010	0,06 \pm 0,005	0,141 \pm 0,007	0	8,06 \pm 0,725	0,146 \pm 0,010	0,032 \pm 0,002	0,106 \pm 0,005	0	
	S5	7,10 \pm 0,63	0,131 \pm 0,009	0,166 \pm 0,014	0,122 \pm 0,006	0	6,05 \pm 0,544	0,108 \pm 0,007	0,145 \pm 0,013	0,105 \pm 0,005	0	
	S6	10,53 \pm 0,94	0,081 \pm 0,005	0,14 \pm 0,012	0,148 \pm 0,007	0	10,42 \pm 0,937	0,09 \pm 0,006	0,137 \pm 0,012	0,149 \pm 0,007	0	
	S7	11,44 \pm 1,02	0,111 \pm 0,007	0,14 \pm 0,012	0,151 \pm 0,007	0	10,71 \pm 0,963	0,123 \pm 0,008	0,141 \pm 0,012	0,135 \pm 0,006	0	

S.T: Sucres totaux, Prol: Proline, P.S: Protéines solubles, P.H.S: Protéines hydrosolubles, Ab.: Abondance des larves *Capnodis*. S1=mi-printemps, S2=fin printemps, S3=début été, S5etS4=mi-été, S6=fin été, S7=début Hiver

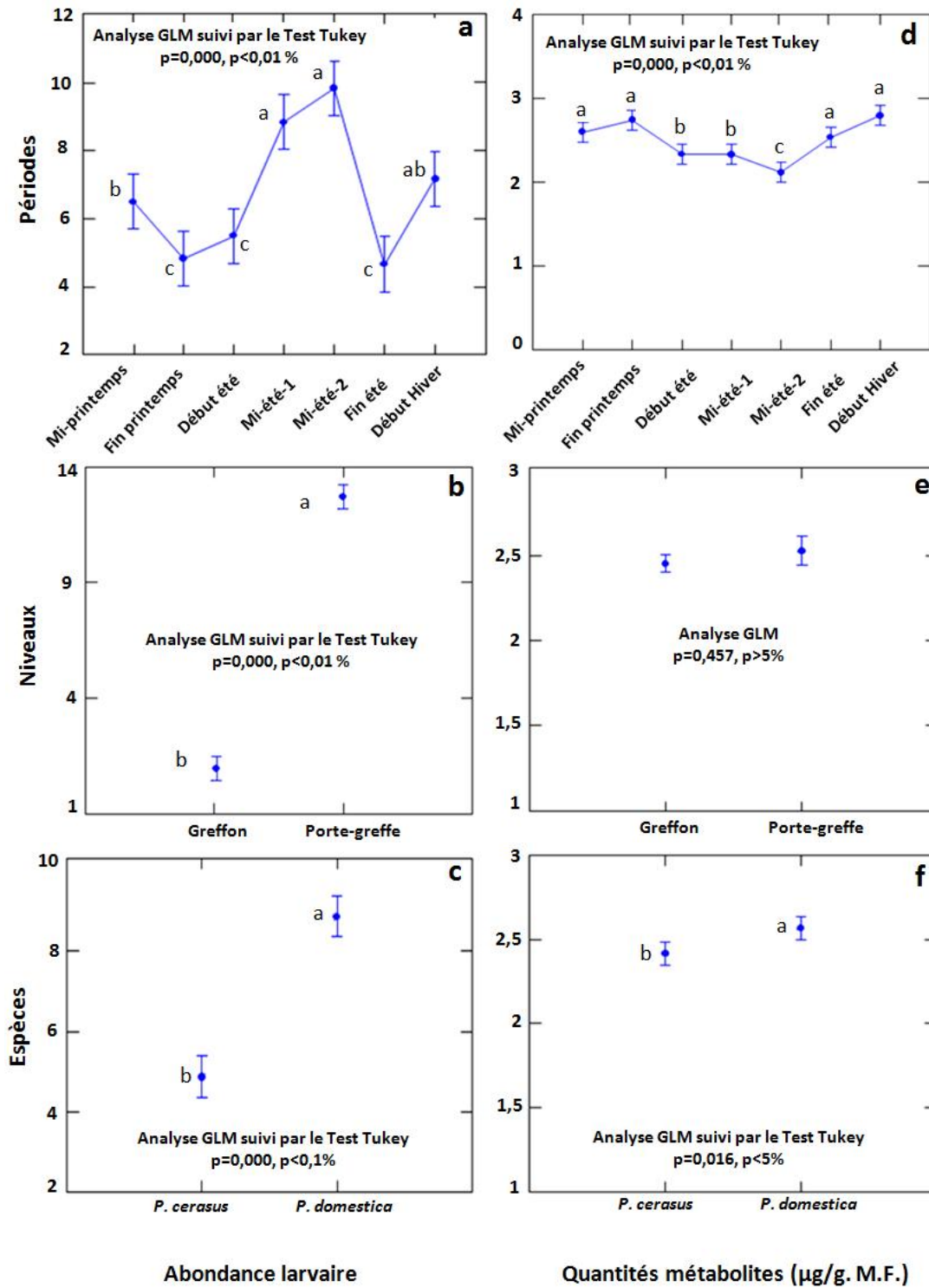


Fig.2. Effets comparés de l’accumulation des métabolites de deux espèces de *Prunus* selon le positionnement des attaques larvaires de *Capnodis tenebrionis*

La quantification des métabolites a montré que les sucres totaux affichent des taux très significatifs par rapport aux autres métabolites entre autre, les protéines hydrosolubles, les protéines solubles et la proline (F-ratio=1,817; $p=0,00, p<0,01\%$) (Figure 3a), et que cette

richesse en sucres totaux est prépondérante chez la variété cultivée (F-ratio=21,817; $p=0,080$, $p>5\%$) (Figure 3b).

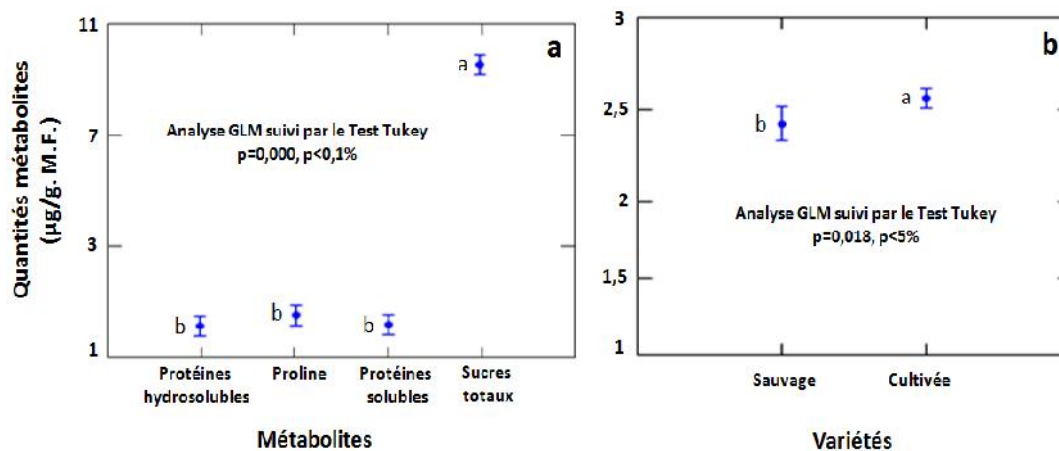


Fig.3. Effets comparés de l'accumulation des métabolites des espèces de *Prunus* selon leur résistance ou sensibilité aux attaques larvaires de *Capnodis tenebrionis*

Une lecture globalisant l'accumulation temporelle des métabolites primaires et secondaires ainsi que l'abondance des larves *Capnodis* permettrait de dire que le développement larvaire est mieux exprimé chez *Prunus domestica* au niveau du porte-greffe, par conséquent, la fluctuation des métabolites se distingue par une accumulation accrue des sucres totaux chez la variété cultivée.

Les résultats de l'analyse en composantes principales (A.C.P.), montrent la présence d'un effet temporel très distinct entre les différents métabolites et l'abondance larvaire de *Capnodis tenebrionis*. L'analyse est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés du fait que plus de 80% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes (Figure 4). La projection des variables relatives aux abondances larvaires et aux taux d'accumulations des métabolites primaires et secondaires chez les espèces de *Prunus* cultivés a montré une disparité très contrastée entre les différentes variables chez les deux espèces.

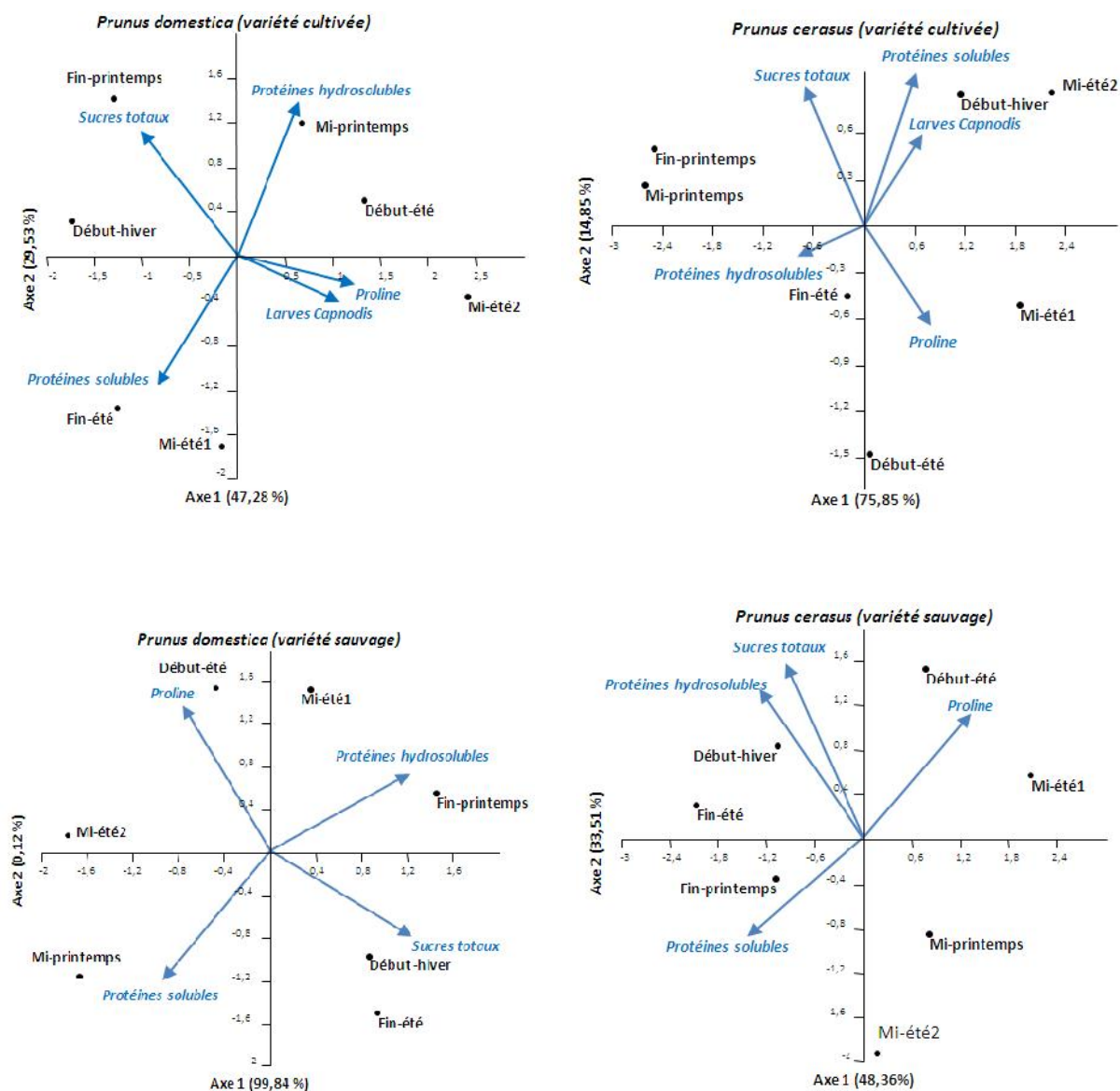


Fig.4. Projection des abondances larvaires de *Capnodis tenebrionis* et de la qualité phytochimique des deux variétés de *Prunus* sur les deux axes de l'ACP.

Chez *Prunus domestica* cultivé, l'abondance larvaire est corrélée positivement avec les accumulations de proline, alors que les accumulations des sucres totaux traduisent une réduction importante de la disponibilité larvaire. Cette évolution inverse chez le couple sucres totaux /larves est vérifiée par la présence d'une corrélation négative entre les deux variables ($r=-0,881$). Cependant, chez *Prunus cerasus* cultivé, l'abondance larvaire est corrélée positivement avec les accumulations des protéines solubles ($r=0,951$) et d'un degré moins

concernant les accumulations des protéines hydrosolubles ($r=0,637$). En revanche, la proline traduit une réduction importante de la disponibilité larvaire ($r=-0,792$). Chez les espèces sauvages de *Prunus* notamment *P. domestica* et *P. cerasus*, l'absence des larves *Capnodis* est liée essentiellement à la nature des accumulations des métabolites secondaires chez les deux espèces. Les projections des variables désignent une relation très marquée entre les sucres et les protéines hydrosolubles chez *P. cerasus* sauvage alors que cette liaison est moins prononcée chez *P. domestica* sauvage. Les corrélations montrent la nature des relations préétablies par excellence entre sucres totaux et protéines hydrosolubles et le renoncement de la proline et des protéines solubles dans les interactions plantes hôtes–ravageurs (= *Prunus* / larves *Capnodis*).

2.2. Modélisation des affinités des larves *Capnodis* par intégration des constituants phytochimiques des *Prunus*

Les résultats compilés dans les tableaux de la régression multiple indiquent la variation temporelle de la disponibilité larvaire (=constante) en fonction des métabolites secondaires des espèces hôtes à savoir *P. domestica* et *P. cerasus* (Tableau 2, 3). Les liens établis entre la disponibilité larvaire et les métabolites secondaires ont été estimés par référence à la valeur de la probabilité associée. La nature de la corrélation (positive, négative) a été désignée par référence à la valeur du coefficient.

Les tabulations relatives à la variation temporelle de la disponibilité larvaire affichent une abondance non significative sur *P. domestica* cultivé, cependant cette disponibilité exprime une relation modérée avec les sucres totaux et les protéines hydrosolubles. Les protéines solubles et la proline se montrent loin d'être des métabolites convoités par les larves *Capnodis* quant au choix de son support nourricier. Cette relation est confirmée par la valeur forte de la probabilité. La confrontation des métabolites avec la disponibilité larvaire a montré que les sucres totaux et les protéines hydrosolubles présentent une affinité très intime avec la disponibilité larvaire. Enfin, la disponibilité larvaire de *C. tenebrionis* exprime une affinité positive avec l'accumulation des protéines hydrosolubles, alors que les sucres totaux se montrent comme métabolites contraignant le développement larvaire.

Tableau 2. Régressions multiples appliquées à l'infestation larvaire de *Capnodis tenebrionis* en fonction de la qualité phytochimique du *Prunus domestica* cultivé

	Coeff.	Std.err.	T	p	R²
Constant (larves)	1,2678	95,912	0,013219	0,99065	0
Sucres totaux	-4,2743	4,817	-0,88734	0,46851	0,32766
Protéines hydrosolubles	157,53	133,93	1,1762	0,36055	0,11416
Protéines solubles	149,87	202,12	0,7415	0,53564	0,0067948
Proline	66,762	178,77	0,37346	0,74468	0,23711

	Coeff.	Std.err.	T	p	R²
Constant (larves)	53,97	29,06	1,85	0,1368	0
Sucres totaux	<u>-5,015</u>	2,75	-1,81	<u>0,0143*</u>	0,73
Protéines hydrosolubles	<u>106,23</u>	85,49	1,24	<u>0,0281*</u>	0,611

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,01%

Concernant les tabulations relatives à la variation temporelle de la disponibilité larvaire, cette dernière a affiché une abondance significative sur *P. cerasus* cultivé, cependant cette disponibilité a manifesté une relation positive avec les accumulations de proline et des protéines hydrosolubles.

Tableau 3. Régressions multiples appliquées à l'infestation larvaire de *Capnodis tenebrionis* en fonction de la qualité phytochimique de *Prunus cerasus* cultivé

	Coeff.	Std.err.	t	p	R²
Constant (larves)	63,57	60,00	1,05	0,4004	0
Sucres totaux	-0,93	4,10	-0,22	0,8406	0,24
Proline	-120,68	105,26	-1,14	0,3702	0,42
Protéines solubles	-0,82	30,31	-0,02	0,9808	0,40
Protéines hydrosolubles	<u>-205,03</u>	63,44	-3,23	<u>0,0838*</u>	0,80

	Coeff.	Std.err.	t	p	R²
Constant (larves)	50,31	12,46	4,03	<u>0,0273*</u>	0
Proline	<u>-98,95</u>	37,17	-2,66	<u>0,0762*</u>	0,42
Protéines hydrosolubles	<u>-196,50</u>	42,40	-4,63	<u>0,0189*</u>	0,80

N.S. : Non significative à 5%, * : significative à 5%, ** : Significative à 1%, *** : Significative à 0,01%

Cette section de l'étude propose d'apporter sa contribution à la réflexion sur la modélisation des infestations larvaires de *C. tenebrionis* dans les agro-écosystèmes. De manière plus générale, l'objectif est de contribuer à une meilleure compréhension et intégration de la

qualité phytochimique du support nourricier en modélisation de la dynamique des populations du bioagresseur. Sur la base des relations établies par la régression multiple, nous avons calculé les constantes du modèle mathématique de la prédiction de la disponibilité des larves *Capnodis* sur les différentes hôtes *Prunus* spp.

- Modèle mathématique appliqué pour la prédiction des infestations sur *Prunus domestica*

$$Y_{\text{Disp. larve}} = (\text{coeff.} \pm \text{std. err}) \times \text{Val. obs Prot. Hydro} - (\text{coeff.} \pm \text{std. err}) \times \text{Val. obs Suc. Tot} + 53,97$$

$$Y_{\text{predit}(+)=} = 191,72 \times \text{Protéines hydrosolubles} - 7,76 \times \text{Sucres totaux} + 53,97$$

$$Y_{\text{predit}(-)=} = 20,74 \times \text{Protéines hydrosolubles} - 2,26 \times \text{Sucres totaux} + 53,97$$

- Modèle mathématique appliqué pour la prédiction des infestations sur *Prunus cerasus*

$$Y_{\text{Disp. larve}} = - (\text{coeff.} \pm \text{std. err}) \times \text{Val. obs Prol.} - (\text{coeff.} \pm \text{std. err}) \times \text{Val. obs Prot. Hydro.} + 50,31$$

$$Y_{\text{predit}(+)=} = -136,12 \times \text{Proline} - 238,9 \times \text{Protéines hydrosoluble} + 50,31$$

$$Y_{\text{Disp. larve pre dit}(-)=} = -61,78 \times \text{Proline} - 154,1 \times \text{Protéines hydrosolubles} + 50,31$$

Proportionnellement, le bois étant le support le plus pauvre en éléments nutritifs. Pour en avoir la même quantité qu'un fruit ou une feuille, il faut en ingérer une plus grande quantité que celle qui serait sinon nécessaire, de plus, sa composition chimique et sa structure en font un aliment très dur à digérer [16]. La présence de certains principes dans le bois guide les xylophages dans leur choix en même temps que le degré de dureté des tissus ligneux. Les galeries qui y aboutissent ont été creusées par les larves, et sont orientées dans le sens des fibres du bois [17].

Bonnemaison [18] précise que les larves de *Capnodis tenebrionis* se logent dans des galeries sinueuses, très larges au sein de l'arbre, qu'elles bourrent d'une fine sciure et s'alimentent principalement de la couche sous corticale du bois des *Prunus*. La compréhension de l'orientation et de la disposition des loges larvaires de ce ravageur au sein du couple porte-greffe/greffon du genre *Prunus* implique une étude simultanée de paramètres physiques et chimiques de son substrat trophique. Vis-à-vis des insectes à larve xylophage, les hôtes sont soit coriaces, soit peu coriaces. Ce fait est dû à la nature du bois qui prend son origine des

différentes concentrations en ses différents constituants phytochimiques. Selon Schultz [19], les composés chimiques produits par les plantes sont probablement le facteur le plus important contrôlant le comportement des insectes dans la nature. Ces composés de structures et natures variées peuvent avoir des effets répulsifs, anti-appétants ou toxiques pour les insectes [20].

Dans ce contexte, on a été voir l'esprit sélectif du Bupreste noir pour les variétés *Prunus* cultivées. Les tendances d'orientation exprimées par l'analyse de la variance, affichent une abondance plus importante des larves sur *Prunus domestica* (Figure 2c), de même, Martinez [21], confirme que les xylophages n'ont pas tous le même niveau de relation avec leurs hôtes. Cette même tendance s'affiche pour les concentrations en métabolites (Figure 2f). Plusieurs études ont montré que divers métabolites, entre autres les sucres totaux, peuvent influencer le comportement des ravageurs [22]. Le résultat du screening des composés phytochimiques montre que les quantités moyennes des sucres totaux sont très élevées par comparaison aux taux de proline et des protéines solubles et hydrosolubles (Figure 3a). Nous présumons que la synthèse accrue des sucres totaux est dépendante de la conjugaison de l'état sanitaire de la plante, des conditions climatiques de la région et du mode cultural. Selon Chenafi et al. [23], le déficit hydrique affecte le métabolisme des hydrates de carbone et entraîne une accumulation des sucres et d'autres composés organiques. Les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importants vu leur relation directe avec les processus physiologiques tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont le glucose, le fructose et le saccharose. Cortes et Sinclair [24], et Geingenberger et al. [25], ont attribué l'augmentation des sucres solubles à une dégradation des réserves amylacées suite à leurs conversions rapides en saccharose, comme il pourrait aussi être attribué à une inhibition de la synthèse de l'amidon. Donc, leur accumulation résulte d'avantage d'un déséquilibre métabolique; que d'une adaptation réelle de la cellule au stress en altérant la compartimentation des métabolites.

L'analyse multivariée a montré que chez les deux *Prunus* cultivés (Figure 4), l'accumulation des sucres totaux traduit une réduction importante de la disponibilité larvaire qui est plutôt en corrélation positive avec les protéines hydrosolubles (Tableau 2). Cette tendance laisse croire que les larves *Capnodis* ne s'appuient pas sur les sucres solubles dans leur alimentation, ceci est confirmé par la contribution négative des sucres totaux établie par la régression multiple

(Tableau 2).

En revanche, l'abondance larvaire signalée chez *Prunus domestica* cultivé était soutenue par une accumulation de proline (Figure 4). Ramanjulu et Sudhakar [26] ont signalé qu'au niveau cellulaire, l'augmentation de la concentration des acides aminés, en particulier la proline, a été observée chez plusieurs espèces de plantes soumises à une contrainte hydrique. Par projection des informations relatives au rôle de la proline et la disponibilité des larves *Capnodis*, nous rejoignons les conclusions de Martinez [21], qui considère que *Capnodis tenebrionis* est un ravageur de faiblesse, et ne se développe que sur des arbres affaiblis par des maladies ou par un mauvais état physiologique du sujet attaqué. Et donc la proline serait considérée comme un marqueur de stress [27], qui semblait attirer le ravageur vers l'hôte stressé. De plus, certains auteurs déclarent que l'abondance de proline dans l'alimentation pourrait dès lors influencer indirectement le développement de colonies [28].

Chez *Prunus cerasus* cultivé, la disponibilité larvaire est liée à l'accumulation des protéines solubles. Une synthèse importante de protéines solubles accompagne l'acquisition de la résistance au stress [29]. Ainsi, les protéines solubles seraient impliquées dans la restauration et les défenses cellulaires, dans la production de métabolites et dans la transduction de signaux [30]. Ces derniers propos traduisent le lien existant entre l'abondance larvaire et l'accumulation des protéines solubles chez le *P. cerasus* cultivé à la place de la proline (cas du *P. domestica* cultivé), du fait que les deux métabolites s'expriment dans le cas de stress (Figure 4). Les besoins nutritionnels d'un insecte changent avec le temps selon les besoins pour la croissance, la reproduction, la diapause et la migration [31]. Le stade phénologique se matérialise par des changements de la composition biochimique qui agit sur la sélection des insectes phytophages [32]. La performance des insectes s'alimentant de l'écorce pourrait aussi être confrontée à la variation saisonnière du substrat. La quantité de sucres, de protéines et de composés secondaires dans l'écorce sont des facteurs qui varient selon la phénologie et peuvent affecter l'insecte dans sa performance [33]. Ces propos étaient reflétés dans nos résultats par les projections établies par la multivariée (Figure 4).

Ces mêmes projections expriment l'absence des larves *Capnodis* chez les variétés sauvages de *Prunus*, probablement en relation avec un effet synergique des métabolites primaires et secondaires accumulés comparée aux variétés cultivées chez les deux espèces, mais qui ne

semblent pas être expressif sur nos projections. À ce sujet, certains arbres résistants aux attaques du charançon auraient des propriétés inhibitrices envers celui-ci, bien que Sahota et al. [34] n'aient pas observé de différence d'alimentation sur des arbres susceptibles et résistants. Selon cet auteur, l'alimentation est surtout déterminée par le métabolisme de l'insecte.

2.3. Variation de l'abondance larvaire de *Capnodis tenebrionis* en fonction des propriétés physiques du bois des deux *Prunus*

L'expression de l'épaisseur des écorces entre les espèces de *Prunus* spp. indique une suprématie pour *P. cerasus*. Cette suprématie est confirmée par l'analyse de variance linéaire par une probabilité très significative (Figure 5). Le complexe porte-greffe/greffon se montre significativement différent au sein de la même espèce. La comparaison par paire réalisée par le test de Tukey a classé respectivement le porte-greffe de *P. domestica* et le greffon de *P. cerasus* dans le groupe a, alors que le greffon de *P. domestica* et le porte-greffe de *P. cerasus* ont été représentés dans le groupe b (Figure 5).

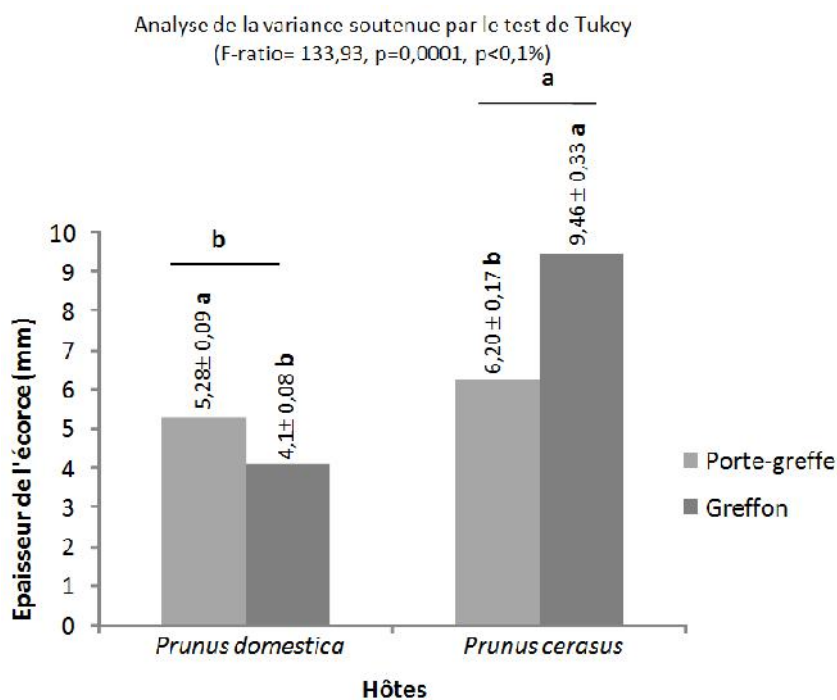


Fig.5. Effets comparés de la variation des épaisseurs du greffon et du porte-greffe entre les deux espèces de *Prunus*

La dureté du bois a montré des valeurs contrastées entre les deux espèces de *Prunus*, en faveur de *P. cerasus*. En revanche, la comparaison de la dureté entre les deux compartiments pour la

même espèce a affiché des valeurs divergentes, où le greffon du *Prunus domestica* se montre relativement plus dur que son porte-greffe avec des valeurs respectives de 105,26 Shore et 114,56 Shore, alors que chez *Prunus cerasus*, le porte-greffe présente une dureté nettement supérieure que celle affichée pour le greffon avec des valeurs respectives de 223,56 Shore et 186,6 Shore (Figure 6).

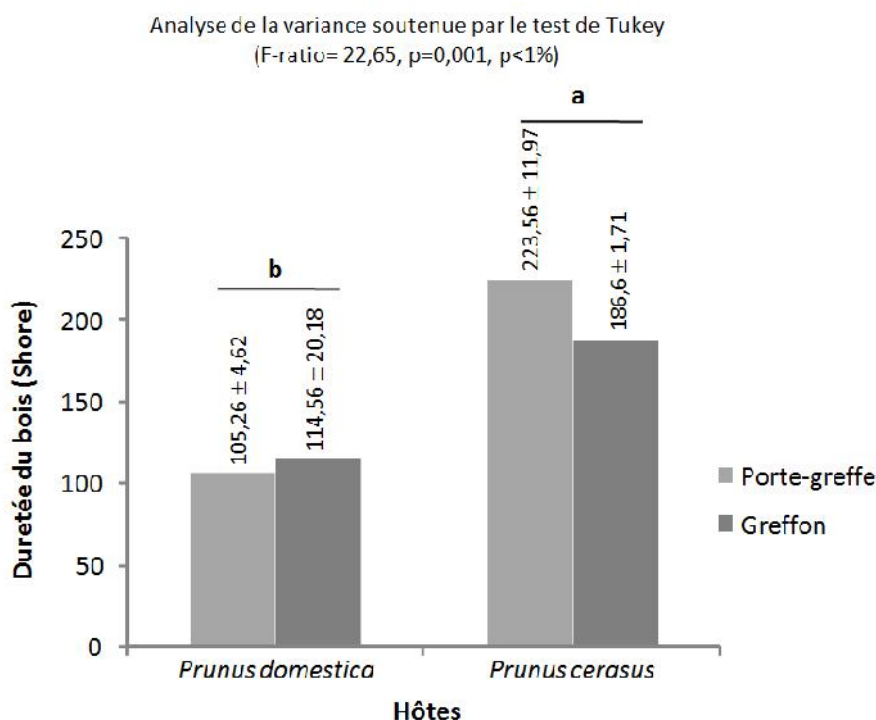


Fig.6. Effets comparés de la variation de la dureté chez les deux espèces de *Prunus*

Les insectes xylophages se nourrissent à partir du bois et écorce, le plus souvent à la base de l'arbre et dans les racines principales. Ils préfèrent les plantations qui se trouvent en mauvaises conditions hydriques. Une parcelle bien irriguée, même située au milieu d'une zone très attaquée par *Capnodis tenebrionis*, ne sera pratiquement pas attaquée car sur sol humide, la mortalité des œufs est très importante [35]. De leur côté, les plantes possèdent un arsenal de défense contre leurs bioagresseurs. Ces défenses se traduisent par des mécanismes qui peuvent être soit passives si elles sont préformées ou actives si elles demandent un apport énergétique. Les défenses passives incluent les barrières de types physiques tels que l'écorce (pour les insectes xylophages) [36]. Le liber et l'écorce externe de diverses espèces végétales contiennent des structures appelées «cellules pierreuses» qui sont en fait des amas de lignine, lorsque ces structures sont abondantes, leur dureté peut perturber les xylophages dans le

forage de leurs galeries et dans leurs développements [37].

Dans cette même optique, les résultats ont démontré que la disponibilité des larves *Capnodis* est inversement proportionnelle à la dureté du bois attaqué et que la différence signalée entre les deux *Prunus*, engendre une installation larvaire plus notable sur le porte-greffe de *Prunus domestica* (Tableau 1, Figure 6). Ce constat, consolide notre hypothèse préliminaire qui rattache en partie l'attraction du Bupreste noir vers *Prunus domestica* en raison de ses caractéristiques physiques moins coriaces. Ghomari [38] confirme la variabilité physique existante entre les différentes essences, et que la masse volumique (ou densité) des bois est très variable selon les espèces (de 350 à 1 100 kg/m³) et à l'intérieur d'une même espèce (avec des variations maximales de plus ou moins 15%). Ce même auteur a signalé l'existence d'une corrélation étroite entre la masse volumique et la dureté du bois où les bois les plus durs sont les plus denses et les bois les plus tendres sont les plus légers. La dureté du bois intervient aussi pour limiter la profondeur des dégâts, mais elle n'est pas un facteur d'immunité [39], d'où la présence des larves *C. tenebrionis* sur le porte-greffe de *P. cerasus* (Tableau 1, Figure 6).

Chez les plantes greffées, la nature du porte-greffe modifie fortement la vigueur [30]. Et que l'épaisseur de l'écorce peut être un système de résistance efficace vis-à-vis des coléoptères [40]. De ce fait, l'écorce servant de substrat nourricier à de nombreuses espèces d'insectes, pouvait affecter le développement du xylophage suite à une variation phénologique qui peut facilement influencer le comportement du ravageur. Les travaux de Boucher et al. [41] ont démontré aussi l'effet positif de l'épaisseur de l'écorce sur les performances de l'insecte. Sur ces mêmes idées, nos résultats concernant l'effet comparé des épaisseurs de l'écorce (Figure 5) du couple greffon/porte-greffe montrent clairement que *P. domestica* présente une épaisseur moins importante sur porte-greffe comparé au greffon et par conséquent abrite plus de larves *Capnodis* (Tableau 1).

Cette ébauche conduira à cerner la nature des relations nutritionnelles entre plante et xylophages. Nous estimons que le succès adaptatif du Bupreste ne dépend pas uniquement de sa plasticité ou encore de la qualité phytochimique de sa plante hôte, mais c'est plutôt l'effet combiné de l'ensemble des paramètres abiotiques, physiques, physiologiques et phytotechniques, qui font que ce ravageur puisse vivre et évoluer.

5. CONCLUSION

Dans cette approche, nous avons essayé de montrer l'incidence des composés phytochimiques contrôlant l'adaptation évolutive d'un redoutable ravageur Méditerranéen qui menace tous les vergers de Rosacées cultivées à noyaux. L'étude de la disposition des loges larvaires au niveau du tronc a démontré que la disponibilité des larves *Capnodis* est inversement proportionnelle à la dureté du bois. Sur le plan effet variétal, la disponibilité larvaire chez les variétés cultivées est soutenue par une accumulation de proline chez *Prunus domestica* cultivé, et des protéines solubles et des sucres totaux chez *Prunus cerasus*. Ce constat confirme que l'attraction du Bupreste noir vers sa plante hôte n'est pas uniquement d'ordre chimique, mais il peut être lié pareillement aux caractéristiques physiques.

5. RÉFÉRENCES

- [1] Gouguenheim M.R., Perrier D., Rungs CH.) Remarques sur les larves de deux Buprestides du système radiculaire des Rosacée fruitières (*Capnodis tenebrionis* L. et *Aurigena unicolor* Ol.). Rev. de Zool. Agr. et de Path. Vég., 1950, 29(3):152-156
- [2] Lichou J., Mandrin J.F., Chauvin-Buthaud B. Le Capnode: Un ravageur méditerranéen en recrudescence. Arboriculture Fruitière, 2009, 637:30–32
- [3] Alexeev N. A. Ecology and morphology of poorly studied species of the genus *Capnodis* (Coleoptera, Buprestidae), Entomol. Rev., 1994, 73: 108–116
- [4] Martin P., Soria F. J., Villagran M., and Ocete M. E. Food preference of the adult of *Capnodis tenebrionis* L. (Coleoptera: Buprestidae) for six plant species in the laboratory, Boletín de Sanidad Vegetal Plagas, 1998, 24: 107–112
- [5] Gindin G., Kuznetsova T., Protasov A., Yehuda S. B., Mendel Z. Artificial diet for two flat-headed borers *Capnodis* spp. (Coleoptera: Buprestidae), Eur. J. Entomol., 2009, 106(4): 573–581
- [6] Bonsignore C. P., Manti F., Vacante V. Field and tree distribution of *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1767) (Col., Buprestidae) adults in an apricot orchard in Italy, J. Appl. Entomol., 2008, 132(3): 216–224.
- [7] Descoins R. http://www.titteri.org/v_benchicao.htm (visiter le 24-10-2016)
- [8] Medjerab A. Henia L. Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie

nord-occidentale. Rev. Géog. Est, 2005, 45(2).

[9] Vasseur R., Schvester D. Biologie et écologie du Pou de San José (*Quadraspidiotus perniciosus* Comst.) en France. Ann. Epiph. Phytog., 1957, 8:5-66

[10]. Saladin G., Magne C., Clément C., Chemosphere, 2003, 53:199–206. doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00515-0

[11]. Bradford M. A Rapide and Sensitive Method for the Quantization of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. Anal. Biochem., 1976,72:248-254

[12]. Ammar M., Barbouche N., Ben Hamouda M. Action des extraits décomposés des feuilles de *Cestrum parqui* et de *Olea europea* sur la longévité et la croissance du criquet *Schistocerca gregaria*. Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent , 1995, 60/3, pp: 831–835

[13]. Polge H. Recherches sur l'utilisation de prélèvements effectués à la tarière de Pressler pour l'étude des propriétés physiques et mécaniques des bois. 1962, Rev. Forestière Française, 10:98 p.

[14]. Spss inc., Systat version 7, The System for Statistics Inc, Evanston, IL, 2007.

[15] Hammer, Harper D.A.T., Ryan P.D., PAST. Paleontological statistics software package for education and data analysis, Palaeont. Electron., 2001, 4 (1) http://palaeoelectronica.org/_1/past/issue1_01.htm

[16] Enoki A., Tanaka H., Fuse G. Degradation of lignin-related compounds, pure cellulose, and wood components by whit-rot and brown-rot fungi. Holzfors, 1988, 42: 85-93

[17] Lesne P. Régime et dégâts des Coléoptères xylophages du genre *Lyctus*. Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 1922, Volume 2 Numéro 12: 418-42

[18] Bonnemaison L. Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. Ed. Sep., Paris, T. II, 1962, pp:44-46

[19]. Schultz J. C. How plants fight dirty, Nature, 2002, 267p.

[20] Louis S., 2004. Diversité structurale et d'activité biologique des Albumines entomotoxiques de type 1b des graines de Légumineuses. Thèse Doc. I.N.S.A. Lyon, 259 p.

[21] Martinez M. Les insectes xylophages: qui sont-ils? Que mangent-ils? Phm. Rev. Hortico., 2008, 508:11-13

[22] Ardnt S.K., Clifford S.C., Wanek W., Jones H.G., Popp M. Physiological and

morphological adaptations of the fruit free *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiol.*, 2007, 21:705–715

[23] Chenafi H., Aïdaoui A., Bouzerzour H., Saci A. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian J Plant Sci.*, 2006, 5: 854-860

[24] Cortes P.M., Sinclair T.R. The role of osmotic potential in spring sap flow of mature sugar maple trees (*Acer saccharum* Marsh). *J. Exp. Bot.*, 1985, 36:12–24

[25] Geigenberger P., Reimholz R., Deiting U., Sonnewald U., Stitt M. Decreased expression of sucrose phosphate synthase strongly inhibits the water stress-induced synthesis of sucrose in growing potato tubers. *Plant J.*, 1999, 19:119-129

[26] Ramanjulu S., Sudhakar C. Proline metabolism during dehydration in two mulberry genotypes with contrasting drought tolerance. *J. Plant Physiol.*, 2000, 157 (1):81-85

[27] Delaunay A.J., Verma D.P.S. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, 1993, 4: 215-223

[28] Drossart M., Impact des plantes exotiques envahissantes sur le comportement de récolte de *Bombus terrestris* (*Hymenoptera, Apidae*). Mémoire en Biologie des Organismes et Ecologie, Université de Mons, 2014, 84pp.

[29] Dure L. Structure motifs in LEA proteins of higher plants. American Society of Plant Physiologists, Rockville, 1993: 91-103 p.

[30] Lecourt J. Rôle de la nutrition azotée dans le contrôle de l'allocation de la biomasse d'une vigne greffée: validation par marquage isotopique et modélisation. Univ. Bordeaux Segalen, école doctorale des sciences de la vie et de la sante, spécialité : biologie végétale, 2013, 183p.

[31] Mopper S. Phenology, The role of time in structuring space for herbivorous insect populations. *Ann. Zool. Fenn.*, 2005, 42:327-333

[32] Alfaro R., Lewis K., King J., EL-Kassaby Y.A., Brown G., Smith L.D. Budburst phenology of sitka spruce and its relationship to white pine weevij attack. *For. Eco. Management*, 2000, 127: 19-29

[33] Redmer, J.S., Wallin, K.F. and K. Raffa.. Effect of host tree seasonal phenology on substrate suitability for the pine engraver (*Coleoptera: Scolytidae*): Implications for

- population dynamics and enemy free space. J. Econ. Entomol., 2001, 94940:844-849
- [34] Sahota T.S., J.F. Manville, Peet A. Ibaraki White E. Weevil physiology controls the feeding rates of *Pissodes Strobi* on *Picea Sitchensis*. Cano Entomol., 1998, 130:305-314.
- [35] Cavalcaselle B., 1972. Ecologia ed etologia di alcuni Buprestidi nocivi al pioppo nell'Italia centro-meridionale. Ente nazionale per la Cellulosa e per la Carta . Redia; 53:67-122
- [36] Carmona M., Lajeunesse J., Marc T., Johnson J., 2011. Plant traits that predict resistance to herbivores. Funct. Ecol., 25(2): 358-367
- [37] Hudgins j.w., Christiansen E., Franceshi V.R. Methyl jasmonate induces mimicking anatomical defense members of *pinaceae*. Tree Physiol., 2003, 23:361-371
- [38] Ghomari F. Science des matériaux de construction. Univ. aboubekr belkaid, fac. Sci. Ing., dép. génie civil, 2007, 28-50
- [39] Fougrouse M. Les piqures des agrumes de coupe fraiche en Afrique tropicale, Rev. bois et forets des tropiques, 1957, 55:39-52
- [40] Haddaen M., Lieutier E. Tree factors in relation to the success of artificial introductions of *phoracantha recuva* larvae in various *Eucaliptus* species in Morocco dans l'UFRO Intern. Symp. Eucalyptus and diversity: balancing productivity and sustainability, Durban, Afrique du sud. 2007
- [41] Boucher, D., Mauffette, Y., R. Lavallée. Biological performance of the white pine weevil in different host species and in two ecological regions of Southern Quebec, Cano I For. res., 2001, 31 (II): 2026-2034

How to cite this article:

Brahimi L, Djazouli Z E. Disposition des loges larvaires et nymphales de *Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1758) en relation avec la qualité physico-chimique de *Prunus domestica* et *Prunus cerasus*. J. Fundam. Appl. Sci., 2017, 9(2), 935-958.