

## RELATION ENTRE LA SUCCESSION DES FORMES BIOLOGIQUES DE *CAPNODIS TENEBRIONIS* (LINNAEUS, 1758) ET LA COMPOSITION CHIMIQUE DE SES *PRUNUS* (LINNAEUS, 1753) HÔTES

BRAHIMI Latifa<sup>1,2\*</sup>, DJAZOULI Zahr-Eddine<sup>1</sup> et MERAH Othmane<sup>3</sup>

1. Université de Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie
2. Centre Universitaire de Relizane, Faculté des Sciences de la Nature, Département des Sciences Biologiques, Relizane.
3. Laboratoire de Chimie Agro-industrielle, Université de Toulouse, INRA, INPT, France.

Reçu le 17/05/2017, Révisé le 14/06/2017, Accepté et mis en ligne le 30/06/2017

### Résumé

**Description du sujet:** La nuisibilité de *Capnodis tenebrionis* (L., 1758) sur les arbres fruitiers est difficile à contrôler à cause de la vie cryptée de ses stades larvaires. Pour lutter contre cet insecte il est important de connaître son cycle de développement

**Objectifs:** Etudier le comportement adaptatif de *C. tenebrionis* à travers les composantes nutritives de ses plantes hôtes qui influencent sa dynamique des populations.

**Méthodes:** Des estimations mensuelles de l'abondance et des réserves lipidiques des différentes stades biologiques du bupreste en rapport avec la phytochimie des plantes hôtes notamment les fibres, l'azote, les phénols et la teneur en protéines ont été effectués durant la phase de grande activité biologique du ravageur.

**Résultats:** *C. tenebrionis* a été plus abondant sur *Prunus domestica* (L., 1753). La teneur en cellulose et l'effet synergique entre protéines et azote ont favorisé cette abondance avec une meilleure conversion en réserves lipidiques des larves évoluant sur *P. domestica*. Les larves ont été moins présentes sur *Prunus cerasus* (L., 1753) à cause des fortes concentrations phénoliques et affichent un retard dans leur développement.

**Conclusion:** Nos résultats ont montré que les changements de la composition chimique représentent un aspect important qui soulignent la capacité d'adaptation de cet insecte.

**Mots clés:** Bupreste noir, cycle de développement, réserves énergétiques, métabolites végétaux.

## RELATIONSHIP BETWEEN THE SUCCESSION OF BIOLOGICAL FORMS OF *CAPNODIS* AND THE CHEMICAL COMPOSITION OF TWO HOST *PRUNUS*

### Abstract

**Description of the subject:** The harmfulness of *Capnodis tenebrionis* on fruit trees is difficult to control due to the encrypted larval stages. It is important to know the cycle of development of this insect in order to fight against them.

**Objective:** Study of the adaptive *C. tenebrionis* behavior to its host plants through their nutritive components that influence its population dynamics.

**Methods:** Monthly readings spread were carried, abundance (washing and adult) and lipid energy reserves of *C. tenebrionis*. Nitrogen, cellulose, hemicellulose, lignin, phenols, protein levels were quantified in the two species of attacked *Prunus*.

**Results:** *C. tenebrionis* was more abundant in *Prunus domestica* (L., 1753) The cellulose content and the synergistic effect between protein and nitrogen contributed to this abundance that resulted in a better conversion into lipids in developing larvae on *P. domestica*. The larvae which developed on *Prunus cerasus* (L., 1753) have been disadvantaged by the high phenol concentrations and presented a delay in their development cycle.

**Conclusion:** Our results showed that the phytochemical changes were an important aspect that highlights the adaptability of this insect.

**Keywords:** nutritional components, development cycle, energy reserve, plant metabolites.

\* Auteur correspondant: BRAHIMI Latifa, Tél. /Fax: 00213 25 43 80 78, E-mail address: bellabed.brahimi\_lati@yahoo.fr

## INTRODUCTION

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*.

La plante hôte, en tant que support nutritif, peut conditionner l'abondance du Bupreste noir et affecter sa distribution. La composition biochimique de la plante hôte a un impact considérable sur les processus biologiques fondamentaux y compris le cycle de développement [3, 4, 5, 6].

Les travaux concernant l'influence des plantes hôtes, sur la plasticité des stades biologiques de *C. tenebrionis* dans les conditions naturelles sont rares, probablement à cause des habitudes cryptiques de ses larves foreuses du bois et à la longue durée de vie qui caractérise l'insecte, dont la plupart ont été réalisées en conditions contrôlées avec des diètes alimentaires artificielles [5]. Il est donc possible que le comportement, la biologie et, par conséquent, le cycle de développement diffèrent entre les espèces hôtes en raison de leur composition chimique.

En effet, la connaissance des performances métaboliques sous différentes conditions trophiques constitue la première étape avant de pouvoir évaluer les risques d'accroissement des populations [7]. Aucune étude n'a abordé les performances métaboliques et l'évolution du cycle de cet insecte dans les conditions naturelles. L'objectif de ce travail est donc d'étudier la durée du développement des différents stades évolutifs de *C. tenebrionis*, sur *P. domestica* et *P. cerasus* afin de mieux comprendre le succès adaptatif des larves à travers la composition chimique des plantes hôtes dans des conditions naturelles.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Emplacement d'étude et conception expérimentale

Cette étude a été réalisée en 2012 au cœur de l'Atlas Tellien dans la région de Benchicao (proche de Médéa, 80Km au sud-ouest d'Alger, Algérie) à 1200 mètres d'altitude. Les plantations de *Prunus* se situent à 2° 51'E et 36° 12'N. Deux parcelles ont été choisies au hasard comportant respectivement une plantation de *Prunus domestica* (L., 1753) et une plantation de *Prunus cerasus* (L., 1753) âgées de 10 et 12 ans et présentant des pourcentages d'infestation respectifs de 39,5% et 30 %. Aucun traitement chimique n'a été effectué contre ce coléoptère pendant l'année d'étude.

L'index climatique de Bagnouls et Gausson situe la région d'étude à l'étage subhumide à hiver frais, et révèle la présence d'une saison froide assez longue, du début octobre à la mi-mai, et une saison chaude s'étalant du mois de mai jusqu'à octobre avec une température moyenne annuelle de 16,9°C et une précipitation annuelle de 760mm.

### 2. Estimation des abondances des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* (L., 1758)

Les prélèvements visant les formes biologiques du bupreste noir (larves, nymphes et adultes) ont été réalisés durant la période allant de juillet à décembre 2012 coïncidant avec le pic de présence du ravageur [8]. Sur la base des symptômes caractéristiques des attaques du bupreste,

Les notations et les prélèvements ont été réalisés deux fois par mois durant la période d'étude soit un total de 128 arbres prospectés. Les larves et les nymphes cryptées ont été collectées manuellement après écorçage des arbres échantillonnés. Concernant les adultes, une chasse à la vue est opérée durant la période la plus chaude de la journée (12h-14h) [8]. Le matériel animal échantillonné, classé par catégorie de formes biologiques ont été appréciés en terme d'abondance et ont été stockés à -20°C pour la mesure des réserves lipidiques.

### 3. Composition chimique des plantes hôtes

Durant chaque période d'échantillonnage, cinq fragments de 2cm<sup>2</sup> sont sectionnés aléatoirement au niveau de la couche externe de l'aubier (zone nourricière par excellence) du tronc des deux *Prunus*.

Le matériel végétal récupéré et séché à l'air libre et à température ambiante (27°C), les échantillons sont réduits en poudre à l'aide d'un broyeur à boule (Modèle planétaire PROLABO, France). Les poudres ainsi obtenues, ont été en partie traitées au Soxhlet avec du toluène-éthanol (2-1, v/v), d'éthanol et puis d'eau. Les résidus pariétaux obtenus sont ensuite séchés par lyophilisation et stockés à 4°C à l'abri de l'humidité [9].

#### 3.1. Extraction et dosage des fibres, de cellulose, de lignine et de l'hémicellulose

Les fibres ont été estimées par la méthode Van Soest *et al.* [9], encore appelée méthode ADF-NDF. C'est une méthode gravimétrique basée sur la différence de solubilité des constituants dans deux types de détergents dans un Fibertech (Labtec<sup>TM</sup> Line, Foss, Nanterre, France). Un détergent neutre ou NDF (Neutral Detergent Fiber) à base d'EDTA, solubilise l'ensemble des constituants non pariétaux (protéines et pectines).

Le résidu insoluble N contient les hémicelluloses, les lignines et la cellulose. Un détergent acide ou ADF (Acid Detergent Fiber) à base de CTAB et d'acide sulfurique dilué, solubilise l'ensemble des composés non pariétaux et les hémicelluloses. Le résidu insoluble A contient les lignines et la cellulose, l'attaque des lignines du résidu A par un oxydant puissant (permanganate de potassium) permet de récupérer un résidu C ne contenant dans sa fraction organique que de la cellulose.

Après calcination des échantillons, le calcul du pourcentage massique des composés pariétaux est possible :

$$\begin{aligned} C &= \% \text{ Cellulose} \\ A-C &= \% \text{ Lignine} \\ N-A &= \% \text{ Hémicelluloses} \end{aligned}$$

### 3.2. Extraction et dosage de l'azote

Le dosage de l'azote a été réalisé selon la méthode Kjeldhal [10]. Cette méthode permet après minéralisation de l'échantillon dans de l'acide sulfurique concentré de libérer l'azote qui est transformé en (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Une distillation est réalisée avec un excès de soude et un titrage de l'ammoniac est entraîné par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

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

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

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.

#### 3.3. Extraction et dosage des protéines totales

Deux méthodes ont été utilisées pour l'extraction et le dosage des protéines totales. La méthode de Bradford [11] pour le dosage des protéines solubles et celle d'Ammar *et al.* [12] pour le dosage des protéines hydrosolubles. Trois grammes de matière fraîche broyée ont été mélangés à 5ml de tampon phosphate (pH=7) contenant du polyvinilpyrrolidone. Après centrifugation pendant 15min à 4500tr/min à -4°C, le surnageant contenant les protéines pariétales a été récupéré. Le culot a été dissout dans 5mL d'eau distillée et centrifugé une deuxième fois. Le culot a été récupéré et dissout dans une solution de tampon phosphate + KCl (pH = 7) et a été de nouveau centrifugé. Le surnageant résultant contenant les protéines cytoplasmiques a été récupéré pour le dosage. Les valeurs d'absorbance obtenues par spectrophotométrie ( $\lambda = 595$ ) ont permis de calculer la concentration initiale de protéines contenues dans les échantillons au moyen d'une courbe-étalon standard effectuée avec une protéine de référence (ovalbumine).

Les concentrations en protéines de chaque échantillon ont été calculées à partir de la courbe d'étalonnage obtenue, 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 :

$$\text{Teneur en protéines (mg/g M.F.)} = \frac{\text{Quantité de la protéine (mg)} \times 200^*}{\text{Poids d'échantillon}}$$

\*Facteur de dilution

### 3.4. Extraction et dosage des polyphénols

La méthode utilisée est celle développée par Lebreton et al. [13]. Le broyat végétal sec a été hydrolysé avec HCl (2N). Après refroidissement de l'hydrolysate, les aglycones flavoniques ont été extraits à deux reprises par l'éther diéthylique. La teneur des C-glycosides et des anthocyanes obtenus après centrifugation a été calculée par la formule :

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

Constantes pour calculer les anthocyanes

- DO : densité optique à 540nm
- $\eta$ : facteur correctif qui tient compte du rendement de transformation des proanthocyanes en anthocyanes et qui égal à 6
- $\varepsilon$ : coefficient d'absorption molaire égal à 34700
- M: masse molaire de la Procyanidine égale à 306g
- V: volume de la phase aqueuse mesuré après hydrolyse
- d : facteur de dilution
- P: poids sec du matériel végétal égal à 0,5g

Constantes pour calculer les C- glycosides

- DO : densité optique à la longueur d'onde égale à 365nm
- $\varepsilon$ : coefficient d'absorption molaire égal à 18850
- M : masse molaire d'un C-glycoside égal à 448g
- V : volume de la phase butanolique mesurée après concentration à l'HCl (2N)
- T : teneur absolue exprimée en mg / g de matière végétale sèche.

### 3.5. Estimation des réserves lipidiques des individus *Capnodis tenebrionis* (L., 1758)

L'extraction et la quantification des réserves lipidiques ont été réalisées selon la méthode de Van Brummelen et Suijzand [14]. Un mélange monophasique 1:2:0,8 (chloroforme : méthanol : eau bidistillée) a été utilisé pour l'extraction des réserves lipidiques des larves *Capnodis*. Le broyat a été centrifugé pendant 5min (14772 tr/min). Puis, du chloroforme a été ajouté induisant la séparation du mélange en deux phases.

L'opération de séparation des lipides a été répétée deux fois avec du chloroforme et ces phases contenant le chloroforme et les lipides ont été récupérées et mélangées, puis séchées sur sulfate de sodium. Les lipides ont été récupérés après rinçage du sulfate de sodium avec du chloroforme. La solution obtenue a été mise en évaporation à sec sous flux d'azote pour l'élimination des solvants. L'acide sulfurique a été ajouté et les tubes ont été mis à chauffer pendant 10min à 100°C. Après refroidissement à température ambiante, la vanilline a été ajoutée dans chaque échantillon. Le dosage a été fait par spectrophotométrie à 540nm au bout de 10min. Le blanc a été obtenu par mélange de cholestérol, d'acide sulfurique et du réactif de vanilline.

## 4. Analyses statistiques

Le test Wilcoxon a été adopté pour comparer les abondances temporelles de *C. tenebrionis* sur les deux hôtes. Les abondances globales mensuelles sont appariées ce qui signifie que les deux valeurs de chaque période sont associées. Toutes les mesures ont été exprimées par moyenne  $\pm$  déviation standard ( $\pm$  SD). L'ANOVA a été réalisée pour déterminer les différences significatives ( $P < 0,05$ ), la comparaison multiple a été appliquée entre les moyennes par recours au test Post Hoc de Tukey.

L'analyse statistique des données a été effectuée à l'aide du logiciel SYSTAT vers. 12 [15]. Afin d'évaluer la succession des différentes formes biologiques sur les deux *Prunus* le test de Cross Correlation a été adopté dans le but d'estimer le décalage temporel. Les décalages ont été calculés en utilisant la version 2.19 du PAST [16]

## RÉSULTATS

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

L'abondance temporelle globale du Bupreste noir diffère grandement entre ses deux hôtes le long de la période d'investigation en faveur des individus parasitant *P. domestica* (Fig. 1).

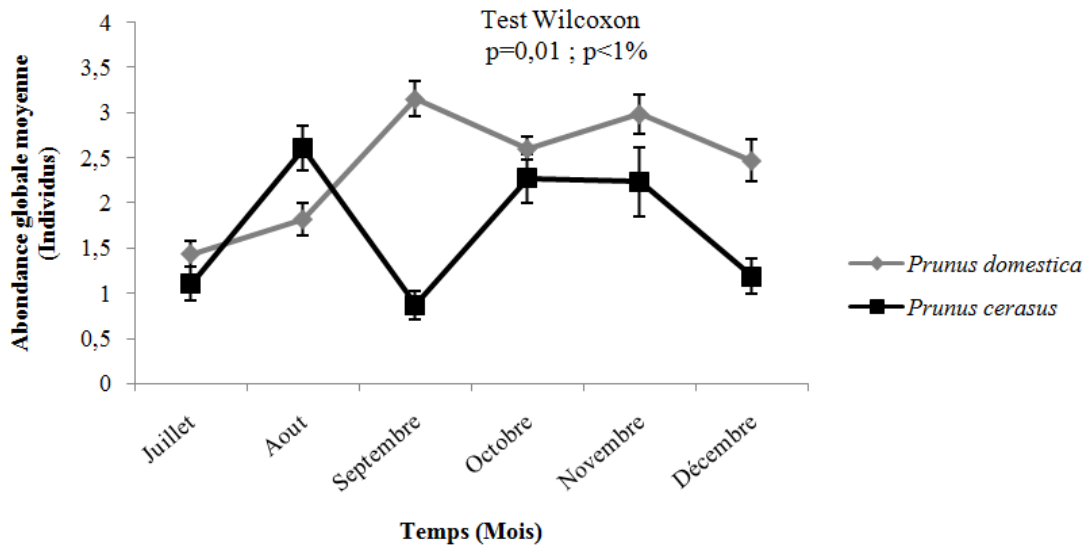


Figure 1. Fluctuations temporelles de l'abondance globale des différentes formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* (L., 1758) sur deux espèces de *Prunus* dans la région de Médéa

L'analyse de la variance suivie par le test Post Hoc de Tukey appliquée à la structuration des populations larvaires du capnode en rapport avec les deux plantes hôtes, confirme que

l'abondance des formes biologiques est en recul sur *P. cerasus* par comparaison à *P. domestica*, notamment celle du quatrième stade larvaire et des adultes (Fig. 2).

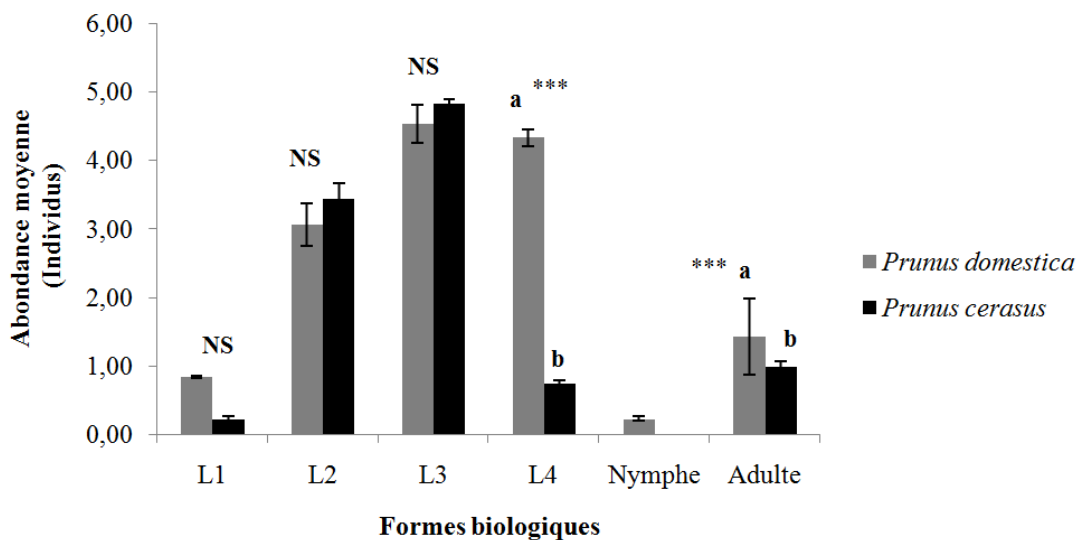


Figure 2. Structuration des différentes formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* sur deux espèces de *Prunus* dans la région de Médéa

2. Performance métabolique de *Capnodis tenebrionis* (L., 1758) en relation avec la qualité phytochimique des espèces hôtes

La quantification des métabolites primaires (cellulose, hémicellulose, lignine, protéines totales et azote) et des métabolites secondaires (polyphénols) du liber ont été effectuées afin d’appréhender l’effet du

support nourricier sur le xylophage. Les résultats ont montré que la cellulose et la lignine sont les composés les plus disponibles en termes de concentrations (Fig. 3). *P. domestica* a accumulé significativement la lignine et les protéines totales que *P. cerasus*. En revanche, *P. cerasus* concentre plus de cellulose, d’azote et de polyphénols.

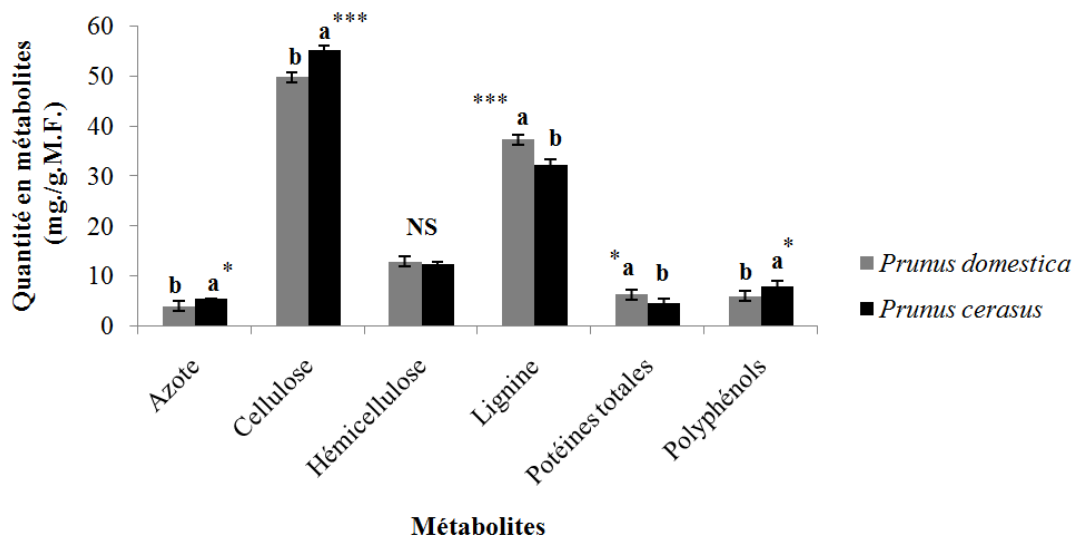


Figure 3. Variation des quantités de métabolites primaires et secondaires du bois des deux *Prunus* dans la région de Médéa

Les formes biologiques de *C. tenebrionis* ont affiché des concentrations lipidiques plus élevées sur *P. domestica* comparé à *P. cerasus*,

avec des accumulations progressives dans le gradient (L<sub>1</sub>-L<sub>4</sub>) et un maximum aux derniers stades (L<sub>4</sub> et nymphe) (Fig. 4).

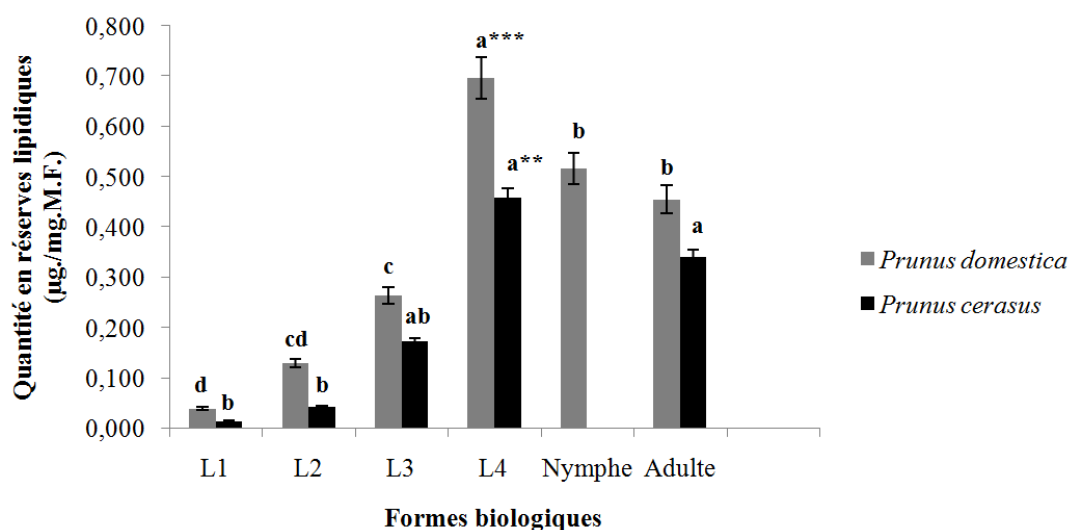


Figure 4. Variation des quantités en réserves lipidiques des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* (L., 1758) sur les deux *Prunus* dans la région de Médéa

L'étude du degré d'affinité entre la capacité accumulatrice des réserves lipidiques des larves du Capnode et les concentrations en métabolites des *Prunus* a été réalisée par la corrélation de Pearson dans le but d'appréhender la stratégie adaptative de *C. tenebrionis* sur les deux plantes hôtes. Sur *P. domestica*, la performance du deuxième stade larvaire a été corrélée avec les concentrations en hémicellulose ( $r=0,92$ ;  $p<5\%$ ), le gain lipidique du quatrième stade larvaire a été lié positivement à la disponibilité de l'azote ( $r=1,00$ ;  $p<1\%$ ) et des protéines totales ( $r=0,98$ ;  $p<1\%$ ). Sur *P. cerasus*, la richesse du bois en polyphénols a constitué une contrainte à la performance du premier stade larvaire ( $r=-0,93$ ;  $p<5\%$ ), cependant la disponibilité en protéines totales influençait significativement l'accumulation des réserves lipidiques du troisième stade larvaire ( $r=0,96$ ;  $p<1\%$ ). De plus, une augmentation significative des réserves lipidiques du quatrième stade larvaire a été signalée avec la disponibilité de l'azote ( $r=0,98$ ;  $p<1\%$ ) et de la lignine ( $r=0,97$ ;  $p<1\%$ ).

### 3. Ordre d'arrivée des formes biologiques de *Capnodis tenebrionis* (L., 1758) sur les deux espèces de *Prunus*

L'étude de la répartition temporelle des formes biologiques de *C. tenebrionis* par rapport au support nourricier a été réalisée pour visualiser l'ordre d'arrivée écologique sur *P. domestica* et *P. cerasus*.

Le test cross-corrélation nous a permis à travers le calcul du barycentre «Lag.» d'appréhender le décalage temporel de développement. Le test signale un retard de succession d'un mois pour les deux premiers stades larvaires ( $L_1$  et  $L_2$ ) sur *P. cerasus* en comparaison avec l'ordre d'arrivée écologique des mêmes stades sur *P. domestica*. Concernant les derniers stades larvaires ( $L_3$  et  $L_4$ ), les valeurs du Lag. enregistrent un ordre d'arrivée écologique plus précoce des larves sur *P. domestica*. En revanche, le stade imago maintient le même décalage qui a été signalé entre *P. domestica* et *P. cerasus* (Tableau 1, Fig. 5).

Tableau 1. Décalage temporel des différents stades biologiques de *Capnodis tenebrionis* selon les plantes hôtes

Formes biologiques	Stades	Test Cross Correlation		
		Barycentre (mois) (pic d'abondance maximale)	Lag (mois) (Décalage temporel)	Probabilité
Larves	$L_1 P. domestica$	8,8	1	$7,0 \times 10^{-6}$
	$L_1 P. cerasus$	9,5		
	$L_2 P. domestica$	9,0	1	$9,0 \times 10^{-4}$
	$L_2 P. cerasus$	10,00		
	$L_3 P. domestica$	9,7	1,5	$3,2 \times 10^{-5}$
	$L_3 P. cerasus$	10,9		
	$L_4 P. domestica$	10,5	1,5	$4,9 \times 10^{-3}$
	$L_4 P. cerasus$	11,6		
Adultes (Imago)	<i>P. domestica</i>	8,0	1	$2,6 \times 10^{-2}$
	<i>P. cerasus</i>	8,3		



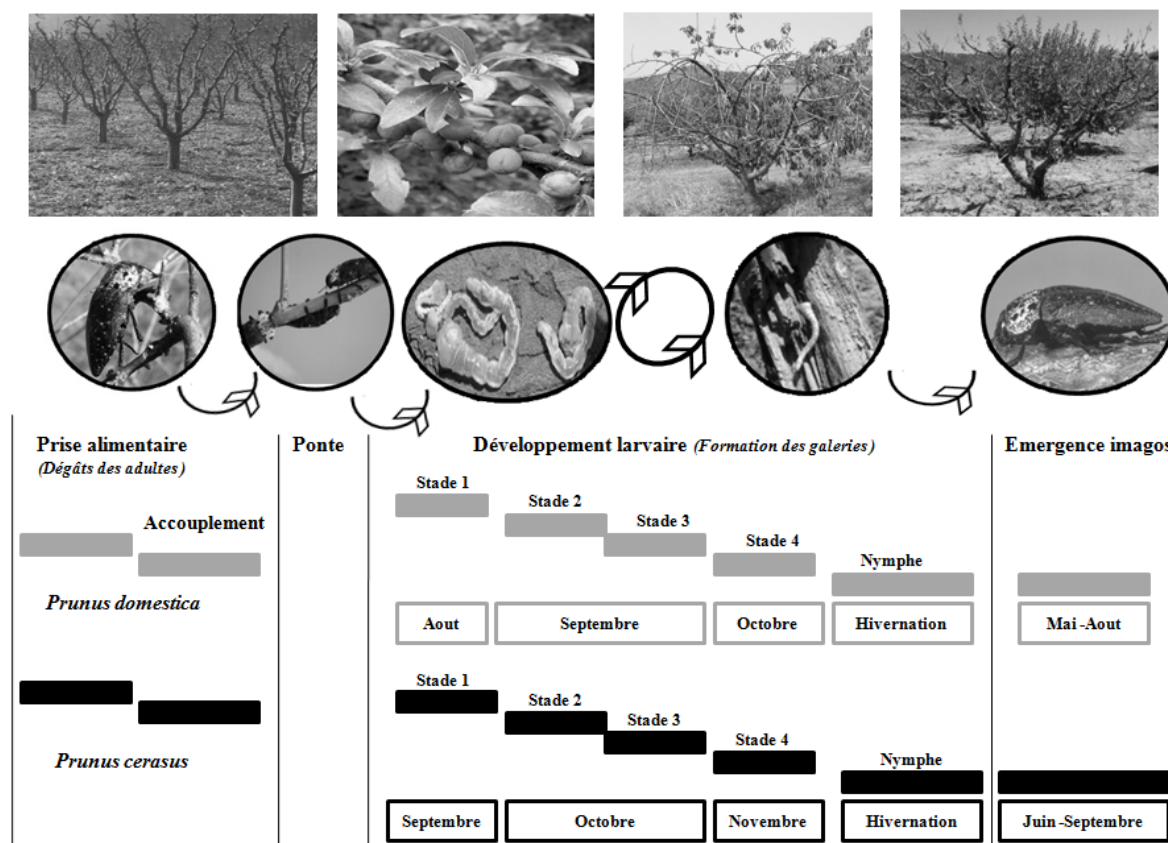


Figure 5: Diagramme synthétique du cycle de développement de *Capnodis tenebrionis* (L., 1758) sur les deux *Prunus* dans la région de Médéa

**DISCUSSION**

*1. Variabilité du cycle développement de Capnodis tenebrionis exprimée par ses réserves énergétiques lipidiques*

L'espèce *C. tenebrionis* depuis son introduction en Algérie en janvier 1934 puis à Médéa en 1982, s'est répandue à tous les vergers arboricoles fruitiers à noyaux et ses infestations ont des conséquences économiques lourdes et entraînant souvent la mort des arbres [17]. Ces dégâts semblent s'aggraver d'une part, du fait de la grande plasticité de ce ravageur face aux contraintes environnementales (cycle de développement assez confus allant de 1an à 2 ans) et d'autre part à sa résistance aux traitements phytosanitaires.

Le temps de développement et le taux de natalité/mortalité sont les indices de performance les plus abordés dans le cadre des études reliées à la dynamique des populations des insectes [18], ainsi l'étude du cycle de développement du Bupreste noir, nous a

conduits à l'examen de sa fitness globale et de son succès reproducteur sur deux supports nourriciers par excellence *P. domestica* et *P. cerasus*.

La perturbation notée dans la distribution des individus *Capnodis* entre les deux *Prunus* (Fig. 1 et 2) était principalement d'ordre nutritionnel du fait que les espèces étudiées représentent la source première et unique de nourriture pour ce ravageur. En conditions naturelles, ces espèces végétales sont exposées à divers facteurs abiotiques et biotiques dont les variations peuvent affecter leur croissance [19]. Ces changements chez les plantes peuvent moduler leurs interactions avec les consommateurs primaires et, par conséquent, peuvent montrer des effets bénéfiques ou néfastes sur les insectes phytophages [20, 21].

La perturbation observée dans la succession temporelle des différents stades de *C. tenebrionis* (Tableau 1, Fig. 3) peut être reliée à la qualité et/ou à la quantité de l'alimentation disponible. La plante comme source d'énergie, influence directement le temps de développement des ravageurs,



ainsi le pourcentage des adultes émergents, la taille des individus à l'émergence et la quantité d'énergie corporelle stockée sont largement affectés [22] et entraînent parfois l'apparition de dimorphisme saisonnier [23].

L'analyse des réserves énergétiques des individus *Capnodis* était importante pour mieux comprendre ce retard adaptatif existant chez les individus évoluant sur *P. cerasus*, l'analyse des concentrations des réserves énergétiques lipidiques des différentes formes biologiques de *C. tenebrionis* a dessiné une gradation positive jusqu'au stade L4, indiquant des besoins spécifiques pour chaque stade adaptatif et par conséquent les ratios des allocations énergétiques expliquent le retard de transition du troisième stade au quatrième stade larvaire sur *P. cerasus* qui ne semble pas convenir aux besoins de croissance et de développement de ce dernier stade larvaire.

Nos résultats soulignent que le soutien des processus métaboliques, présente une éphémérité temporelle avec une diminution des réserves lipidiques à partir du stade nymphale jusqu'au stade adulte (Fig. 5). Par ailleurs, au moment de la diapause nymphale, les réserves lipidiques de la larve suffisent à assurer la métamorphose [24]. La biomasse structurelle de la larve est convertie en réserves d'énergie pour la nymphe et l'énergie contribuant initialement à la maturation des larves peut, en partie, être réallouée à la reproduction des adultes [24, 25]. Ainsi, l'allocation énergétique chez les larves n'est pas complètement découplée de la reproduction future de l'organisme à l'état adulte [25].

Une demande absolue en énergie pour les individus entraîne un désavantage lorsque les conditions et les ressources sont limitantes [26]. Ce désavantage peut être rétabli par la capacité de discrimination des larves pour les ressources trophiques disponibles, avec une préférence pour celles permettant la meilleure performance [22, 25, 24, 23,21]. Cette discrimination des supports nutritifs est très significative chez *C. tenebrionis* qui a montré une préférence pour *P. domestica* où les stades biologiques avaient acquis d'importantes réserves lipidiques comparés à ceux qui évoluent sur *P. cerasus* (Fig. 2).

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 a engendré une capitalisation d'une quantité limitée d'énergie pour l'expression d'un trait. Cet état de fait a conduit le bupreste sur *P. cerasus* à se maintenir tout en retardant le rythme de développement larvaire (Fig. 1 et 2). Kumbasli [27] a observé un résultat similaire chez la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

## 2. Impact de la composition du bois sur les fluctuations des réserves énergétiques des stades biologiques

Les fluctuations des réserves énergétiques de l'insecte sont conditionnées par la disponibilité et la variabilité des éléments nutritifs [28, 23, 21]. Le bois, servant de substrat nourricier aux larves de *C. tenebrionis*, peut conditionner son développement (Fig. 6). Une analyse des métabolites primaires et secondaires du bois des deux *Prunus* a été réalisée pour mieux comprendre l'impact de la composition chimique de l'hôte sur l'allocation des réserves lipidiques de *C. tenebrionis* (Fig. 4). Nos résultats montrent clairement le degré d'associabilité existant entre les éléments nutritifs mesurés et les réserves énergétiques des différents stades larvaires (Fig. 5 et 6).

La cellulose, l'hémicellulose et la lignine, sont trois éléments constituant la paroi cellulaire du bois et sont considérés comme réducteurs de digestibilité. À la différence de la cellulose, l'hémicellulose est principalement amorphe et par conséquent sa réactivité chimique plus importante, lui procure une dégradation plus élevée [29], et donc une digestibilité plus facile par les xylophages. Le stade larvaire (L2) évoluant sur *P. domestica* serait probablement lié positivement à la disponibilité de l'hémicellulose (Fig. 6). Ce lien trophique positif souligne la présence d'hémicellulase (enzyme responsable d'hydrolyse de l'hémicellulose) chez les jeunes stades larvaires de *C. tenebrionis* [30].

La cellulose représente 50 à 60% du bois, alors que l'hémicellulose ne représente que 10%. Cette faible proportion d'hémicellulose ne semble pas satisfaire les besoins nutritifs du dernier stade larvaire (L4) qui a trouvé d'autres voies de substitution pour couvrir ses besoins énergétiques, notamment l'azote et les protéines totales.

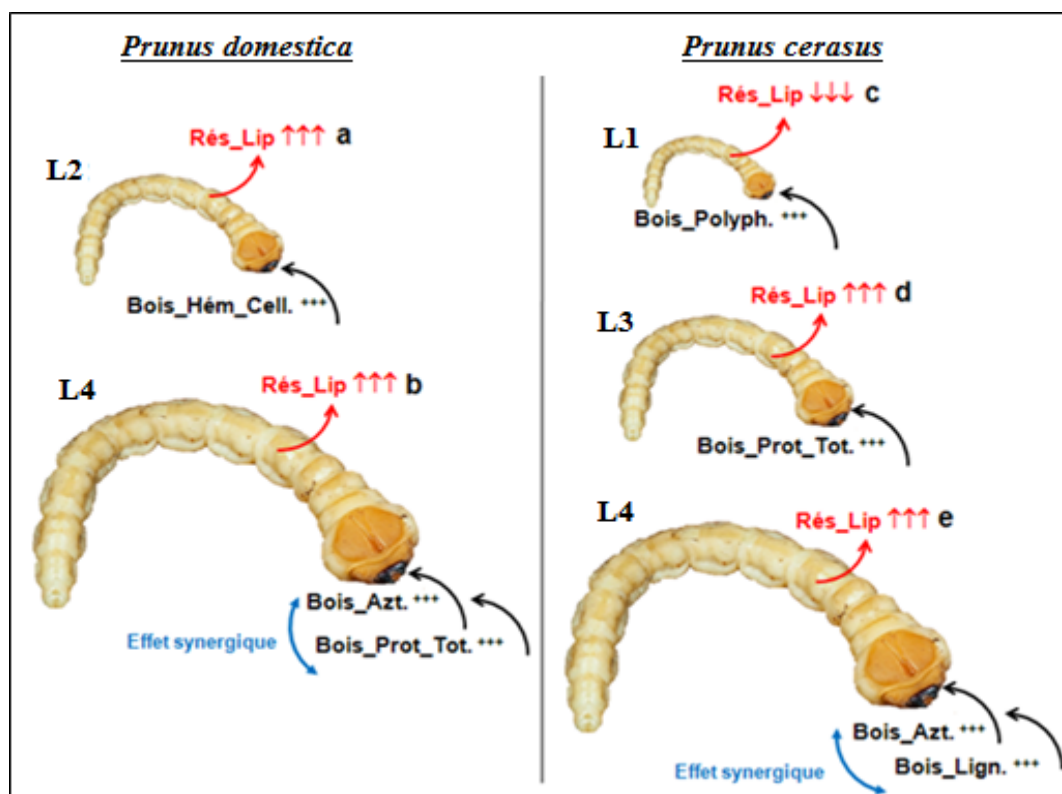


Figure 6: Liens entre les métabolites primaires et secondaires du bois des *Prunus* et les accumulations des réserves énergétiques lipidiques des larves *Capnodis tenebrionis* (L., 1758)

(Rés\_Lip : Réserves lipidiques, Bois\_Hém\_Cell. : Hémicellulose du bois, Bois\_Azt. : Azote du bois, Bois\_Prot\_Tot. : Protéines totales du bois, Bois\_Lign. : Lignine du bois).

Chez *P. cerasus*, la teneur en Azote et en lignine dans le bois sont corrélées positivement avec les concentrations des réserves lipidiques du quatrième stade larvaire, la relation positive observée entre les réserves lipidiques du quatrième stade larvaire et la teneur en lignine malgré la difficulté de son hydrolyse, laisse supposer que les faibles concentrations en protéines ne couvrent pas les besoins énergétiques importants de ce stade en comparaison avec *Prunus domestica* (Fig. 3 et Fig. 4).

Les polyphénols sont des métabolites secondaires et sont des alcools aromatiques intégrés dans le système de défense des plantes y compris contre les insectes phytophages [31]. Les deux *Prunus* ont montré des teneurs en polyphénols contrastées (Figure 3). Chez *P. cerasus* les teneurs élevées en polyphénols et en cellulose soulignent probablement la faible digestibilité du bois. De plus, cette forte concentration en polyphénols aurait significativement-négativement influencé le développement du premier stade larvaire (L1) de *C. tenebrionis*.

Du fait de leurs faibles réserves lipidiques et une microflore intestinale pauvre, les larves *Capnodis* (L1) qui évoluent sur *P. cerasus*, n'ont pas pu surmonter l'effet des polyphénols, à la différence des autres stades qui s'avèrent pouvoir mieux gérer l'effet néfaste de ses métabolites.

## CONCLUSION

La succession des différents stades biologiques est intimement liée à la composition chimique des plantes hôtes. Ces composés peuvent avoir des effets attractifs ou répulsifs lors de l'orientation olfactive, phagostimulants, anti-appétant ou toxique au moment de la prise alimentaire.

La composition en protéines et en azote conditionne l'évolution de *C. tenebrionis* et la transition des stades larvaires. Le manque de protéines peut être potentiellement remplacé par des polysaccharides présents dans le bois.

Toutefois, les plantes peuvent limiter l'utilisation des ressources par la production de métabolites secondaires tels que les polyphénols qui entraîneraient différents effets chez les insectes. Il en résulterait une baisse de ressources pour les insectes. Cette baisse pourrait être néfaste pour la succession des différents stades de développement de *C. tenebrionis*.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Sharaf N.S. (2010). Colonization of *Cerambyx dux* (Faldermann) in stone-fruit tree orchards in directorate, (Jordan). *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 6: 560-578.
- [2] Daly H.V., Doyen J. T. & Purcell A.H. (1998). *Introduction to insect biology and diversity*. New York, NY, USA, Oxford, Academic Press.
- [3] Larsson F.K. & Kustvall V. (1990). Temperature reverses size dependent male mating success of a cerambycid beetle, *Functional Ecology*, 4: 85-90.
- [4] Hodar J.A. & Zamora R. (2004). Herbivory and climatic warming, a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, borealpine species. *Biodiversity and Conservation*, 13: 493-500.
- [5] Gindin G., Kuznetsova T., Protasov A., Yehuda S. B. & Mendel Z. (2009). Artificial diet for two flat-headed borers, *Capnodis* spp. (Coleoptera: Buprestidae). *European Journal of Entomology*, 106: 573-581.
- [6] Damos P.T. & Savopoulou-Soultani M. (2010). Development and statistical evaluation of models in forecasting moth phenology of major lepidopterous peach pest complex for Integrated Pest Management programs. *Crop Protection*, 29: 1190-1199.
- [7] Bale J.S. & Hayward S.A.L. (2010). Insects overwintering in a changing climate. *Journal of Experimental Biology*, 213: 980-994
- [8] Rivney E, (1944). Physiologie et Ecologie du *Capnodis* en Palestine, Bull. Ent. Res., Vol. 35, London, 235P.
- [9] Van Soest P.J., Robertson J.B. & Lewis B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597.
- [10] Volochanenko L.E., 1936. Rapid determination of Nitrogen (in beet Pulp) by the kjeldahl Method, *Sovet sakhtar*, N° 9, 44-46.
- [11] Bradford M. (1976). A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
- [12] Ammar M., Barbouche N. & Benhamouda M. (1995). Action des extraits décomposés des feuilles de *Cestrum parqui* et de *Olea europea* sur la longévité et la croissance du criquet *Schistocerca gregaria*. *Medlinden Faculteit Landbouw Universiteit Gent*, 60: 831-835.
- [13] Lebreton P., Jay M. & Voirin B. (1967). Analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. *Analytical Chemistry*, 49: 375-383.
- [14] Van Brummelen, T.C., and S.C. Stuijzand. 1993. Effects of Benzo Pyrene on Survival, Growth and Energy Reserves in the Terrestrial Isopods *Oniscus Asellus* and *Porcellio Scaber*. *The Science of the Total Environment* 134(Supplement 2):921-930.
- [15] Spss inc., Systat version 7, *The System for Statistics Inc*, Evanston, IL, 2007.
- [15] Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P. D. (2001). PAST: Paleontological statistical software package for education and data analysis. *Palaeontologica Electronica*, 4(1), 92 p.
- [17] Gouguenheim M.R., Perrier D. & Rungs C.H. (1950). Remarques sur les larves de deux Buprestides du système racinaire des Rosacée fruitières (*Capnodis tenebrionis* L. et *Aurigena unicolor* O.). *Revue de Pathologie végétale et d'Entomologie agricole*, 29: 152-156.
- [18] Meseloh W.R. & Andreadis T. G. (1982). Possible mechanism for synergism between *Bacillus thuringiensis* and the Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae), parasitoid *Apanteles melanoscelus* (Hymenoptera: Braconidae). *Annals of Entomological Society of America*, 75: 435-438.
- [19] 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.
- [20] **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.
- [21] **Djazouli Z.E. & Merah O. (2014).** Leaf composition of poplar in natural plantation affects *Chaitophorus leucomelas* and *Phlocnistis unipunctella* dynamic populations. *Bothalia journal*, 44: 98–112.
- [22] **Cangussu J.A. & Zucoloto F.S. (1992).** National value and selection of different diets by adult *Ceratitis capitata* flies (*Diptera, Tephritidae*). *Journal of Insect Physiology*, 38: 485–91.
- [23] **Kara-Toumi F.Z., Doumandji-Mitiche B., Guendouz-Benrima A. & Merah O. (2010).** Seasonal dimorphism of the desert Locust in agricultural areas in the Sahara. *African Entomology*, 18: 313–321.
- [24] **Foucreau N. (2010).** Stratégies de survie en saison sèche au cours du stade de développement chez deux espèces du complexe d'*Anopheles gambiae*. Thèse de doctorat: Université de Rennes 1 (France).
- [25] **Kooijman S. (2000).** *Dynamic energy and mass budgets in biological systems*. New York, NY, USA, Cambridge, university Press.
- [26] **Reim M. (2006).** Maternal control of vertebrate dorsoventral axis formation and epiboly by the poudomain protein Spg/Pou2/Oct4. *Journal Development*, 133: 2757–2770.
- [27] **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 de doctorat: Faculté de foresterie et de géomatique, université Laval, Québec (Canada), 290p.
- [28] **Albert P.J. & Parisella S. (1985).** Feeding preferences of eastern spruce budworm larvae in two-choice tests with combinations of host plant extracts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 38: 221-225.
- [29] **Brodbeck B. & Strong D. (1987).** Amino acids nutrition of herbivorous insects and stress to host plants, In: Barbosa P. & Schultz J.C., eds. *Insect outbreaks*. San Diego, CA, USA: Academic Press, p. 347–364.
- [30] **Noguchi M., Ozaki Y., Azuma J. (2015).** Recent progress in technologies for Enzymatic peelig of fruit. *Japan agricultural research quarterly*, 49 (4), 313-318.
- [31] **Green T.R. & Ryan C.A. (1972).** Wound-induced proteinase inhibitor in plant leaves: A possible defense mechanism against insects. *Science*, 175: 776–777.