

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

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

## THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de: **DOCTORAT**

En: **BIOLOGIE**

Spécialité: **ENTOMOLOGIE APPLIQUEE**

Par :

**Mariam HEDJAL-CHEBHEB**

**Identification des principes actifs des huiles essentielles de quelques résineux et plantes aromatiques de provenance Algérienne et Tunisienne. Etude de leurs activités biologiques à l'égard d'un insecte ravageur des graines stockées, *Callosobruchus maculatus* F. 1775 (Coleoptera: Bruchidae)**

Soutenue publiquement le	<b>05 Février 2014</b> , devant le jury composé de:	
<b>YAKOUB-BOUGDAL. S</b>	Professeur, FSBSA, UMMTO	Présidente
<b>KELLOUCHE. A</b>	Professeur, FSBSA, UMMTO	Directeur de thèse
<b>DOUMANDJI-MITICHE. B</b>	Professeur, ENSA, Alger	Examinatrice
<b>BENJEMAA-MEDIOUNI. J</b>	Maitre de conférences, INRA, Tunis	Examinatrice
<b>SADOUDI-ALI AHMED. Dj</b>	Professeur, FSBSA, UMMTO	Examinatrice
<b>CHAKALI. G</b>	Professeur, ENSA, Alger	Examineur

A la mémoire de ma mère **Hedjal née Boumbar fazia**, décédée le 29 juillet 2003, que j'aurais tant aimé avoir à mes cotés. Repose en paix maman !!

## Dédicaces

Je dédie ce travail à tous les membres de ma petite et grande famille, qui m'ont permis d'avancer et de faire aboutir cette thèse.

A

Mon très cher papa, qui a toujours cru à mes études. Que Dieu te garde et te protège

Mon très cher Mari Malik

A Mes deux enfants: David Lévi et Adam Jonathan

Mes frères et sœurs

Mes neveux et nièces

Ma Belle famille

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de thèse, je tiens à remercier :

**Le professeur Saliha YAKOUB**, pour qui j'éprouve un profond respect, pour son travail, son parcours et pour l'honneur qu'elle me fait de présider le Jury de cette thèse.

**Le professeur Abdellah Kellouche**, le Directeur de thèse, pour avoir accepté de m'intégrer dans son équipe de recherche depuis l'année 2002, ainsi que pour sa générosité, surtout pendant la période de la rédaction. Son œil juste, avisé et critique m'a permis d'être plus attentive. Il a su me transmettre avec beaucoup de générosité et d'indulgence la passion de la recherche, Il est pour moi une source de motivation supplémentaire pour la suite de mon parcours. Je tiens à lui exprimer ma reconnaissance qui est sans bornes.

**Le professeur Mohamed Larbi Khouja** qui m'a accueillie dans son laboratoire à l'INRGREF de Tunis et a mis à ma disposition son expérience et les meilleures conditions

matérielles pour réaliser une grande partie de ce travail de thèse. Sa simplicité, sa générosité sont aux dimensions de son envergure scientifique. Ma reconnaissance est grande.

**Les Professeurs Bahia Doumandji, Djamila Sadoudi et Chakali G** pour qui j'éprouve un profond respect et pour l'honneur qu'elles me font d'examiner cette thèse.

**Le Docteur Jouda Mediouni Bendjema** , pour m'avoir donné des documents qui m'ont beaucoup aidé à la rédaction de l'article et de la thèse. La spontanéité avec laquelle elle a accepté d'examiner ce travail m'a honoré.

Je suis particulièrement reconnaissante envers **Rosa Benabdesslam, Maître de conférences** au département de biologie, pour son aide précieuse lors de la rédaction de l'article et de la thèse. Son intérêt pour la science et ses qualités morales sont pour moi une source d'inspiration. Je tiens à lui exprimer ma reconnaissance qui est sans limites.

Mes remerciements s'adressent également à mes collègues du département de Biologie et de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université de Tizi Ouzou, qui ont contribué, chacun à son niveau, pour rendre possible mes déplacements à l'étranger, indispensables pour l'aboutissement de cette thèse.

A **Monsieur Ghani Hamaz** enseignant au département de Mathématique et informatique, pour l'aide qu'il m'a apporté pour l'analyse statistique avec le logiciel R (Tukey).

**Un chaleureux merci à Madame Karima Taleb Toudert pour son amitié, son soutien et son aide durant notre formation en Tunisie.**

D'autres personnes m'ont encouragé à clôturer ce travail par leur amitié, merci à Dehbia, Karima de l'église, Karima Ghebbi, Dalila Iouni, Djoher, Toufik, Thilleli, Nadjat, leila, Nabila, Nassima, Faiza, Samira, Radia, Lynda de la bibliothèque.

## 1. Introduction

Le niébé, *Vigna unguiculata* L. Walp. 1843 (Fabaceae : Rosales), est la plus importante légumineuse à graines dans les savanes tropicales d'Afrique. Originaire de l'Afrique du Sud-Est, le niébé s'est diffusé dans le monde entier. Il est cultivé et consommé extensivement en Asie, en Amérique du sud et du centre, aux Caraïbes, aux Etats Unis, dans le Moyen Orient et en Europe. C'est un aliment très apprécié en Afrique car ses feuilles, gousses vertes et graines sèches peuvent être consommées et commercialisées (Ehlers et Hall, 1997).

Son intérêt particulier en Afrique réside dans son adaptation à la sécheresse, du fait des variétés à cycle très court, un potentiel de fixation de l'azote dans les aires de cultures traditionnelles dont les sols sont pauvres, une tolérance aux hautes températures, une adaptation à une gamme large de pH (4,5 à 9), de multiples usages comme légume vert (feuille et gousses), graines sèches et fourrage (Brink et Belay, 2006).

La superficie cultivée annuellement dans le monde est estimée à plus de 12,5 millions d'hectares, dont 9,5 millions sont réalisés en Afrique de l'Ouest. Cette région est la première productrice et consommatrice de niébé dans le monde. La production mondiale du niébé est estimée à 3,3 millions de tonnes de grains dont 64 % sont réalisées en Afrique

Les principaux pays producteurs en Afrique de l'Ouest sont : le Nigéria, le Niger, le Mali, le Burkina-Faso, le Sénégal et le Ghana. Le rendement moyen mondial du niébé est relativement faible et se situe à moins de 300 kg à l'hectare. En Afrique, les rendements moyens varient de 50 à 550 kg / ha en fonction des variétés utilisées et du système de culture (Grubben, 2004).

Les légumineuses subissent de nombreuses attaques de la part d'une multitude de ravageurs aussi bien au champ que dans les entrepôts. Dans la famille des Bruchidés, il existe deux groupes, le premier renferme les bruches se développant au champ dans les graines encore vertes et qui ont une seule génération (univoltine); c'est le cas de la bruche de la fève, et de celles du pois et des lentilles.

Le deuxième groupe renferme les bruches multivoltines qui se multiplient à l'intérieur des entrepôts de stockage dans les graines sèches, c'est le cas de *Callosobruchus maculatus* (bruche du niébé), *Callosobruchus chinensis* (la bruche chinoise), *Acanthoscelides obtectus* (la bruche du haricot) et de *Callosobruchus subinnotatus* (la bruche africaine du niébé) (Balashowsky, 1962).

*C. maculatus* est un ravageur cosmopolite des graines de légumineuses dans de nombreuses régions sahariennes de l'Afrique de l'ouest où une grande partie de la population rurale vit des récoltes légumières (Grubbin, 2004).

Les dégâts sont apparents 2 à 3 mois après les récoltes et presque toutes les graines peuvent être trouées dans les 6 mois, tout en affectant leur pouvoir germinatif. L'infestation des gousses débute aux champs mais la population des bruches croît rapidement après le dépôt des œufs sur les graines, dans lesquelles elles complètent leur développement (Grubbin, 2004; Brink et Belay, 2006).

Durant le stockage, plusieurs générations se succèdent et causent des pertes considérables pouvant atteindre 90 et 100 % (Sech et *al.*, 1991; Tauzubil, 1991). Ouedraogo et *al.* (1996) estiment les pertes en poids durant le stockage à 800 g/kg de graines.

Afin de lutter contre les insectes ravageurs des denrées stockées plusieurs méthodes sont préconisées.

La lutte préventive se pratique avant l'installation des ravageurs; hygiène rigoureuse des moyens de transports, des locaux de stockage, isolement des nouvelles récoltes de celles qui sont anciennes dans l'entrepôt et utilisation d'emballages résistants, tels que des sacs en plastique doublés intérieurement de coton (Caswell, 1973 cité par Kellouche, 2004).

Les variétés de niébé résistantes peuvent améliorer l'efficacité des insecticides et permettre la réduction du nombre des traitements, voire de les supprimer, tout en atténuant les effets indésirables (Kumar, 1991). Selon Doumma et *al.* (2001), les variétés de *V. unguiculata* (063-84 et 044-84) réduisent l'infestation de *C. maculatus* jusqu'à 80 %.

Par ailleurs, des moyens physiques peuvent être utilisés pour lutter contre les ravageurs des graines stockées. Mbata et *al.* (1996) signalent une mortalité des adultes de 100 %, après une exposition de 24h à 100 % de dioxyde de carbone. De même, une mortalité de 100 % des larves jeunes après 48 heures d'exposition et 100 % des larves âgées, après 72 h d'exposition, ont été rapportées par ces mêmes auteurs.

Bhalla et *al.* (2008) notent que l'exposition, à une température de 50 °C pendant 12 h, des graines de *V. unguiculata* infestées avec les différents stades de *C. maculatus* provoque la mort de tous les individus (100 %).

La synthèse des données issues de plusieurs années d'expérimentation montre que les mélanges de plusieurs formulations de pyréthrinoides et d'organophosphorés s'avèrent plus intéressants que l'application des pyréthrinoides seuls. Par contre, une plus grande efficacité et une plus grande persistance d'action de la deltaméthrine à l'égard de *C. maculatus* ont été mises en évidence par Seck et *al.* (1991).

Sanon et *al.* (2002) notent l'effet toxique des méthyl-isothiocyanates (0,16 mg/l) sur les œufs de *C. maculatus*.

Selon Grubben (2004), la lutte chimique contre les insectes se pratique chez le haricot kilomètre, mais pas sur le niébé, en raison des risques qu'elle comporte, tant pour l'agriculture que pour les consommateurs, surtout lorsque les feuilles sont récoltées.

Raheja (1976), cité par Kumar (1991), estime que les pertes potentielles en rendements des cultures de niébé, infestées de *C. maculatus*, dépassent 90 % et que 70 % de ces dégâts ont lieu pendant la floraison et la formation des gousses. Si le niébé est produit dans un système de monoculture, il est pratiquement impossible d'obtenir la moindre récolte significative sans utiliser les insecticides pour lutter contre les ravageurs.

Selon Jean Noel et *al.* (2005), les insecticides sont à la fois efficaces, d'un coût relativement faible, faciles d'emploi et contribuent au développement du système de production intensif. Cependant, leur toxicité, l'apparition des souches résistantes, la contamination des eaux superficielles et souterraines et la pollution de l'air incitent à rechercher des méthodes alternatives. L'utilisation d'extraits de végétaux (poudre, huile végétale et huile essentielle) offre à cet effet beaucoup de perspectives.

En effet, de nombreux travaux ont mis en évidence, un effet toxique ou répulsif d'extraits de plantes aromatiques sur de nombreux insectes des denrées stockées.

Ketoh et *al.* (1998) ont mis en évidence l'activité de *Cympobogon citratus*, *C. nardus*, *C. schoenathus*, *Eucalyptus citriodora*, *Lavandula* sp et de *Lippia multiflora*, sur *C. maculatus*, le taux d'éclosion des œufs est nul à la dose 33 µl/l.

Selon Lale et Mustapha (2000), l'application de 100 mg de neem / 5g de graines, réduit le nombre d'individus émergeant de 91,1 à 29,7 %.

Pascual-Villalobos et Ballesta-Acosta (2003) notent que sur 18 variétés d'huiles essentielles de *O. basilicum*, 7 ont montré une action ovicide sur les femelles de *C. maculatus*, le taux de mortalité variant de 40 à 100 % à la dose 5 µl/l.

Aggarwal et *al.* (2001b) ont signalé l'activité ovicide et répulsive du L-menthol, extrait de l'huile essentielle de *Mentha arvensis* à l'égard de *C. maculatus*, *Sitophilus oryzae* et de *Tribolium castaneum*. Cet extrait est très répulsif à l'égard de ces trois insectes ravageurs à la dose 0,353 mg/cm<sup>2</sup>.

D'après Kétoh et *al.* (2005), l'huile essentielle de *C. schenanthus* (33,3 µl/l) provoque 100 % de mortalité chez *C. maculatus* par fumigation, après 24 h d'exposition.

Par ailleurs, une inhibition de la ponte et une mortalité des adultes de *C. maculatus* et de *C. subinnotatus* ont été observées avec l'huile essentielle de *C. nardus* et *C. giganteus*, à la dose de 5µl/l (Nyamador et *al.*, 2010).

Bachrouh et *al.* (2010) ont montré que l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* provoque 100 % de mortalité chez les adultes de *T. castaneum*, à la dose 1023 µl/l et après 24 h d'exposition.

En revanche, peu d'études ont été réalisées sur l'effet des huiles essentielles des résineux à l'égard des ravageurs des graines stockées en général et sur leurs stades larvaires, en particulier.

Nous pouvons citer celle de Keita (2000) qui a évalué l'effet de *Tetraclinis occidentalis* sur *C. maculatus* et de Tapondjou et *al.* (2005) qui ont étudié l'activité biologique de l'huile essentielle de *Cupressus sempervirens* et de *E. saligna* sur *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae) et *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae).

Notre étude s'inscrit dans ce contexte; en effet, après avoir procédé à l'extraction des huiles essentielles de quatre conifères et de quatre Myrtacées, de deux provenances

(Algérie et Tunisie), nous avons procédé à l'identification de leurs constituants qui seront présentés dans le premier chapitre.

Le deuxième chapitre a été consacré à l'étude de l'effet des huiles essentielles des conifères et des Myrtacées *via* différents tests (contact, inhalation et répulsivité) et en évaluant les paramètres biologiques de *C. maculatus* et agronomiques de *V. unguiculata*.

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié l'efficacité des huiles essentielles de provenance tunisienne sur les différents stades de développement de *C. maculatus* (les œufs et les individus âgés de 12 et de 18 jours). Les paramètres biologiques étudiés sont: le taux d'éclosion des œufs et leur viabilité et celle des individus âgés de 12 et 18 jours.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Matériels biologiques

#### 2.1.1. Présentation de *Callosobruchus maculatus*

*C. maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) est d'origine inconnue et son affinité est subtropicale et tropicale. Elle est répandue dans le monde entier et dans les régions chaudes, et elle s'attaque aux genres *Vigna* et *Cicer* (Grubben, 2004).

L'adulte mesure 2 à 3,5 mm de long, les élytres sont généralement dépassés par le pygidium. Ce dernier est rouge plus ou moins brunâtre et orné d'une pubescence blanche. Les mâles ont des antennes noires avec les 4 premiers articles roux et qui sont entièrement rouges chez la femelle (Figure 1). Les adultes ne s'alimentent pas, ils vivent des réserves accumulées pendant le développement larvaire (Balachowsky, 1962).

La femelle pond en moyenne 75 à 100 œufs. La ponte peut se prolonger de 15 jours à un mois (température de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  et une humidité de  $70 \pm 5\%$ ). Dans les conditions les plus favorables, l'éclosion se manifeste de 3 à 4 jours après la ponte, mais à basse température, l'incubation peut se prolonger pendant plusieurs semaines. Le développement larvaire et nymphal se déroule entièrement à l'intérieur du grain. Pour pénétrer dans la graine, la jeune larve s'appuie sur la face interne du chorion puis creuse sa galerie. Au fur et à mesure que la larve pénètre, elle rejette en arrière de la poudre du grain qui s'accumule sous le chorion de l'œuf qui devient alors blanc opaque. La durée du cycle peut varier dans de très grandes limites et cet insecte polyvoltin peut avoir 10 générations/an (Balashowsky, 1962 ; Kellouche, 2004).



**Figure 1 :** Femelle de *Callosobruchus . maculatus* (Laboratoire d'entomologie appliquée, UMMTO).

### 2.1.2. Présentation de la plante hôte, *Vigna unguiculata*

Le nom de *V. unguiculata* est tiré du latin *Vigna* = liane et *unguiculus* = ongle, griffe, car le sommet de la gousse ressemble à une griffe. Au sein de *V. unguiculata*, il existe 5 groupes de cultivars différents:

**1<sup>er</sup> groupe :** *unguiculata* (niébé, haricot à œil noir), il est cultivé comme légume sec et légume frais. La plupart des cultivars africains appartiennent à ce groupe.

**2<sup>ème</sup> groupe :** *sesquipedalis* (haricot kilomètre ou dolique asperge, *Dolichos sesquipedalis*, *V. sesquipedalis*). C'est un important légume en Asie du Sud-Est, mais d'importance secondaire en Afrique.

**3<sup>ème</sup> groupe :** *biflora* (Catjang) est cultivé pour ses graines, ses gousses et pour le fourrage, en Inde, en Asie du Sud Est et également dans certaines parties de l'Afrique.

**4<sup>ème</sup> groupe :** *melanophthalmus*, qui est originaire d'Afrique de l'ouest. Les gousses contiennent relativement peu de graines.

**5<sup>ème</sup> groupe :** textile, c'est un petit groupe cultivé seulement au Nigéria (Cronquist, 1981 ; Grubben, 2004 ; Brink et Belay, 2006).

Le haricot dolique est originaire d'Afrique. C'est en Afrique de l'ouest que se trouve la plus grande diversité génétique du niébé qui est cultivé dans les régions des zones de savane, du Burkina Faso, du Ghana, du Togo, du Bénin, du Nigeria et du Cameroun.

Le niébé fut introduit en Europe vers 300 avant JC et en Inde vers 200 avant JC. Il est le légume sec le plus important des zones de savanes d'Afrique occidentale et centrale, où il constitue aussi une précieuse source de fourrage.

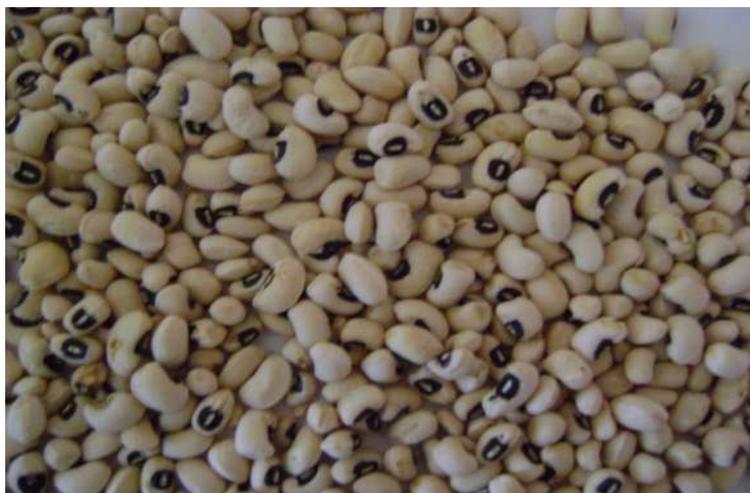
Il s'agit d'une plante herbacée annuelle et grimpante. Sa tige peut atteindre 4 mètres de long, de forme anguleuse ou presque cylindrique. Les deux premières feuilles sont simples et opposées, les feuilles suivantes sont alternes.

Les feuilles, de 7 à 12 cm de long, sont trifoliées, de couleur verte et parfois marbrée de violet; la foliole terminale est large (Figure 2). La racine principale a une longueur supérieure à 30 cm au début de la floraison. La fleur rose à violette est parfois blanche ou jaune.

Le fruit est une gousse linéaire cylindrique, de 8 à 30 cm de long, rectiligne et légèrement courbée, pourvue d'un bec court brun à pâle à maturité, contenant 8 à 30 graines. Les réserves de la graine se trouvent dans les deux volumineux cotylédons qui occupent tout le volume de la graine (Figure 3). Le cycle dure de 160 à 196 jours (Borget, 1989 ; Grubben, 2004 ; Brink et Belay, 2006).



**Figure 2 :** Feuilles et gousses de *V. unguiculata* (Photographie originale, Azazga, 2012).



**Figure 3 :** Graines de *V. unguiculata* (Photographie originale, Tizi –Ouzou, 2012).

#### **- Valeurs nutritionnelles de *V. unguiculata***

Les jeunes feuilles de niébé, récoltées à 45 jours après le semis, sont à recommander car elles ont une valeur nutritionnelle meilleure que les feuilles récoltées à 60 jours après le semis (Clautilde et *al.*, 2011).

Le taux de protéines des graines de *V. unguiculata* varie entre 20 et 24,5 % (Hussain et Basaly, 1998; Preet et Punia, 2000; Grubben, 2004).

Il a été démontré que la valeur nutritionnelle des graines de niébé est plus riche lorsqu'elles sont mûres, le taux des protéines passe de 3 g à 23,5 g ; la vitamine A de 0 à 50 UI et la valeur énergétique de 90 à 336 Kcal (Tableau 1).

**Tableau 1 :** Valeur nutritionnelle de 100 g de la partie comestible des graines mûres (Gm) et immatures (Gi) de *V. unguiculata* (Grubben, 2004 ; Brink et Belay, 2006).

	Eau (g)	Energie Kcal	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Ca (mg)	Mg (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Zn (mg)	Vitamines A (UI)	Fibres (g)
Gi	77,2	90	3	0,4	18,9	126	51	53	1,1	1	0	5
Gm	12	336	23,5	1,3	60	110	184	424	8,3	3,4	50	10,6

### 2.1.3. Présentation des plantes aromatiques utilisées

Nous avons testé 8 espèces de plantes: *Tetraclinis articulata* Vahl, Mast., 1892, *Cupressus sempervirens*, L.,1735, *Pinus halepensis* Mill.,1768, *Tetraclinis orientalis* (Vahl) Mast.,1892), *Eucalyptus cinerea* L'Her,1789, *Eucalyptus maidenii* Muell.,1890, *Eucalyptus lehmanii* Muell., 1890 et *Eucalyptus astringens* L'Her, 1789. Ces dernières ont fait l'objet d'une extraction de leur huile essentielle.

#### - *T. articulata*

*T. articulata* (Pinales ; Cupressaceae) est une espèce quasiment endémique de l'Afrique du Nord. Elle est surtout présente au Maroc (900.000 ha), dans les zones de piémont des chaînes atlasiques et sur le plateau central. Le thuya est assez largement répandu en Oranie littorale et dans quelques stations isolées de l'Algérois (situation littorale à l'ouest d'Alger) (Figure 4). En Tunisie, cette espèce est bien présente entre Bizerte et Djbel Zaghouane (Figure 5). En dehors de cette zone, le thuya se trouve dans quelques petites localités au sud de l'Espagne et dans l'île de Malte. Elle se développe dans les zones semi-arides (Précipitations moyennes : 250 mm/an) (Quezel et Medail, 2003).

C'est un arbre qui peut atteindre jusqu'à 15 m de haut. Il est caractérisé par une cime claire et un port pyramidal irrégulier, avec un tronc de 30 à 50 cm de diamètre (Figure 4). Son feuillage est persistant; les feuilles paraissent verticillées par quatre, longuement soudées à la tige (Bernardin, 1943).

Les rameaux, verts, aplatis et couverts par les feuilles, sont articulés, d'où leur nom de *T. articulata*. La floraison est monoïque. Elle fleurit en automne et fructifie en été (Quezel et Medail, 2003).

Le bois de thuya est surtout utilisé dans le secteur artisanal en menuiserie et en ébénisterie. En phytothérapie, les différentes parties de la plante sont utilisées contre la tension et les fièvres infantiles. Le rendement en huile essentielle est de 0,41% (Cronquist, 1981 ; Quezel et Medail, 2003 ; Bourrhiss et al., 2007).



**Figure 4 :** *T. articulata* (Jardin d'essai, Alger, Juin 2006).



**Figure 5 :** *T. articulata* (Korbos, Tunisie) (Photographie originale, septembre 2012).

**- *T. orientalis***

*T. orientalis* (Pinales ; Cupressaceae) est originaire du Nord et de l'ouest de la Chine et du nord de l'Iran. Elle se montre peu sensible au gel sous les climats continentaux. Cet arbre peut atteindre 10 à 15 mètres de hauteur. Sa mince écorce, brun gris à brun rouge, se desquame en fines bandes. Ses palmes sont aplaties en palmettes. Ses feuilles opposées en forme d'écailles sont d'un vert sombre et mesurent 1,2 à 2,5 cm de long. Elles sont très serrées les unes contre les autres et couvrent les rameaux à la manière des tuiles d'un toit; lorsqu'elles sont froissées, elles dégagent un faible parfum de résine (Debazac, 1991; Bartel, 1997).

Les graines sont ovoïdes et mesurent environ 5 mm de long, le poids moyen de 1000 graines varie entre 15 à 18 gr. Cette plante est utilisée comme brise vent dans les mêmes conditions que *C. sempervirens*, dans les jardins et les parcs (Figure 6) (Debazac, 1991 ; Bartel, 1997 ; Riou- Nivet, 2001).



**Figure 6 :** *T. orientalis* de provenance Algérienne (Photographie originale, Tizi ouzou, septembre 2012).

## - *Pinus halepensis*

*P. halepensis* (Pinales. Pinaceae) est une espèce typique du pourtour méditerranéen (France, Italie, Espagne, Grèce et Afrique du Nord). Cette espèce est connue sous plusieurs appellations, le pin de Jérusalem, le pin blanc, le sanouber halabi. Le pin d'Alep n'existe pas à l'état naturel dans la région d'Alep en Syrie, mais c'est *Pinus brutia* que nous trouvons. Le groupe « halepensis » comprend 5 espèces : *Pinus brutia*, *Pinus eldarica*, *Pinus stakwiezii* et *Pinus pthylus* (Nahal, 1962, cité par khoudja, 1986).

C'est un arbre de 20 à 25 m de hauteur et de 1,2 à 1,5 m de diamètre (Figure 7). Le tronc est sinueux et penché. La cime est aplatie, irrégulière et claire. Le bourgeon est cylindrique, pointu et non résineux. Les cônes ont une longueur moyenne de 6 à 12 cm et des pédoncules épais. L'écorce est lisse et gris argenté. L'arbre fleurit au printemps et fructifie en été. La reproduction est assurée par la graine et également par la voie asexuée (Gausсен et al., 1982). Cet arbre accepte tous les types de roches mères mais préfère le calcaire. Il est utilisé pour la protection des sols et se développe mieux que toute autre espèce sur des sols très dégradés. Sa régénération naturelle est facile (Riou-Niver, 2001).

Cette espèce est utilisée pour la fabrication du contre plaqué, des petites charpentes, du papier et de la résine. Cette dernière est utilisée dans les peintures, les vernis et dans de nombreux produits d'entretien (Sghaier, 2005).



**Figure 7 :** *Pinus halepensis* de provenance Tunisienne (Institut National de Recherche et de Génie Rural, Tunisie, Photo originale, septembre 2012).

### - *Cupressus sempervirens*

*C. sempervirens* (Pinales ; Cupressaceae) est une espèce originaire de l'Est du bassin méditerranéen (Iran, Syrie et chypre) mais elle est cultivée sur tout le pourtour méditerranéen (Figure 8). C'est un arbre élancé, conique et toujours vert (Riou- Nivert, 2001).

Ses rameaux sont courts, anguleux (à 4 angles), de couleur vert grisâtre et insérés à angle droit. Ils sont recouverts de feuilles écailleuses. Ses branches ramifiées et dressées se disposent en une longue cime pyramidale (Figure 9). Cet arbre est sensible au froid (au dessous de -15 °C), il résiste bien à la sécheresse (600 mm/an) et il est moyennement exigeant en lumière. Sa croissance est assez rapide sur la hauteur mais lente sur le diamètre (Bartel, 1997 ; Riou- Nivert, 2001).

Le rendement en huiles essentielles des rameaux feuillés est de 2 % (Raynaud, 2007). Le cyprès vert est utilisé pour l'ornementation et comme brise vent, la confection de coffres et de meubles, dans les jardins et les cimetières (Riou- Nivert, 2001 ; Raynaud, 2006 ; Delille, 2010). Au Maroc, la résine du cyprès est très utilisée par voie orale contre la toux et les infections thoraciques (Bellakhdar, 1997).



**Figure 8:** *Cupressus sempervirens* de provenance Tunisienne (Institut National de Recherche et de Génie Rurale, Ariana, Tunisie) (photo originale, septembre 2012).



**Figure 9 :** *C. sempervirens* de provenance Algérienne (El Achour, Alger, juin 2006).

#### **-Les différentes espèces du genre *Eucalyptus***

Le genre *Eucalyptus*, originaire d'Australie, appartient à l'ordre des Myrtales et à la famille des Myrtacées (Cronquist ,1981).

Il a été introduit en Algérie en 1856 par Ramel qui l'importe d'Australie dans le but d'assainir les régions marécageuses (Delille, 2010).

En 1957, la Tunisie a introduit 117 espèces d'*Eucalyptus* dans plus de 30 arboretums, répartis sur tout le territoire tunisien. Il est utilisé pour la production de bois de mine et la lutte contre l'érosion.

Dans le monde, environ 800 espèces du genre *Eucalyptus* ont été acclimatées, dont seulement 500 sont utilisées à l'échelle industrielle. La superficie des plantations forestières s'est accrue d'environ 2,8 millions d'hectares par an entre 2000 et 2005. 87 % d'entre elles sont des plantations destinées principalement à la production du bois et des fibres (Richter, 1993, Dellile, 2010).

Les huiles essentielles d'*Eucalyptus* sont utilisées surtout en industrie pharmaceutique et cosmétique. Le principal pays producteur est la chine avec 2/3 de la production mondiale (El Aissi, 2011).

Les feuilles sont exploitées pour l'extraction des huiles essentielles riches en 1,8 – cinéole (plus de 70%), composé commun dans le commerce sous le nom d'eucalyptol et qui est largement utilisé en médecine humaine (Bruneton, 2005).

**- *E. maidenii***

*E. maidenii* est un arbre de 45 m de hauteur (Figure 10), il se trouve dans les altitudes allant de 600 à 900 m et préfère les sols profonds et humides. Les feuilles juvéniles sont opposées et de forme ovale. Les feuilles adultes sont alternes, étroitement lancéolées et de couleur vert foncé. L'inflorescence est axillaire de 3 à 7 fleurs par ombelle, son pédoncule est de 10 à 15 cm de longueur. Le fruit attaché par un court pédicelle est de forme ovoïde. La floraison a lieu de mars à septembre. Le rendement en huiles essentielles est de 3,3 % (El Aissi, 2011).



**Figure 10 :** *E. maidenii* (Korbos, Tunisie, septembre, 2012).

**- *E. astringens***

*E. astringens* est un arbre de 10 à 20 m de hauteur et de 0,5 à 0,75 m de diamètre, à écorce lisse et brune (Figure 11). Les feuilles juvéniles sont opposées de 3 à 4 paires.

Les feuilles adultes sont lancéolées et de 12 fois 2 cm de dimensions. L'inflorescence est axillaire, comprenant 3 à 7 fleurs par ombelle. La floraison s'étale d'Octobre à Novembre. Le fruit est hémisphérique et de 6 à 9 mm.

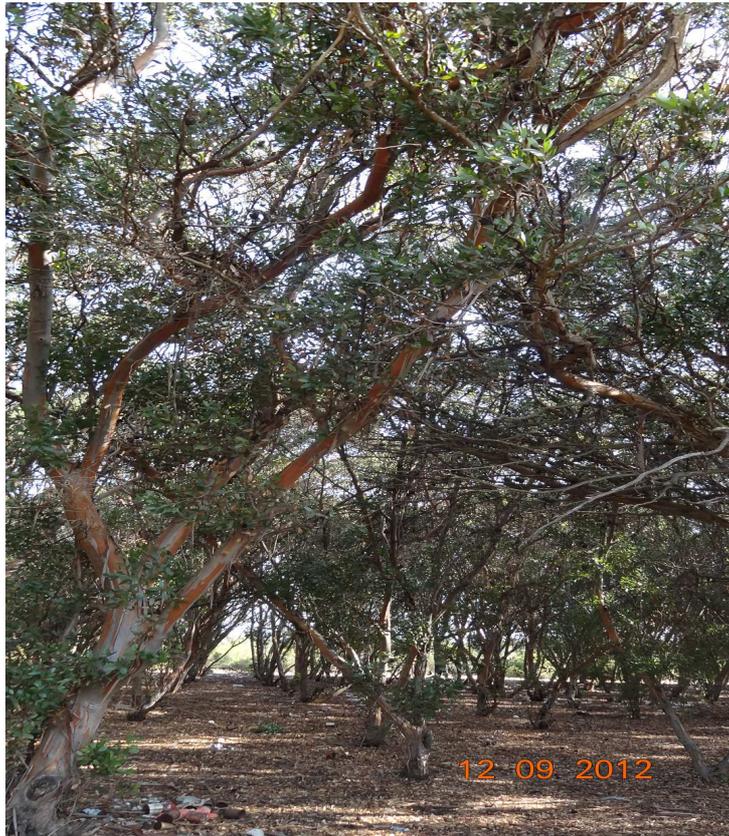
Cet arbre préfère les sols calcaires et s'étend sur des zones où la pluviométrie varie de 350 à 550 mm, à hiver doux et été chaud et sec (étage semi-aride méditerranéen). Le rendement en huiles essentielles est de 3,8 % (El Aissi, 2012).



**Figure 11:** *E. astringens* (photo originale, Korbos, Tunisie, septembre 2012).

#### - *E. lehmanii*

*E. lehmanii* est un petit arbre de 9 m de hauteur qui se rencontre dans les régions arides mais s'adapte à d'autres climats. Les feuilles juvéniles sont opposées de 5 à 6 paires ou plus, ayant une dimension de 4 × 4 cm. Les feuilles adultes sont alternes et de dimension 9 × 3 cm. L'inflorescence est axillaire et de 7 à 15 fleurs par ombelle. Le fruit fusionné en masse globuleuse mesure de 50 à 80 mm. Le rendement en huile essentielle est de 3,6 % (Figure 12) (El Aissi, 2012).



**Figure 12:** *E. lehmanii* (Korbos, Tunisie, photo originale, septembre 2012).

**- *E. cinerea***

*E. cinerea* est un arbre des sols pauvres, ayant une hauteur d'environ 15 m, l'écorce est lisse au niveau des branches et brillante au niveau du tronc (Figure 13).

Les feuilles juvéniles sont opposées avec un nombre indéfini de paires. Leur dimension est de 4,5 × 5,5 cm. Les feuilles adultes sont opposées, de 15 × 4 cm de dimension et largement lancéolées. L'inflorescence est axillaire, avec trois fleurs par ombelle. La floraison a lieu d'octobre à Novembre. Le rendement en huile essentielle est de 3,9 % (El Aissi, 2011).



**Figure 13 :** *E. cinerea* (Korbos, Tunisie, photo originale, 2012).

## **2.2. Récolte des échantillons des espèces végétales étudiées**

Les feuilles de *T. articulata* ont été récoltées dans le jardin d'El-Hama (Alger) en Juin 2006; celles de *C. sempervirens* proviennent du jardin d'El-Achour (Alger). Pour *T. orientalis*, les échantillons ont été récoltés dans le jardin de la faculté de médecine (Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou), la région de Tizi-Ouzou est située dans l'Etage bioclimatique subhumide à hiver tempéré.

Les espèces Tunisiennes (*E. lehmani*, *E. astringens* et *T. articulata*) proviennent de Korbos (Arboretum de Korbos), situé au Nord-Est de la Tunisie (Capbon). Cette région est située dans l'étage bioclimatique à hiver chaud. Les échantillons de *C. sempervirens* et *P. halepensis* ont été récoltés au niveau de l'Institut National de Recherche et de Génie rurale (INRGREF, Tunis).

*E. maidenii* et *E. cinerea* proviennent de l'arboretum de Souinat, situé à une dizaine de kilomètres d'Ain Drahem (Nord de la Tunisie), se trouvant dans l'étage bioclimatique humide inférieur à hiver chaud.

Les échantillons récoltés sont placés dans un endroit sec, à l'abri de la lumière et de la chaleur, puis étalés sur du papier journal pour un séchage pendant une semaine.

## **2.3. Extraction des huiles essentielles**

### **2.3.1. Les espèces de provenance Algérienne**

L'extraction des huiles essentielles des différentes espèces a été réalisée en juin 2006, au centre de recherche et de développement de Saidal à El-Harrach (Alger). La technique utilisée est l'entraînement à la vapeur d'eau. Avant d'utiliser l'extracteur pilote, nous avons effectué deux lavages ; l'un à blanc avec de l'eau distillée d'une durée de trois heures, et l'autre d'une même durée avec 1 kg de matériel végétal destiné à l'extraction.

L'alambic est rempli à un niveau d'eau voulu, puis nous avons rajouté le matériel végétal (25 Kg). La température de l'appareil est réglée à 100° C pour favoriser au maximum l'évaporation de l'eau et de l'huile essentielle sans la détériorer.

Les vapeurs quittant la chaudière vont vers un réfrigérant rempli d'eau et sont récoltées dans un tube métallique inoxydable. Ce dernier est raccordé avec le serpentín du réfrigérant dont la température avoisine les 13 °C. De ce fait, les vapeurs se condensent dans le serpentín et sont récupérées dans l'essencier (Figure 14).

La séparation entre l'eau et l'huile essentielle se fait en premier lieu dans l'essencier, car l'huile surnage l'eau. Cette eau est récupérée en ouvrant le robinet inférieur de l'essencier de l'extracteur pilote dans une ampoule à décanter. La durée de l'extraction est de 3h, elle est suffisante pour avoir le maximum d'huile essentielle.

Le mélange récupéré dans une ampoule à décanter se sépare en deux phases non miscibles. Dans la partie inférieure se trouve l'eau (phase aqueuse) et la partie supérieure comporte l'huile essentielle (phase organique).

Avant la récupération de l'huile essentielle, nous avons utilisé un morceau de papier filtre pour absorber les gouttes d'eau restantes à l'extrémité inférieure de l'ampoule.



**Figure 14 :** Extracteur pilote (Centre de recherche et de développement de Saidal, Alger, photo originale, 2006).

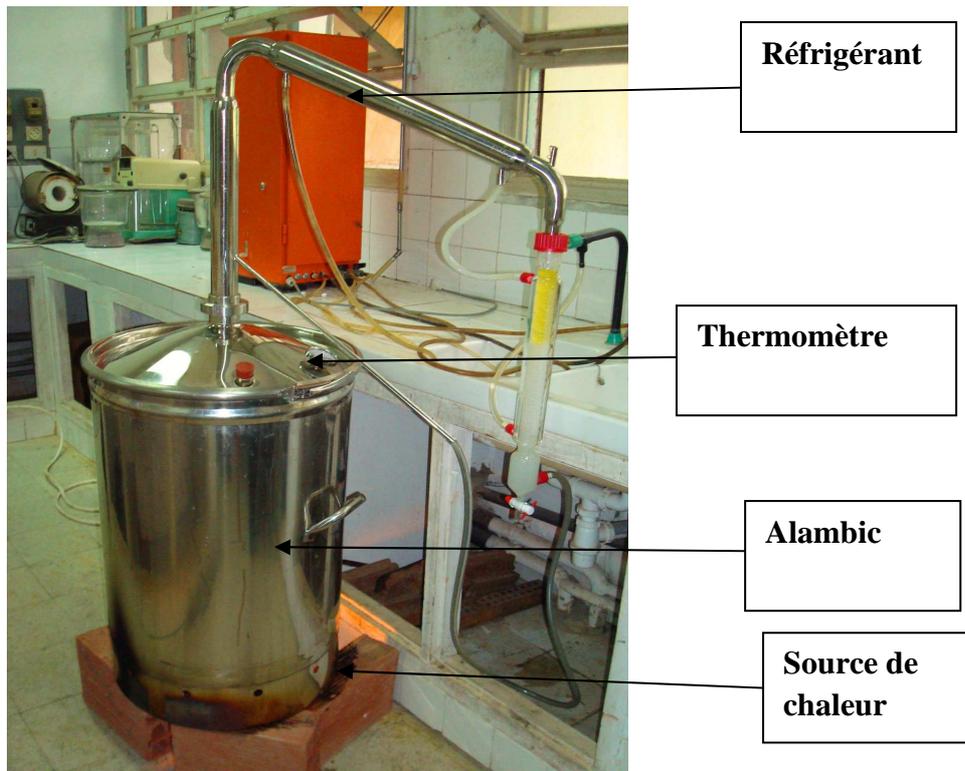
### 2.3.2. Les espèces de provenance Tunisienne

Concernant les espèces de provenance Tunisienne, l'extraction a été réalisée dans le laboratoire d'écologie et d'amélioration sylvopastorale à l'INRGREF (Ariana, Tunis), durant le mois de Juin 2008.

Le principe d'extraction est identique au précédent. En effet, l'appareil est composé d'un alambic et d'un réfrigérant (Figure15).

Les échantillons sont déposés sur un tamis à l'intérieur d'un alambic contenant de l'eau chauffée à 100°C. Les huiles essentielles sont entraînées par la vapeur d'eau vers un réfrigérant où elles se condensent au niveau d'un serpentin.

L'huile essentielle est ensuite séparée du mélange (huile essentielle et l'eau) récolté dans une ampoule à décantier. Ces huiles sont conservées à une température inférieure à 20°C et à l'abri de la lumière.



**Figure 15 :** Extracteur d'huile essentielle par entrainement à la vapeur d'eau (Laboratoire d'écologie et d'amélioration sylvopastorale, l'INRGREF, Ariana, Tunis, photo originale, septembre 2012).

## 2.4. Analyse des huiles essentielles

Les huiles essentielles des deux provenances ont fait l'objet d'une d'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Ces analyses ont été faites à l'Institut National de recherche et d'analyse physico-chimique (INRAP) Technopole Sidi- Thabet, situé à 30 km de Tunis ville.

### 2.4.1. Les conditions de la chromatographie

L'appareil GC/MS est un agilent et le système d'injection est le split splitless. La longueur de la colonne est de 30 m, son diamètre est de 0,25 mm et la colonne est d'une épaisseur de 0,25  $\mu\text{m}$ .

La température initiale de 40 °C est maintenue pendant une minute. La température augmente à raison de 2°C/mn jusqu'à atteindre 240 °C. Cette dernière est maintenue pendant 20 mn. La température régnant dans l'injecteur et l'interface est de 250 °C, celle de la source est de 230 °C.

Le chromatogramme des ions totaux est enregistré en utilisant une source d'impact électronique et l'énergie cinétique des ions est de 70 eV.

Les résultats des analyses des huiles essentielles sont présentés sous forme de chromatogrammes et d'un rapport de Database/ Nist (Institut National de Standard et de Technologie).

Le chromatogramme de chaque huile essentielle comporte plusieurs pics. Chaque pic est représenté par un temps de rétention qui représente la nature du composé de l'huile essentielle et par un pourcentage de l'aire du pic qui correspond à la proportion du composé de l'huile par rapport aux autres composés.

Quant aux rapports de Database NIST, ils sont représentés par un tableau qui regroupe les caractéristiques de chaque pic du chromatogramme (huile essentielle), selon la méthode C/msd chem/1Method/HP1-HE.SAM-0.1.M.

Après l'identification des différents constituants des huiles essentielles, nous avons classé les composés terpéniques selon le nombre d'unités en  $C_{10}$  qu'ils comportent, par rapport au nombre total des composés de chaque huile essentielle (Monoterpènes :  $C_{10}H_{16}$ ; Sesquiterpènes :  $C_{15}H_{24}$  et les diterpènes :  $C_{20}H_{32}$ ) (Guignard, 2004).

## **2.5. Elevage de masse de la bruche du niébé**

Les insectes utilisés durant tous nos tests proviennent des élevages de masse réalisés dans une étuve obscure où règnent les conditions de température de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  et d'humidité relative de  $70 \pm 5\%$ . Les individus de *C. maculatus*, émergents des graines non traitées avec les huiles essentielles, sont introduits dans des bocaux en verre contenant des graines saines de *V. unguiculata* (Figure 17). Du 30<sup>ème</sup> jusqu'au 45<sup>ème</sup> jour, les individus émergents, âgés de moins de 24 h, sont utilisés dans les différents tests. Les graines de niébé utilisées comme nourriture des bruches proviennent du marché local (Figures 16 et 17).



**Figure 16 :** Graines de *V. unguiculata* infestées par les adultes de *C. maculatus* (Photo originale, septembre 2012).



**Figure 17:** Graines de *V. unguiculata* après l'infestation de *C. maculatus* (Photo originale, septembre, 2012).

## 2.6. Tests bio insecticides

### 2.6.1. Traitement par contact

Dans une boîte de Pétri en verre (14 cm de Ø et 2 cm de hauteur) sont introduits 50 g de graines de *V. unguiculata*, traitées avec chacune des huiles essentielles pures à différentes doses (6,5 ; 12,5 ; 25 ; 50 et 75 µl), et 10 couples (10 mâles et 10 femelles) de bruches adultes (âgées de 0 à 24h).

L'évaluation de l'activité biologique de ces substances naturelles est réalisée avec quatre répétitions, pour chaque dose et pour le témoin (sans traitement). Les graines traitées avec chaque huile essentielle sont mélangées pendant quelques minutes avant d'être exposées aux bruches évalués.

#### - Paramètres biologiques de *C. maculatus*

La toxicité des huiles, dans les essais par contact, est évaluée sur plusieurs paramètres biologiques de la bruche : la longévité, le nombre d'œufs pondus sur les graines, le taux d'éclosion et le taux de viabilité de ces œufs.

Les individus morts sont retirés quotidiennement des boîtes et ce jusqu'à la mort de toutes les bruches.

Le dénombrement des œufs pondus (œufs éclos et non éclos) sur les graines a été effectué à partir du quinzième jour du début du traitement.

Les œufs éclos se reconnaissent, soit par la présence de la larve néonate visible à travers le chorion, ou bien par leur aspect blanc opaque (chorion rempli de poudre issue de la galerie creusée par la jeune larve à l'intérieur de la graine). Le dénombrement des individus émergés s'est effectué à partir du 25<sup>ème</sup> jour et s'est poursuivi jusqu'au 45<sup>ème</sup> jour, en raison de l'étalement des pontes de *C. maculatus*.

#### - Paramètres agronomiques de *V. unguiculata*

L'effet des traitements sur les graines de *V. unguiculata* est évalué à l'aide de deux paramètres agronomiques : la faculté germinative et le poids. Les graines mises à germer sont prélevées des lots utilisés dans les tests par contact aux doses 50 et 75 µl. Elles sont ensuite recouvertes avec du coton imbibé d'eau. Après 4 à 5 jours, les graines germées dans les lots témoins et les lots traités sont dénombrées.

Le contrôle du poids des graines est nécessaire pour évaluer l'effet des traitements sur la réduction des pertes occasionnées aux graines par les larves de *C. maculatus*. Celles-ci sont pesées avant et 45 jours après le lancement des tests, pour toutes les différentes huiles et les doses testées.

### 2.6.2. Tests de répulsivité

Des disques de papier filtre de 11cm de diamètre ont été coupés en deux parties égales. Un demi-disque est traité avec une dose d'huile essentielle diluée dans 1 ml d'acétone. Le

deuxième demi disque est traité uniquement avec le solvant (1ml d'acétone). Après évaporation complète du solvant, à l'air libre pendant 15 mn, les demi- disques de papier filtre sont réunis à l'aide d'un adhésif puis placés au fond des boîtes de Pétri.

Au milieu de ces demi-disques, nous avons lâché 10 couples de *C. maculatus* âgés de moins de 24 h (Figure18). Les doses testées sont : 6,5 ; 12,5, 25 ; 50 et 75 µl, quatre répétitions sont effectuées pour chaque dose et le témoin. Au bout d'une heure, un dénombrement des bruches présentes sur chacune des deux parties est réalisé.

Le pourcentage de répulsivité des huiles essentielles, à l'égard des bruches adultes, est calculé selon la formule de Mac Donald et *al.* (1970) :

$$PR (\%) = [(NTA - NH) / (NTA + NH)] \times 100$$

NTA : nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'acétone uniquement.

NTH : nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'huile essentielle diluée dans l'acétone.



**Figure 18:** Test de répulsivité (Laboratoire d'entomologie appliquée, septembre 2012).

### 2.6.3. Tests d'inhalation sur les adultes

Ce test consiste à évaluer l'effet des huiles essentielles de provenance Algérienne et Tunisienne, par fumigation, sur la durée de vie (longévité) des adultes de *C. maculatus*.

Dans des bocaux en verre, d'un litre de volume, une dose d'huile pure est déposée sur un morceau de coton suspendu à l'aide d'un fil à la face interne de leur couvercle. Les doses testées pour l'ensemble des huiles sont : 25; 37,5 et 50 µl. Parallèlement, un témoin est réalisé (coton sans huile essentielle).

Dix couples de *C. maculatus* âgés de 0 à 24 h sont introduits rapidement dans chaque bocal qui sera ensuite fermé hermétiquement (Figure 17). Un dénombrement des individus morts est ensuite effectué après un temps d'exposition variable de : 24, 48, 72 et 96 h.

#### **2.6.4. Tests d'inhalation sur les différents stades de développement de *C. maculatus***

##### **-Test d'inhalation sur les œufs de *C. maculatus***

Nous avons testé 7 huiles essentielles de provenance Tunisienne sur les œufs de *C. maculatus*. Des boîtes de Pétri contenant 50 g de *V. unguiculata*, et infestés par 10 couples de *C. maculatus*, sont placées dans une étuve réfrigérée ( $T^{\circ} = 30^{\circ} \text{C}$  et  $H = 70\%$ ) pendant 24 h. Des graines contaminées par 50 œufs sont introduites dans un bocal en verre (1litre).

Une dose d'huile essentielle est déposée sur un morceau de papier filtre suspendu à un fil fixé à la face interne du bocal qui sera ensuite fermé hermétiquement.

Les doses utilisées sont : 6,5  $\mu\text{l}$  ; 12,5  $\mu\text{l}$  ; 25  $\mu\text{l}$  ; 50  $\mu\text{l}$  et 75 $\mu\text{l}$ ; pour chaque dose, nous avons varié la durée d'exposition : 24 h, 48 h, 72 h et 96 h. Quatre répétitions sont réalisées pour chaque dose, y compris pour le témoin (sans traitement).

15 jours après le lancement des tests, nous avons procédé au dénombrement d'œufs éclos et du 30<sup>ème</sup> au 45<sup>ème</sup> jour, le nombre d'individus émergents est comptabilisé.

##### **-Tests d'inhalation sur les individus âgés de 12 et 18 jours**

Des graines saines de niébé sont contaminées avec des adultes de *C. maculatus* dans des boîtes de Pétri. Après 24 h, nous retirons les bruches et 4 à 5 jours plus tard, nous trions des graines portant des œufs dénombrons 50 œufs éclos (2 à 3 œufs / graine). Un certain nombre de graines infestées par 50 œufs éclos sont placées dans une étuve jusqu'au 12<sup>ème</sup> jour.

Ces graines sont ensuite introduites dans un bocal en verre (d'un litre) dans lequel nous suspendons un fil fixé à la face interne du couvercle; un morceau de coton est collé à l'autre extrémité du fil (Figure 19). Nous déposons sur ce coton une dose variable d'huile essentielle (6,5  $\mu\text{l}$  ; 12,5  $\mu\text{l}$  ; 25 $\mu\text{l}$  ; 50  $\mu\text{l}$  et 75  $\mu\text{l}$ ) et nous refermons rapidement le couvercle du bocal. Pour chaque dose, nous avons varié la durée d'exposition : 24 h, 48 h, 72 h et 96 h.

Pour chaque temps d'exposition, chaque dose utilisée et pour le témoin, 4 répétitions ont été réalisées. Ces graines, contenant des individus âgés de 12 jours, sont ensuite retirées des bocal après l'exposition aux traitements et introduites dans des boîtes de Pétri et placées dans l'étuve. Après 45 jours, nous dénombrons les individus émergents dans chaque boîte de pétri, pour les différentes doses testées et les durées d'exposition testées. Le même procédé a été utilisé pour les individus âgés de 18 jours.



**Figure 19 :** Test d'inhalation avec les graines contenant des larves âgées de 12 ou 18 jours (Laboratoire d'entomologie appliquée, septembre 2012).

### **2.7. Analyses statistiques.**

Les résultats de nos expériences ont été soumis au test d'analyse de la variance selon plusieurs critères de classification. Lorsque l'effet des traitements est significatif, l'analyse est complétée par le test de Newman et Keuls à 5% (Logiciel Stat box et Statitcf ; Dagnelie, 1998).

Les résultats des différents tests ont fait également l'objet d'une autre analyse statistique avec le test de Tukey. Cette méthode permet de comparer les moyennes deux à deux, pour les différentes doses d'huiles essentielles, avec le logiciel R. Si la probabilité ajustée est inférieure à 0,05, la différence est significative ; si la probabilité ajustée est supérieure à 0,05, la différence est considérée comme non significative (Maillot, 2009).

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Analyses des huiles essentielles des conifères et des Myrtacées

##### 3.1.1. Résultats des chromatogrammes des huiles essentielles des conifères

Les résultats des analyses des huiles essentielles des conifères sont présentés sous forme de chromatogrammes. Le chromatogramme de chaque huile essentielle comporte plusieurs pics : 42 pour *T. articulata* Tunisienne (Annexe 1, Figure 1), 26 pour *T. articulata* Algérienne, (Annexe 1, Figure 2), 32 pour *C. sempervirens* Tunisienne (Annexe 1, Figure 3), 31 pour *C. sempervirens* Algérienne (Annexe 1, Figure 4), 29 pour *T. orientalis* Algérienne (Annexe 1, Figure 5) et 30 pour *P. halepensis* Tunisienne (Annexe 1, Figure 6).

La surface de l'aire de chaque pic représente le pourcentage du composé par rapport à la totalité des composés et le temps de rétention de chaque constituant nous renseigne sur la nature du composé.

Dans tous les chromatogrammes, le temps de rétention varie selon la nature du composé, plus le poids moléculaire augmente, plus le temps de rétention augmente.

Les premiers composés identifiés sont des monoterpènes, les seconds sont les sesquiterpènes et les troisièmes sont des diterpènes, sauf pour *C. sempervirens* des deux provenances. Le temps de rétention des monoterpènes varie de 4 à 30 mn et celui des sesquiterpènes de 35 à 70 mn.

Dans les monoterpènes, nous avons les monoterpènes hydrocarbonés ( $\alpha$  Pinène :  $C_{10}H_{16}$ ; Camphène :  $C_{10}H_{16}$ ; D-Limonène :  $C_{10}H_{16}$ , les monoterpènes oxygénés (Eucalyptol :  $C_{10}H_{18}O$ , le Camphor :  $C_{10}H_{16}O$ , le terpinène :  $C_{10}H_{18}O$ , les sesquiterpènes hydrocarbonés (Caryophyllène :  $C_{15}H_{24}$ ), le Germacrene :  $C_{15}H_{24}$ , les sesquiterpènes oxygénés (Caryophyllène oxyde :  $C_{15}H_{24}$ ) et les diterpènes (Isopimaradienne :  $C_{20}H_{32}$ ).

##### 3.1.2. Résultats de l'analyse chimique des huiles essentielles des conifères

Les composés majoritaires des huiles essentielles testées sont les monoterpènes (58 à 72 %) puis les sesquiterpènes (7 à 18 %) et les diterpènes, 9 % pour *C. sempervirens* des deux provenances. Le taux des diterpènes est faible chez *C. sempervirens* et il est nul chez les autres espèces. Le nombre de composés monoterpéniques varie de 18 à 26, selon l'espèce des résineux considérée (Tableau 2).

Pour l'ensemble des huiles essentielles des conifères, les monoterpènes hydrocarbonés sont plus importants que les monoterpènes oxygénés. Les composés communs des monoterpènes hydrocarbonés de ces huiles essentielles sont : l' $\alpha$  pinène, le camphène, le  $\beta$  myrcène, le terpinolène et le 3 carène. Le pourcentage des composés non identifiés est très faible, excepté pour *T. articulata* Tunisienne (8,22 %) et *P. halepensis* de la même provenance (10%) (Tableau 3).

Le monoterpène oxygéné le plus représenté est l'isobornyl acétate, en particulier chez *T. articulata* Tunisienne (23 %) et algérien (11,69 %). Le camphor est bien représenté chez la même espèce avec 26,52 %, si elle est de provenance algérienne, et 6,87 % si elle provient de la Tunisie (Tableau 3). Le sesquiterpène hydrocarboné en commun est le caryophyllène. Les diterpènes ne sont présents que chez *C. sempervirens* Tunisienne et Algérienne (Tableau 4).

**Tableau 2 : Composition (%) en hydrocarbures terpéniques des différentes huiles essentielles (HE) des conifères des provenances Algérienne et Tunisienne.**

	<i>T.articulata</i> Tunisienne (T. a. T)	<i>T. articulata</i> Algérienne (T. a. A)	<i>C. sempervirens</i> Tunisienne (C. s. T)	<i>C. sempervirens</i> Algérienne (C. s. A)	<i>P. halepensis</i> Tunisienne (P. h. T)	<i>T. orientalis</i> Algérienne (T. o. A)
<b>Nombre de composés monoterpéniques</b>	26	20	19	18	20	21
<b>Monoterpènes (%)</b>	61,90	76,92	59,37	58,06	66,66	72,41
<b>Nombre de composés sesquiterpéniques</b>	7	2	6	5	4	5
<b>Sesquiterpènes (%)</b>	16,66	7,69	18,75	19,35	13,33	17,24
<b>Nombre de composés diterpéniques</b>	-	-	2	2	-	-
<b>Diterpènes (%)</b>	-	-	9,33	9,67	-	-
<b>Méthylènes chloride</b>	-	20,59	-	23,87	-	18,66
<b>Total des composés identifiés (%)</b>	91,78	98,09	98,9	96,40	89,93	98,16
<b>Total des composés non identifiés (%)</b>	8,22	1,91	1,10	3,60	10,07	1,84

**Tableau 3 :** Composition (%) en monoterpènes des 6 huiles essentielles des conifères testées.

Monoterpènes hydrocarbonés	T. a. T	T. a. A	C. s. T	C. s. A	P. h. T	T. o. A
<b><math>\alpha</math> Pinène</b>	<b>24,70</b>	<b>8,28</b>	<b>40,47</b>	<b>33,62</b>	<b>20,13</b>	<b>26,78</b>
<b><math>\beta</math> Pinène</b>	1,24	0,40	2,50	2,02	-	1,55
<b>Camphène</b>	1,89	1,04	0,47	0,40	0,46	0,26
<b>Sabinène</b>	0,66	-	-	-	-	-
<b>4 Carène</b>	0,28	-	4,06	-	0,98	5,42
<b>3 Carène</b>	-	0,63	20,31	9,63	5,63	20,66
<b><math>\beta</math> Myrcène</b>	7,86	5,13	4,18	2,15	13,57	3,68
<b>Terpinolène</b>	1,29	2,03	2,98	0,31	10,66	0,50
<b>D. Limonène</b>	9,54	6,24	4,07	2,96	-	2,82
<b>O. Cymène</b>	0,74	-	0,54	0,73	3,53	-
<b><math>\alpha</math> Terpinène</b>	1,37	-	0,46	6,72	-	1,18
<b><math>\alpha</math> thujène</b>	-	-	-	-	0,87	0,55
<b>Tricyclène</b>	-	0,55	0,88	1,99	-	0,67
<b><math>\beta</math> phéllandrène</b>	-	0,33	3,21	1,51	8,93	4,92
<b>Fenchène</b>	-	-	1,09	1,79	-	1,32
<b>P cimène</b>	0,17	0,79	-	0,73	-	-
<b>Monoterpènes oxygénés</b>						
<b>Eucalyptol</b>	1,19	-	-	-	-	-
<b>Camphor D</b>	6,87	26,52	0,29	0,34	0,24	-
<b>D sylvestrène</b>	-	-	-	-	-	0,23
<b>Terpinène 4 ol</b>	1,13	1,06	1,39	-	4,71	0,22
<b>Myrténol</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Pino carvéol</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Terpinéol</b>	-	-	-	-	0,68	-
<b>Linalool</b>	0,29	-	-	-	2,23	-
<b>Verbénone</b>	0,53	-	-	-	-	-
<b>Carvacrol</b>	1,64	-	0,97	-	-	-
<b>O - Cymol</b>	-	-	0,90	-	2,33	1,19
<b>Bornéol</b>	-	9,19	-	-	-	-
<b>D carvone</b>	-	0,38	0,37	-	-	-
<b>Cis carvéol</b>	0,32	-	-	-	-	-
<b>Trans pino carvéol</b>	0,67	0,39	-	-	-	-
<b>P cyménol</b>	0,20	-	-	0,33	0,50	0,23
<b>Thymol</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Trans Sabinène</b>	0,60	-	-	-	-	-
<b>Géraniol</b>					1,09	
<b>Cédrol</b>			1,89	3,69		4,64
<b>Eucarvone</b>	-	-	0,38	0,38	-	-
<b>Myrténal</b>	0,19	-	-	-	-	-
<b>Périllen</b>		0,30				
<b>Isobornyl acétate</b>	23,06	11,69		0,87	0,27	0,75
<b>Bornyl acétate</b>	-	0,98	-	-	-	-

**Tableau 4 :** Composition (%) en sesquiterpènes, diterpènes et autres composés des six huiles essentielles des conifères étudiées.

Sesquiterpènes hydrocarbonés (%)	T. a. T	T. a. A	C. s. T	C. s. A	P. h. T	T.o. A
Cubénène	-	-	0,74	0,20	0,34	-
Germacrène	-	-	3,16	0,20	-	-
Humulène	0,40	-	0,40	0,10	-	-
Epi-bicyclosesquiphéllandrène	-	-	0,42	0,10	-	-
Caryophyllène	1,08	0,32	0,98	-	13,12	2,23
B Gurjunène	0,44	-	-	-	-	-
Muuroène	0,38	-	-	-	0,53	-
Cadinène	1,53	-	-	-	0,40	-
<b>Sesquiterpènes oxygénés (%)</b>	-	-	-	-	-	-
Caryophyllène oxyde	1,05	0,95	-	-	1,96	0,39
$\alpha$ Cadinol	0,34	-	-	0,66	-	-
Cédrol	-	-	-	-	-	-
<b>Diterpènes (%)</b>	-	-	-	-	-	-
Isopimaradiene	-	-	1,21	1,44	-	-
Totarol	-	-	0,42	-	-	-
Manool oxyde	-	-	0,80	-	-	-
Abitatriène	-	-	0,74	0,81	-	-
<b>Autres composés (%)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Méthylène-chloride</b>	-	20,59	-	23,87	-	1,66

### 3.1.3. Discussion

Pour l'ensemble des huiles essentielles, les monoterpènes sont majoritaires, leur taux varie entre 58,06 et 76,92 %. Bruneton (1999) note que les monoterpènes constituent plus de 90 % des huiles essentielles.

Quant aux diterpènes, ils ne sont présents que chez *C. sempervirens*. D'après le même auteur, les rameaux de *C. sempervirens* contiennent des carbures monoterpéniques, des sesquiterpènes et des diterpènes.

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Raynaud (2006) avec l'huile essentielle de *C. sempervirens* et *Pinus sylvestris*, le taux des monoterpènes obtenu est supérieur à 50 % et les sesquiterpènes dépassent les 7 %. Keita (2000) a enregistré plus de 72 % de monoterpènes chez *T. occidentalis* du Canada.

Après l'identification des composés des 6 huiles essentielles, il ressort que l' $\alpha$ -pinène est le constituant principal de *C. sempervirens* de provenance Tunisienne (40,47 %) et Algérienne (33,61 %), de *T. articulata* Tunisienne (24,70 %), de *T. orientalis* Algérienne (26,77 %) et de *P. halepensis* Tunisienne (20,13 %). Pour *T. articulata* de provenance Algérienne, c'est le comphor qui est le composé dominant avec un taux de 26,52 % (Tableau 3).

La richesse de l'huile essentielle de *C. sempervirens* en  $\alpha$  pinène a été confirmée par plusieurs auteurs dans différents pays: en Algérie ( $\alpha$  pinène = 44,9 %) (Chanegriha et al.,

1993 ; Chanegriha et al., 1997), au Maroc ( $\alpha$  pinène = 60 %) (Bellakhdar, 1997); en France (Leandri et al., 2003) ( $\alpha$  pinène = 64%), en Italie ( $\alpha$  pinène = 31 %) (Roméo et al., 2008) et en Egypte ( $\alpha$  pinène = 6,9 %) (Elansary et al., 2012).

Le méthylène-chloride n'est présent que dans les huiles essentielles des espèces de provenance Algérienne : 23,86 % chez *C. sempervirens*, 18,66 % chez *T. orientalis* et 20,59 % chez *T. articulata* (Tableau 2).

Concernant l'huile essentielle de *C. sempervirens* des deux provenances, elle contient des composés similaires à ceux de *C. atlantica* Marocain, l' $\alpha$  pinène (50%), le 3- carène (30 %), le terpinolène (17,7 %) et le limonène (3%), et à ceux de *Cupressus arizonica* Tunisienne avec 60 % d' $\alpha$ -pinène et 15,6% de 3-carène (Cheriat et al., 2007). L'huile essentielle du cyprès de provenance Française contient 50 % de monoterpènes ( $\alpha$ -pinène et 3-carène) et de sesquiterpènes (Yani et al., 1993 ; Raynaud, 2006).

Les principaux constituants de l'huile essentielle de *P. halepensis* sont : l' $\alpha$  pinène (20,13 %), le  $\beta$ -myrcène (13,57 %), le caryophyllène (10,96 %) et l' $\alpha$ -terpinolène (8,16 %).

Regnault Roger et al. (2002) signalent également que l'huile essentielle de ce résineux contient de l' $\alpha$  et du  $\beta$ -pinène et des carbures bicycliques et à partir d'eau, sont synthétisés les différents monoterpènes (terpinolène).

Dob (2005) signale que l'huile essentielle de *P. halepensis* contient du  $\beta$  caryophyllène (40,31 %), de l' $\alpha$  humulène (7,92 %) et de l'aromadendrène (7,1 %).

Selon Bellakhdar (1997), l'huile essentielle de *P. halepensis* est riche en  $\alpha$ -pinène (60%).

Enfin, pour le genre *Tetraclinis*, l'eucalyptol n'existe que chez *T. articulata* Tunisien; les composés communs sont : l' $\alpha$ -pinène, le 3-carène, le  $\beta$ -myrcène, le caryophyllène, le D- limonène, le carvacrol, le comphor et le terpinolène. Ces composés ont été identifiés dans l'huile essentielle de *T. occidentalis* par Keita (2000). Le bornyl acétate est présent chez *T. articulata* de provenance Algérienne et Tunisienne, avec respectivement 1,69 et 23,06 %.

Tekaya Karoui et al. (2007) note que *T. articulata* Tunisienne comprend : l' $\alpha$  pinène (9,7 %), le cédrol (28,1 %), le bornyl acétate (28,01 %), le Camphor (21 %). Buhagiar et al. (2000) cités par Tekaya Karoui et al. (2007), signalent que l'huile essentielle de *T. articulata* de Malte contient 31 % d' $\alpha$  pinène, 3,8 % de limonène, 18,1 % de camphor ; 19,1 % de Bornyl acétate et de 2,32 % de camphène.

El moussaouiti et al. (2010) signalent que l'huile essentielle de *T. articulata* Marocaine, extraite par hydrodistillation, contient du Cédrene (23 %), du thymol (22 %), du murolène (5,4 %) et du sclarène (3 %). Boukhriss et al. (2010) notent que l'huile essentielle des rameaux de *T. articulata* Marocain contient 30,22 % de l' $\alpha$  pinène, 22,99 % de limonène et 4,76 % de Bornyl acétate.

D'après ces données, nous constatons que la composition chimique des huiles essentielles des différentes espèces varie en fonction de la technique d'extraction des huiles essentielles. Dans notre cas la technique utilisée est l'entraînement à la vapeur d'eau, par

contre la plupart des auteurs ont utilisé la technique de l'hydrodistillation. Selon Bruneton (1999), l'eau, en contact avec le matériel végétal, modifie la composition chimique de l'huile essentielle.

### 3.1.4. Résultats des chromatogrammes des huiles essentielles des Myrtacées

Les résultats des chromatogrammes montrent que le nombre de pic pour *E. lehmanii* est de 17 (Annexe 1, Figure 7) ; *E. astringens* : 25 pics (Annexe 1, Figure 8) ; *E. maidenii* : 39 pics (Annexe 1, Figure 9), *E. cinerea* : 26 pics (Annexe 1, Figure 10). Nous constatons que le temps de rétention des composés augmente également au fur et à mesure que le poids moléculaire des composés augmente. Le temps de rétention des composés monoterpéniques varie entre 4 et 17 mn et ceux des composés sesquiterpéniques entre 27 et 59 mn.

Pour l'ensemble des chromatogrammes, nous constatons que les monoterpènes sont les premiers composés identifiés (les monoterpènes hydrocarbonés :  $\alpha$  pinène,  $\alpha$  Terpinène et les monoterpènes oxygénés: Eucalyptol, Terpène 4- ol), puis nous avons les sesquiterpènes avec les sesquiterpènes hydrocarbonés, comme l'Aromadendrène ( $C_{15}H_{24}$ ) et les sesquiterpènes oxygénés (Globulol :  $C_{15}H_{24}O$ ).

### 3.1.5. Résultats des analyses des huiles essentielles des Myrtacées

Les résultats des analyses des huiles essentielles des Myrtacées montrent que le taux des monoterpènes est plus important par rapport à celui des sesquiterpènes. Il varie entre 88 et 97 %. Le composé majoritaire pour l'ensemble des différentes espèces est l'eucalyptol, la concentration de ce composé varie entre 55 et 72 % (Tableaux 5 et 6).

**Tableau 5** : Composition (%) en hydrocarbures terpéniques des différentes huiles essentielles (HE) des Myrtacées de provenance Tunisienne.

	<i>E. lehmanii</i>	<i>E. astringens</i>	<i>E. cineria</i>	<i>E. maidenii</i>
Nombre de composés monoterpéniques	13	11	15	20
Composés monoterpéniques (%)	97,86	88,47	95,41	91,98
Nombre de composés sesquiterpéniques	1	10	7	9
Composés sesquiterpéniques (%)	0,18	3,78	3,26	5,39
% des composés identifiés	98,04	92,25	97,67	97,37
% des composés non identifiés	1,96	7,75	2,33	2,63

**Tableau 6** : Taux des différents composés terpéniques de différentes huiles essentielles de la famille des Myrtacées.

<b>Monoterpènes hydrocarbonés(%)</b>	<i>E. lehmanii</i>	<i>E. astringens</i>	<i>E. maidenii</i>	<i>E. cinerea</i>
α Pinène	<b>25,08</b>	<b>25,55</b>	<b>14,01</b>	<b>7</b>
β Pinène	0,56	1,16	0,34	-
Camphène	0,26	0,10	0,19	0,10
4 Carène		-	0,19	12,68
β Myrcène	0,64	0,84	0,17	-
Terpinolène	0,35	0,17	-	0,11
O. Cymène	1,50	1,49	0,13	-
α Terpinène	8,65	0,32	0,65	-
β phéllandrène		2,10	-	-
<b>Monoterpènes oxygénés</b>				-
Eucalyptol	<b>56,90</b>	<b>55,40</b>	<b>71,93</b>	<b>70,89</b>
Camphor D		-	0,25	
Fenchol	0,46	-	0,12	0,13
Terpinène 4 ol	0,32	0,30	0,24	0,66
Verbénol		-	0,12	-
Géraniol	0,19	-	-	-
Terpinéol	2,95	1,04	0,17	3,54
D sylvestrène	-	-		-
D carvone	-	-	0,11	-
Carvacrol	-	-	0,12	-
Bornéol	-	-	0,27	0,40
α pinène époxide	-	-	0,62	0,14
Isopino carvéol	-	-	1,75	0,25
Trans carvéol	-	-	0,13	0,11
β Citral	-	-	0,38	-
<b>Sesquiterpènes hydrocarbonés</b>				
Caryophyllène	-		0,62	0,52
Aromadendrène	-	2,09	2,15	0,18
Varidiflorène	-	0,48	-	-
α Salinène	-	-	0,12	-
β Calarène	-		0,10	-
Gurjunene	-	0,48		0,11
β Cyclo citral	-	-	-	-
<b>Sesquiterpène oxygénés</b>				
Globulol	-	-	1,99	1,42
Spathuléol	0,18	0,30		0,36
Epiglobulol	-	0,43	0,34	-
Eudesmol	-	-	0,17	-
Selinéol	-	-	0,90	-
Nerolidol	-	-	-	0,37

### 3.1.6. Discussion

Les résultats des analyses des huiles essentielles des Myrtacées ont montré que les monoterpènes sont plus importants que les sesquiterpènes chez *E. lehmanii* (97,86 % et 0,18 %), *E. astringens* (88,47 % et 3,47 %), *E. maidenii* (91,98 % et 5,39) et *E. cinerea* (95,41% et 3,26%).

Nos résultats sont similaires à ceux d'El Aissi (2011) qui a noté chez plusieurs espèces d'eucalyptus, que le taux des monoterpènes est plus important que celui des sesquiterpènes, chez *E. lehmanii* (96,9 % et 4,7 % ) ; *E. astringens* (81,7 % et 15,6% ), *E. maidenii* (86,5 % et 12% ), *E. cinerea* (90,6 % et 2,3 % ).

Le composé majoritaire est le 1-8 Cinéole pour les différentes espèces du genre *Eucalyptus* : *E. lehmanii* (56,90 %), *E. astringens* (55,40 %), *E. maidenii* (71,93%) et *E. cinerea* (70,89 %). Les résultats des travaux d'El Aissi et al. (2012) confirment cette observation chez *E. lehmanii* (56,6 %), *E. astringens* (42,5 %), *E. cineria* (70,4 %) et *E. maidenii* (57,8 %). Le deuxième composé majoritaire chez ces Myrtacées est le  $\alpha$  pinène, le taux de ce composé varie entre 7 et 25,5 %.

Plusieurs auteurs ont montré que le 1-8 cinéole est le composé prédominant de l'huile essentielle de plusieurs espèces d'*Eucalyptus*, Derwich et al. (2009) avec *E. globulus* (22,35 %), Hawel et al. (2010) avec *E. rudis* (19,87%) et *E. camaldulensis* (20,62%); El Aissi et al. (2011) : *E. occidentalis* (18,8 %) ; *E. largiflorens* (63,6 %) ; *E. stricklandu* (20,4%) ; *E. woodwardii* (25,3%) ; *E. torquata* (12%), *E. salmonophyloria* (37%); *E. gillii* (18,6%), *E. loxophloba* (22,8%), *E. oldfieldii* (59,3%), *E. gracilis* (52,3%); *E. sargentii* (64,3%) ; *E. bicostata* (68%) ; *E. sideroxylon* (69,2%) et *E. leucoxylon* (59,2%).

D'après les résultats des chromatogrammes des Myrtacées et ceux des conifères, le temps de rétention des composés monoterpéniques est plus court que celui des sesquiterpènes et des diterpènes. Le pourcentage des composés monoterpéniques est plus important chez le genre *Eucalyptus* et chez les conifères.

Les résultats des analyses par chromatographie en phase gazeuse ont montré que la composition chimique des huiles essentielles du genre *Tetraclinis* est variable comme pour le genre *Pinus* et les *Cupressacées*. Le taux des différents composés terpéniques est variable au sein de la même espèce.

La période de récolte des échantillons est la même pour les conifères de provenance Algérienne et Tunisienne. La technique d'extraction des huiles essentielles des deux provenances est l'entraînement à la vapeur d'eau.

Nous pensons que cette variabilité peut être due aux conditions climatiques des deux régions d'étude. La Tunisie est classée dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver chaud ; quant à l'Algérie, elle est située dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver tempéré.

Guignard (2004) signale que chez une même plante, il existe plusieurs molécules de formules voisines qui ne diffèrent que par leur degré d'hydrogénation. Un climat sec et

ensoleillé favorise la formation de nouveaux composés au sein de la même espèce. D'après le même auteur, les principales familles à essences sont méditerranéennes ou des régions chaudes.

En effet, selon le même auteur, les facteurs climatiques, la nature du sol et les pratiques culturales sont à l'origine des chimiotypes.

Regnault Roger et *al.* (2008) signalent que pour une espèce donnée, les proportions des différents constituants d'une huile essentielle peuvent varier tout au long de son développement, selon les facteurs pédoclimatiques (acidité du sol, chaleur, photopériode et hygrométrie), les facteurs analytiques (les différents procédés d'obtention des huiles essentielles interfèrent sur les constituants des extraits) et les facteurs physiologiques (le métabolisme secondaire n'est pas identique à tous les stades de développement).

Les composés monoterpéniques sont majoritaires chez les huiles essentielles des conifères et des Myrtacées. Chez les conifères, le composé majoritaire est l' $\alpha$  pinène. La dominance de ce terpène a été confirmée par plusieurs auteurs, Bellakhdar (1997) chez *C. sempervirens*, Richter (1993) et Regnault Roger et *al.* (2002) chez les Pinacées, Keita (2000), Tekaya Karoui et *al.* (2007) et Boukhriss et *al.* (2010) chez le genre *Tetraclinis*.

Chez les 4 espèces du genre *Eucalyptus*, la proportion des différents composés terpéniques est variable et le 1-8 cinéole est le composé majoritaire. Selon Bruneton (1999), l'un des intérêts du genre *Eucalyptus* est la diversité de la composition des huiles essentielles que fournissent les feuilles. Cette diversité est d'autant plus grande que les chimiotypes sont très fréquents.

La richesse du genre *Eucalyptus* en eucalyptol a été confirmée par plusieurs auteurs (Bruneton, 1999; Guignard, 2004 ; Bruneton, 2005 ; Dellile, 2010, El Aissi, 2011).

### 3.2. Effet des huiles essentielles sur les paramètres biologiques chez *C. maculatus* et agronomiques chez *V. unguiculata*

#### 3.2.1. Résultats des Tests par contact avec les huiles essentielles des conifères

##### -Effet sur la longévité des adultes

Parmi les 6 huiles essentielles testées, celle de *T. articulata* de provenance Tunisienne est la plus toxique, en effet, les bruches adultes meurent après 1 à 5 heures d'exposition, à toutes les doses utilisées. Mises au contact des graines traitées avec l'huile essentielle de *T. articulata* de provenance Algérienne, à la dose 75 µl/50g, les bruches vivent moins de 24 h. Pour les autres huiles, la longévité des adultes de *C. maculatus* est de moins de 24 h, aux doses 50 µl /50g et 75 µl/50g (Tableau 7).

L'analyse de la variance à deux critères de classification a révélé une différence très hautement significative pour les facteurs huile ( $F = 99,595$ ;  $P = 0,000$ ;  $DDL=5$ ) ( $P \leq 0.001$ ), dose ( $F = 589,95$ ;  $P = 0,000$ ;  $DDL= 5$ ) et l'interaction des deux facteurs ( $F = 31,986$ ;  $P = 0,000$ ;  $DDL= 25$ ) (Tableau 8).

D'après les résultats du test de Tukey, concernant la comparaison de l'effet des doses sur le paramètre longévité, nous constatons qu'il ya une différence significative entre les moyennes obtenus aux doses suivantes : 12,5 et 75 µl ( $P= 0,04$ ), 6,5 et 75 µl ( $P = 0,01$ ); (0 et 75 µl ( $P = 0,000$ ); 12,5 et 50 µl ( $P = 0,01$ ); 6,5 et 50 µl ( $P = 0,02$ ); 0 et 50 µl ( $P = 0,00$ ); 0 et 25 µl ( $P = 0,0004$ ), la probabilité ajustée de ces couples de doses est inférieure à 0,005 (Annexe2 :Tableau 1)

Par contre, la probabilité ajustée des couples des moyennes obtenues aux fortes et aux faibles doses est supérieure à 0,005 : 75 et 50 µl ( $P = 0,99$ ); 25 et 75 µl ( $P = 0,4$ ); 25 et 50 µl ( $P = 0,59$ ); 12,5 et 25 µl ( $P = 0,33$ ); 6,5 et 25 µl ( $P = 0,12$ ); 6,5 et 12,5µl ( $P = 0,99$ ); 0 et 12,5 µl ( $P = 0,07$ ); 0 et 6,5 µl ( $P = 0,23$ ), ceci explique l'absence de différence significative entre les longévités moyennes obtenues avec des faibles doses proches des témoins et les moyennes des fortes doses (doses efficaces).

**Tableau 7:** Longévité moyenne (h) des adultes de *C. maculatus* dans les traitements avec les différentes huiles essentielles (moyenne  $\pm$  écart-type) à différentes doses (les moyennes suivies d'une lettre différente sont différentes de façon très hautement significative, selon le test de Newman et Keuls, au seuil de P =5%).

Huiles essentielles Doses ( $\mu$ l)	T. a. A	T. a. A	C. s. A	C. s. T	T. o. A	P. h. T
<b>0 (témoin)</b>	173,90 $\pm$ 10,14 (a)					
<b>6,5</b>	5 $\pm$ 0,00 (e)	99,60 $\pm$ 27,83 (cd)	125,70 $\pm$ 15,87 (b)	172 $\pm$ 2,04 (a)	128,40 $\pm$ 8,93 (b)	172,50 $\pm$ 2,31 (a)
<b>12,5</b>	4 $\pm$ 0,00 (e)	85,20 $\pm$ 40,66 (e)	64,20 $\pm$ 26,48 (cd)	167,10 $\pm$ 15,99 (a)	127,65 $\pm$ 5,12 (b)	170,83 $\pm$ 13,45 (e)
<b>25</b>	3 $\pm$ 0,00 (e)	53,95 $\pm$ 1,47 (d)	4,71 $\pm$ 0,39 (e)	129,50 $\pm$ 3,42 (b)	108,0 $\pm$ 13,04 (b)	7 $\pm$ 0,00 (e)
<b>50</b>	2 $\pm$ 0,00 (e)	33,82 $\pm$ 1,22 (e)	2,78 $\pm$ 0,12 (e)	7 $\pm$ 0,00 (e)	13,50 $\pm$ 2,40 (e)	5 $\pm$ 0,00 (e)
<b>75</b>	1 $\pm$ 0,00 (e)	4,79 $\pm$ 0,50 (e)	1,43 $\pm$ 0,11 (e)	5 $\pm$ 0,00 (e)	1,70 $\pm$ 0,43 (e)	2 $\pm$ 0,00 (e)

**Tableau 8 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre longévité.

	DDL	Carré moyen	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient De variation
<b>Variation Totale</b>	143	5444,22				
<b>Variation Facteur1 (Huile)</b>	5	17820,38	99,63	0,000		
<b>Variation Facteur2 (Dose)</b>	5	105406,45	589,30	0,000		
<b>Variations interactions F<sub>1x</sub> F<sub>2</sub></b>	25	5722,84	31,99	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	108	178,87			13,37	17,7 %

**- Effet des huiles essentielles sur le nombre d'œufs pondus sur les graines de niébé**

Le nombre d'œufs pondus dans les lots témoins est d'environ 75 par femelle. La fécondité diminue au fur et à mesure que la dose augmente. A la dose 50  $\mu$ l/50g, toutes les huiles essentielles testées inhibent complètement les pontes (Tableau : 9).

Quant aux traitements avec le thuya de berbérie de provenance Tunisienne, les pontes de *C. maculatus* sont nulles quelle que soit la dose utilisée.

**Tableau 9 :** Fécondité moyenne de 10 femelles de *C. maculatus*, en présence des graines de *V. unguiculata* traitées avec les différentes huiles essentielles des provenances Algérienne et Tunisienne (les moyennes suivies d'une lettre différente sont différentes de façon très hautement significative, selon le test de Newman et Keuls, au seuil P = 5%).

HE Doses (µl)	T. a. T	T. a. A	C. s. A	C. s. T	T. o. A	P. h. T
<b>0 (témoin)</b>	748,50 ± 110,94 (a)	748,50 ± 110,94 (a)	748,5 ± 11,94 (a)	748,5 ± 110,94 (a)	748,5 ± 110,94 (a)	748,5 ± 110,94 (a)
<b>6,5</b>	0,00 ± 0,00 (d)	217,25 ± 71,96 (c)	365 ± 38,88 (b)	644,75 ± 187,22 (a)	638 ± 37,50 (a)	646 ± 39,20 (a)
<b>12,5</b>	0,00 ± 0,00 (d)	74,25 ± 60,66 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	640 ± 29,63 (a)	364 ± 11,15 (b)	636 ± 95,73 (a)
<b>25</b>	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	202 ± 9,13 (c)	331 ± 41,58 (b)	0,00 ± 0,00 (d)
<b>50</b>	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)
<b>75</b>	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)	0,00 ± 0,00 (d)

Les résultats de l'analyse de la variance à deux critères de classification ont montré une différence très hautement significative pour le facteur huile (F = 74,27; P = 0,000 ; DDL = 5), le facteur dose (F = 549,27 ; P = 0,00; DDL = 5), ainsi que pour leur interaction (F = 25,83; P = 0,000; DDL = 25) (Tableau 10).

**Tableau 10 :** Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet des traitements sur le paramètre fécondité.

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation Totale</b>	143	100950,27				
<b>Variation Facteur1 (Huile)</b>	5	277032,81	74,27	0,000		
<b>Variation Facteur2 (Dose)</b>	5	204787,25	549,27	0,000		
<b>Variations interactions F<sub>1</sub> × F<sub>2</sub></b>	25	96335,20	25,83	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	108	3732,48			61,09	28,8 %

Selon les résultats du test de Tukey, la probabilité ajustée, des fécondités moyennes obtenues avec les couples des doses suivantes, présente une différence significative : 0 et 75  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,0000$ ) ; 6,5 et 50  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,031$ ) ; 0 et 12,5  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,001$ ) ; 0 et 6,5  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,031$ ).

Aucune différence significative n'a été constatée entre les couples des doses des moyennes suivantes, car la probabilité est supérieure à 0,05 : 50 et 75  $\mu\text{l}$  ( $P = 1$ ), 25 et 75  $\mu\text{l}$ , ( $P = 0,95$ ) et 6,5 et 12,5  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,78$ ) (Annexe 2 : tableau 2).

### - Effet des huiles essentielles sur le taux d'éclosion des œufs

Le traitement des graines de niébé avec les huiles essentielles, à différentes doses, réduit significativement le taux d'éclosion des œufs de *C. maculatus*, comparativement aux témoins (plus de 95 %).

Pour obtenir un taux d'éclosion nul des œufs de *C. maculatus*, la dose d'huile essentielle nécessaire est variable : 6,5  $\mu\text{l}/50\text{g}$  pour *T. articulata* Tunisienne, 12,5  $\mu\text{l}/50\text{g}$  pour *T. orientalis* Algérienne, 25  $\mu\text{l}/50\text{g}$  pour *P. halepensis* Tunisienne et *T. articulata* Algérienne et 50  $\mu\text{l}$  pour *C. sempervirens* des provenances Tunisienne et Algérienne (Tableau 11).

**Tableau 11 :** Taux d'éclosion (%) des œufs de *C. maculatus* pondus sur les graines de niébé traitées avec les différentes huiles essentielles, des provenances Algérienne et Tunisienne (les moyennes suivies d'une lettre différente sont différentes de façon très hautement significative, selon le test de Newman et Keuls, au seuil  $P = 5\%$ ).

HE \ Doses ( $\mu\text{l}$ )	T. a. T	T. a. A	C. s. A	C. s. T	T. o. A	P. h. T
0 (témoin)	95,16 $\pm$ 3,13 (a)	95,16 $\pm$ 3,13 (a)	95,16 $\pm$ 3,13 (a)	95,16 $\pm$ 3,1 3 (a)	95,16 $\pm$ 3,13 (a)	95,16 $\pm$ 3,13 (a)
6,5	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	84,75 $\pm$ 5,43 (b)	86,11 $\pm$ 4,63 (ab)	87,0211 $\pm$ 4,50 (ab)	92,32 $\pm$ 0,89 (a)	9,66 $\pm$ 5,37 (a)
12,5	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	75,24 $\pm$ 7,77 (c)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	84,5 $\pm$ 3,62 (b)	84,22 $\pm$ 0,93 (b)	86,13 $\pm$ 3,81 (b)
25	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	81,44 $\pm$ 3,09 (bc)	79,62 $\pm$ 12,31(b)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)
50	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,0 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,000 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)
75	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)	0,00 $\pm$ 0,00 (d)

Les résultats de l'analyse de la variance, à deux critères de classification, révèle une différence très hautement significative pour le facteur huile essentielle ( $P = 0,000$ ;  $F = 392,335$  ;  $DDL = 5$ ), le facteur dose ( $P = 0,000$ ;  $F = 2348,918$ ;  $DDL = 5$ ), ainsi que pour leur interaction ( $P = 0,000$ ;  $F = 143,818$  ;  $DDL = 2$ ) (Tableau 12).

**Tableau 12 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre éclosion des œufs de *C. maculatus*.

	<b>DDL</b>	<b>Carré moyen</b>	<b>Test de Fisher</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Variation Totale</b>	<b>143</b>	1985,88				
<b>Variation Facteur1 (huile)</b>	<b>5</b>	6066,86	392,335	0,000		
<b>Variation Facteur2 (dose)</b>	<b>5</b>	36542,07	2348,918	0,000		
<b>Variations interactions <math>F_{1 \times F_2}</math></b>	<b>25</b>	2773,23	143,818	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	<b>108</b>	14,86			3,86	9,3 %

Le test de Tukey classe les taux d'éclosion moyens par couple de doses, la probabilité ajustée n'est pas significative entre les plus fortes doses : 75 et 50  $\mu\text{l}$  ( $P = 1$ ); 25 et 50  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,588$ ) et entre les plus faibles doses : 0 et 12,5  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,177$ ) ; 0 et 6,5  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,801$ ).

Par contre, il existe une différence significative entre les taux d'éclosion moyens obtenus dans les traitements avec les faibles et les fortes doses : 12,5 et 50  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,02$ ) ; (6,5 et 50  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,001$ ); 0 et 50  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,0000$ ) ; (12,5 et 75  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,025$ ) ; 6,5 et 75  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,001$ ) ; 0 et 75  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,000$ ); 6,5 et 25  $\mu\text{l}$  ( $P = 0,003$ ) (Annexe 2 : Tableau 1).

#### **- Effets des huiles essentielles sur le taux de viabilité des œufs de *C. maculatus***

Le taux moyen de viabilité des œufs de *C. maculatus* est supérieur à 94 % dans les lots témoins, ce taux diminue au fur et à mesure que la dose augmente dans les lots traités. Aucune descendance n'est obtenue dans les lots traités avec *T. articulata* Tunisienne, à la dose 6,5  $\mu\text{l}/50$  g, le même résultat est obtenu avec 25  $\mu\text{l}/50$  g chez *T. articulata* Algérienne et *P. halepensis* Tunisienne (Tableau 13).

**Tableau 13 :** Taux de viabilité (%) des œufs éclos de *C. maculatus* dans les traitements avec les différentes huiles essentielles des provenances Algérienne et Tunisienne (les moyennes suivies d'une lettre différente sont différentes de façon très hautement significative, selon le test de Newman et Keuls, au seuil P = 5%).

Doses (µl) \ HE	T. a. T	T. a. A	C. s. A	C. s. T	T. o. A	P. h. T
0 (témoin)	94,91 ± 2,15 (a)	94,91 ± 2,15 (a)	94,91 ± 2,15 (a)	94,91 ± 2,15 (a)	94,91 ± 2,15 (a)	94,91 ± 2,15 (a)
6,5	0,00 ± 0,00 (e)	66,41 ± 9,40 (bc)	53,68 ± 6,80 (cd)	93,71 ± 1,91 (a)	76,20 ± 26,12 (ab)	93,83 ± 4,27 (a)
12,5	0,00 ± 0,00 (e)	4,41 ± 12,29 (cd)	0,00 ± 0,00 (e)	87,67 ± 0,41 (a)	57,14 ± 5,30 (cd)	87,87 ± 6,22 (a)
25	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	84,31 ± 1,34 (a)	50,92 ± 6,41 (cd)	0,00 ± 0,00 (e)
50	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)
75	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)	0,00 ± 0,00 (e)

L'analyse de la variance à deux critères de classification a révélé une différence très hautement significative pour les facteurs dose ( $F = 1041,66$ ;  $P = 0,000$ ;  $DDL=5$ ), huile ( $F = 200,25$   $P = 0,000$ ;  $DDL = 5$ ) et pour leur interaction ( $F = 74,95$ ;  $P = 0,000$ ;  $DDL = 25$ ) (Tableau 14).

**Tableau 14 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre viabilité des œufs chez *C. maculatus*.

	DDL	Carré moyen	Test de Fisher	Probabilité	Ecart- type	Coefficient de variation
Variation Totale	143	1793,82				
Variation Facteur1	5	6271,16	200,25	0,000		
Variation Facteur2	5	32618,65	74,95	0,000		
Variations interactions $F_1 \times F_2$	25	2347,33	1041,66	0,000		
Variation résiduelle	108	31,33			5,60	14,7

La probabilité ajustée du test de Tukey montre une différence significative pour le taux moyen de viabilité obtenu avec les couples des doses suivantes : 6,5 et 75 µl ; 0 et 75 µl ; 6,5 et 50 µl ; 0 et 50 µl ; 0 et 25 µl ). Mais aucun écart significatif n'a été constaté entre les taux moyens de viabilité obtenus avec les faibles et les fortes doses : 50 et 75 µl ; 25 et 75 µl ; 12,5 et 75 µl ; 25 et 50 µl ; 12,5 et 50 µl ; 12,5 et 25 µl ; 6,5 et 25µl ; 6,5 et 12,5 µl ; 0 et 6,5 µl ( Annexe 2 : Tableau 1).

### -Effet des huiles essentielles sur les pertes en poids des graines de niébé

L'huile essentielle de *T. articulata* est la plus efficace, car même avec la plus faible dose, les pertes en poids sont nulles, comparativement aux graines des lots témoins non traitées (24,75 g).

Pour l'ensemble des huiles testées, les traitements avec la dose 50 µl/50g préservent complètement les graines de niébé des attaques de *C. maculatus*, en effet, aucune perte en poids significative n'a été enregistrée (Tableau 15).

**Tableau 15 :** Poids moyen des graines (g) de *V. unguiculata* infestées par *C. maculatus* et traitées avec les différentes huiles essentielles, des provenances Algérienne et Tunisienne (les moyennes suivies d'une lettre différente sont différentes de façon très hautement significative, selon le test de Newman et Keuls, au seuil P = 5%).

HE \ Doses (µl)	T. a. T	T. a. A	C. s. A	C. s. T	T. o. A	P. h. T
0 (témoin)	24,75 ± 1,71 (f)					
6,5	50 ± 0,00 (a)	47,22 ± 1,71 (a)	42,95 ± 0,60 (b)	30,13 ± 2,03 (e)	37,5 ± 2,54 (d)	30,75 ± 1,70 (e)
12,5	50 ± 0,00 (a)	50 ± 0,00 (a)	50 ± 0,00 (a)	35,28 ± 2,14 (d)	38,70 ± 0,37 (c)	36,09 ± 0,66 (d)
25	50 ± 0,00 (a)	50 ± 0,00 (a)	50 ± 0,00 (a)	48,58 ± 0,81 (a)	35,97 ± 1,71 (d)	40,12 ± 0,64 (c)
50	50 ± 0,00 (a)					
75	50 ± 0,00 (a)					

L'analyse statistique des résultats révèle une différence très hautement significative concernant le poids des graines pour le facteur huile (P = 0,000 ; F = 210,55), le facteur dose (P = 0,000; F = 1741,58), et leur interaction (P = 0,000 ; F = 62,09) (Tableau 16).

**Tableau 16 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre poids des graines de *V. unguiculata*.

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
Variation Totale	143	98,17				
Variation Facteur1	5	258,19	209,69	0,000		
Variation Facteur2	5	2141,32	1739	0,000		
Variations interactions F <sub>1</sub> × F <sub>2</sub>	25	76,32	61,98	0,000		
Variation résiduelle	108	1,23			1,11	2,6 %

D'après le test de Tukey, la probabilité ajustée du poids moyen des graines de niébé, entre les fortes doses et le témoin, est significative : 0 et 6,5  $\mu$ l (P = 0,000) ; 0 et 12,5  $\mu$ l (P = 0,000) ; 0 et 25  $\mu$ l (P = 0,000) ; 0 et 50  $\mu$ l (P = 0,000) ; 6,5 et 50  $\mu$ l (P = 0,02) ; 6,5 et 75 (P = 0,002) ; 0 et 75  $\mu$ l (P = 0,000), mais aucune différence significative (probabilité ajustée supérieure à 0,005) n'a été constatée pour le poids moyen des graines traitées aux différentes doses utilisées 12,5 et 6,5  $\mu$ l (P = 0,835) ; 50 et 75  $\mu$ l (P = 1) (Annexe 2 : Tableau2).

#### **-Impact des huiles essentielles testées sur la faculté germinative des graines de niébé.**

L'analyse de la variance à deux critères de classification n'a montré aucun effet significatif des traitements sur ce paramètre. Les traitements effectués avec les six huiles essentielles, aux doses 50 et 75  $\mu$ l, n'affectent aucunement la germination des graines de *V. unguiculata* (Tableau 17).

**Tableau 17 :** Faculté germinative des graines de *V. unguiculata* (%) traitées avec les différentes huiles essentielles.

HE \ Doses ( $\mu$ l)	T. a. T	T. a. A	C. s. A	C. s. T	T. o. A	P. h. T
0	100 $\pm$ 0,00					
50	100 $\pm$ 0,00					
75	100 $\pm$ 0,00					

Le test de Tukey montre qu'il n'ya aucune différence significative, entre le taux moyen de germination des graines dans les traitements avec les différentes doses utilisées, car la probabilité ajustée est de 1 : 0 et 50  $\mu$ l (P = 1) ; 0 et 75  $\mu$ l (P = 1) ; 50 et 75  $\mu$ l (P = 1).

#### **3.2.2. Résultats des tests d'inhalation avec les huiles essentielles des conifères.**

*T. articulata* et *P. halepensis* de provenance Tunisienne ne manifestent aucune toxicité significative à l'égard des bruches adultes, quelles que soient la dose et la durée d'exposition. *T. articulata* Algérienne cause plus de 75 % de mortalité chez *C. maculatus*, aux plus fortes doses.

L'huile essentielle de *C. sempervirens* des deux provenances provoque 100 % de mortalité à la dose 37,5  $\mu$ l/l et après 24h d'exposition. A la même dose, la mortalité des bruches est de 100 % dans les traitements avec *T. orientalis* Algérienne après 72 d'exposition (Tableau 18).

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré un effet très hautement significatif pour le facteur huile (F : 31859,52 ; P = 0,000 ; DDL = 5) ; pour le facteur dose (F = 36454,36 ; P = 0,000 ; DDL = 3), pour le facteur temps (F = 86121,2 ; P = 0,000 ; DDL = 3) et pour l'interaction des trois facteurs (F = 745643 ; P = 0,000 ; DDL = 45) (Annexe 2 : Tableau2).

**Tableau 18 :** Taux de mortalité (%) des adultes de *C. maculatus* dans les tests d'inhalation.

Espèces des conifères utilisées	Doses : µl	Temps d'exposition (h)			
		24	48	72	96
<i>T. articulata</i> Tunisienne	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0
	37,5	0	0	0	0
	50	0	0	0	0
<i>T. articulata</i> Algérienne	0	0	0	0	0
	25	27,08 ± 0,21	11,25 ± 0,36	3,02 ± 0,39	5,98 ± 0,45
	37,5	50,13 ± 0,40	10,21 ± 0,54	8,13 ± 0,40	1,67 ± 0,00
	50	33,50 ± 0,51	10,21 ± 0,54	8,31 ± 0,00	1,67 ± 0,00
<i>C. sempervirens</i> Tunisienne	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0
	37,5	100	-	-	-
	50	100	-	-	-
<i>C. sempervirens</i> Algérienne	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0
	37,5	100	-	-	-
	50	100	-	-	-
<i>T. orientalis</i> Algérienne	0	0	0	0	0
	25	26,25 ± 0,5	17,50 ± 1	3,38 ± 0,75	33,38 ± 0,75
	37,5	22,5 ± 1	40,00 ± 0,00	37,5 ± 1,00	0
	50	22,5 ± 1	40,0 ± 0,0	37,5 ± 1,00	0
<i>P. halepensis</i> Tunisienne	0	0	0	0	0
	25	0	0	1,25 ± 0,5	2,5 ± 1
	37,5	0	0	11,25 ± 0,5	10 ± 0,00
	50	0	0	11,25 ± 0,5	10,00 ± 0,00

### 3.2.3. Résultats des tests de répulsivité des huiles essentielles des conifères

L'huile essentielle de *T. articulata* tunisienne est très répulsive à partir de la dose 6,5 µl (80 %). Celle de *P. halepensis* est modérément répulsive (60%), alors que les autres huiles (*T. articulata* algérienne et *C. sempervirens*) manifestent une faible répulsivité à l'égard des adultes de *C. maculatus* (Tableau 19).

**Tableau 19 :** Taux moyen de répulsivité (%) des différentes huiles essentielles de provenance Algérienne et Tunisienne à l'égard des adultes de *C. maculatus*.

Doses ( $\mu$ l)	T. a. A	T. a. T	C. s. A	C. s. T	T. o. A	P. h. T
6,5	11,5 $\pm$ 1,29 (hi)	80 $\pm$ 4,08 (b)	15 $\pm$ 5,77 (hi)	6,67 $\pm$ 0,71 (i)	2,5 $\pm$ 2,89 (fgh)	10 $\pm$ 0,00 (hi)
12,5	14,5 $\pm$ 1,29 (hi)	90 $\pm$ 1,63 (ab)	37,5 $\pm$ 17,08 (de)	13,38 $\pm$ 0,63 (hi)	30 $\pm$ 11,5 (efg)	20 $\pm$ 0,00 (ghi)
25	36,5 $\pm$ 9,63 (de)	100 $\pm$ 0,00 (a)	32,5 $\pm$ 9,57 (efg)	20 $\pm$ 0,91 (ghi)	32,5 $\pm$ 5 (efg)	80 $\pm$ 0,00 (b)
50	32,5 $\pm$ 9,57 (efg)	100 $\pm$ 0,00 (a)	42 $\pm$ 5 (cde)	88,5 $\pm$ 1,22 (ab)	35 $\pm$ 5,77 (ef)	90 $\pm$ 0,00 (ab)
75	47,5 $\pm$ 14,4 (cd)	100 $\pm$ 0,00 (a)	50 $\pm$ 8,16 (c)	100 $\pm$ 0,00 (a)	80 $\pm$ 8,16 (b)	100 $\pm$ 0,00 (a)
Taux moyen de répulsivité (%)	28,4 $\pm$ 7,87 (f)	94,0 $\pm$ 1,75 (a)	35,5 $\pm$ 8,96 (e)	45,7 $\pm$ 0,71(c)	40,0 $\pm$ 6,49 (d)	60 $\pm$ 0,00 (b)
Classe de répulsivité	II (faiblement répulsive)	V (très répulsive)	II (faiblement répulsive)	II (faiblement répulsive)	II (faiblement répulsive)	III (modérément répulsive)

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré que l'effet est très hautement significatif pour le facteur huile ( $F = 284,86$  ;  $P = 0,000$  ; DDL = 5) ; le facteur dose ( $F = 297,02$  ;  $P = 0,000$  ; DDL = 4) ; et l'interaction des deux facteurs ( $F = 36,58$  ;  $P = 0,0000$  ; DDL = 20) (Tableau 20).

La probabilité ajustée du test de répulsivité des conifères (Test de Tukey) a révélé qu'il n'y a aucune différence significative entre les couples de doses (probabilité supérieure à 0,005), sauf pour le couple de dose 6,5 – 75  $\mu$ l ( $P = 0,02$ ) (Annexe 2 ; Tableau 3).

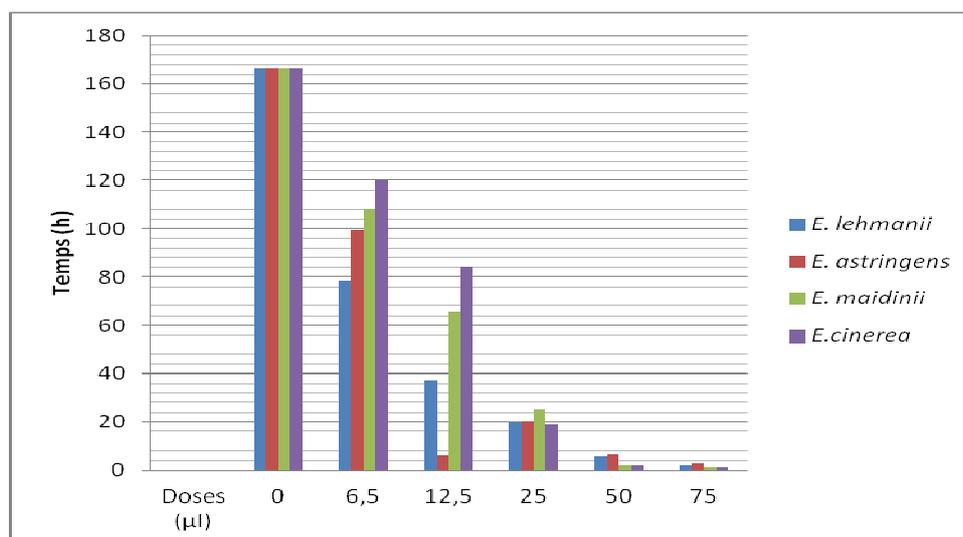
**Tableau 20 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le test de répulsivité des différentes huiles essentielles testées à l'égard des adultes de *C. maculatus*.

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
Variation Totale	119	1144,56				
Variation Facteur1	5	11298,50	284,86	0,000		
Variation Facteur2	4	11780,94	297,02	0,000		
Variations interactions $F_{1 \times F_2}$	20	1450,86	36,58	0,000		
Variation résiduelle	90	39,66			5,60	14,7 %

### 3.2.4. Résultats des tests par contact avec les huiles essentielles des Myrtacées

#### - Effet des huiles essentielles sur la longévité de *C. maculatus*

La longévité moyenne des adultes de *C. maculatus*, traités avec les huiles essentielles de *E. lehmanii*, *E. astringens*, *E. maidenii* et *E. cinerea*, est réduite de façon très significative (inférieure à 24 heures), comparativement au témoin (166,65 h), à partir de la dose 25  $\mu\text{l}$  (Figure 20).



**Figure 20 :** Longévité moyenne (h) des adultes de *C. maculatus* traités avec les différentes huiles essentielles de provenance Tunisienne.

Les résultats des analyses de la variance à deux critères de classification révèlent une différence très hautement significative pour le facteur dose ( $F = 164,18$ ;  $P = 0,000$ ; DDL = 5), mais aucune différence significative n'apparaît pour le facteur huile ( $F = 1,97$ ;  $P = 0,1242$ ; DDL = 3) et pour l'interaction des deux facteurs ( $F = 0,9$ ;  $P = 0,5195$ ; DDL = 15) (Tableau 21).

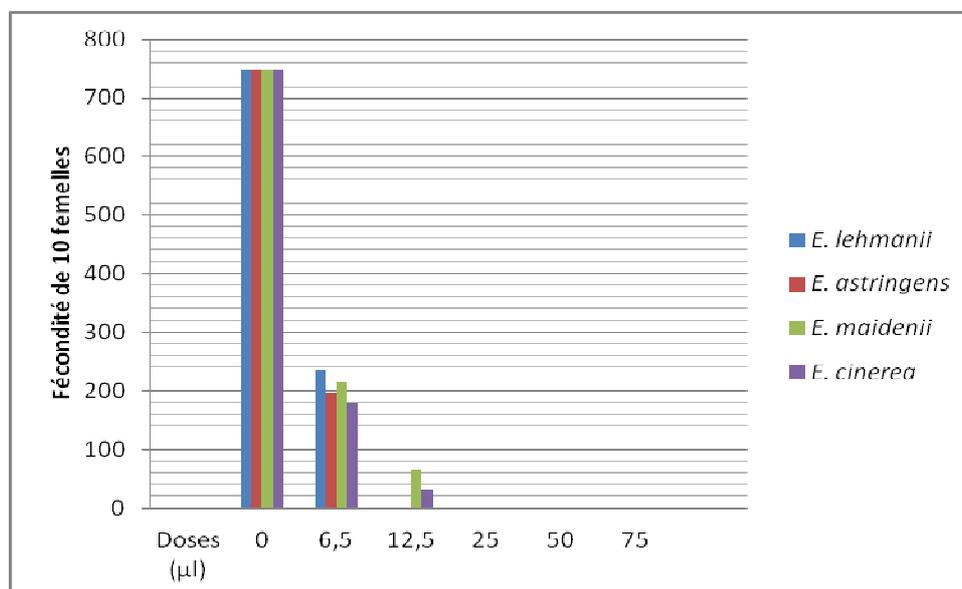
**Tableau 21:** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre longévité des bruches dans les traitements par contact avec les huiles essentielles des Myrtacées.

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	95	3960,08				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	5	67650,77	164,18	0,000		
<b>Variation facteur 2 (huile)</b>	3	812,67	1,97	0,1242		
<b>Variation interaction facteur1× facteur2</b>	15	389,85	0,95	0,5195		
<b>Variation résiduelle</b>	72	412,05			20,30	34,10 %

Les résultats du test de Tukey montrent que la probabilité ajustée des moyennes des couples de fortes et de faibles doses présente une différence significative (6,5 $\mu$ l – 50  $\mu$ l ; 0-75 $\mu$ l) (Annexe 2 : Tableau 4).

#### - Effet des huiles essentielles sur la fécondité de *C. maculatus*

Le nombre d'œufs pondus diminue au fur et à mesure que la dose augmente et cela pour les 4 espèces d'*Eucalyptus* testées. Dans les lots témoins, le nombre d'œufs pondus est de 748,5  $\pm$  110,94/10femelles. La fécondité s'annule à partir de 12,5  $\mu$ l pour *E. lehmani* et *E. astringens* et à partir de la dose 25  $\mu$ l pour *E. cinerea* et *E. maidenii* (Figure 21).



**Figure 21** : Fécondité moyenne de 10 femelles de *C. maculatus*, en présence des graines de *V. unguiculata* traitées avec les différentes huiles essentielles de provenance Tunisienne.

D'après les résultats des analyses de la variance du paramètre fécondité, il y'a une différence très hautement significative pour le facteur dose ( $F = 622,05$ ;  $P = 0,000$ ;  $DDL = 5$ ), mais aucune différence significative n'est observée pour le facteur huile ( $F = 0,38$ ;  $P = 0,7678$ ;  $DDL = 3$ ) et pour l'interaction des deux facteurs (huile et dose) ( $F = 0,4$  ;  $P = 0,9505$ ;  $DDL = 15$ ) (Tableau 22).

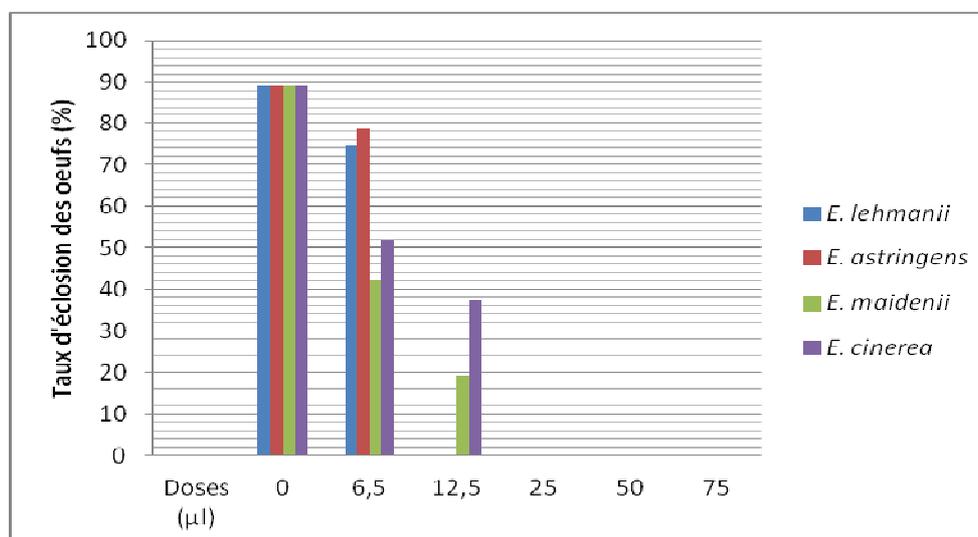
**Tableau 22 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre fécondité en présence des graines traitées avec les huiles essentielles des Myrtacées.

	DDL	Carré moyen	Test Fischer	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
Variation totale	95	76661,84				
Variation facteur 1 (Dose)	5	141994,00	622,05	0,000		
Variation facteur 2 (Huile)	3	877,33	0,38	0,7678		
Variation interaction facteur 1×facteur2	15	1061,00	0,46	0,9505		
Variation résiduelle	72	2282,75			47,78	29,2 %

Le test de Tukey montre que la probabilité ajustée est significative, pour les couples des différentes doses et le témoin (0-25  $\mu\text{l}$  ; 0 -12,5  $\mu\text{l}$  et 0-75 $\mu\text{l}$ ) et entre les faibles et les fortes doses (6,5-75 $\mu\text{l}$  ; 12,5 -50 $\mu\text{l}$ ), mais aucun effet significatif n'a été constaté entre les couples des fortes doses (75 - 25  $\mu\text{l}$  ; 50 – 75  $\mu\text{l}$ ) (Annexe 2 : Tableau 4).

#### - Effet des huiles essentielles sur le taux d'éclosion des œufs

Le taux d'éclosion des œufs de *C. maculatus* est de l'ordre de 89 % dans les lots témoins, ce taux diminue à la dose 6,5  $\mu\text{l}/50\text{g}$  pour l'ensemble des 4 huiles essentielles des Myrtacées. Il s'annule à la dose 12,5  $\mu\text{l}/50\text{g}$  pour *E. lehmani* et *E. astringens* et à la dose 25  $\mu\text{l}/50\text{g}$  pour *E. maidenii* et *E. cinerea* (Figure 22).



**Figure 22 :** Taux d'éclosion (%) des œufs de *C. maculatus* pondus sur les graines traitées avec les différentes huiles essentielles de provenance Tunisienne.

Les résultats des analyses de la variance, pour le paramètre taux d'éclosion, montrent une différence très hautement significative pour le facteur dose ( $F = 1536,84$  ;  $P = 0,000$  ;  $DDL = 5$ ), pour le facteur huile ( $F = 5,47$  ;  $P = 0,000$  ;  $DDL = 3$ ) et pour l'interaction des deux facteurs ( $F = 30,97$  ;  $P = 0,000$  ;  $DDL = 15$ ) (Tableau 23).

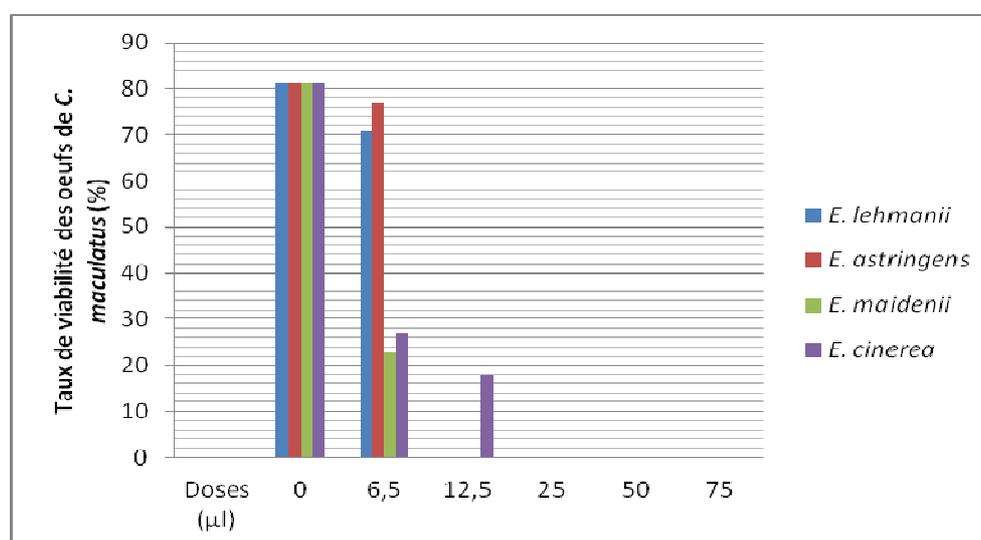
**Tableau 23 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre éclosion des œufs dans les traitements avec les huiles essentielles des Myrtacées.

	DD L	Carré moyen	Test de Ficher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
Variation totale	95	1368,90				
Variation facteur 1 (dose)	5	24262,98	1536,84	0,000		
Variation facteur2 (huile)	3	86,32	5,47	0,000		
Variation interaction facteur 1× facteur 2	15	488,99	30,97	0,000		
Variation résiduelle	72	15,79			3,97	14,30 %

Selon les résultats du test de Tukey, la probabilité ajustée des valeurs moyennes obtenues avec les couples de faibles et de fortes doses est significative (0 - 25  $\mu$ l ; 6,5  $\mu$ l - 50 ; 0 - 50  $\mu$ l ; 6,5 - 75  $\mu$ l ; 0 - 75  $\mu$ l), mais aucune différence significative n'a été constatée entre les fortes doses (Annexe 2 : Tableau 4).

#### - Effet des huiles essentielles sur le taux de viabilité des œufs pondus sur les graines

Le taux de viabilité des œufs de *C. maculatus* diminue à la dose 6,5  $\mu$ l/50g, puis s'annule à la dose 12,5  $\mu$ l/50g pour *E. lehmanii*, *E. astringens* et *E. maidenii* et à la dose 25  $\mu$ l/50g pour *E. cinerea* (Figure 24).



**Figure 23 :** Taux de viabilité des œufs éclos de *C. maculatus* dans les traitements avec les différentes huiles essentielles de provenance Tunisienne.

Les résultats des analyses de la variance ont montré un effet très hautement significatif pour le facteur dose ( $F = 399,27$ ;  $P = 0,000$ ; DDL = 5), le facteur huile ( $F = 8,54$ ;  $P = 0,000$ ; DDL = 3) et pour l'interaction des deux facteurs ( $F = 12,96$  ;  $P = 0,000$  ; DDL = 15) (Tableau 25). Selon le test de Tukey, la probabilité ajustée des couples des doses suivantes est significative : (0 - 6,5  $\mu$ l ; 0 - 12,5  $\mu$ l ; 0 - 75  $\mu$ l ; 0 - 25  $\mu$ l ; 6,5 - 12,5  $\mu$ l ; 25 - 6,5  $\mu$ l ; 12,5-

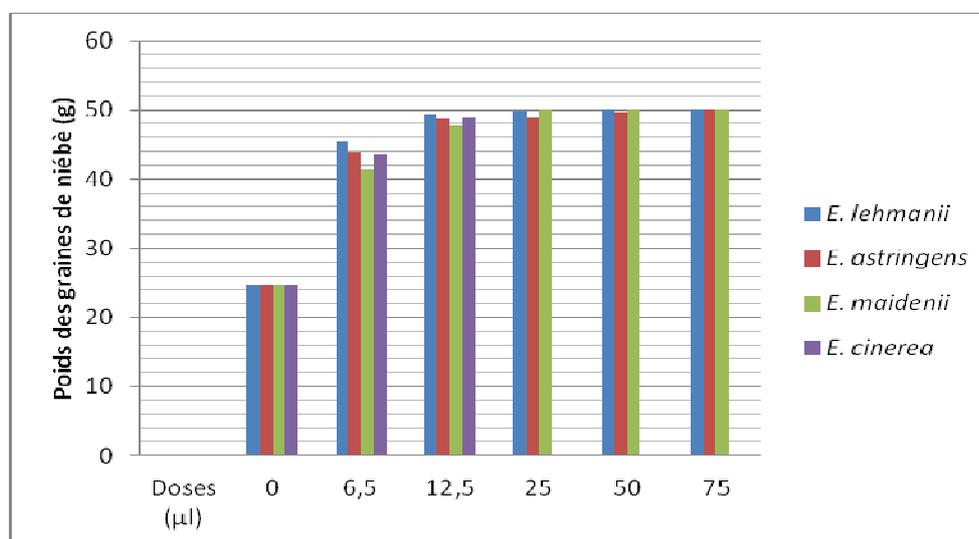
25 µl et 75 – 6,5 µl), mais aucune différence significative n'a été constatée entre les moyennes des couples des doses suivantes : 25 – 75µl ; 12,5 – 50 µl ; 12,5 – 75µl ; 25 – 75 µl et 75 – 12,5 µl, ce qui correspond à l'absence des émergences (Annexe 2 : Tableau 4).

**Tableau 24:** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre viabilité des œufs de *C. maculatus*.

	DDL	Carrés moyens	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	95	1162,23				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	5	19264,67	399,27	0,000		
<b>Variation facteur 2 (huile)</b>	3	412,23	8,54	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur 2</b>	15	625,19	12,96	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	72	48,25			6,95	30,8 %

#### -Effet des huiles essentielles sur les pertes en poids des graines de niébé

Le poids moyen des graines de *V. unguiculata* non traitées avec les huiles essentielles (lots témoins) est de 24,75 g, nous pouvons donc estimer les dégâts occasionnés par *C. maculatus* à 25,25 g, ce qui correspond à 50 % de pertes. Par contre pour les graines traitées, nous constatons qu'au fur et à mesure que la dose augmente, le poids initial des graines est préservée (50 g) et cela à partir de la dose 25 µl/50g (Figure 24).



**Figure 24 :** Poids moyen des graines (g) de *V. unguiculata* infestées par *C. maculatus* et traitées avec les différentes huiles essentielles de provenance Tunisienne.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que pour le paramètre poids des graines, il y'a une différence non significative pour le facteur dose ( $F = 0,00086$  ;  $P = 0,000$ ;

DDL = 5), pour le facteur huile (F = 1982,4 ; P = 0,0000 ; DDL = 3) et une différence significative pour l'interaction des deux facteurs (huile × dose) (F = 2,66 ; P = 0,003 ; DDL = 15) (Tableau 25).

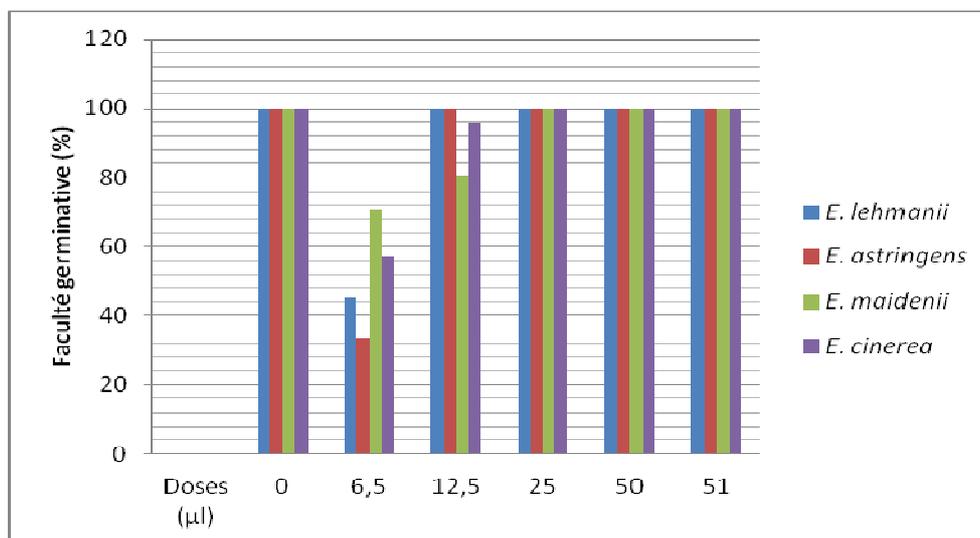
**Tableau 25 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre poids des graines traitées avec les huiles essentielles des Myrtacées.

	DDL	Carré moyen	Test Fischer	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	95	84,40				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	5	3,36	4,20	0,00086		
<b>Variation facteur 2 (huile)</b>	3	1583,64	1982,64	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	15	2,12	2,66	0,0030		
<b>Variation résiduelle</b>	72	0,80			0,89	2,0 %

D'après les résultats du test de Tukey, la probabilité ajustée des différents couples de doses révèle des différences non significatives entre les faibles et les fortes doses, entre les fortes doses et entre les faibles doses (Annexe 2 : Tableau 4).

#### - Effet des huiles essentielles des Myrtacées sur la faculté germinative des graines

Les graines de *V. unguiculata* traitées avec les différentes d'huiles essentielles des 4 espèces d'*Eucalyptus* ont une faculté germinative de 100 % à partir de la dose 12,5 µl pour *E. lehmanii* et *E. astringens* et à la dose 25 µl pour *E. maidenii* et *E. cinerea*. Par contre, à la plus faible dose 6,5 µl, leur faculté germinative est significativement affectée, elle varie entre 33,5 et 71 %, comparativement au témoin (100%) (Figure 25).



**Figure 25 :** Faculté germinative des graines de *V. unguiculata* (%) traitées avec les différentes huiles essentielles.

Les résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre faculté germinative n'ont montré aucun effet significatif pour le facteur dose ( $F = 2,46$  ;  $P = 0,068$  ;  $DDL = 5$ ) ; mais l'effet est très hautement significatif pour le facteur huile ( $F = 282,25$  ;  $P = 0,000$  ;  $DDL = 3$ ) et pour l'interaction des deux facteurs (huile et dose) ( $F = 12,43$  ;  $P = 0,000$  ;  $DDL = 15$ ) (Tableau 26).

**Tableau 26 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre faculté germinative des graines de niébé traitées avec les huiles essentielles des Myrtacées.

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart-type	Coefficient de variation
Variation totale	95	377,09				
Variation facteur 1 (dose)	5	52,50	2,46	0,0687		
Variation facteur 2 (huile)	3	6029,27	282,25	0,000		
Variation interaction facteur 1× facteur2	15	265,47	12,43	0,000		
Variation résiduelle	72	21,36			4,62	5,1%

D'après les résultats du test de Tukey, la probabilité ajustée pour la faculté germinative des graines de niébé ne révèle pas de différence significative entre les différents couples de doses des huiles essentielles d'eucalyptus.

### 3.2.5. Résultats des tests d'inhalation avec les huiles essentielles des Myrtacées

Le taux de mortalité des adultes de *C. maculatus* atteint 100 % après 24 h d'exposition à l'huile essentielle d'*E. cinerea* à la dose 25 µl/l (Tableau 27).

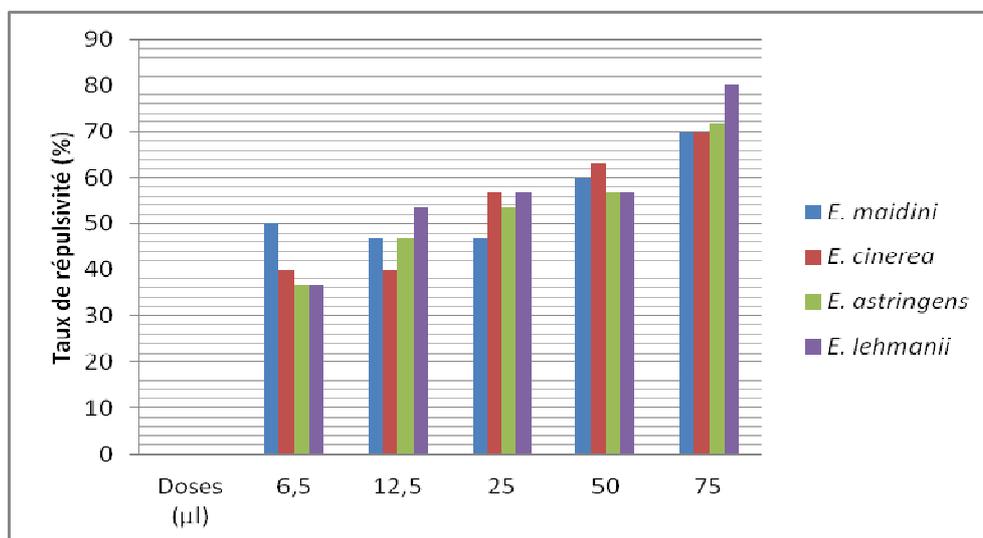
Les résultats de l'analyse de la variance ont montré un effet très hautement significatif pour le facteur huile ( $DDL = 3$  ;  $F = 142,451$  ;  $P = 0,0000$ ), le facteur dose ( $DDL = 4$  ;  $F = 883,721$  ;  $P = 0,000$ ) et le facteur temps ( $DDL = 3$  ;  $F = 5449,188$  ;  $P = 0,0000$ ). Il en est de même pour l'interaction des trois facteurs : huile × dose × temps ( $DDL = 36$  ;  $F = 148,146$  ;  $P = 0,000$ ) (Annexe 2 : tableau 5).

**Tableau 27:** Taux de mortalité (%) des adultes de *C. maculatus* (Test d'inhalation).

Espèces du genre	Doses $\mu\text{l}$	Temps d'exposition (h)			
		24	48	72	96
<i>Eucalyptus</i>					
<i>E. maidenii</i>	0	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
	25	37,75 $\pm$ 0,52	7,2 $\pm$ 0,43	4,7 $\pm$ 0,22	7,8 $\pm$ 0,34
	37,5	41,55 $\pm$ 0,76	5,95 $\pm$ 0,22	8,45 $\pm$ 0,62	8,45 $\pm$ 1,09
	50	61,55 $\pm$ 0,62	8,45 $\pm$ 0,34	8,15 $\pm$ 0,26	1,94 $\pm$ 0,62
<i>E. cinerea</i>	0	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
	25	100 $\pm$ 0,00	-	-	-
	37,5	100 $\pm$ 0,00	-	-	-
	50	100 $\pm$ 0,00	-	-	-
<i>E. astringens</i>	0	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
	25	52,75 $\pm$ 0,96	10 $\pm$ 0,82	10 $\pm$ 0,82	27,25 $\pm$ 0,58
	37,5	66,25 $\pm$ 1,50	8,75 $\pm$ 0,22	12,25 $\pm$ 0,62	12,75 $\pm$ 1,73
	50	75 $\pm$ 1,15	17,50 $\pm$ 0,58	7,50 $\pm$ 1,29	0,00 $\pm$ 0,00
<i>E. lehmanii</i>	0	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00
	25	2,5 $\pm$ 1	7,5 $\pm$ 0,5	8,75 $\pm$ 0,5	0,75 $\pm$ 0,5
	37,5	5 $\pm$ 0,82	10 $\pm$ 0,00	21,25 $\pm$ 0,50	3,25 $\pm$ 1,71
	50	20 $\pm$ 0,0	16,25 $\pm$ 0,5	31,25 $\pm$ 0,5	6,5 $\pm$ 0,58

### 3.2.6. Résultats des tests de répulsivité avec les huiles essentielles des Myrtacées

La répulsivité des huiles essentielles du genre *Eucalyptus* demeure modérée avec les doses allant de 6,5 à 50  $\mu$ l. A partir de la dose 75  $\mu$ l, ce taux varie entre 70 et 80 % (Figure 26).



**Figure 26 :** Taux moyen de répulsivité (%) des différentes huiles essentielles du genre *Eucalyptus* de provenance Tunisienne à l'égard des adultes de *C. maculatus*.

Les résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre répulsivité montrent qu'il n'y a aucune différence significative pour le facteur dose ( $F = 0,45$ ;  $P = 0,7241$  ;  $DDL = 3$ ) et l'interaction des deux facteurs : doses et huiles ( $F = 0,4240$ ;  $P = 0,4240$ ;  $DDL = 12$ ) ; mais une différence très hautement significative existe pour le facteur huile ( $F = 22,77$ ;  $P = 0,000$ ;  $DDL = 4$ ) (Tableau 28).

**Tableau 28 :** Résultats de l'analyse de la variance du test de répulsivité avec les huiles essentielles des Myrtacées.

	DDL	Carré moyen	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	59	197,70				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	3	35,97	0,45	0,7241		
<b>Variation Facteur 2 (huile)</b>	4	1831,25	22,77	0,000		
<b>Variation interaction facteu 1× facteur 2</b>	12	84,58	1,05	0,4240		
<b>Variation résiduelle</b>	40	80,42			8,97	16,4 %

L'analyse des résultats du test de Tukey révèle que la probabilité ajustée des couples des moyennes des fortes et des faibles doses est significative (50 - 6,5 µl; 75 - 6,5 µl; 75 - 12,5 µl et 25 - 75 µl). Par contre, aucune différence significative n'a été constatée entre les couples des fortes doses et les couples des faibles doses (Annexe 2 : Tableau 6).

### 3.2.7. Discussion

L'effet des huiles essentielles des conifères des deux provenances est très significatif, lorsque nous augmentons la dose, la longévité des adultes *C. maculatus* diminue, ce qui se répercute sur la fécondité et la viabilité des œufs pondus. Ces paramètres s'annulent à partir de la dose 25 µl/50g pour le genre *Tetraclinis* et *C. sempervirens* Algérienne et la dose 50 µl/50g pour *C. sempervirens* et *P. halepensis* Tunisienne.

L'ensemble des résultats confirment ceux obtenus par de nombreux auteurs qui ont mis en évidence l'activité biologique d'une multitude d'extraits de plantes à l'égard des principaux insectes ravageurs des grains stockés.

En effet, Gbolade et al. (1999) notent que l'huile essentielle de *Ageratum conyzoides* provoque, à la dose 2,5 µl/10g de graines de niébé, une limitation significative de la ponte et une diminution de l'émergence des adultes chez la bruche du niébé, mais aucune détérioration physique des graines ne fut observée.

Une mortalité totale des adultes de *C. maculatus* a été obtenue dans les traitements réalisés avec 100 mg de poudre aromatisée avec 3 µl d'huile essentielle de *T. occidentalis* (Keita, 2000), il en est de même avec l'huile essentielle de *Mentha piperita* et *M. spicata*, à la dose de 0,01ml/100 g de graines de niébé (Raja et al., 2001).

D'après Séri Kouassi et al. (2004), l'utilisation de l'huile essentielle de *Melaleuca quinquenervia* (L) et d'*Ocimum gratissium* entraîne, chez les femelles de *C. maculatus*, une réduction très significative de la ponte, par rapport à celle du témoin (DL50 = 3,03 µl/l)

Kellouche et Soltani (2004) confirment l'effet toxique de l'eugénol vis-à-vis de *C. maculatus*. A la dose 5µl/50g de graines, il réduit la longévité (1 jour), le nombre d'œufs pondus ( $0 \pm 0,00$ ) et celui des descendants ( $0 \pm 0, 00$ ). Pour Khalfi- Habes (2007), la fécondité des femelles de *C. maculatus* s'annule à la dose 0,4 µl/g avec l'huile essentielle de l'origan et de la menthe, et aucune émergence n'est observée à la dose de 0,2 µl/g.

Une inhibition des pontes et une action ovicide ont été obtenues, chez *C. maculatus*, avec les huiles volatiles de *P. nigrum* (Rajapakse, 1996 ; Elhag 2000).

Pour Kellouche et al. (2010), la fécondité de *C. maculatus* est nulle dans les traitements avec l'huile essentielle de *C. sempervirens* à la dose 20 µl/50g.

Une réduction du taux de viabilité des œufs de *C. maculatus* a été observée par Keita et al. (2000) avec la poudre de Kaolin mélangée avec l'huile essentielle de *T. occidentalis*, par Taponjoui et al. (2005) et Kellouche et al. (2010), avec l'huile essentielle de *C. sempervirens*.

Dans les tests par inhalation, les huiles essentielles les plus toxiques à l'égard des adultes de la bruche du niébé, sont respectivement, *C. sempervirens* et *T. articulata* de provenance Tunisienne. Cette dernière s'est également révélée comme étant la substance la plus répulsive vis-à-vis de *C. maculatus*.

Des études similaires ont été réalisées par Kellouche et al. (2010) qui ont mis en évidence l'effet toxique de 10 huiles essentielles par inhalation sur *C. maculatus*, celle de *C. sempervirens* a causé un taux de mortalité de 100 % à la dose 30 µl, après 48h d'exposition et à la dose 20 µl après 96h d'exposition.

De même que pour Sahaf et Moharramipour (2008), l'huile essentielle de *Carum capticum* a provoqué 100% de mortalité sur les œufs, les larves et les adultes de *C. maculatus* par inhalation, après 24 h d'exposition, quelle que soit la dose utilisée (1,01 ; 2,5 et 0,9 µl/l).

La toxicité des huiles essentielles est variable selon la nature des tests. Ainsi, nous constatons que pour le test par contact, la viabilité est nulle à partir de 25 µl /50g pour *T. articulata* des deux provenances, *C. sempervirens* Algérienne et *P. halepensis* Tunisienne et 50 µl/50g pour *C. sempervirens* Tunisienne et *T. orientalis* Algérienne. Par contre dans les tests de répulsivité, toutes les huiles essentielles se sont révélées très actives à la dose 75 µl, mises à part *T. articulata* Tunisienne et *C. sempervirens* Algérienne

Aggaarwale et al. (2001a) signalent que le 1-8 cinéole est moyennement répulsif à la dose 4 µl. Alors que l'application par fumigation, à la dose 1µl/l d'air, provoque un taux de mortalité de 100 % chez les adultes de *C. maculatus*, *R. dominica*, *Sitophilus oryzae*.

Papachristos et Stamopoulos (2002), cités par Nério et al. (2010), ont montré que l' $\alpha$  pinène, le limonène et le camphor de l'huile essentielle de *Juniperus oxycedrus* ont un effet répulsif à l'égard de *Acanthoscelides obtectus*.

Les résultats des tests de toxicité des huiles essentielles des 4 espèces d'*Eucalyptus* montrent que le taux de viabilité des œufs de la bruche de niébé est nul à la dose de 12,5 µl/50g.

Le poids et la faculté germinative des graines de niébé ne sont pas affectés dans les traitements avec l'huile essentielle de *E. astringens* et *E. lehmanii*. Des résultats similaires ont été obtenus par Kellouche et al. (2010) avec l'huile essentielle de *E. globulus* et de *E. citriodora*, dans les mêmes conditions expérimentales. Ainsi, le taux d'éclosion et le taux de viabilité des œufs de la bruche du niébé s'annulent à la dose 15 µl/50g.

Dans le test d'inhalation, l'huile essentielle la plus efficace est celle de *E. cinerea*, à la dose 25 µl, elle cause 100 % de mortalité, après 24 h d'exposition. Kellouche et al., (2010) ont obtenu les mêmes résultats avec l'huile essentielle d'*E. globulus* et *E. citriodora*, et cela à partir de la dose 20 µl/l, après 24 h d'exposition.

Le poids et le pouvoir germinatif des graines de niébé sont préservés dans les traitements avec les différentes huiles essentielles, à partir de la dose 25 µl/50g.

D'après les résultats des tests de répulsivité, les différentes espèces du genre *Eucalyptus* sont très actives à l'égard de *C. maculatus*, à partir de la dose 75 µl.

Plusieurs travaux ont mis en évidence l'activité insecticide des huiles essentielles du genre *Eucalyptus* sur les principaux ravageurs des denrées stockées. Selon Taponjoui et al. (2003), l'huile essentielle d'*E. saligna* a provoqué 100 % de mortalité des adultes de *C. maculatus* à la dose 0,20 µl/cm<sup>2</sup>, au bout de 24 h d'exposition.

Taponjoui et al. (2005) ont montré l'effet toxique d'*E. saligna* à l'égard de *Sitophilus zeamais* et *Tribolium confusum*, à la dose 0,36 µl/cm<sup>2</sup>. L'huile essentielle d'*E. camadulensis* et *E. rudis* ont un effet insecticide à l'égard d'un insecte ravageur des dattes, *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera : Pyralidae).

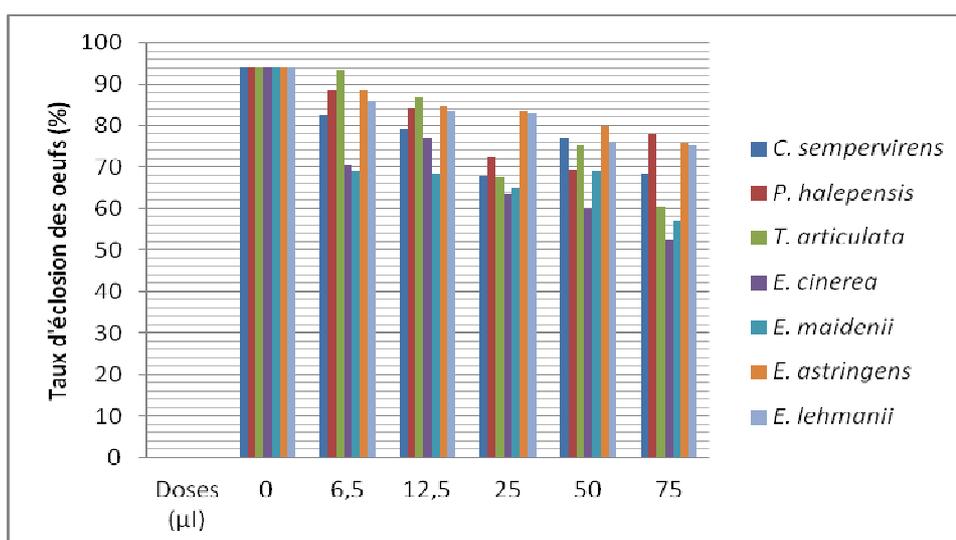
Nerio et al. (2009) signalent que l'huile essentielle de *E. citriodora* est très répulsive à l'égard de *Sitophilus zeamais* à la dose 0,503 µl/cm<sup>2</sup>, après 24 h d'exposition.

L'effet insecticide des huiles essentielles des Myrtacées et des résineux à l'égard de *C. maculatus*, débute à partir de la dose 25 µl/50g. Cette toxicité est liée aux composés majoritaires des huiles essentielles (1-8 cinéole et le α pinène). Mills et al., 2004 cités par Regnault Roger et al., 2008), notent que les monoterpènes contenus dans les huiles essentielles sont des neurotoxiques et agissent en fonction de leur nature chimique. Le terpinène- 4-ol et le 1-8 cinéole, contenus dans l'huile essentielle extraite des feuilles de thé, provoquent une inhibition de l'acétylcholinestérase.

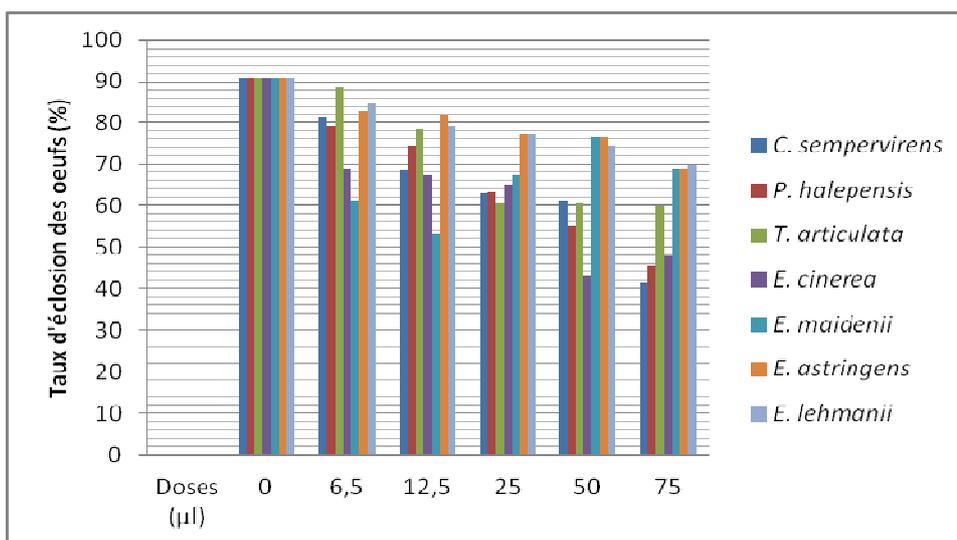
### 3.3. Tests d'inhalation sur les différents stades de développement de *C. maculatus* avec les huiles essentielles de provenance Tunisienne

#### 3.3.1 Effets des huiles essentielles des Myrtacées et des résineux sur les œufs de *C. maculatus*

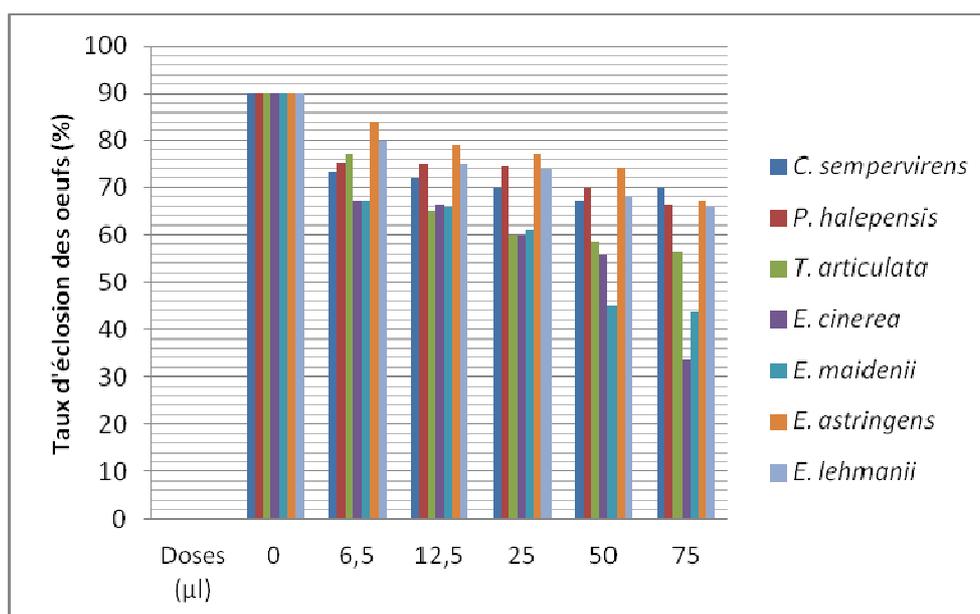
Les œufs éclos exposés à différentes huiles essentielles subissent une diminution de leur éclosion au fur et à mesure que la dose et la durée d'exposition augmentent (Figures 27, 28 et 29). Pour une durée d'exposition de 96 h, le nombre d'œufs éclos varie entre 38 et 65,5 % (Figure 30). Les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet très hautement significatif pour les facteurs doses et huile ainsi que pour leur interaction (huile et temps), selon la durée d'exposition (Annexe 2 : Tableaux 7, 8, 9 et 10).



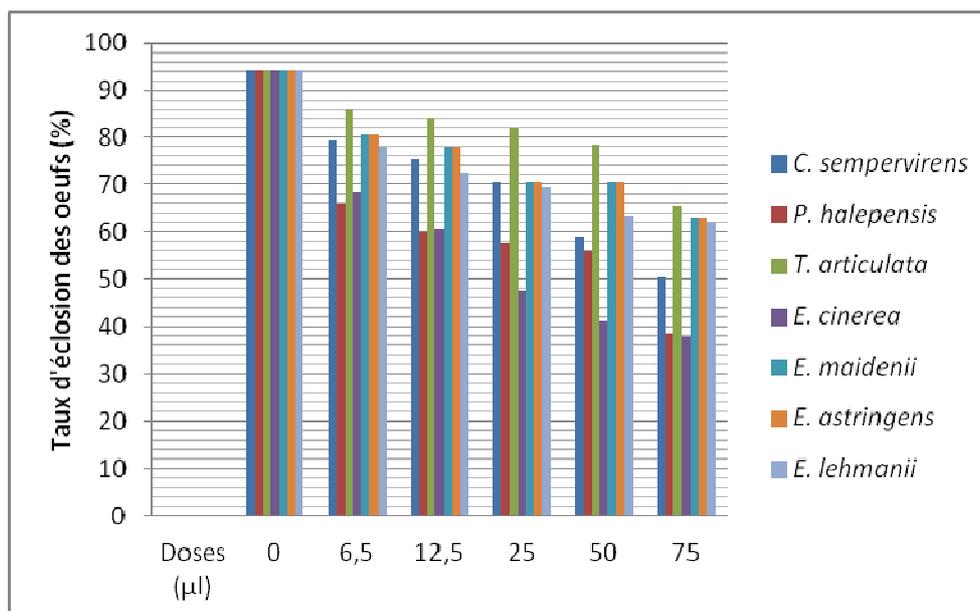
**Figure 27 :** Taux d'éclosion (%) chez *C. maculatus* dans les traitements par inhalation avec les différentes huiles essentielles, à différentes doses et pour 24 heures d'exposition.



**Figure 28:** Taux d'éclosion (%) chez *C. maculatus* dans les traitements par inhalation avec les différentes huiles essentielles à différentes doses et pour 48 h d'exposition.



**Figure 29 :** Taux d'éclosion (%) chez *C. maculatus* dans les traitements par inhalation avec les différentes huiles essentielles, à différentes doses et pour 72 h d'exposition.



**Figure 30 :** Taux d'éclosion (%) chez *C. maculatus* dans les traitements par inhalation avec les différentes huiles essentielles, à différentes doses et pour 96 h d'exposition.

Les résultats du test de Tukey montrent une différence très hautement significative pour les couples des faibles et de fortes doses, pour les quatre durées d'exposition : 24 h (0-75 µl,  $P = 0,0000$ ) ; 0 - 50 µl,  $P = 0,00002$ ), 48 h (0-75 µl,  $P = 0,0000$  ; 0- 50 µl,  $P = 0,002$ ), 72h (0-75 µl,  $P = 0,0000234$  ; 0-50 µl,  $P = 0,04$ ) et 96 h (0 -75 µl,  $P = 0,0000$  ; 0-50 µl,  $P = 0,01$ ) (Annexe 2 : Tableau 11).

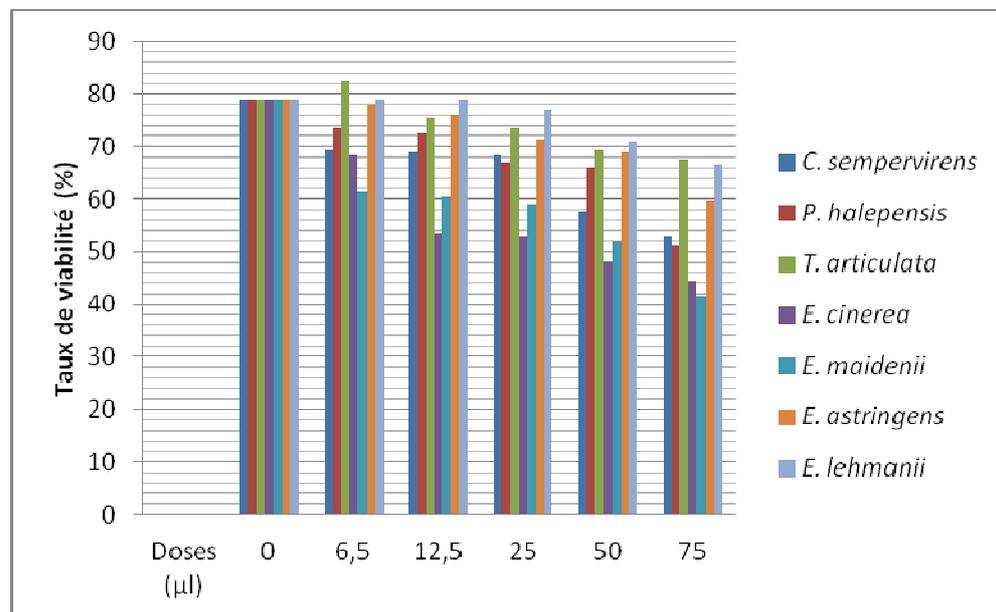
### 3.3.2. Effets des huiles essentielles des Myrtacées et des résineux sur la viabilité des œufs de *C. maculatus*

La viabilité des œufs de *C. maculatus* diminue avec l'augmentation de la dose et de la durée d'exposition aux huiles essentielles. Après 24 et 72 h, le nombre d'individus émergents le plus faible est obtenu avec les huiles essentielles d'*E. maidenii* et d'*E. cinerea* (Figures 31, 32 et 33). Même après une durée d'exposition de 96 h, nous obtenons quelques émergences (Figure 34).

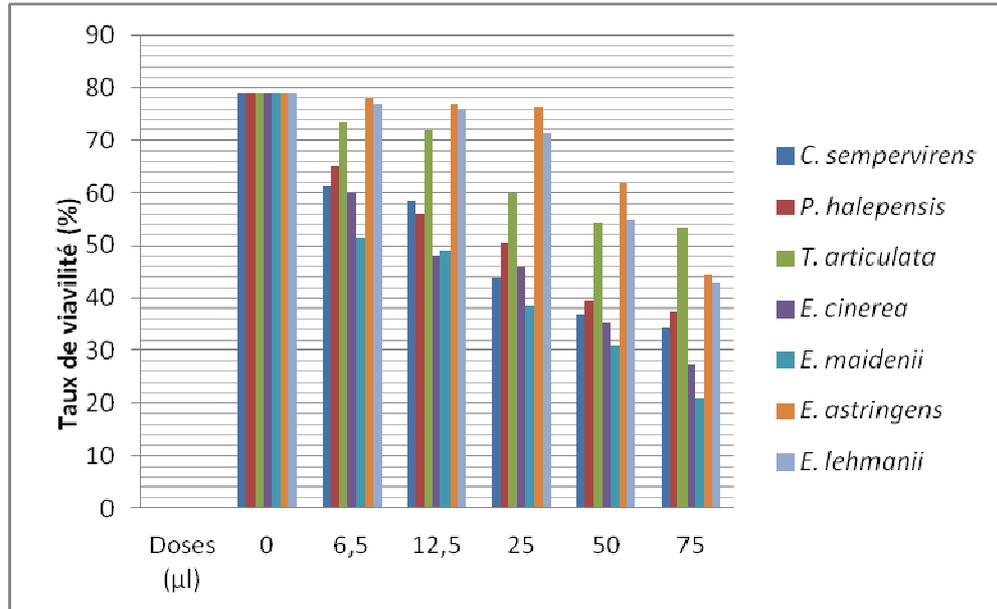
Les résultats de l'analyse de la variance ont montré une différence très hautement significative pour les facteurs huile et temps et l'interaction des deux facteurs, pour les durées d'exposition de 48 et 72 h.

Une différence très hautement significative, pour le facteur huile et dose, est également observée pour les durées 24 et 96 h et l'interaction des facteurs huile et dose, pour la durée de 24 h, et une différence significative pour l'interaction des deux facteurs, lorsque la durée d'exposition aux traitements est de 96 h (Annexe 2 : Tableau 12, tableaux 13, 14 et 15).

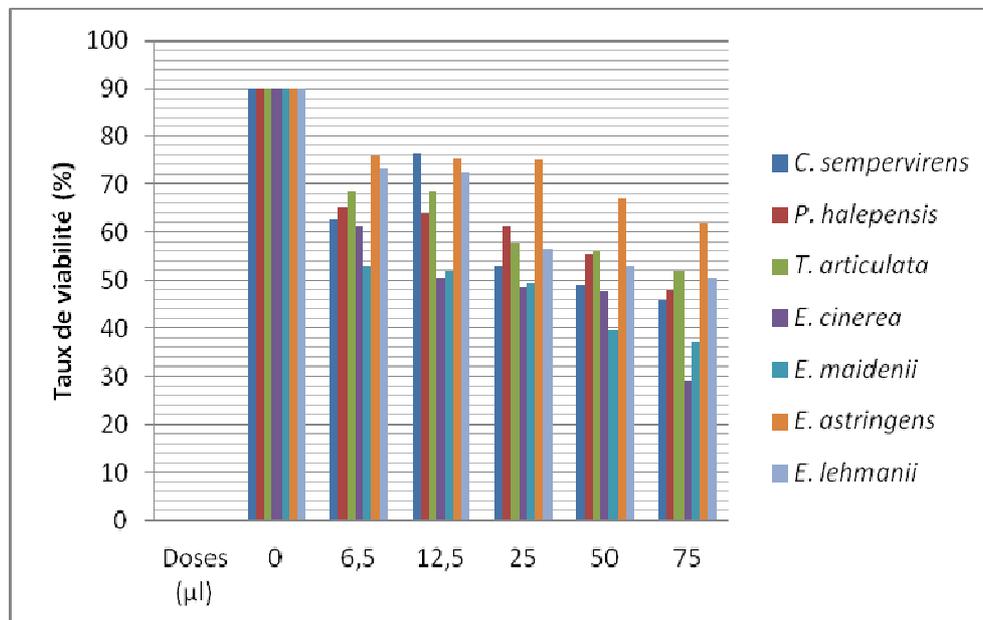
D'après le test de Tukey, la probabilité ajustée des couples de faibles et de fortes doses est très hautement significative pour les durées d'exposition de 24 h, 48 h, 72 h et 96 h (Annexe 2 : Tableau 16).



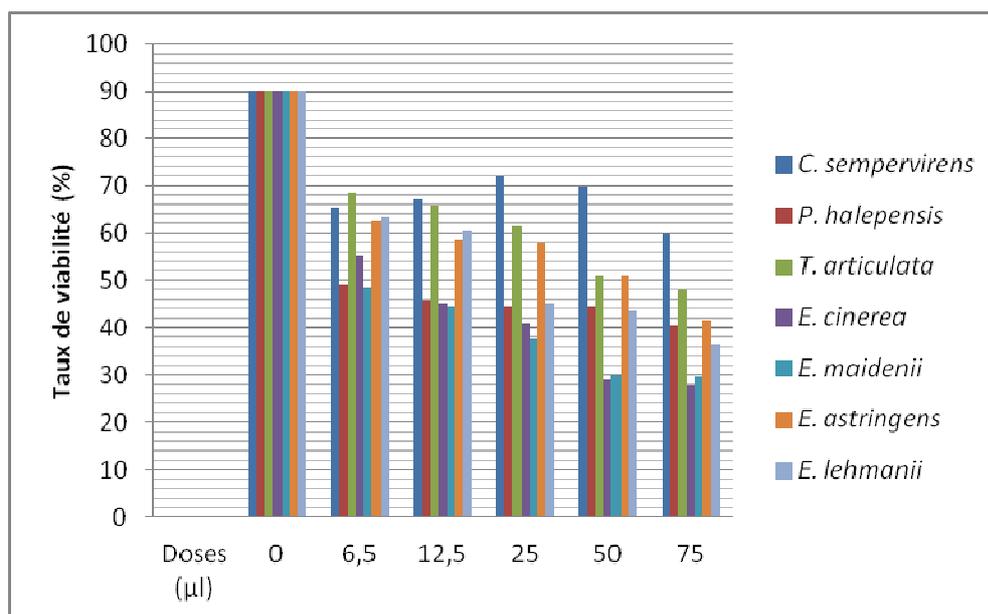
**Figure 31** : Taux de viabilité des œufs éclos de *C. maculatus* traités par inhalation avec les différentes huiles essentielles à différentes doses, pendant 24h.



**Figure 32 :** Taux de viabilité des œufs éclos (%) traités par inhalation avec les différentes huiles essentielles à différentes doses, pendant 48h.



**Figure 33:** Taux de viabilité des œufs éclos (%) de *C. maculatus* traités par inhalation, avec les différentes huiles essentielles à différentes doses, pendant 72h.



**Figure 34:** Taux de viabilité des œufs (%) de *C. maculatus* traités par inhalation avec les différentes huiles essentielles à différentes doses, pendant 96h.

### 3.3.3 Test d'inhalation sur les individus âgés de 12 jours et cachés dans les graines de niébé avec les différentes huiles essentielles des Myrtacées et des résineux

D'après les résultats obtenus, nous constatons que le nombre d'individus adultes qui émergent des graines de niébé diminue au fur et à mesure que la dose des huiles essentielles augmente. Pour *E. astringens* et *E. lehmanii*, le taux de viabilité de *C. maculatus* est nul à la dose 75 µl, aucune bruche adulte n'a émergé après 48 h d'exposition, et à partir de 72 h pour *E. maidenii* et *E. cinerea* (Figures 35 et 36).

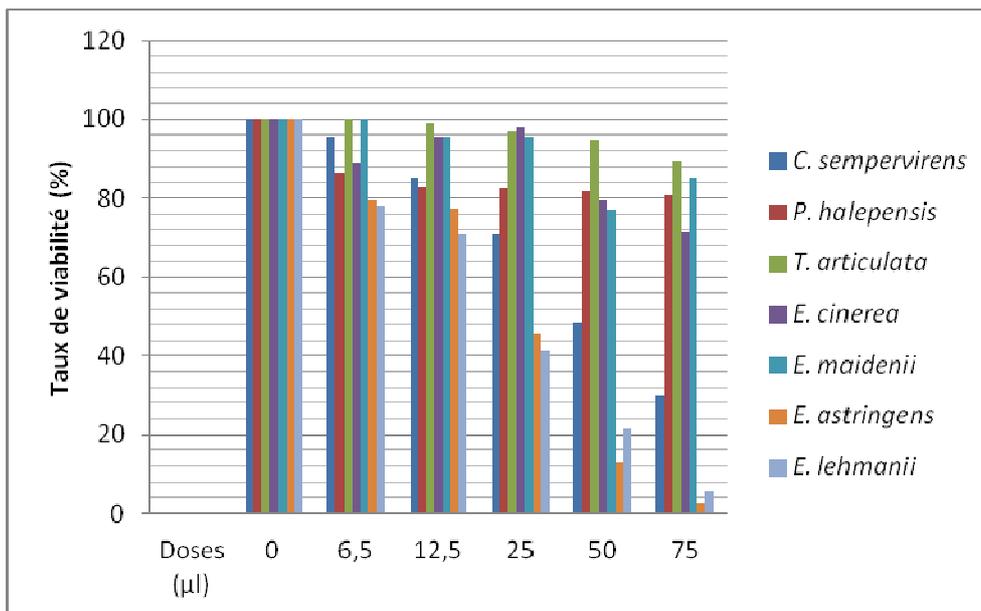
Concernant les résineux, quelles que soient la durée d'exposition et la dose utilisée, le taux de viabilité des individus des jeunes larves varie entre de 50 à 75,5% (Figures 37 et 38).

Les résultats de l'analyse de la variance pour le paramètre viabilité des individus âgés de 12 jours, après 24h d'exposition aux différentes huiles essentielles, révèlent une différence très hautement significative pour le facteur huile ( $P = 0,00$ ), le facteur dose ( $P = 0,000$ ) et l'interaction des deux facteurs ( $P = 0,000$ ) (Annexe 2 : Tableau 17).

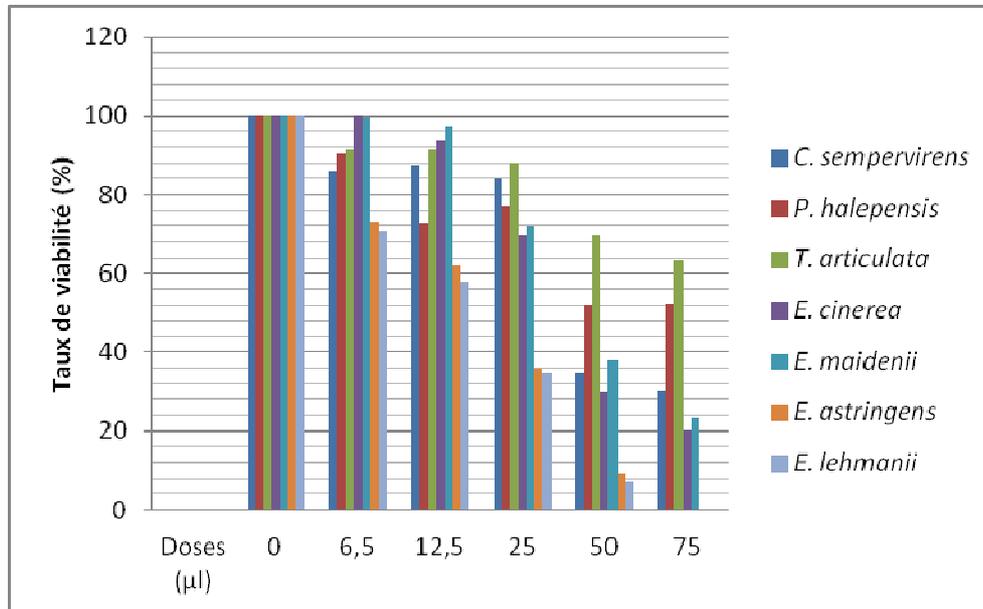
Pour la durée d'exposition de 48h, une différence très hautement significative a été également constatée pour le facteur dose, mais aucun effet significatif n'a été noté pour l'interaction des deux facteurs ( $P = 0,55$ ) (Annexe 2 : Tableau 18). Quant aux durées

d'exposition de 72 h et 96h, l'effet est très hautement significatif pour le facteur dose, le facteur huile et l'interaction des deux facteurs (Annexe 2 : Tableaux 19 et 20).

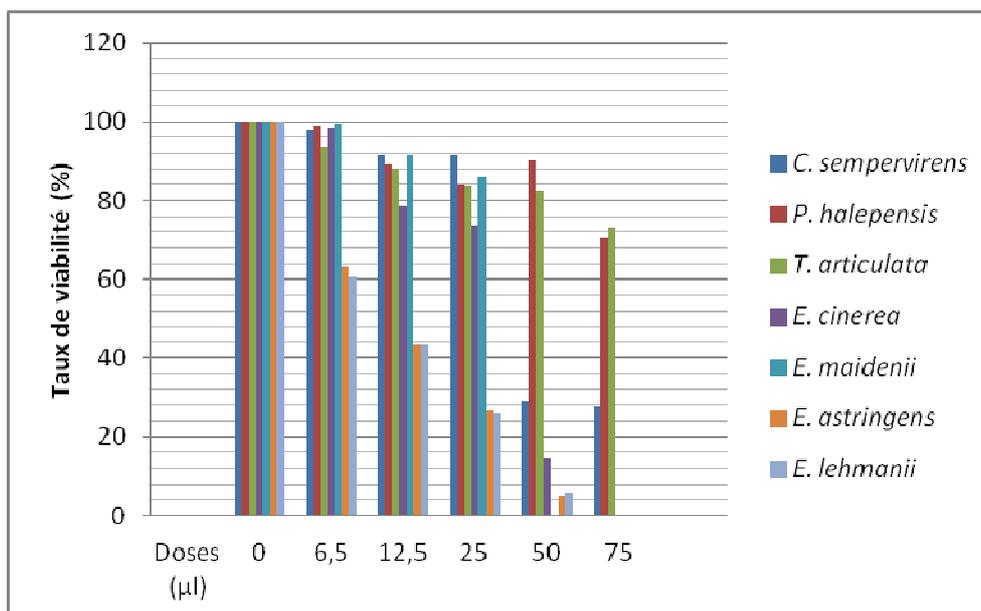
Les résultats du test de Tukey ont montré que la probabilité ajustée, du paramètre viabilité des jeunes larves de *C. maculatus*, révèle une différence significative entre les couples des faibles et des fortes doses (12,5 µl - 75 µl; 6,5 µl - 75 µl; 0 - 50 µl; 6,5 - 50 µl; 12,5 - 50), pour les durées d'exposition 48 h, 72 h et 96 h, mais aucun effet significatif n'apparaît pour la durée d'exposition de 24 h (Annexe 2 : Tableau 21).



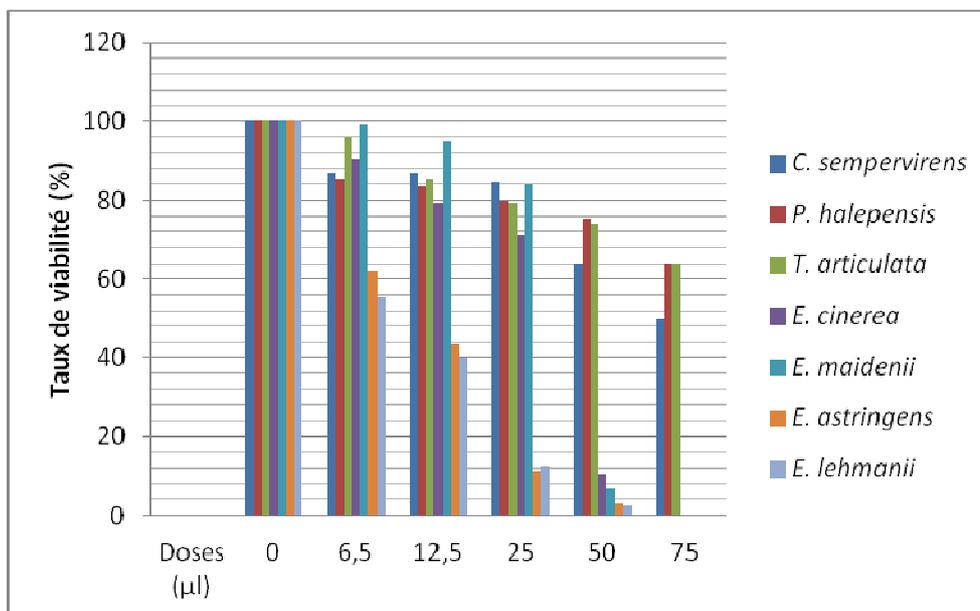
**Figure 35 :** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement par inhalation des individus âgés de 12 jours, avec les différentes huiles essentielles pendant 24h.



**Figure 36 :** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement des individus âgés de 12 jours avec les différentes huiles essentielles pendant 48h.



**Figure 37 :** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement par inhalation d'individus âgés de 12 jours avec différentes huiles essentielles pendant 72h.



**Figure 38 :** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement d'individus âgés de 12 jours avec les différentes huiles essentielles pendant 96h.

### 3.3.4. Test d'inhalation sur les individus âgés de 18 jours et cachés dans les graines de niébé avec les différentes huiles essentielles des Myrtacées et des résineux

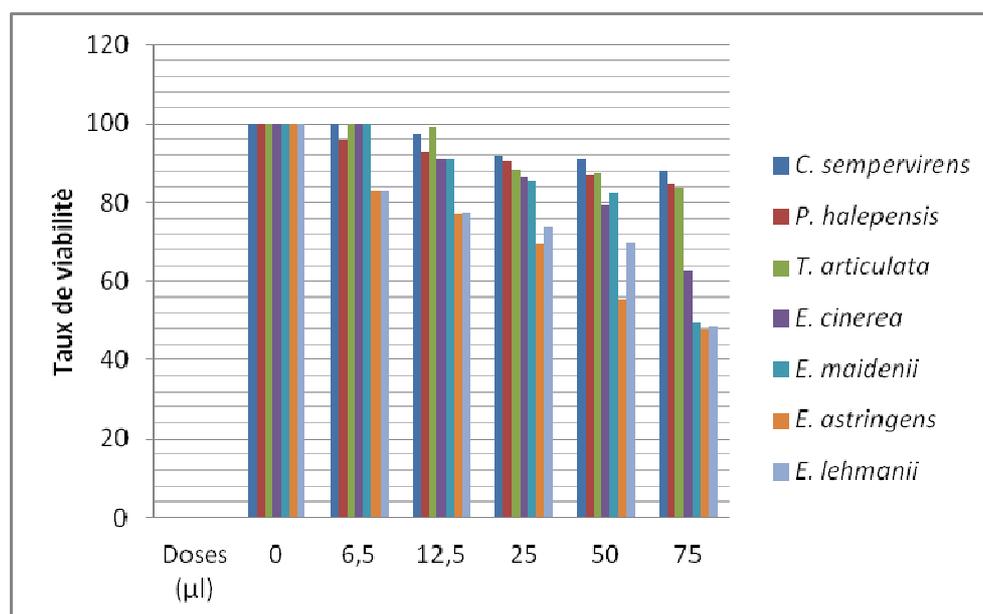
La viabilité des individus âgés de 18 jours et exposés à différentes doses d'huile essentielle, durant les différents temps d'exposition, diminue de façon progressive pour l'huile essentielle de *T. articulata*, *C. sempervirens* et *P. halepensis*. Le taux de viabilité varie entre 32 et 38% après 96 h d'exposition (Figures 39 et 40).

Après une durée d'exposition aux huiles essentielles de 72 h, le taux de viabilité est inférieur à 5 % et s'annule après une durée d'exposition de 96 h (Figures 40 et 41).

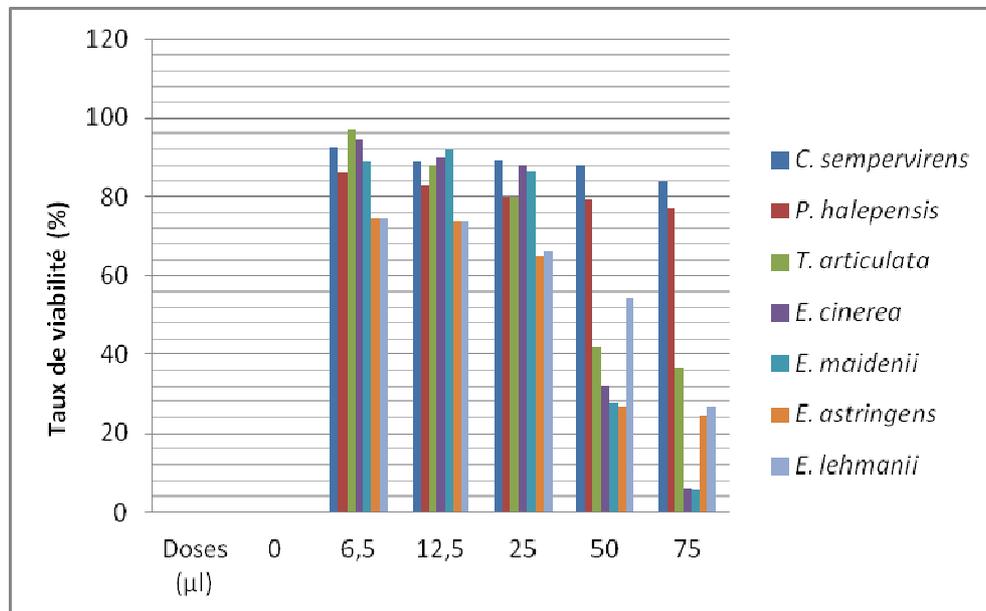
Les résultats de l'analyse de la variance ont montré un effet très hautement significatif pour les facteurs huile et dose et une différence significative pour l'interaction des deux facteurs, chez les individus exposés aux différentes huiles essentielles pendant 24h (Annexe 2 : Tableau 21).

Quant aux durées d'exposition de 48, 72 et 96 h, l'effet est très hautement significatif pour les facteurs dose, huile et pour l'interaction des deux facteurs (Annexe 2 : Tableaux 22, 23 et 24),

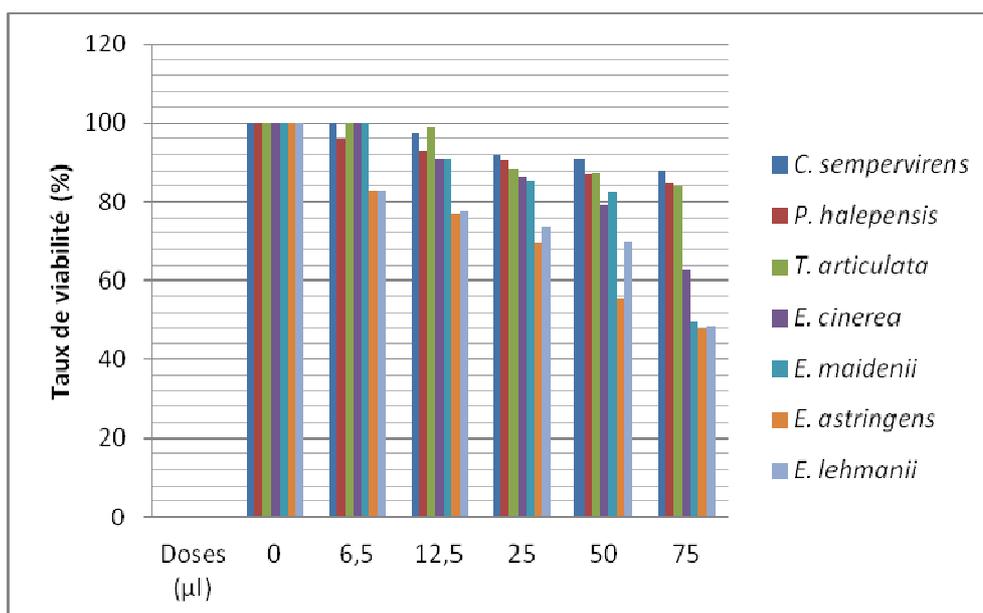
Les résultats du test de Tukey révèlent une différence significative entre les couples de faibles et de fortes doses (12,5 – 75 µl, 0 – 75 µl, 25 -75 µl, 0 – 50 µl et 25 – 75 µl), quelle que soit la durée d'exposition aux huiles essentielles (Annexe 2 : Tableau 25).



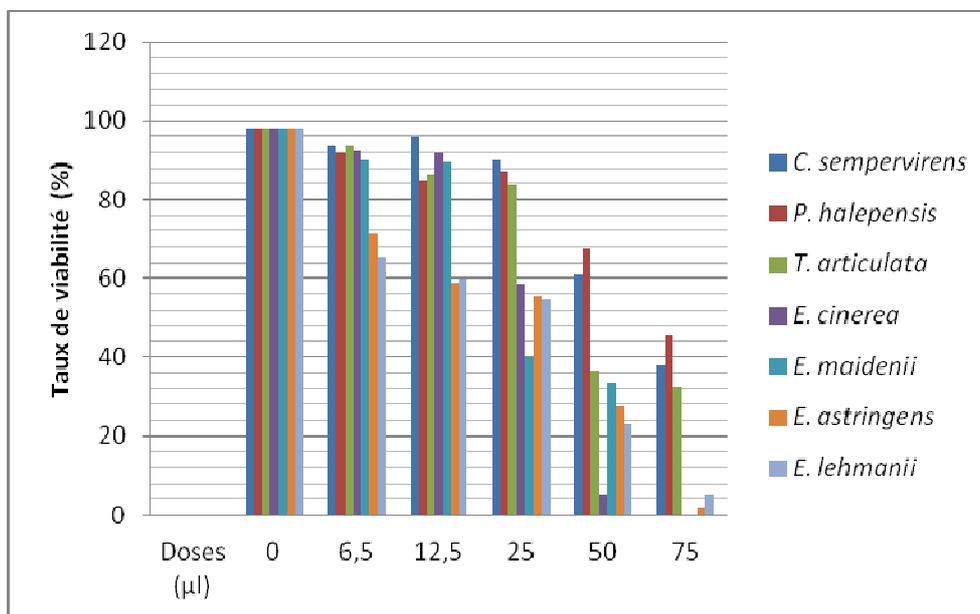
**Figure 39 :** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement d'individus âgés de 18 jours avec les différentes huiles essentielles pendant 24h.



**Figure 40 :** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement d'individus âgés de 18 jours avec les différentes huiles essentielles, pendant 48h.



**Figure 41 :** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement d'individus âgés de 18 jours avec les différentes huiles essentielles, pendant 72h.



**Figure 42:** Taux de viabilité (%) de *C. maculatus* après le traitement d'individus âgés de 18 jours avec les différentes huiles essentielles, pendant 96 h.

### 3.3.5. Discussion

D'après les résultats obtenus sur l'effet des huiles essentielles de provenance tunisienne sur les œufs de *C. maculatus*, les taux de viabilité embryonnaire et post embryonnaire diminuent au fur et à mesure que la dose et la durée d'exposition augmentent.

Nous pensons que les composés terpéniques ont entravé le développement des œufs et de ce fait, la viabilité des œufs se trouve affectée. Selon Regnault Roger et *al.* (2008), les composés terpéniques exhibent une activité ovicide et larvicide au stade néonatale et ultérieurs. D'après le même auteur, il apparaît que même pour une durée d'exposition brève aux vapeurs terpéniques pendant le stade néonatal suffit. Les larves néonates qui ont réussi à pénétrer dans les cotylédons sont retrouvées mortes à un stade larvaire plus avancé, après dessiccation des graines.

Par ailleurs, les individus âgés de 12 j sont plus sensibles que les larves plus âgées.

Ainsi, aucun individu n'a émergé à partir des graines traitées pendant 96 h avec les huiles des différentes espèces d'eucalyptus, à la dose 75 µl/l.

Les huiles essentielles des Myrtacées sont plus efficaces que celles des conifères. Nous pouvons lier cette efficacité à leur indice de volatilité. En effet, les huiles essentielles des eucalyptus s'évaporent rapidement et leur effet est plus rapide par rapport à celles des conifères (leur indice de volatilité est faible et s'évaporent lentement). Selon Padrini et Lucheroni (2003), les huiles essentielles des résineux s'évaporent plus lentement par rapport à celles du genre *Eucalyptus*.

Chez les individus âgés de 18 jours, exposés à différentes doses et temps de traitement, il ya eu émergence d'adultes quelle que soit l'huile essentielle utilisée. Des résultats similaires ont été obtenus par Regnault Roger et *al.* (2008) qui ont utilisé les graines de *V. unguiculata* contenant des larves au stade 2 et au stade 4 exposées à l'huile essentielle d'*O. basilicum*, à la dose 5 µl/l. Les taux de mortalité obtenus sont de 95 % chez les L<sub>2</sub> et de l'ordre de 12 % pour les L<sub>4</sub>.

Nous pensons que la viabilité des différents stades de développement de *C. maculatus* (œufs, individus âgés de 12 et de 18 jours) a été affectée par la durée d'exposition aux composés terpéniques des huiles essentielles. En effet, lorsqu'ils sont exposés plus longtemps, ce taux diminue. Par ailleurs, Regnault Roger et *al.* (2008) ont montré que les monoterpènes majoritaires des huiles essentielles développent des activités ovides et larvicides précoces ou tardives et une activité anti nutritionnelle contre les larves de bruches évoluant dans les cotylédons des graines de niébé.

Cette faible sensibilité des larves cachées de *C. maculatus*, vis-à-vis des huiles essentielles, peut être due aux téguments des graines qui les protègent et qui ralentissent la pénétration des composés volatiles.

Peu de travaux ont été réalisés sur l'activité des huiles essentielles à l'égard des stades cachés des insectes ravageurs des grains stockés.

Selon Regnault Roger et *al.* (2008), les constituants physico chimiques de la graine freineraient la pénétration des composés présents dans l'atmosphère du flacon et les larves ne seraient exposées qu'à de faibles concentrations de substance insecticide à l'intérieur des galeries. D'après le même auteur, les terpènes pénètrent moins bien dans les graines que les composés soufrés. Cette faible pénétration pourrait être l'une des causes expliquant le taux de mortalité larvaires plus réduits.

De même Kellouche (2004) a constaté que les larves de *C. maculatus*, présentes dans les graines de niébé, ne sont pas affectées par l'eugénol (Composé principal de l'huile essentielle des clous de girofle) même à des doses élevées (80 µl/l).

Cet auteur a d'abord supposé que cette absence de mortalité peut être due soit à une insensibilité des larves, soit à une protection exercée par les graines. Mais avec d'autres tests complémentaires, sur les larves extraites des graines de *V. unguiculata* et traitées avec cette substance, à une plus faible dose (8 µl/l), les résultats ont révélé une mortalité des larves de 100 %. Ainsi les larves cachées sont inaccessibles aux composés terpéniques, en raison de la protection que leur procure les différentes enveloppes de la graine.

Dans les tests précédents, par contact et inhalation, la mortalité totale des adultes a été observée, respectivement à partir des doses de 25 µl/50g et 25 µl/l. Par contre l'effet des huiles essentielles sur l'éclosion et la viabilité des œufs et des individus âgés de 12 et de 18 jours est très variable selon la durée d'exposition et la dose utilisée. Ainsi le taux de viabilité de ces stades ne devient nul qu'à partir de 96 h d'exposition à la dose 75 µl/l, chez le genre *Eucalyptus*. Nous pensons que la dose d'huile essentielle utilisée n'est pas suffisante pour affecter de façon significative les œufs et les larves cachés.

Regnault Roger et *al.* (2008) également signalent que la toxicité des vapeurs des huiles essentielles à l'égard des adultes de *C. maculatus* est plus importante en absence des graines de niébé qu'en leur présence. La proportion d'huile essentielle absorbée est toutefois insuffisante pour être toxique vis-à-vis des larves qui se développent à l'intérieur des graines.

Nous pensons que l'efficacité des huiles essentielles des *Eucalyptus* est liée à l'action du composé majoritaire qui est le 1-8 cinéole.

Pour Obeng Ofori (1997), ce terpène provoque la mortalité des œufs et des jeunes larves chez *Sitophilus granarius*, *Sitophilus zeamais* et *T. castaneum*, à la dose de 3 µl/kg, après 3h d'exposition. De même Ketoh (1998) a signalé l'activité ovicide et larvicide de l'huile essentielle d'*E. citriodora* à l'égard de *C. maculatus*, à la dose de 33µl/l.

Osekre et *al.* (2002) ont obtenu des résultats similaires avec l'huile de palme dont l'application (1ml/ 10 graines) sur les œufs déposés sur 10 graines, ou directement sur les larves de *C. maculatus* se développant à l'intérieur des graines de niébé, a provoqué 100 % de mortalité.

Par ailleurs, Sahaf et Mohar Ramipour (2008) signalent l'effet toxique de l'huile essentielle de *Carum capticum* sur les œufs et les larves de *C. maculatus*, une dose de 25 µl provoque un taux de mortalité des larves de 100 %. Quant aux œufs, une dose de 3 µl /l suffit pour obtenir le même résultat.

De même, les travaux de Batish et al. (2008) ont montré l'effet insecticide de l'huile essentielle d'*E. globulus* sur la fécondité, le taux d'éclosion des œufs et l'émergence des adultes chez *A. obtectus*.

Nos résultats confirment ainsi ceux de nombreux auteurs à propos de l'activité insecticide des huiles essentielles de diverses plantes aromatiques sur les œufs et les adultes des principales espèces d'insectes ravageurs des grains stockés. Pour l'activité de ces substances naturelles sur les stades cachés, les résultats obtenus méritent d'être complétés avec des travaux sur d'autres espèces de plantes médicinales de la flore locale réputée pour sa diversité.

## Conclusion

L'analyse, par chromatographie en phase gazeuse, des différentes huiles essentielles de Myrtacées et des résineux, nous a permis de révéler que les composés monoterpéniques sont majoritaires par rapport aux composés sesquiterpéniques.

Chez les résineux, le composé majoritaire est l' $\alpha$  pinène alors que chez les Myrtacées, c'est le l'eucalyptol.

Les huiles essentielles des résineux réduisent de manière très hautement significative la durée de vie des bruches adultes, à partir de la dose 6,5  $\mu$ l/ 50 g pour *T. articulata* Tunisienne alors qu'aucune ponte n'a été observée sur les graines de *V. unguiculata* traitées avec cette substance.

Les huiles essentielles de *T. articulata* Algérienne et de *C. sempervirens* ont montré leur efficacité à partir de la dose 25  $\mu$ l/50 g, Pour *C. sempervirens* Tunisienne, *T. orientalis* Algérienne et *P. halepensis* Tunisienne, l'activité insecticide s'est manifestée à partir de la dose 50  $\mu$ l/ 50 g. En effet, la ponte est nulle avec ces doses. Par ailleurs, les traitements avec ces huiles n'ont pas affecté la faculté germinative des graines de niébé, mais ont plutôt permis de réduire de façon très significative les pertes dues au développement des larves de *C. maculatus*.

Nous avons également évalué l'action insecticide par fumigation des différents traitements sur les adultes de *C. maculatus*, les huiles essentielles de *C. sempervirens* des deux provenances se sont révélées les plus toxiques.

En effet, le taux de mortalité des adultes est de 100 % à partir de la dose 37,5  $\mu$ l/l. Par ailleurs, nous avons observé que les huiles essentielles du genre *Cupressus* causent 100 % de mortalité dans les tests par contact et les tests par inhalation, et cela à partir des doses 50  $\mu$ l/ 50g et 50 $\mu$ l/l, respectivement.

L'effet répulsif des différents traitements à l'égard des adultes de *C. maculatus* est variable selon l'espèce végétale testée. Les huiles essentielles très répulsives sont celles de *C. sempervirens* Tunisienne et de *P. halepensis* et *T. articulata* Tunisiennes.

L'huile essentielle de *T. articulata* Tunisienne semble être la plus toxique, car elle agit à faible dose par contact et par répulsivité.

L'activité de ces substances naturelles semble être liée aux composés terpéniques qu'elles contiennent, en particulier l' $\alpha$  pinène, le camphor et le D- limonène.

L'application de 25  $\mu$ l /50g d'huile essentielle d'*E. lehmani*, *E. astringens*, *E. maidinii* et *E. cinerea* a donné 100 % de mortalité en moins de 24 h, avec des taux de survie embryonnaire et post embryonnaire nuls. Ces traitements n'ont également pas affecté la faculté germinative des graines de niébé.

Les tests de fumigation avec les différentes huiles essentielles a montré que *E. cinerea* est la plus efficace en provoquant une mortalité des adultes de 100 %, à la dose 25,5 µl/l.

Dans les tests de répulsivité, *E. astringens* et *E. maidenii* et *E. cinerea* se sont révélées répulsives à la dose 75 µl et très répulsives à la même dose avec *E. lehmanii*.

L'efficacité par fumigation des sept huiles essentielles de provenance tunisienne a été évaluée sur l'éclosion et la viabilité des œufs et des individus âgés de 12 et de 18 jours. Les résultats obtenus ont révélé que le nombre d'œufs éclos diminue progressivement au fur et à mesure que la durée d'exposition augmente. Après 96 h, le taux d'éclosion des œufs traités est réduit de plus de 50 %. Quant à la viabilité des œufs, après 72 h d'exposition, elle varie entre 37 et 62 %. Après 96 h d'exposition, ce taux est inférieur à 30 % pour *E. cinerea* et *E. maidenii*.

Nous avons également évalué l'effet bio insecticide des vapeurs de ces huiles essentielles sur les individus âgés de 12 jours et de 18 jours.

Les individus âgés de 12 jours sont plus sensibles aux traitements que ceux âgés de 18 jours. En effet, la viabilité de ces jeunes larves est nulle après 72 h d'exposition aux différentes huiles essentielles du genre *Eucalyptus*, à la dose 75 µl. Pour les individus âgés de 18 jours, l'émergence est également nulle après 96 h d'exposition aux huiles essentielles d'*E. cinerea* et de *E. maidenii*, à la même dose.

Les résultats obtenus montrent que l'effet des huiles essentielles varie selon l'espèce végétale testée, le mode de traitement et le stade de développement du ravageur.

Nous constatons aussi que les huiles essentielles agissent de façon plus efficace sur les adultes comparativement aux individus âgés de 12 et de 18 j. Le genre *Eucalyptus* est considéré comme le plus efficace, car à partir de la dose 25 µl, la fécondité de *C. maculatus* est nulle. Par contre, avec les mêmes huiles essentielles, l'effet sur les individus cachés âgés de 12 et de 18 j n'est significatif qu'avec le genre *Eucalyptus*, à la dose 75 µl/l et après 4 jours d'exposition.

Ainsi, l'efficacité des traitements appliqués sur les stades cachés dépend de la durée du traitement et de la dose utilisée. Ceci peut être dû aux téguments de la graine qui empêchent la pénétration des composés volatiles. L'absorption d'une partie des composés volatiles des huiles essentielles par les graines du niébé n'est pas négligeable.

Les quatre espèces du genre *Eucalyptus* et *T. articulata* Tunisienne semblent être les biopesticides les plus actifs à l'égard de la bruche du niébé.

Il serait intéressant de compléter ces travaux par d'autres tests bios pesticides sur les larves (jeunes et âgées) extraites des graines de *V. unguiculata* avec les mêmes huiles essentielles et les mêmes doses, et d'autre part augmenter les doses des traitements sur les œufs et les individus âgés de 12 et de 18 jours.

Un inventaire des plantes aromatiques de Kabylie et la sélection des plantes bioactives est également un objectif utile à atteindre. L'analyse des huiles essentielles de cette flore, afin de déterminer leur composition, est également une étape importante à franchir.

Par ailleurs, Il serait également nécessaire de compléter l'étude avec des tests de toxicité des mêmes huiles essentielles sur les principales espèces d'insectes ravageurs des grains des céréales (*R. dominica* et *Sitophilus oryzae*) et des légumineuses stockées (*C. maculatus* et *A. obtectus*).

Enfin, il est important d'identifier les molécules actives de ces substances naturelles pour les tester séparément ou en mélange contre ces ravageurs afin de mettre en évidence les effets synergiques éventuels.

Ces huiles essentielles pourraient servir de matière de base pour la formulation de bios insecticides utilisables dans la protection des denrées stockées.

## Références Bibliographiques

**Aggarwal, K.K., Tripathi, A.K., Prajapati, V., Kumar, S., 2001.** Toxicity of 1.8 Cinéole towards threespecies of Stored product Coleoptera. Insect Science and its Application. Vol 21, N°2: 155- 160.

**Aggarwal, K.K., Tripathi, A.K. Ateeque, A., Prajapati, V., Verma, N., Kumar, S., 2001.** Toxicity of L-menthol and its derivatives against four storage insects. Insect Science and its Application Vol 21, N°3 : 229- 235.

**Ajayi, F.A., Lale, N.E.S. 2001.** Susceptibility of improtected seeds and seeds of local banbara groundnut cultivars protected with insecticidal essential oils to infestation by *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research Vol 37: 47-62.

**Bachrouh, O., Mediouni- Ben jeamaa, D., Charieb, I., Talon, T., Marzouk, B., Abderraba, M., 2010.** Insecticidal activity of *Pistacia lentiscus* essential oil on *Tribolium castaneum* as alternative to chemical control in storage. Tunisian Journal of Plant Protection Vol 5, N°1: 63- 70.

**Balashowsky, A.S., 1962.** Entomologie appliqué à l'agriculture traitée. Tome 1. Coléoptères. Edition. Masson, Paris. 564 p

**Bartel, A. 1997.** Les livres des arbres et arbustes Edition Eugen et Ulmer. pp : 286-314.

**Batish, D.R., Palsingh, H., Kumar Kohli, R., Kaur, S., 2008.** *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. Forest Ecology and Management Vol 256: 2166- 2174.

- Bellakhdar, J., 1997.** La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires : 269-270-272-273-417-418.
- Bhalla, S., Gupta, K., Lal, B., Kapur, M. L., Khetarpal, R.K., 2008.** Efficacy of various non chemical methods against pulse beetle, *Callosobruchus maculatus*, Fab. Endure International Diversifying Crop Protection 041 : 1- 4.
- Borget, M., 1989.** Les légumineuses vivrières. Ed Tec et Toc. 419 p.
- Boukhriess, B., Ouhssine Hnach M., Satrani, B., Farah, A., Bourkhiss, M., Satrani, B., 2007.** Composition chimique et bioactivité de l'huile essentielle des rameaux de *Tetraclinis articulata*. Bulletin de la société pharmacologique de Bordeaux 146 : 75- 84.
- Bourkhiss, M., Hnach, M., Paolini, J. Costa, J., Farah, A., Satrani, B., 2010.** Propriétés antioxydantes et anti inflammatoires des huiles essentielles des différentes parties de *Tetraclinis articulata* (VAHL) Masters du Maroc. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège Vol 79 : 141 – 154.
- Bruneton, J., 1999.** Plantes médicinales. 3<sup>ème</sup> édition. Lavoisier. Pp : 483- 670.
- Bruneton, J., 2005.** Plantes toxiques, végétaux dangereux pour l'homme et les animaux. 3<sup>ème</sup> édition. Edition Tec et Toc. 419 p.
- Brink, M., Belay, G., 2006.** Céréales et légumes secs. Ressources végétales de l'Afrique Tropicale. Pp : 250- 259.
- Chanegriha, N., Baaliouamer, A., Meklati, B.Y., Bonvin, J.H., Alamercery, S., 1993.** Chemical composition of Algerian Cypress essential oil. Journal of Essential Oil Research; Volume 5, Issue 6: 671 – 674.
- Chanegriha, N., Baalioumer, A., Meklati, B.Y., Chretien, J.R., Keravis, G., 1997.** GC and GC MS leaf oil analysis of four Algeria Cypress species. Journal of Essential Oil Research Vol 9, Issue 5: 555-559.
- Cherif, I., Ben Jannet. H., Hammani, M., Khouja, M.L., Mighri., 2007.** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Cupressus arizonica* greene. Science Direct Biochemical Systematic and Ecology 35: 813-820.
- Clautilde, M., Tomas, A.G., Robert, N., 2011.** Effet simultané de la dilution et de la combinaison du *Rhizobium* et des Mycorhizes sur la production foliaire et les propriétés physico-chimiques des jeunes feuilles de *Vigna unguiculata* (L) Walp. Journal of Applied Bioscience Volume 40: 2668- 2676.
- Cronquist, A., 1981.** An integrated system of classification of flowering plants. With a new foreword by Arthur Takhtajan. Colombia. University Press, New York, 1262 p.
- Dagnelie. P., 1998.** Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bibliothèque de Boeck et Larcier, Bruxelles. 653 p.
- Debazac, E., 1991.** Manuel des conifères. 2<sup>ème</sup> édition. Ecole Nationale du Génie Rural des eaux et des Forêts. pp : 134-136.
- Dellile, L.A., 2010.** Les plantes médicinales d'Algérie. 2<sup>ème</sup> édition : 106-114-200.
- Derwich, E., Benziane, Z., Boukir, A., 2009.** GC/MS Analysis of volatile constituents and antibacterial activity of the essential oils of the leaves of *Eucalyptus globulus* in Atlas Median from Morocco. Advances in Natural and Applied Sciences 3 (3) : 303 – 313.

- Dob, T., Berramdane, T., Chelgoum, C., 2005.** Chemical composition of essential oil of *Pinus halepensis* Miller growing in Algeria. La Référence Professionnelle de Santé Vol. N°11-12: 1939- 1945.
- Doumma, A., Salisson, O., Sembene, M., Sidi Kon, R.S.D., Sanon, A., Ketoh, G.K., Glitho, I.A, 2011.** Etude de l'activité reproductrice de *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) sur dix variétés de niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en présence ou non du parasitoïde, *Dinarmus basalis* (Hymenoptera : Pteromalidae). Journal of Animal and Plant Science Vol. 11. Issue 2: 1398- 1408.
- El Aissi, A., 2011.** Variabilité des huiles essentielles de quelques espèces d'*Eucalyptus* et activité biologique. Thèse de doctorat. Institut Supérieur de Biotechnologie de Monastir, Université de Monastir. Tunisie. 248 p.
- Elansary. H.O, Salem, M.Z.M, Ashnau, N.A., Yacout, M.M., 2012.** Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of leaves essential oils from *Syzygium cumuni*, *Cupressus sempervirens* L. and *Lantana camara* L. from Egypt. Journal of Agricultural Science Vol. 4 N° 10: 144
- Ehlers, D.J., Hall., A.E., 1997.** Cowpea (*Vigna unguiculata*). Field, Crops Research. 53:187-204.
- Elhag, E.A., 2000.** Deterrent effects of some botanical products on oviposition of the cowpea bruchid *Callosobruchus maculatus* (F). (Coleoptera: Bruchidae). International Journal of Pest Management 46 N°2 : 109- 113.
- El Moussaouiti, M., Talbaoui, A., Gmouh, S., Aberkane, M., Benjouad, A., Bakri, Y., Kandem, D.P., 2010.** Chemical composition and bactericidal evaluation of essential oil of *Tetraclinis articulata* Burl Wood from Morocco. Journal of Indian Academic Wood Science 7 (1-2): 14-18.
- Gbolade, A.A., Onayade, O.A., Ayinde, B.A., 1999.** Insecticidal activities of *Ageratum conyzoides* L. volatiles oil against *Callosobruchus maculatus* F. in seed treatment and fumigation. Laboratory tests. Insect Science and its Application Vol 19, N°2 : 237-240.
- Guignard, J.L., 2004.** Biochimie végétale. 2<sup>ème</sup> édition. Dunod. Paris : 162- 194.
- Gausson, H., Leroy, J.F., Ozenda, P., 1982.** Précis de botanique 2. Végétaux supérieurs. 2<sup>ème</sup> édition : 55, 57, 59, 60, 192, 342, 145, 338.
- Grubben, G.J.H., 2004.** Légumes, Ressources végétales de l'Afrique Tropicale: 618- 626.
- Haouel, S., Mediouni Ben Jemaa, J., Khouja L. M., 2010.** Postharvest control of the date Moth *Ectomyelois ceratoniae*, using *Eucalyptus* oil fumigation. Tunisian Journal of Plant Protection Vol 5, N°2 : 201- 211.
- Hedjal- Chebheb, M., Toudert-Taleb, K., Khoudja, M.L., Benabdesselam, R., Mellouk, M., Kellouche, A., 2013.** Essential oils composition of six conifers and their biological activity against the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae) and *Vigna unguiculata* seeds. African Entomology. 21 (2): 243-254.
- Hussain, M.A., Basahy.A.y., 1998.** Nutrient composition and amino acid pattern of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). International Journal of Food Sciences and Nutrition Vol 49, N°2: 117-124.

- Ilboudo, Z., Dabiré, L.C.B., Nièbè, R.C.H., Dicko, L.O., Dugravot, S., Cortesero, A.M., Sanon, A., 2010.** Biological activity and persistence of four essential oils towards the main pest of stored cowpea, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera; Bruchidae). Journal of Stored Products Research. 46 : 124- 128.
- Keita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Romaswamy, S., Belanger, A., 2000.** Effect of various essential oil on *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research 36 : 355- 354.
- Kellouche, A., Soltani, N., 2004.** Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F.). International journal of Tropical Insect Science Vol 24, N° 2 : 184- 191.
- Kellouche, A. 2004.** Etude de la bruche du pois chiche, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) : Biologie, physiologie, Reproduction et lutte. Thèse de doctorat d'Etat en Biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou. 130 P.
- Kellouche, A., Soltani, N., Kreiter.S., Auger, T., Arnold, I., Kreiter, P., 2005.** Biological Activity of four vegetable oils on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera Bruchidae). Redia Vol. XXXVII: 39 – 47.
- Kellouche, A., Ait Aider, F., Labdaoui, K., Moula, D., Ouendi, K., Hamadi, N., Ouramdane, A., Frerot, B., Mellouk ., M., 2010.** Biological activity of ten essential oils against cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera : Bruchidae). International Journal of Integrative Biology Vol. 10, N°2: 86- 89.
- Ketoh, G.K., Glitho, I.A., Nuto, Y., Koumaglo, H.K., 1998.** Effet de six huiles essentielles sur les œufs et les larves de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera : Bruchidae). Science et Médecine . Revue Cames. Volume N°00: 16-20.
- Ketoh, G.K., Koumaglo, H.K., Glitho, I.A., 2005.** Inhibition of *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: Bruchidae) developpement with essential oil extracted from *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng. (Poacea), and the wasp *Dinarmus basalis* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae). Journal of Stored Products Research 4: 363- 371.
- Ketoh, G.K., Koumaglo, H.K., Glitho, I.A., Huignard, J., 2006.** Comparative effects of *Cymbopogon schoenanthus* essential oil and piperitone on *Callosobruchus maculatus* developpement. FITOTERAPIA. 77: 506- 510.
- Khalfi – Habes, O., 2007.** Evaluation du potentiel biocide et étude de l'influence de la composition des huiles essentielles de quelques plantes algériennes sur *Rhizopertha dominica* (F.) (Coleoptera : Botrychidae) et *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de doctorat en sciences agronomiques. ENSA d'El-Harrach. 119 p.
- Khouja, M.L., 1985.** Contribution a l'amélioration du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* MILL en Tunisie. Analyse d'un essai multistationnel de provenances. Diplôme d'Etude Approfondies d'Ecologie Générale. Institut National de Recherches Forestières. 131 P.
- Kumar, R., 1991.** La lutte contre les insectes ravageurs. La situation de l'agriculture africaine. Edition Karthala : 15, 26, 191.
- Lachuer. E, 2007.** Les produits phytosanitaires. Distribution et application. Les différentes méthodes de lutte et le choix d'un produit en lutte chimique (Tome 1). Deuxième édition, Educagres. Edition Dijon: 155-157

- Lale, N.E.S., Mustapha, A., 2000.** Potential of combining neem (*Azadirachta indica* A.) seed oil with varietal resistance for the management of the cowpea bruchid, *Callosobruchus maculatus*. Journal of Stored Products Research 36: 215- 222.
- Leandri, C.P., Fernandez, X.F., Lizzani - Cuvelier, L., Loiseau, Androli, G., 2003.** Chemical composition of Cypress essential oils: volatile constituents of leaf oils from seven cultivated *Cupressus* species. Journal of Essential Oil Research Vol. 15 : 242 – 247
- Mbata, G., Reichmuth, C., Ofuya, T., 1996.** A comparative study on the toxicity of Carbon dioxide to the developmental stages of *Callosobruchus maculatus* (Fab.) and *Callosobruchus subinnotatus* . Postharvest Biology and Technology Vol. 7: 271-276
- Mc Donald, L.L., Guy. RH ., 1970.** Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants repellents and attractants against stored product insects. Marketing Research report. N° 882. Agricultural Research Service. U.S. Departement of Agriculture Washinton: 8.
- Mediouni – Benjemaa, J., Tersin, N; Khouja, M.L., 2011.** Composition and repellent efficacy of essential oil from *Laurus nobilis* against adults of the cigarette beetles *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae). Tunisian Journal of Plant Protection Volume 6, N°1: 29-41.
- Millot, G., 2009.** Comprendre et réaliser des tests statistiques de R. Edition de Boeck. P 704.
- Nerio, L.S., Olivero – verbal. J., Stashenko, E.E., 2009.** Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais*. Journal of Stored Products Research 45: 212- 214.
- Nerio, L.S, Olivero- Verbel, J., Stashenko, E., 2010.** Repellent activity of essential oils: A review. Bioresource Technolog. Volume 101 : 372 - 378.
- Nyamador, W.S., ketoh,G.K., Amevoin, K., Nuto, Y., Koumaglo, H.k, Glitho, I.A., 2010.** Variation in the susceptibility of two *Callosobruchus* species to essential oils. Journal of Stored products Research 46: 48- 51.
- Osekre, E.A., Gbewonyo., W.S.K., Ayerty. 2002.** Toxicity of palm oil to eggs and larvae of *C. maculatus* sp on stored cowpea. Insect Science and its Application, Vol. 22, N°3: 221- 224.
- Obeng Ofori, D., Reichmuth, CH., Bekele, J., Hassanali., A., 1997.** Biological activity of 1-8 Cineole, a major component of essential oil of *Ocimum kenyense* (Ayo bangira) against stored product beetles. Journal Application Entomology, Vol. 121 : 237- 243.
- Obeng Ofori, D., Reichmuth, C.H., Bekele and Hassanali, 1998.** Toxicity and protectant potential of camphor a major component of essential oil of *Ocimum Kilimandscharicum*, against four stored products Beetle. International Journal of Pest Management, 44 (4): 203-209.
- Oudraogo, A.P., Sanon, A., Sanon, A., Monge, J.P., Huignard, J., Tran, M.D et Credland. P.E., 1996.** Influence of temperature and humidity on population of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Hymenoptera: Pteromalidae) in two zones of Burkina Faso. Bulletin of Entomological Research 86: 695- 702.
- Pascual – Villalobos, M.J., Ballesta- Acosta, M.C., 2003.** Chemical variation in an *Ocimum basilicum* germplasm collection and activity of the essential oils on *Callosobruchus maculatus*. Biochemical Systematic and Ecology 31: 673-679.

- Perez, S.G., Ramos- Lopez, M.A., Zavala – sanchez, M.A., Cardenas – Ortega, N.C., 2010.** Activity of essential oils as a biorational alternative to control Coleopteran insects in stored grains. *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 4 (25): 2827- 2835.
- Preet, K., Punia,D., 2000.** Proximate composition, phytic acid, polyphenols digestibility (in vitro) of four brown cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L) Walp, Fabaceae) grown in the Gizan area of Saoudi Arabia. *International Journal of food Science and Nutrition* Vol. 51, N°3: 117 – 124.
- Quezel et Medail ., 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. 2<sup>ème</sup> édition scientifique et médicale. Elsevier. Collection environnement, pp :111-118.
- Raja, N., Albert, S., Ignacimuthu, S., Dorn, S., 2001.** Effect of plant volatile oils in protecting stored cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walpers against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) infestation. *Journal of Stored Products Research* 37 : 127- 132.
- Rajapakse .R.H.S., 1996.** The effect of four botanicals on the oviposition and adult emergence of *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera : Bruchidae). *Entomo* 21: 211-215.
- Riou Nivert, P., 2001.** Les résineux. Tome 1. Connaissance et reconnaissance. 2<sup>ème</sup> édition. Institut pour le développement Forestier pp : 15-27.
- Raynaud, J., 2006.** Prescription et conseil en Aromathérapie. Ed. Lavoisier, pp : 107,112,113.
- Raynaud, J., 2007.** Prescription et conseil en phytothérapie. Ed lavoisier. 72P.
- Riou Nivert, P., 2001.** Les résineux. Tome 1. Connaissance et reconnaissance. 2<sup>ème</sup> édition. Institut pour le développement forestier. PP : 15-27.
- Regnault Roger , Philogene C.J.R. Vincent., 2002.** Biopesticide d'origine végétale. Edition TEC et TOC. 321 p.
- Regnault Roger, C. 1997.** The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated Pest Management Reviews* Vol. 2: 25- 34.
- Regnault – Roger, C., Philogène, B.J.R. Vincent, C., 2008.** Biopesticides d'origine végétales. Deuxième édition. Edition Lavoisier. 507 p.
- Richter, G., 1993.** Métabolisme des végétaux; physiologie et biochimie. Collection de Biologie, pp : 287-315.
- Romeo, F.V., Deluca, S., Piscopo, A., Pioana, M., 2008.** Antimicrobial effect of some essential oils. *Journal of Essential Oil Research* Vol. 20 : 373- 379.
- Sech, D., Sidibe, B., Haubruge, J.L. Hemptinne, J.L., Gaspar, C., 1991.** La protection chimique des stocks de niébé et de maïs contre les insectes au Sénégal. Médecine. Faculté Land brown Rijksuniv, Gentique. 56/ 3b. : 1225 – 1235.
- Sahaf, B.Z., Moharrampour, S., 2008.** Fumigant toxicity of *Carum copticum* and *Vitex pseudo negundo* essential oils against eggs, larvae and adults of *Callosobruchus maculatus*. *Journal Pesticide Science* Vol. 81 : 213- 220.
- Sanon, A., Garba, M., Auger, J., Huignard, J., 2002.** Analysis of the insecticidal of methylisothiocyanate on *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Rondanii) (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Stored Products Research* 38 : 129- 138.
- Schahamara, K.A, Itino, T.,Ichikana, T., 1999.** Effect of plant oils on oviposition preference and larval survivorship of *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae) on azuki bean. *Journal of Applied Entomology* 34: 547- 550.

- Seri- Kouassi, B.P., Kanko,C., Nondenot Aboua, L.R., Bekon, K.A., Glitho, A.I.,Koukouva, G., N'Guesson, Y.T., 2004.** Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de la Cote d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé. Science Direct : 1043- 1046.
- Sghaier, T., 2005.** Contrôle de l'hétérogénéité spatiale dans les essais comparatifs du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) installé dans les Arboretum de Tunis. Thèse de Doctorat en Science Agronomique. Institut National d'Agronomie de Tunisie.120 p
- Shirner, M., 2009.** Huiles essentielles. Description et utilisation de plus de 200 huiles essentielles et huiles végétales. Guy Trédaniel Editeur. 200 p.
- Tapondjou, L.A., Adlen., Bouda, H.,Fontem., 2002.** Efficacy of powder and essential oil from *chenopodium ambrosioides* leaves as post – harvest grain protectants against six stored product beetles. Journal of stored products Reseach. 38: 395- 402.
- Tapondjou, L.A., A, C., Bouda, H., Fontem, D.A., 2003.** Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera : Bruchidae). Edition médicale et scientifiques France : Volume 12 : 2- 5.
- Tapondjou, A.L., Adher, C., Fontem,D .A., Bouda, H.,Reichmuth, C., 2005.** Bioactivities of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium confusum* du Val. . Journal of Stored Products Research volume 41: 91- 102.
- Tekaya Karoui, A., Ben jannet, H., Mighri, Z., 2007.** Essential oil composition of terminal branches, cones and roots of *Tetraclinis* from Tuinisia. Pakistan Journal of Biological Sciences 10 (15): 2495- 2499.
- Tekaya – Karoui, A ., Boughalleb, N., Hammani, S., Benjamel, H., Mighri, Z., 2011.** Chemical composition and antifungal activity of volatile component from woody terminal branches and roots of *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters growing in Tunisia. African Journal of Plant Science Vol. 5 (2) : 115- 122.
- Tripathi, A.K., Prajapati,V., Aggarwal, KK.,Kumar, S., 2001.** Insecticidal and ovicidal activity of the essential oil of *Anethum sona* Kurz against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). Insect Science and its Appliation Vol. 21 N°1: 115-122.
- Tripathi, A.K., Prajapati, V., Aggarwal, K.K., Khanuja, S.P.S., Kumar, S., 2000.** Repellency and toxicity of oil from *Artemisia annua* to stored product beetles. Journal of Economic Entomology Vol. 93 N°1 : 43- 47.
- Uvah, I.I., Ishaya, I.I., 1992.** Effet de certaines huiles végétales sur l'émergence, la ponte et la longévité de la bruche du haricot, *Callosobruchus maculatus* (F). Pest Management Tropical. Volume 38, N° 3: 257- 260.
- Yani, A., Pauly, G., Faye, M., Slim, F., Gleizes, M., 1993 .** The effect of a long term water stress on the metabolism and emission of terpens of the foliage of *Cupressus sempervirens*. Plant Cell and Environment Volume 16, Issue 8 : 975 – 981.
- Zrira, S., Bendjilali, B., Elamrani, A., 2005.** Chemical composition of the saudust oil of Moroccan *Tetraclinis articulata* Vahl. Journal of Essential Oil Research. Volume 17, N°1: 96 – 97.

## Annexe 2 : Analyse statistiques

**Tableau 1:** Probabilité ajustée des couples de doses des Tests par contact avec les résineux (Test de Tukey).

Groupes (doses, µl)	Longévité	Fécondité	Taux d'éclosion des oeufs	Viabilité des oeufs	Poids des graines
<b>50 - 75</b>	0,9995007	1,000000	1,0000000	1,0000000	0,0003115
<b>25 - 75</b>	0,4042727	0,9504082	0,5882742	0,7042529	0,0001114
<b>12.5 - 75</b>	0,0047013	0,0845040	0,0252411	0,1498848	0,0000012
<b>6.5 - 75</b>	0,0010404	0,0035347	0,0012163	0,0037681	0,0000000
<b>0 - 75</b>	0,0000020	0,0000005	0,0000370	0,0000165	0,0000000
<b>25- 50</b>	0,5986034	0,9504082	0,5882742	0,7042529	0,8359394
<b>12.5 - 50</b>	0,0107668	0,0845040	0,0252411	0,1498848	0,3632311
<b>6.5 -50</b>	0,0024757	0,0035347	0,0012163	0,0037681	0,0209157
<b>0 - 50</b>	0,0000047	0,0000005	0,0000037	0,0000166	0,0209157
<b>12.5- 25</b>	0,3305926	0,4036498	0,5379899	0,8841861	0,9633500
<b>6.5 -25</b>	0,1210797	0,0319790	0,0722172	0,1176576	0,2601607
<b>0 - 25</b>	0,0004050	0,0319790	0,0032335	0,0008884	0,2601607
<b>6.5 - 12.5</b>	0,9927589	0,0000053	0,8477135	0,6295035	0,7231659
<b>0- 12.5</b>	0,0787474	0,7811583	0,1774087	0,0154214	0,7231659
<b>0 - 6.5</b>	0,2358378	0,0317326	0,8019440	0,3799794	1,0000000

**Tableau 2 :** Analyse de la variance pour le test d'inhalation avec les huiles essentielles de conifères.

	<b>DDL</b>	<b>Carré moyen</b>	<b>Test de Fischer</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Ecart-total</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Variation totale</b>	<b>383</b>	<b>583.21</b>				
<b>Variation F1 (huile)</b>	<b>5</b>	<b>4742,98</b>	<b>31859,52</b>	<b>0,0000</b>		
<b>Variation F2 (dose)</b>	<b>3</b>	<b>5427,02</b>	<b>36454,36</b>	<b>0,0000</b>		
<b>Variation F3 (temps)</b>	<b>3</b>	<b>12821,00</b>	<b>86121,20</b>	<b>0,0000</b>		
<b>Variation F1× F2 (huile× dose)</b>	<b>15</b>	<b>890,78</b>	<b>5983,53</b>	<b>0,0000</b>		
<b>Variation F1×F3 (huile× temps)</b>	<b>15</b>	<b>4191,94</b>	<b>28158,10</b>	<b>0,0000</b>		
<b>Variation F2×F3 (dose ×temps)</b>	<b>9</b>	<b>2074,78</b>	<b>13936,70</b>	<b>0,0000</b>		
<b>F1×F2×F3 (huile × dose × temps)</b>	<b>45</b>	<b>1110,05</b>	<b>7456,13</b>	<b>0,0000</b>		
<b>Variation résiduelle</b>	<b>288</b>	<b>0,15</b>			<b>0,39</b>	<b>3,6 %</b>

**Tableau 3** : probabilité ajustée du test de répulsivité avec les huiles essentielles des conifères (Test de Tukey).

<b>Doses (<math>\mu</math>l)</b>	<b>Probabilité</b>
<b>6,5 – 12,5</b>	0,9749409
<b>6,5 – 25</b>	0,5404079
<b>6,5- 50</b>	0,1442502
<b>6,5- 75</b>	0,0222416
<b>12,5 – 25</b>	0,8706716
<b>12,5 – 50</b>	0,3836219
<b>12,5 - 75</b>	0,0814410
<b>25- 50</b>	0,9074571
<b>25-75</b>	0,4252434
<b>50- 75</b>	0,9003626

**Tableau 4 :** Probabilité ajustée des couples de doses pour les paramètres biologiques dans les tests par contact avec les Myrtacées (Test de Tukey).

<b>(Doses, µl)</b>	<b>Longévité</b>	<b>Fécondité</b>	<b>Taux d'éclosion des oeufs</b>	<b>Viabilité des oeufs</b>	<b>Poids des graines</b>	<b>Faculté germinative</b>
<b>50 - 75</b>	0,99993999	1,0000000	1,0000000	1,0000000	0,9127024	0,0000000
<b>25 - 75</b>	0,5362789	1,0000000	1,0000000	1,0000000	0,9066097	0,0000000
<b>12.5 - 75</b>	0,0061503	0,3130948	0,4060744	1,0000000	0,9042456	0,0000000
<b>6,5 - 75</b>	0,0000066	0,0000000	0,0000013	0,000135	0,6648682	0,0000000
<b>0 - 75</b>	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,4219581	0,0000000
<b>25- 50</b>	0,6592895	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000	0,8767645
<b>12.5 - 50</b>	0,0094885	0,3130948	0,4060744	1,0000000	1,0000000	0,8767645
<b>6.5 -50</b>	0,0000009	0,0000000	0,0000013	0,0001350	0,9951698	0,8767645
<b>0 - 50</b>	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,9534380	0,8767645
<b>12,5- 25</b>	0,1846432	0,3130948	0,4060744	1,0000000	1,0000000	1,0000000
<b>6,5 -25</b>	0,0000129	0,0000000	0,0000013	0,0001350	0,9959182	1,0000000
<b>0 - 25</b>	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,9402893	1,0000000
<b>6,5 - 12,5</b>	0,0018341	0,0000000	0,0000473	0,0001350	0,9961768	1,0000000
<b>0- 12,5</b>	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,0000001	0,9420611	1,0000000
<b>0 - 6,5</b>	0,0001953	0,0000000	0,0139398	0,0110743	0,9981601	1,0000000

**Tableau 5 :** Analyse de la variance pour le test d'inhalation avec les Myrtacées.

	<b>DDL</b>	<b>C.M</b>	<b>Test. F</b>	<b>Proba</b>	<b>E.T</b>	<b>C.V</b>
<b>Variation totale</b>	319	35 ,694				
<b>Var F1</b>	3	39,471	142,451	0,0000		
<b>Var F2</b>	4	244,864	883,721	0,0000		
<b>Var F3</b>	3	1509,879	5449,188	0,0000		
<b>Var F1×F2</b>	12	36,26	130,863	0,0000		
<b>Var F1×F3</b>	9	263,982	952,918	0,0000		
<b>Var F2×F3</b>	12	116,981	422,186	0,0000		
<b>Var F1×F2× F3</b>	36	41,049	148,146	0,0000		
<b>Variation résiduelle</b>	240	0,277			0,526	15,63 %

**Tableau 6 :** Résultats du Test répulsivité avec les Myrtacées (Test de Tukey).

Doses ( $\mu$ l)	Probabilité
6,5 – 12,5	0,4898473
6,5 – 25	0,0212212
6,5- 50	0,0008886
6,5- 75	0,0000015
12,5 – 25	0,3643900
12,5 – 50	0,0212212
12,5 – 75	0,0000181
25- 50	0,4898473
25-75	0,0004615
50- 75	0,0107019

**Tableau 7:** Résultats de l'analyse de la variance sur le taux d'éclosion des œufs exposés pendant 24 heures aux huiles essentielles.

	DDL	Carrés moyens	Test de Fischer	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	44,75				
<b>Variation facteur 1(dose)</b>	6	238,69	12,60	0,000		
<b>Variation Facteur2 (huile)</b>	5	526.90	27,82	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	34,03	1,80	0,0136		
<b>Variation résiduelle</b>	126	18,94			4,35	11 %

**Tableau 8 :** Résultats de l'analyse de la variance sur le taux d'éclosion des œufs exposés pendant 48 h aux huiles essentielles.

	<b>DDL</b>	<b>Carré moyen</b>	<b>Test Fisher</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Variation totale</b>	167	67,23				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	423,21	21,52	0,000		
<b>Variation Facteur 2(huile)</b>	5	927,64	47,18	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	52,43	2,67	0,0001		
<b>Variation résiduelle</b>	126	19,66			4,43	12,7 %

**Tableau 9 :** Résultats de l'analyse de la variance sur le taux d'éclosion des œufs exposés pendant 72 h aux huiles essentielles.

	<b>DDL</b>	<b>Carré moyen</b>	<b>Test Fisher</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Variation totale</b>	167	47,45				
<b>Variation (dose)facteur 1</b>	6	273,30	13,82	0,000		
<b>Variation Facteur2(huile)</b>	5	418,01	21,14	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	56,79	2,87	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	19,77			4,45	12,7 %

**Tableau 10 :** Résultats de l'analyse de la variance sur le taux d'éclosion des œufs exposés pendant 96 h aux huiles essentielles.

	<b>DDL</b>	<b>Carrés moyens</b>	<b>Test Fisher</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Variation totale</b>	167	71,68				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	462,22	24,19	0,000		
<b>Variation Facteur 2 (huile)</b>	5	1016,58	53,20	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	56,88	2,98	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	19,11			4,37	12,9

**Tableau 11** : Probabilité ajustée pour du taux d'éclosion des œufs de *C. maculatus* à différents temps d'exposition aux huiles essentielles (Test de Tukey).

Dose ( $\mu$ l)	Temps d'exposition (heures)			
	24	48	72	96
50-75	0,8728493	0,8396963	0,6351754	0,8389456
25-75	0,9042885	0,631236	0,1005224	0,0592595
12,5-75	0,408855	0,1272083	0,0401848	0,0087771
6,5-75	0,0029531	0,0065782	0,0020776	0,0066688
0-75	0,0000009	0,0000063	0,0000234	0,0000018
25-50	0,9999994	0,9637222	0,8580330	0,5117472
12,5-25	0,3292514	0,7282360	0,6351754	0,1494396
6,5-25	0,0445132	0,1200912	0,1083941	0,1217428
0-25	0,0000216	0,0002305	0,0023771	0,0000681
12,5-50	0,3729410	0,9912924	0,9985180	0,9725664
6,5-50	0,0539673	0,4768237	0,657345	0,9534163
0-50	0,0000277	0,0024803	0,0489281	0,0107570
6,5-12,5	0,9163592	0,8263319	0,8732213	0,9999984
0-12,5	0,0091344	0,0124600	0,1196292	0,0704491
0-6,5	0,1034182	0,2021271	0,6645382	0,0881766

**Tableau 12:** Résultats de l'analyse de la variance sur l'émergence des œufs de *C. maculatus* exposés pendant 24 heures aux huiles essentielles

	DDL	Carrés moyens	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	46,90				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	310,7	14,13	0,000		
<b>Variation Facteur2 (huile)</b>	5	357,04	16,23	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	47,09	2,14	0,0019		
<b>Variation résiduelle</b>	126	21,99			4,69	13,8 %

**Tableau 13:** Résultats de l'analyse de la variance sur l'émergence des œufs de *C. maculatus* exposés pendant 48 h aux huiles essentielles.

	DDL	Carrés moyens	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	86,69				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	572,35	27,63	0,000		
<b>Variation Facteur2 (huile)</b>	5	1329,49	64,18	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	59,52	2,87	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	20,71			4,55	15,8 %

**Tableau 14** : Résultats de l'analyse de la variance sur l'émergence des œufs exposés pendant 72 h aux huiles essentielles.

	DDL	Carrés moyens	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	52,14				
<b>Variation (dose) facteur 1</b>	6	328,73	20	0,000		
<b>Variation (huile) Facteur2</b>	5	595,31	36,21	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	56,23	3,42	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	16,44			4,05	13,40 %

**Tableau 15** : Résultats de l'analyse de la variance sur l'émergence des œufs exposés pendant 96 h aux huiles essentielles.

	DDL	Carré moyen	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	69,60				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	244,83	13,36	0,000		
<b>Variation Facteur 2 (huile)</b>	5	1394,17	76,08	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	29,17	1,59	0,0404		
<b>Variation résiduelle</b>	126	18,33			4,28	16,1%

**Tableau 16 :** probabilité ajustée du taux de viabilité des œufs de *C. maculatus* âgés de 12 jours, traitées aux huiles essentielles à différents temps d'exposition (Test de Tukey).

Doses (µl)	Temps d'exposition (h)			
	24h	48h	72h	96h
50-75	0,8728493	0,9654721	0,6351754	0,8389456
25-75	0,9042885	0,987654	0,1005224	0,0453261
12,5-75	0,5089456	0,4589763	0,0401848	0,0086661
6,5-75	0,0029531	0,0089753	0,0020891	0,0006789
0-75	0,0000008	0,0000071	0,0000123	0,0000022
25-50	0,9999994	0,9637222	0,9685473	0,5117472
12,5-25	0,3292514	0,7282360	0,5789324	0,1494396
6,5-25	0,0445132	0,1200912	0,1083941	0,1217428
0-25	0,0000564	0,0002305	0,0023771	0,0000681
12,5-50	0,3729410	0,9912924	0,9985180	0,9725664
6,5-50	0,0539673	0,4768237	0,657345	0,9534163
0-50	0,0000542	0,0024803	0,0489281	0,0107570
6,5-12,5	0,9163592	0,8263319	0,8732213	0,9999984
0-12,5	0,0091344	0,0124600	0,1196292	0,0704491
0-6,5	0,1034182	0,2021271	0,6645382	0,0881766

**Tableau 17:** Résultats de l'analyse de la variance concernant les individus âgés de 12 jours exposés pendant 24 h aux huiles essentielles.

	<b>DDL</b>	<b>Carrés moyens</b>	<b>Test de Fischer</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Variation totale</b>	167	186,76				
<b>Variation (dose) facteur 1</b>	6	2344,27	139,53	0,000		
<b>Variation (huile) Facteur2</b>	5	1746,72	103,96	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	209,10	12,45	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	16,80			4,10	10,80

**Tableau 18 :** Résultats de l'analyse de la variance concernant les individus âgés de 12 jours exposés pendant 48 h d'huile essentielle

	<b>DDL</b>	<b>Carré moyen</b>	<b>Test Fischer</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Ecart type</b>	<b>Coefficient de variation</b>
<b>Variation totale</b>	167	297,90				
<b>Variation (dose) facteur 1</b>	6	2127,96	20,46	0,000		
<b>Variation Facteur 2(huile)</b>	5	3820,66	36,74	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	159,14	1,53	0,551		
<b>Variation résiduelle</b>	126	104			10,20	30,4 %

**Tableau 19 :** Résultats de l'analyse de la variance pour les individus âgés de 12 jours exposés pendant 72 h aux huiles essentielles

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	333,54				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	2774,69	189,29	0,000		
<b>Variation Facteur2 (huile)</b>	5	5436,88	370,90	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur2</b>	30	334,07	22,79	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	14,66			3,83	12,7 %

**Tableau 20 :** Résultats de l'analyse de la variance pour le stade larvaire 12 jours exposés pendant 96 h

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	316,10				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	3088,08	199,90	0,000		
<b>Variation Facteur2 (huile)</b>	5	4698,94	304,17	0,000		
<b>Variation interaction (facteur 1× facteur2)</b>	30	293,99	19,03	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	15,45			3,93	12,7 %

**Tableau 21** : Probabilité ajustée des individus de *C. maculatus* âgés de 12 jours exposés à différents temps aux huiles essentielles (Test de Tukey).

Doses ( $\mu$ l)	Temps d'exposition (h)			
	24	48	72	96
<b>50-75</b>	0,9906629	1,0000000	0,9952439	0,999866,
<b>25-75</b>	0,4416435	0,1272913	0,0361511	0,8415803
<b>12,5-75</b>	0,0867147	0,0121919	0,0193469	0,4537795
<b>6,5-75</b>	0,0815215	0,0024208	0,0024499	0,2924730
<b>0-75</b>	0,0710253	0,0015688	0,0005251	0,0253443
<b>25-50</b>	0,6015728	0,1304803	0,1161692	0,9338151
<b>12,5-50</b>	0,2763696	0,0125881	0,673646	0,6070646
<b>6,5-50</b>	0,2635452	0,0025057	0,0101766	0,4242953
<b>0-50</b>	0,2367447	0,0016245	0,0023494	0,0461859
<b>12,5-25</b>	0,9426666	0,9191929	0,9998542	0,9854950
<b>6,5-25</b>	0,9351513	0,6202780	0,9114112	0,9297464
<b>0-25</b>	0,9164980	0,5247830	0,6414428	0,3080205
<b>6,5-12,5</b>	1,0000000	0,9912729	0,972341	0,9996706
<b>0-12,5</b>	0,9999991	0,975667	0,7883885	0,6986127
<b>0-6,5</b>	0,9999999	0,9999879	0,9945759	0,8560703

**Tableau 22** : Résultats de l'analyse de la variance pour les individus âgés de 18 jours exposés pendant 24 h aux huiles essentielles.

	DDL	Carrés moyens	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	71,79				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	672,91	31,79	0,000		
<b>Variation Facteur 2 (huile)</b>	5	824,88	38,96	0,000		
<b>Variation interaction (Facteur 1× Facteur2)</b>	30	38,68	1,83	0,0115		
<b>Variation résiduelle</b>	126	21,17			4,60	10,9 %

**Tableau 23** : Résultats de l'analyse de la variance pour les individus âgés de 18 jours exposés pendant 48 h aux huiles essentielles

	DDL	Carré moyen	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	185,80				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	763,77	53,53	0,000		
<b>Variation Facteur 2 (huile)</b>	5	3247,26	227,59	0,000		
<b>Variation interaction facteur 1× facteur 2</b>	30	280,38	19,65	0,0000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	14,27			3,78	10,50 %

**Tableau 24** : Résultats de l'analyse de la variance pour les individus âgés de 18 jours exposés pendant 72 h aux huiles essentielles

	DDL	Carrés moyens	Test de Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	225,38				
<b>Variation facteur 1 (dose)</b>	6	1559,18	89,78	0,000		
<b>Variation Facteur 2(huile)</b>	5	4059,81	233,77	0,000		
<b>Variation interaction Facteur 1× Facteur2</b>	30	193,22	11,13	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	17,37			4,17	12,6 %

**Tableau 25** : Résultats de l'analyse de la variance pour les individus âgés de 18 jours exposés pendant 96 h aux huiles essentielles

	DDL	Carrés moyens	Test Fisher	Probabilité	Ecart type	Coefficient de variation
<b>Variation totale</b>	167	275,84				
<b>Variation (dose)Facteur 1</b>	6	1175,54	85,44	0,000		
<b>Variation (huile Facteur2)</b>	5	6516,49	473,65	0,000		
<b>Variation interaction Facteur 1× Facteur2</b>	30	156,54	11,38	0,000		
<b>Variation résiduelle</b>	126	13,76			3,71	11,9 %

**Tableau 26** : probabilité ajustée des individus de *C. maculatus* âgés de 18 jours à différents temps d'exposition (Test de Tukey).

Doses ( $\mu$ l)	Temps d'exposition d'exposition (h)			
	24h	48h	72h	96h
<b>50-75</b>	0,2579033	0,8820585	0,5161619	0,6630770
<b>25-75</b>	0,506557	0,0026899	0,0002319	0,0001240
<b>12,5-75</b>	0,0043737	0,0014697	0,0000262	0,0000006
<b>6,5-75</b>	0,0004288	0,0005036	0,0000055	0,0000006
<b>0-75</b>	0,0000247	0,0001762	0,0000001	0,0000000
<b>25-50</b>	0,9670852	0,0473645	0,0300450	0,0095990
<b>12,5-50</b>	0,5168507	0,0283851	0,0044788	0,0000596
<b>6,5-50</b>	0,1389031	0,0110625	0,0010472	0,0000572
<b>0-50</b>	0,0151962	0,0042400	0,0000151	0,0000005
<b>12,5-25</b>	0,9315977	0,9999370	0,9783793	0,5109004
<b>6,5-25</b>	0,509477,	0,9919621	0,8193793	0,5024323
<b>0-25</b>	0,1009713	0,936400	0,1135821	0,033172
<b>6,5-12,5</b>	0,9649462	0,9990682	0,9954915	1,0000000
<b>0-12,5</b>	0,5094772	0,9785523	0,4074488	0,6205514
<b>0-6,5</b>	0,9315977	0,9992293	0,7208124	0,6291121