



FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat en Biologie Animale

Etude des Blattellidae (Dictyoptera) : Essais Toxicologiques, Synergie et Résistance aux Insecticides et aux Biopesticides

Présenté par :

HABBACHI Wafa

Devant la commission d'examen :

* Président : M ^f BAIRI Madjid	Professeur	Université de Annaba
* Directeur de Thèse : M ^f OUAKID M ^{ed} Laid	Professeur	Université de Annaba
* Codirecteur de Thèse : M ^f FARINE Jean-Pierre	CR1 CNRS	Université de Bourgogne
* Examineurs : M ^{me} BERCHI Selima	Professeur	Université de Constantine
M ^f AOUF Nour-Eddine	Professeur	Université de Annaba
M ^f BELHAMRA Mohamed	Professeur	Université de Biskra

Mai 2013

REMERCIEMENTS

Je remercie, en premier lieu, Mr BAIRI Madjid, Professeur à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, pour avoir accepté de présider le jury mais aussi pour tous les échanges techniques, scientifiques et pour sa sympathie.

Je voudrais également remercier les examinateurs de cette thèse pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et d'avoir accepté de juger cette thèse : Mr BELHAMRA Mohamed, Professeur à l'Université de Mohamed Kheidar à Biskra, Mr AOUF Nour-Eddine, Professeur à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba et Mme BERCHI Selima, Professeur de l'Université de Mentouri de Constantine.

Je souhaite remercier mon directeur de thèse, Mr OUAKID Mohamed Laid, Professeur à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, a dirigé mon parcours scientifique depuis Avril 2007. Je lui suis également reconnaissant, non seulement pour ses encouragements et son enthousiasme, mais également pour sa confiance lorsqu'il m'a choisi pour faire partie du projet Insectox (CMEP Tassili) ce qui m'a permis de finaliser toutes les expériences prévues. Je voudrais également le remercier pour le temps conséquent qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques, sa franchise, sa sympathie, sa bonne humeur et sa joie de vivre, qui ont fait de ces quatre ans une aventure incroyable. J'ai beaucoup appris à ses côtés et je lui adresse ma gratitude pour tout cela ; "Merci beaucoup, Chef !".

J'adresse également de chaleureux remerciements à mon co-directeur de thèse, Mr FARINE Jean-Pierre, Chargé de Recherches au CNRS (Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, CSGA) de l'Université de Bourgogne, d'avoir accepté de suivre ce travail depuis 2009, pour son attention de tout instant sur mes travaux, pour m'avoir accueilli chaleureusement au sein de son laboratoire à Dijon, pour m'avoir fait confiance tout au long de ces quatre ans, pour ses conseils avisés et son écoute qui ont été prépondérants pour la bonne réussite de cette thèse. Son énergie et sa confiance ont été des éléments moteurs pour moi. J'ai pris un grand plaisir à travailler avec vous : "Chef, Merci !".

Un grand merci à Mme FARINE Dominique ; j'ai apprécié son enthousiasme et sa sympathie et je la remercie pour son accueil chaleureux à chaque fois que je "débarquais" pour faire des stages à Dijon.

Je remercie également Monsieur BENSLAMA Mohamed, Professeur et Chef du Département de Biologie à l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, non seulement pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire de Pédologie, mais également pour son aide continue, son ouverture d'esprit et sa gentillesse, autant d'éléments qui m'ont permis d'atteindre mes objectifs. Merci de vous être impliquée dans ce travail, Monsieur.

J'associe à ces remerciements toute l'équipe du Département de Biologie, les enseignants-chercheurs, les techniciens, et mes collègues doctorants, pour tous les échanges techniques, scientifiques et pour leur sympathie, leur accueil chaleureux pendant ces quatre ans de thèse.

Bien sûr, atteindre ces objectifs n'aurait pas été possible sans l'aide des membres de notre laboratoire d'Ecologie de l'Université d'Annaba et des membres du CSGA de l'Université de Bourgogne à Dijon. Je tiens à remercier toute personne ayant contribué à la réussite de ce travail, pour leur aide et leur bonne humeur.

Un remerciement particulier à mon cher Papa, qui a toujours été fier de moi, pour son soutien sans faille, et à tout ce qu'il a pu m'apporter pour franchir les obstacles les plus difficiles. Je tiens à lui exprimer ma plus vive gratitude pour son aide financière et morale tout au long de ces années d'études. Un immense merci à ma chère Maman, ainsi qu'à mes sœurs, Amel, Karima et Sara, pour leur soutien au cours de ces dernières années et sans lesquelles je n'en serais pas là aujourd'hui. Je vous remercie aussi d'avoir été présentes dans mes moments de doutes et de "craquages", de m'avoir remonté le moral et encouragé à ne pas laisser tomber cette thèse. Votre soutien a été précieux; je n'avais jamais eu l'occasion de vous le dire et de vous en remercier. Merci également à vous d'avoir supporté mon éloignement et mon peu de disponibilité au cours de dernières années.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre 1

Introduction	4
Matériel et Méthodes	5
1- Les blattes forestières	5
1.1- <i>La région d'El-Kala</i>	
1.2- <i>La région de Seraïdi</i>	
1.3- <i>La région de Ouled Bechih</i>	
1.4- <i>Le site d'eucalyptus de Sidi Amar</i>	
2- Les blattes urbaines	9
Résultats	11
1- Les blattes forestières	11
1.1- <i>Loboptera decipiens</i>	
1.2- <i>Ectobius kervillei et Ectobius sp.</i>	
2- Les blattes urbaines	13
2.1- <i>Les blattes récoltées dans les hôpitaux</i>	
2.2- <i>Les blattes récoltées dans les habitations</i>	
Discussion	17
1- Les blattes forestières	17
1.1- <i>Loboptera decipiens</i>	
1.2- <i>Ectobius kervillei et Ectobius sp.</i>	
2- Les blattes urbaines	21
2.1- <i>Periplaneta americana</i>	
2.2- <i>Blattella germanica</i>	
2.3- <i>Blatta orientalis</i>	
2.4- <i>Supella longipalpa</i>	

Chapitre 2

Introduction	25
Matériel et Méthodes	27
1- <i>Loboptera decipiens</i>	27
2- Cycle de vie dans la nature	28
3- Etude de l'habitat naturel	28
4- Potentiel reproducteur	29
5- Comportement alimentaire	29
5.1- <i>Préparation des extraits de feuilles d'eucalyptus</i>	
5.2- <i>Tests en olfactomètre (tube en Y)</i>	
6- Comportement sexuel	30
6.1- <i>Elevage des adultes isolés (adultes naïfs)</i>	
6.2- <i>Tests en enceinte close</i>	
6.3- <i>Tests en olfactomètre (tube en Y)</i>	
6.4- <i>Analyse physicochimique des hydrocarbures cuticulaires</i>	
7- Analyse des données	33
Résultats	34
1- Cycle de vie de <i>L. decipiens</i> dans la nature	34
1.1- <i>Dans les subéraies du PNEK et de l'Edough</i>	
1.2- <i>Dans la forêt de Sidi Amar</i>	
2- Bioécologie de <i>L. decipiens</i>	37
2.1- <i>Les oothèques</i>	
2.2- <i>Les différents stades de développement</i>	
a/ <i>Le premier stade larvaire (L1)</i>	
b/ <i>Le deuxième stade larvaire (L2)</i>	
c/ <i>Les troisième et quatrième stades larvaires (L3, L4)</i>	
d/ <i>Le cinquième stade larvaire (L5)</i>	
e/ <i>Le stade adulte</i>	

3- Etude de l'habitat naturel de <i>L. decipiens</i>	40
3.1- <i>La litière des subéraies du PNEK et de l'Edough (chêne- liège)</i>	
a/ <i>Composition de la litière</i>	
b/ <i>Caractéristiques physicochimiques de la litière</i>	
3.2- <i>La litière d'eucalyptus de Sidi Amar</i>	
a/ <i>Composition de la litière</i>	
b/ <i>Caractéristiques physicochimiques de la litière</i>	
4- Potentiel reproducteur de <i>L. decipiens</i>	44
5- Comportement alimentaire de <i>L. decipiens</i>	46
6- Comportement sexuel de <i>L. decipiens</i>	48
6.1- <i>Les différentes séquences conduisant à l'accouplement</i>	
a/ <i>L'attraction du mâle par la femelle</i>	
b/ <i>La reconnaissance des deux partenaires par contacts antennaires</i>	
c/ <i>La parade du mâle</i>	
d/ <i>Le léchage des tergites du mâle par la femelle</i>	
e/ <i>L'accouplement</i>	
6.2- <i>Cas des accouplements réussis</i>	
6.3- <i>Cas des accouplements avortés</i>	
6.4- <i>Etude de l'attraction des mâles par les femelles (olfactomètre en Y)</i>	
6.5- <i>Analyse chimique des hydrocarbures cuticulaires (CPG)</i>	
Discussion	56
1- Le cycle de vie de <i>L. decipiens</i>	56
2- Le potentiel reproducteur de <i>L. decipiens</i>	60
3- Le comportement alimentaire de <i>L. decipiens</i>	60
4- Le comportement sexuel de <i>L. decipiens</i>	62

Chapitre 3

Introduction	66
Matériel et Méthodes	69
1- <i>Blattella germanica</i>	69
2- Etude des populations dans les sites urbains	71
3- Elevage de masse	71
4- Elevage des adultes isolés	72
5- Potentiel reproducteur	72
6- Traitements des adultes	73
6.1- <i>Les biopesticides utilisés</i>	
a/ <i>Le Spinosad</i>	
b/ <i>Le Bacillus thuringiensis var. kurstaki (Bt)</i>	
6.2- <i>Mode opératoire</i>	
a/ <i>Le Spinosad</i>	
b/ <i>Le Bacillus thuringiensis var. kurstaki</i>	
c/ <i>La synergie spinosad et Bt var. kurstaki</i>	
7- Effet des traitements sur le comportement sexuel	77
7.1- <i>Description du comportement sexuel</i>	
a/ <i>L'attraction à distance des mâles par les femelles</i>	
b/ <i>La reconnaissance mutuelle après contacts antennaires</i>	
c/ <i>Le comportement de parade du mâle</i>	
d/ <i>Le léchage des glandes tergaes du mâle par la femelle</i>	
e/ <i>L'accouplement</i>	
7.2- <i>Etude des différentes séquences comportementales</i>	
7.3- <i>Tests en olfactomètre en Y</i>	
7.4- <i>Préparation des extraits</i>	
8. Etude des hydrocarbures cuticulaires	83
8-1. <i>Extraction des hydrocarbures</i>	
8-2- <i>Analyse chimique des extraits (CPG)</i>	

9- Analyses Statistiques des résultats	84
9.1- <i>Traitement des adultes</i>	
9.2- <i>Rôles des biopesticides sur le comportement</i>	
Résultats	86
1- Etude des populations dans les sites urbains	87
2- Potentiel reproducteur	87
3- Comportement sexuel	90
3.1- <i>Accouplement réussis</i>	
3.2- <i>Accouplement avortés</i>	
3.3- <i>Accouplements Nuls</i>	
3.4- <i>Attractivité à distance d'extraits totaux d'adultes (olfactomètre en Y)</i>	
4- Les hydrocarbures cuticulaires des adultes	94
5- Toxicité du spinosad sur les adultes	96
5.1- <i>Effet du spinosad sur la mortalité des mâles</i>	
5.2- <i>Effet du spinosad sur la mortalité des femelles</i>	
5.3- <i>Paramètres toxicologiques du spinosad</i>	
6- Toxicité du <i>B. thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> (Bt) sur les adultes	101
6.1- <i>Effet du Bt sur la mortalité des mâles</i>	
6.2- <i>Effet du Bt sur la mortalité des femelles</i>	
6.3- <i>Paramètres toxicologiques du Bt</i>	
7- Action synergique du spinosad et du Bt sur les adultes	106
7.1- <i>Effet synergique sur la mortalité des mâles</i>	
7.2- <i>Effet synergique sur la mortalité des femelles</i>	
7.3- <i>Paramètres toxicologiques du spinosad et du Bt utilisé en synergie</i>	
8- Rôle d'une concentration sublétales (25 mg/l) de spinosad sur le comportement sexuel	110
8.1- <i>Taux d'accouplement</i>	
8.2- <i>Premier contact antennaire</i>	
8.3- <i>Parade du mâle</i>	
a/ <i>Effets sur le nombre de parades</i>	
b/ <i>Effets sur le temps de la première parade</i>	
8.4- <i>Léchage du mâle par la femelle</i>	
8.5- <i>Nombre de tentatives d'accouplement</i>	

a/ Effets sur la première tentative d'accouplement	
9- Rôle d'une concentration sublétale (1g/l) de <i>Bt</i> var. <i>kurstaki</i> sur comportement sexuel	114
9.1- Taux d'accouplement	
9.2- Premier contact antennaire	
9.3- Parade du mâle	
a/ Effets sur le nombre de parades	
b/ Effets sur le temps de la première parade	
9.4- Léchage du mâle par la femelle	
a/ Effets sur le nombre de léchages	
b/ Effets sur le temps de premier léchage	
9.5- Nombre de tentatives d'accouplement	
a/ Effets sur le nombre de tentatives d'accouplement	
b/ Effets sur la première tentative d'accouplement	
10- Rôle des concentrations sublétales d'un mélange de spinosad (25 mg/l) et de <i>Bt</i> var. <i>kurstaki</i> (1g/l) sur le comportement sexuel	118
10.1- Taux d'accouplement	
10.2- Premier contact antennaire	
10.3- Parade du mâle	
a/ Effets sur le nombre de parades	
b/ Effets sur le temps de parade	
10.4- Effets sur le léchage du mâle par la femelle	
a/ Effets sur le nombre de léchages	
b/ Effets sur le temps du premier léchage	
10.5- Effets sur l'accouplement	
11- Rôles des différents traitements sur l'attraction à distance des adultes (olfactomètre en Y)	121
11.1- Le Spinosad (25 mg/l)	
11.2- Le <i>Bt</i> (1g/l)	
11.3- La synergie spinosad (25mg/l) et <i>Bt</i> (1 g/l)	
12- Effets des biopesticides sur les hydrocarbures cuticulaires des adultes..	123
12.1- Effets du spinosad sur les mâles	
12.2- Effets du spinosad sur les femelles	
12.3- Effets du <i>Bt</i> (1 g/l) sur les mâles	

- 12.4- *Effets du Bt (1 g/l) sur les femelles*
- 12.5- *Rôle du mélange spinosad (25mg/l) / Bt (500 mg/l) sur les mâles*
- 12.6- *Rôle du mélange spinosad (25mg/l) / Bt (500 mg/l) sur les femelles*
- 12.7- *Traitement statistiques des résultats*

Discussion	130
1- Structure de la population et potentiel reproducteur de <i>B. germanica</i>	130
2- Utilisation de biopesticides comme moyen de lutte contre <i>B. germanica</i> ..	133
3- Perturbations du comportement sexuel de <i>B. germanica</i> par les biopesticides	137

Conclusion générale

Résumés

Références bibliographiques

Annexe

INTRODUCTION GENERALE

Les insectes sont très étudiés en raison de leur impact sur la santé humaine et animale, les cultures et l'habitat. Ils sont caractérisés par leur abondance, leur diversité et leur étendue géographique.

Les différents types de comportements rencontrés chez les insectes dépendent principalement d'un ensemble d'actes moteurs commandés par le système nerveux en réponse à des stimuli chimiques provenant de facteurs externes (nourriture, phéromones sexuelles, phéromones d'alarme, sécrétions aphrodisiaques, phéromones grégaires,...) (Kaiser, 1999).

Les appellations « grelous, bakhouches », blattes, cafards et cancrelats, désignent un même groupe d'insectes : les Dictyoptères, qui se répartissent en six familles. Les blattes se sont adaptées à tous les milieux : tropicaux, subtropicaux, tempérés et même désertiques (Ebling, 1978). Leur origine remonte à 400 millions d'années et les formes fossiles sont assez comparables aux espèces actuelles (Koehlen & Patterson, 1987). Parmi plus de 4000 espèces recensées à ce jour, une vingtaine seulement sont inféodées à l'homme (Rivault *et al.*, 1995) mais ces dernières posent de gros problèmes phytosanitaires.

Les blattes ont évolué à partir d'un plan de base assez simple chez les insectes : yeux à facettes non spécialisées, pièces buccales broyeuses non spécialisées et deux paires d'ailes parfois fonctionnelles ; ce sont des espèces ovipares. Leur taille varie de quelques millimètres à quelques centimètres ; leur forme peut être soit aplatie, soit complètement cylindrique. Dans tous les cas, elles sont reconnaissables grâce à leur tête repliée sous le thorax (Guthrie & Tindall, 1968 ; Monk & Pembrok, 1987).

Comme les autres insectes à métamorphose incomplète, les blattes présentent trois stades de développement : l'œuf, la larve et l'adulte. La durée de développement est très variable selon les espèces ; elle varie également au sein d'une même espèce en fonction des conditions de vie et de la nourriture (Gordon, 1996). Les embryons (20 à 40 environ) se développent dans une petite « coque » appelée oothèque qui est déposée dans un lieu abrité

des prédateurs éventuels. Après un temps de développement variable selon les espèces, les oothèques s'ouvrent et laissent apparaître des larves qui grandiront grâce à une série de 5 à 8 mues; la dernière mue larvaire, ou mue imaginale, donnera l'adulte (Gould, 1943 ; Guillaumin *et al.*, 1969). La durée de vie des adultes est variable selon le sexe et les conditions externes (température, humidité, nourriture, prédateurs). La femelle vit généralement plus longtemps que le mâle.

On trouve chez les blattes toute la gamme des comportements classiques rencontrés chez les insectes (prise de nourriture, dispersion, fuite, reproduction) mais ces derniers coexistent parfois avec des comportements dit présociaux. Cette appellation recouvre en fait des relations privilégiées de type grégaire entre des individus qui ont une tendance naturelle à se rassembler. Leur communication entre ces individus est basée, pour une bonne part, sur l'utilisation de substances chimiques qui agissent à distance et/ou au contact, appelées phéromones (Brossut, 1996).

L'importance économique des blattes a conduit les scientifiques à se pencher sur leur aptitude d'adaptation en étudiant leur biologie, leur écologie et leur comportement sexuel. Ces insectes constituent également un bon modèle pour des études toxicologiques et éthologiques. (Rhen & Hebard, 1927 ; Roth & Willis, 1960 ; Princis, 1962 ; 1971 ; Roth, 1970 ; Brossut, 1983).

Dans le premier chapitre de ce travail, nous nous sommes tout d'abord attaché à dresser un inventaire de la faune Dictyoptères de l'est algérien, tant dans le milieu urbain que forestier. Ceci nous a permis de déterminer les espèces prépondérantes et d'étudier plus précisément leur biologie sur le terrain afin de mettre au point une nouvelle méthode de lutte en utilisant divers insecticides biologiques. L'utilisation de tels composés chimiques pour lutter contre les blattes est de première importance. En effet, ces composés ne présentent que très peu de toxicité vis-à-vis des mammifères, dont l'homme, et des poissons, mais permet de trouver d'autres moyens de lutte contre de nombreux insectes, dont les blattes, devenus de plus en plus résistants aux insecticides conventionnels (IRAC, 2008).

Dans le deuxième chapitre, nous avons mené une étude bioécologique de la blatte forestière la plus abondante (*Loboptera decipiens*) qui joue un rôle important dans la décomposition de la litière des forêts et dont la biologie reste très mal connue (Ph. Grandcolas, communication personnelle).

L'étude du mode de vie de *L. decipiens* avait pour but de mieux cerner la structure de la population de cette blatte dans nos forêts, de définir son potentiel reproducteur, son comportement alimentaire et d'étudier précisément le comportement sexuel des adultes.

L'étude des sites urbains a révélé que l'espèce la plus fréquente dans ces milieux est, sans surprise, la blatte germanique, *Blattella germanica*, espèce cosmopolite par excellence causant plus de 90 % des infestations dans nos habitations.

Dans un premier temps, nous avons étudié la structure de la population de cette espèce au niveau de différents sites (maisons, hôpitaux, citée universitaire, boulangerie), puis nous avons déterminé le potentiel reproducteur de l'espèce.

L'application abusive et répétée des insecticides conventionnels a fait apparaître chez les blattes, et plus particulièrement chez *B. germanica*, des phénomènes de résistance (Valles *et al.*, 2000 ; Fulton & Key, 2001 ; Yu *et al.*, 2003 ; Kristensen *et al.*, 2005 ; Ahmed *et al.*, 2007). Cette résistance se traduit par des modifications physiologiques, biochimiques et comportementales (Morse & Brawner, 1986 ; Cochran, 1990 ; 1991 ; Sharf *et al.*, 1997 ; Saito & Hama, 2000).

Dans cette optique, nous avons réalisé une étude toxicologique en utilisant des insecticides naturels comme le *spinosad* et le *Bacillus thuringiensis var kurstaki*, seuls ou en mélange. L'utilisation de ces bioinsecticides avait pour but de mettre en évidence, d'une part, l'effet direct des deux composés étudiés sur la mortalité des adultes de *B. germanica* et, d'autre part, de déterminer l'effet différé de ces molécules sur le comportement sexuel et les hydrocarbures cuticulaires. Ces composés, adsorbés dans les cires cuticulaires des larves et des adultes, et dont le rôle premier est de protéger l'insecte contre la dessiccation, jouent également un rôle important au niveau de l'attraction et de la reconnaissance des partenaires sexuels.

Chapitre 1 :

Bio-Écologie de la Faune Blattoptère

INTRODUCTION

Les blattes sont généralement qualifiées d'espèces domiciliaires ; ce sont des espèces qui vivent la nuit et qui s'abritent dans les endroits qui leur fournissent un microclimat convenable et qui leur permettent d'avoir un accès facile à la nourriture (Roth & Willis, 1960). Ces insectes peuvent créer de sérieux dégâts dans les magasins de denrées alimentaires et transmettre certaines maladies à l'homme. En effet des études ont démontré qu'elles pouvaient véhiculer différentes sortes de bactéries et même provoquer des allergies cutanées et respiratoires chez l'homme (Frichman & Alcamo, 1977 ; Rivault *et al.*, 1993 ; 1994).

Le régime omnivore des blattes leur permet de s'accommoder à tous types d'aliments (Gordon, 1996). C'est le cas d'espèces nuisibles qui vivent au voisinage de l'homme : comme *Periplaneta americana*, *Blatta orientalis* (Cornwell, 1976), *Supella longipalpa* et *Blattella germanica* (Cornwell, 1968 ; 1976 ; Gordon, 1968 ; Guillaumin *et al.*, 1969). D'autres blattes sont forestières. C'est le cas, par exemple du genre *Ectobius* que l'on peut souvent voir, surtout au niveau du sol, dans la litière. Ces espèces se nourrissent de débris végétaux et participent ainsi à la décomposition des feuilles et à la formation de l'humus.

L'inventaire des espèces africaines est loin d'être complet. En Afrique du Nord, peu de recherches ont été effectuées sur la faune des Orthoptéroïdes et plus particulièrement sur les Dictyoptères (Chopard, 1929 ; 1943). Dans notre région d'Annaba, le seul travail réalisé au niveau de l'inventaire des blattes domestiques est celui de Habes (2006). Dans le but de mieux cerner la distribution des blattes dans l'Est algérien, et afin de recenser les différentes espèces de blattes domestiques et forestières existant dans cette région, nous avons réalisé un inventaire, aussi large que possible, des espèces vivants dans des zones variées: forêts de chêne-liège (subéraies du Parc National d'El-Kala, de l'Edough et de Souk-Ahras), forêts d'eucalyptus, hôpitaux (hôpital Ibn Rochd à Annaba et Mohamed Dendane à Azzaba), habitations individuelles (maisons), ou collectives (résidence universitaire), lieu de stockage de denrées alimentaires (boulangerie).

MATÉRIEL & MÉTHODES

Les identifications des différentes espèces de blattes récoltées en milieu forestier et urbain ont été faites basées sur les critères de Chopard (1951) et Habes (2006), avant d'être confirmées par Philippe Grandcolas (Muséum national d'Histoire naturelle de Paris) et Horst Bohn (Muséum de Collection zoologique, Munich, Allemagne).

1- Les blattes forestières :

La faune et la flore des forêts algériennes sont très riches en espèces, mais il n'existe malheureusement pas d'inventaire complet. Les blattes forestières se rencontrent toujours dans un environnement où se trouve de la végétation. Il y a peu d'indications disponibles sur la biologie de ces arthropodes dans leur milieu naturel au niveau du bassin méditerranéen bien que Chopard (1951) y ait recensé plus de 54 espèces de blattes, dont 46 espèces forestières.

Le manque d'informations concernant les espèces vivants en Algérie nous a conduit à faire un inventaire des espèces les plus courantes que l'on peut trouver dans nos forêts.

Les blattes ont été récoltées dans les subéraies du Parc National d'El-Kala (PNEK), les subéraies de l'Edough (Séraïdi), les subéraies de Ouled Bechih (Machrouha, Souk-Ahras) et sous les Eucalyptus (Sidi-Amar, Annaba) (Fig. 1).



Figure 1. Situation géographique des sites de récolte

Chaque lieu de récolte correspond à trois parcelles de 1m² espacées de 50 mètres. La capture se fait par fouille sur chaque parcelle par deux personnes pendant deux heures durant

la matinée. Les individus récoltés sont mis dans des tubes en plastique et emmenés au laboratoire afin d'être déterminé.

a/ La région d'El-Kala renferme l'un des plus grands parcs nationaux d'Algérie. Situé à l'extrême Nord-Est du pays, le P.N.E.K est inclus administrativement dans la wilaya d'El-Tarf. D'une superficie de 76 438 ha, il est naturellement limité à l'Est par la frontière Algéro-Tunisienne, au Nord par le littoral Méditerranéen, à l'Ouest par le système dunaire de Righia et, enfin, au Sud par les contreforts des monts de la Medjerda (Djebel Ghorra) (Bouzeriba, 2001).

Le P.N.E.K (Fig. 2) est caractérisé par une richesse faunistique et floristique diversifiée, expliqué par l'existence de cinq grands types d'habitats de haute valeur écologique : l'habitat forestier, les zones humides, l'habitat rupicole, l'habitat dunaire et l'habitat littoral. Le long d'une coupe Nord-Sud, le relief passe de 0 à 1200 m d'altitude en moins de 40 kms. Cette physionomie du relief n'est pas sans influence sur les paramètres climatiques de cette région (De Belair, 1990 ; Benyacoub, 1993). En effet, d'après Emberger (1955), la région d'El-Kala est localisée dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud, à la limite de l'étage humide (Benyacoub & Chabi, 2000). Le climat de la région d'El-Kala est de type méditerranéen (Emberger, 1971). On peut distinguer une saison pluvieuse (Novembre à Avril) avec un bilan hydrique positif, et une longue saison sèche et chaude (Mai à Octobre), avec un bilan hydrique négatif (Chabi, 1998).



Figure 2. Subéraie du Parc National d'El-Kala (P.N.E.K)

Le peuplement végétal est clair avec une strate arborée constituée principalement de chêne-liège (*Quercus suber*) avec un recouvrement de 60%, de frêne (*Frainus angustifolia*), de laurier (*Laurus nobilis*), de peuplier (*Populus alba*), d'aulne (*Alnus glutinosae*). Il existe

également une strate buissonnante constituée essentiellement de *Calycotum sp.*, de pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*), de bruyère arborescente (*Erica arborea*), de ciste (*Cistus sp.*), de myrte (*Myrtus sp.*), d'asphodèle (*Asphodelus sp.*), de palmier nain (*Chamaerops humilis*) et de lentisque (*Pistacia lentiscus*). Il existe également une strate herbacée composée de nombreuses graminées.

b/ La région de Séraïdi est composée de l'une des plus importantes subéraie de chêne-liège de l'Est-Algérien, l'Edough, située à 13 km à l'ouest d'Annaba, qui se caractérise par une richesse faunistique et floristique diversifiée. Le long d'une coupe Nord-Sud, le relief passe de 0 à 1008 m d'altitude (F.S.F.E). Le massif montagneux de l'Edough est formé de trois ensembles : le Djebel Edough (commune de Séraïdi) culminant à 1008 m d'altitude, le Djebel Chaïba (commune d'Oued El Aneb) à 827 m d'altitude et le massif du Cap de Fer qui culmine à Kef Ennsour (commune de Chétaïbi) à 247 m d'altitude. Le climat, de type méditerranéen est composé de deux grandes saisons: une saison des pluies, allant de l'automne au printemps, la plus froide, et une saison sèche qui peut durer jusqu'à cinq mois et qui coïncide avec l'été.

La flore du massif forestier de l'Edough (Fig. 3) est caractérisée par deux essences principales: le chêne-liège, qui occupe 3419 h au sommet de toutes les pentes orientées au Sud, au Sud-Ouest ou au Nord-Ouest, et le chêne zeen (*Quercus canariensis*), qui couvre, en massifs compacts, toutes les parties humides ou fraîches des versants Nord et Est.



Figure 3. Subéraie de l'Edough (Séraïdi, Annaba)

c/ Les subéraies de Ouled Bechih (Machrouha, Souk-Ahras) font partie de la wilaya de Souk-Ahras. Située au Nord-Est de l'Algérie, la wilaya s'étend sur une superficie de 4630 km² avec une population estimée 373 000 habitants. Elle est bordée au Nord par la wilaya

d'El-Taref, au Sud par la wilaya de Tebessa, à l'Est par la Tunisie et à l'Ouest par la wilaya de Guelma et Oum Bouaghi.

La ville de Souk-Ahras est située dans une cuvette, entourée de montagnes boisées comme le Djebel Beni Salah ou Djebel Ouled Moumen, et est traversée par un des principaux oueds maghrebin, le Medjerda. La ville se caractérise par un climat semi-humide et se distingue par un été chaud et un hiver froid et humide.

Les forêts de la wilaya de Souk-Ahras (16 % du patrimoine forestier local) s'étendent sur près de 89 000 hectares avec une subéraie de 12 000 hectares qui représente plus de 13% des forêts de chêne-liège en Algérie comme, par exemple, les forêts de Fedj Megtaâ et d'Ouled Bechih. Les forêts de cette région occupent 21 % de la surface totale de la wilaya qui comprend également d'autres essences, dont le pin d'Alep (43 625 ha) et le chêne vert (21 878 ha) (Chenoune *et al.*, 2011). Les forêts de Souk-Ahras se situent dans la partie Nord-Est de la wilaya, dans les communes de Mechrouha (Fig. 4), Ain Zana et Ouled Driss.



Figure 4. Subéraie de Machrouha (Souk-Ahras)

Les prélèvements ont été effectués dans la forêt domaniale d'Ouled Bechih (superficie de 6990 ha), constituée principalement de chêne-liège et de chêne-zeen. La récolte des blattes a été faite essentiellement dans les sites de M'ghassel (700 m d'altitude) et de Kef M'kasser (900 m d'altitude) où le chêne-liège est l'essence végétale dominante.

d/ Le site d'Eucalyptus de Sidi Amar (Fig. 5) qui a été sélectionné se situe près de l'université de Badji Mokhtar d'Annaba, dans la commune de Sidi Amar (Nord-Est Algérien).

La commune de Sidi Amar, avec une superficie de 42 km² et une altitude de 252 m, est située au centre de la wilaya d'Annaba. C'est la troisième commune la plus peuplée de la wilaya d'Annaba après Annaba et El-Bouni avec 125 265 habitants recensés en 2008.



Figure 5. Site "Eucalyptus" (Sidi Amar, Annaba)

2- Les blattes urbaines :

Les blattes urbaines se rencontrent généralement dans les locaux commerciaux affectés à la production ou à la manutention de denrées alimentaires, mais également dans les bâtiments publics et les habitations (maisons, blocs d'appartements). Grégaires et nocturnes, les blattes se cachent pendant la journée dans les fissures des murs, autour des éviers, des tuyaux d'écoulement, des cuisinières, à l'arrière des placards et des moteurs des réfrigérateurs. Elles affectionnent particulièrement les bâtiments disposant de conduits de service et de tuyauteries complexes. Les infestations peuvent être introduites par l'intermédiaire d'oothèques ou d'adultes présents dans le linge, sur des aliments crus, dans des cageots, des emballages, ou survenir lorsque les insectes pénètrent dans les bâtiments par les canalisations ou les vide-ordures.

Les blattes urbaines sont des vecteurs de diverses maladies comme la dysenterie, la gastroentérite, la typhoïde ou la poliomyélite. Leur régime, omnivore, comprend les substances en fermentation, les pansements souillés et infectés, les cheveux, le cuir, le parchemin, le papier peint, les excréments et la nourriture destinée à la consommation humaine. La nourriture peut alors être contaminée, soit par transfert mécanique des agents

provoquant la maladie à partir du corps de l'insecte, soit par transmission par les excréments. Les excréments de nombreuses espèces de blattes urbaines, lorsqu'elles pullulent, sont connus pour provoquer des réactions allergiques, en particulier chez les personnes sensibles comme les asthmatiques.

Afin de déterminer les différentes espèces des blattes urbaines qui colonisent nos habitats, des prélèvements ont été réalisés à l'hôpital Ibn Rochd à Annaba (2009-2010, 2010-2011), à l'hôpital Mohamed Dendane à Azzaba (Skikda) (2009-2010, 2011-2012), dans la résidence universitaire de 2000 lits Chaiba à Sidi Amar (Annaba) (2010-2011), ainsi que dans différentes maisons, et dans certains fast-foods et boulangeries (2009-2010, 2010 -2011).

Dans les habitations, les fast-foods et les boulangeries, ainsi qu'à l'hôpital Mohamed Dendane, la capture des blattes a été réalisée manuellement. A l'hôpital Ibn Rochd et dans la résidence universitaire 2000 Chaiba, elle a été faite en plaçant des pièges dans les coins là où les blattes sont généralement les plus abondantes. Les pièges sont, soit des bouteilles en plastique dans lesquelles on met des attractifs alimentaires (souvent pourris) comme des pommes, des biscuits ou des morceaux de pain, soit des cartons pliés sous lesquels les blattes vont se protéger contre la lumière (Fig. 6). Les pièges sont relevés une fois par semaine.



Figure 6. Les pièges utilisés pour la capture des blattes en milieu urbain

RÉSULTATS

1- Les blattes forestières :

Les résultats obtenus lors des différentes récoltes dans les forêts du Nord-Est algérien sont résumés dans les tableaux 1 et 2.

Trois espèces de blattes ont été récoltées dans les différents sites : *Loboptera decipiens*, *Ectobius kervillei* et quelques spécimens d'*Ectobius* non identifiés pour l'instant. Tous ces insectes sont présents dans la litière, principalement de Février à Juin, et leurs effectifs sont fluctuants. Plus de 2000 individus de tous stades ont été capturés parmi lesquels 86% de *L. decipiens* et 14% d'*Ectobius*.

a/ *Loboptera decipiens* (Fig. 7) : on la trouve principalement d'Avril à Juin dans les forêts de chênes-liège et d'eucalyptus (PNEK, Edough et Sidi Amar) (Tab. 1). Dans le PNEK, cette blatte est surtout présente en Avril-Mai (respectivement, 46 et 49 % d'individus récoltés), alors que plus de 90% d'individus ont été capturés en Mai dans le massif de l'Edough. Nos résultats montrent également que *L. decipiens* abonde dans les forêts de Sidi Amar (76% des récoltes totales) où plus de 60 % des individus ont été récoltés en Mai.



Figure 7. *Loboptera decipiens* (femelle portant son oothèque)

Tableau 1 : Pourcentages et nombre total de *L. decipiens* récoltées dans les forêts du Nord-Est algérien

Site	<i>L. decipiens</i>						Total
	Octobre	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	
PNEK	0	9	1	106	112	0	228
Edough	0	0	0	4	155	2	161
Machrouha	1	0	0	14	3	0	18
Sidi Amar	0	0	0	339	801	179	1319

b/ *Ectobius kervillei* et *Ectobius sp.* : les populations d'*Ectobius* (Fig. 8) quant à elles, occupent préférentiellement les forêts de moyenne et haute montagne (Edough, Machrouha) et sont surtout présentes à la fin du printemps (Avril-Mai) (Tab. 2). Sur les 281 individus capturés, 59% l'ont été dans le massif de l'Edough et 27% dans les forêts de Machrouha. Les individus provenant du PNEK et de Sidi Amar ne représentent respectivement que 8 et 6% des captures. Dans le site de l'Edough et celui de Sidi Amar, c'est *E. kervillei* qui est la plus représentative au niveau des litières des forêts. La plupart des *E. kervillei* a été récoltée en Mai dans les subéraies de l'Edough (plus de 72% des récoltes totales à cette période). Au niveau des subéraies de Machrouha, une trentaine d'individus d'*Ectobius sp.* ont été capturés au cours d'Avril-Mai.



Figure 8. *Ectobius kervillei* (mâle)

Tableau 2 : Pourcentages et nombre total d'*Ectobius* récoltés dans les forêts du Nord-Est algérien

Site	<i>E. kervillei</i> + <i>E. sp.</i>						Total
	Octobre	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	
PNEK	0	11	0	1	10	0	22
Edough	0	0	0	8	157	1	166
Machrouha	10	0	0	31	34	0	75
Sidi Amar	0	0	0	0	16	2	18

2- Les blattes urbaines :

a/ *Les blattes récoltées dans les hôpitaux* : seuls deux adultes de la blatte américaine, *Periplaneta americana* (Fig. 9), ont été capturés à l'hôpital Ibn Rochd (Annaba).



Figure 9. *Periplaneta americana* (mâle)

Les résultats, consignés dans le tableau 3, résument les récoltes de *B. germanica* (Fig. 10) dans les hôpitaux du Nord-Est algérien: hôpital Ibn Rochd (2009-2011) et Mohamed Dendane à Azzaba (Skikda) (2009-2012). Près de 1250 blattes de tout stades ont été capturées sur les deux sites. Cependant, nous pouvons remarquer que cette espèce est deux fois plus abondante à l'hôpital Ibn Rochd (68% des captures) qu'à celui de Mohamed Dendane (32% des captures).



Figure 10. *Blattella germanica* (femelle)

Le nombre de captures est variable selon la période de l'année et l'hôpital : plus de 93% d'individus ont pu être capturés de janvier à mai à l'hôpital Ibn-Rochd alors, qu'au cours de cette même période, nous n'avons pu en récolter que 7% à l'hôpital Mohamed Dendane. Inversement, de septembre à décembre, les populations sont beaucoup plus abondantes à l'hôpital Mohamed Dendane (92% d'individus capturés) qu'à l'hôpital Ibn-Rochd.

Tableau 3 : Pourcentages de *B. germanica* capturées dans les hôpitaux du Nord-Est algérien

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Total
Ibn Rochd	68	120	324	134	174	820
Mohamed Dendane	0	0	0	10	50	60

	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
Ibn Rochd	0	0	0	30	30
Mohamed Dendane	0	125	102	111	338

b/ Les blattes récoltées dans les habitations : les piégeages ont été effectués dans différents lieux de l'Est algérien : une boulangerie à Annaba (2010), la résidence universitaire

2000 lits à Chaiba (Annaba) (2010-2011) et différentes maisons de l'Est algérien (Annaba, Hjar-Ediss, Guelma, Souk-Ahras, Azzaba, Ouled Djelal et El-Oued) (2009-2012).

Parmi les insectes capturés, *B. germanica* représente plus de 90 % des récoltes dans les différents lieux. Trois autres espèces sont également présentes, mais restent peu abondantes : *P. americana* (2,10% des blattes récoltées; elle se trouve surtout au Nord-Est du pays), *Blatta orientalis* (Fig. 11) (2,96 % des captures ; trouvée dans le Sud-Est à El-Oued) et *Supella longipalpa* (Fig. 12) qui est présente uniquement à la région d'Ouled-Djelal à Biskra (0,94 % des captures).



Figure 11. *Blatta orientalis* (femelle)



Figure 12. *Supella longipalpa* (larves, mâle, femelle)

Concernant les captures de *B. germanica* dans certains lieux comme dans les hôpitaux, le nombre d'individus capturés varie selon le lieu et la période de l'année. Pendant l'été, les populations de blattes sont moins denses. En effet, suite à l'explosion des populations à cette période la plus chaude, différents traitements insecticides sont généralement effectués par les

propriétaires; ce n'est qu'après l'éclosion des oothèques (résistantes aux insecticides) que l'espèce réapparaît peu-à-peu dès l'automne (octobre-novembre) et ce, jusqu'à la fin du printemps (avril-mai).

Il est également intéressant de remarquer que le nombre le plus important de blattes capturées l'a été dans la résidence universitaire 2000 lits (57% des captures de janvier à avril), alors que, au cours de la même période, nous n'en avons trouvé que 34% dans les maisons et seulement 9% dans la boulangerie étudiée (Tab. 4). Ces résultats suggèrent l'utilisation, par les propriétaires, de traitements insecticides afin de lutter contre la prolifération de *B. germanica*.

Tableau 4 : Pourcentages et nombre total de *B. germanica* capturées dans les habitations de l'Est algérien

Site	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Octobre	Novembre	Décembre	Total
Boulangerie	29	31	10	0	0	-	-	-	70
Rés. universitaire	136	75	179	23	0	-	29	17	459
Maisons	29	0	196	19	27	2	6	0	279

- : périodes non étudiées

DISCUSSION

1- Les blattes forestières :

En Algérie, la forêt est mal connue au niveau international, à l'exception de quelques citations dans les publications consacrées aux forêts du Maghreb (essentiellement Maroc et Tunisie) (Berchiche, 1986 ; Azzoui *et al.*, 2000). Cette réalité est sans doute le résultat des conditions de terrains difficiles rencontrées ces dernières années. Cependant, à l'échelle nationale, le système forestier n'a pas cessé d'attirer les chercheurs, notamment les forestiers pour des études d'aménagements et les écologistes pour leurs divers inventaires de faune et de flore (Adjami, 2009 ; Ouelmouhoub, 2005).

D'une façon générale, les forêts du pourtour méditerranéen sont caractérisées par une richesse florale et faunistique importante. Elles s'étendent sur plus de 81 millions d'hectares (9,4% de la superficie forestière mondiale) et sont constituées d'une mosaïque d'essences forestières, principalement de feuillus (environ 60%). La renommée de cette zone n'est plus à faire du fait de l'existence de nombreux parcs naturels (Houée, 1996).

Il existe beaucoup plus d'espèces végétales et animales dans la forêt que dans les milieux ouverts. Les insectes, qui représentent le groupe animal le plus riche en espèces, jouent dans les forêts des rôles très divers et très importants en tant que phytophages, décomposeurs, pollinisateurs, prédateurs, parasites, ou vecteurs d'organismes pathogènes. Les insectes peuvent également donner une idée de l'état de dégradation d'une forêt sous l'emprise des activités humaines (Dajoz, 1980).

Les insectes que l'on trouve en forêt ont leurs propres exigences écologiques et de nombreuses espèces jouent un rôle important dans la décomposition des matières organiques (feuilles, rameaux, racines, etc...). Ils recyclent la matière organique morte et recréent le cycle de la matière nécessaire à l'existence de la forêt.

Les blattes forestières présentent le meilleur exemple des insectes terrestres détritivores qui se nourrissent de tous déchets (excréments, cadavres, feuilles mortes, ...etc.) et qui, par voie de conséquence, colonisent largement le sol (Dajoz, 1998).

Selon les différents critères de classification, les blattes se répartissent en plusieurs familles dont celle des Blattellidae qui regroupe les blattes de petite taille telle que *B. germanica*, *Supella longipalpa*, *Blattella asahinai*, *L. decipiens*, etc... (Guillaumin *et al.*, 1969 ; Gordon, 1996).

La famille des Blattellidae se compose d'une majorité de genres et d'espèces, elle est divisée en six sous-familles : les Anaplectinae, les Attaphilinae, les Pseudophyllodromiinae (ou Plectopterinae, selon les appellations), les Blattellinae, les Nyctiborinae et les Ectobiinae.

Les Pseudophyllodromiinae et les Blattellinae représentent le groupe le plus large (Bohn *et al.*, 2010). Les Anaplectinae sont généralement considéré comme la branche basale des Blattellidae (McKittrick, 1964 ; Grandcolas, 1996 ; Klass, 1997 ; Klass & Meier, 2006). Les Pseudophyllodromiinae peuvent constituer un groupe paraphylétique, composé lui même de plusieurs branches dont les Anaplectinae (Klass, 2001 ; Klass & Meier, 2006). Les Blattellinae, les Ectobiinae et les Nyctiborinae forment aussi un autre groupe monophylétique (Grandcolas 1996 ; Klass & Meier 2006 ; Inward *et al.*, 2007).

1.1- *Loboptera decipiens* : Le genre *Loboptera* se rencontre principalement en Afrique, en Australie, en Amérique du Sud et dans la région méditerranéenne. Cette blatte fait partie de la sous-famille des Pseudomopinae, voisine de la précédente, mais différent par quelques caractères tel que l'armature des pattes (souvent plus faible), la plaque suranale (souvent prolongée) et la nervation des ailes (Chopard, 1951). Les élytres sont, réduites à des petits lobes latéraux et la plaque suranale est souvent de forme triangulaire surtout chez les femelles. Chez les mâles, la plaque sous-génitale est transverse (Chopard, 1951).

L. decipiens est une blatte forestière nocturne, à développement rapide, dont on ne connaît que très peu de choses au niveau de sa biologie et son comportement. Cette espèce vit en Afrique du Nord, en Europe Méridionale et dans le Caucase. On la trouve dans la litière où elle constitue un maillon important de la chaîne alimentaire. Omnivores, elles se nourrissent de restes d'animaux et de végétaux en décomposition, mais servent aussi de proies à de nombreux prédateurs comme les araignées, les fourmis et de nombreuses espèces d'oiseaux (Boyer & Rivault, 2004).

En Algérie, *L. decipiens* a été signalée dès 1943 dans plusieurs régions de l'Ouest (Oran, Tlemcen, Saïda, Aïn-Safra, etc.) mais également dans la région de Blida et Biskra. Dans notre région, cette blatte a été mise en évidence à Hammam Maskhoutine, dans l'Edough (Chopard, 1943) et, plus récemment, dans la wilaya d'El Tarf au NEK (Bouachria,

2005). On la trouve fréquemment sous les pierres, dans les endroits un peu humides et dans la litière des maquis et des subéraies; elle vit dans la couche semi- décomposée de la litière.

Au cours de cette étude, nous avons mis en évidence l'existence de populations très importantes de *L. decipiens* dans les forêts d'Eucalyptus de Sidi Amar (plus de 1300 individus récoltés) alors que ces dernières sont moyennes dans le PNEK et l'Edough (environ 200 individus récoltés) et anecdotiques dans la zone de Machrouha (moins de 20 individus dénombré).

En 2004, Cherairia a pu mettre en évidence l'existence de deux espèces de blattes forestières (*L. decipiens* et *Ectobius pallidus*) lors d'un inventaire des Blattidés de la région de Guelma. *L. decipiens*, est une blatte commune dans tout le Maghreb (Chopard, 1943). Parmi les espèces forestières inventoriées dans cette étude, outre la présence de *L. decipiens* (blatte appartenant à la sous-famille des Pseudomopinae) nous avons pu mettre en évidence l'existence dans nos forêts de deux autres espèces du genre *Ectobius* (blatte appartenant à la sous-famille des Ectobiinae) dont *E. kervillei*; une autre espèce d'*Ectobius* est en cours d'identification au Muséum de collection zoologique à Munich.

1.2- *Ectobius kervillei* et *Ectobius sp.* : Le genre *Ectobius* fait parti de la sous-famille des Ectobiinae qui ne contient que dix genres mais compte plus de 2000 espèces répertoriées à la surface du globe. La plupart des espèces sont de petite taille à pattes grêles (bords inférieurs des fémurs munis d'épines) et dont les élytres atteignent en général l'extrémité de l'abdomen, parfois raccourcis ou même lobiformes chez les femelles surtout. Les mâles se reconnaissent souvent grâce à l'existence de fossettes glandulaires sur l'abdomen et avec une plaque sous-génitale asymétrique, à un seul style ou deux styles très inégaux (Chopard, 1951).

Leur taille varie entre 8 et 10 mm de long avec des antennes longues et filiformes et de longues pattes, grêles et épineuses. Les deux élytres sont jaunâtres avec des petites taches brunes. L'oothèque est courte et large, cornée, striée longitudinalement, à suture denticulée assez forte; elle se présente verticalement à la sortie de l'abdomen. Les oothèques sont produites et transportées pendant un à deux jours entre juin et septembre; elles passent l'hiver dans le sol et les nymphes éclosent au printemps. Les larves d'*Ectobius* arrivent au stade adulte courant mai-juin. Les adultes meurent entre septembre et octobre et le cycle continu. Ces blattes ont une préférence pour les plaines côtières et sablonneuses. Bien qu'omnivores comme tous leurs congénères, leur nourriture est essentiellement constituée de matière végétale morte, y compris le papier (Chopard, 1951).

Au cours de notre travail nous avons récolté deux espèces du genre *Ectobius* dans les quatre sites explorés.

Durant le printemps, la présence d'adultes d'*Ectobius sp.* a pu être mise en évidence dans la litière des subéraies de Machrouha à Souk-Ahras. Cette blatte a également été récoltée dans les subéraies du PNEK, mais avec des niveaux de population plus au moins denses. Une étude plus approfondie sur ces espèces pourrait nous renseigner sur la structure et la dynamique de la population d'*Ectobius* dans les subéraies de Machrouha et celles du PNEK.

La deuxième espèce, *E. kervillei*, colonise essentiellement le sol des subéraies de l'Edough et celui des forêts d'Eucalyptus. Cette espèce de blatte est très mal connue sur le plan biologique, écologique et comportemental. Elle a été décrite par Bolívar en 1907 et, en 1981, Failla & Messina ont présentés quelques caractéristiques biologiques de l'espèce. Le massif de l'Edough a été la seule zone de récolte importante avec près de 200 spécimens capturés. Nous avons pu montrer que cette espèce représentait plus de 50% de la faune Blattoptères de la subéraie de l'Edough durant le mois de mai (apparition des adultes) et qu'elle était peu abondante dans la litière d'eucalyptus.

La composition de la faune Blattoptère peut varier d'une région à une autre du globe et la convenance de l'habitat dépend de nombreux facteurs biotiques et abiotiques (Rust *et al.*, 1995). Nos résultats montrent que tous ces facteurs jouent un rôle sur la distribution des blattes en général, et d'*Ectobius* en particulier, dans les forêts du Nord-Est algérien. L'altitude et les différents facteurs climatiques influent sur la distribution des insectes puisque, comme le montre nos résultats, les populations d'*Ectobius* occupent plus les forêts de moyenne et haute montagne (Edough, Machrouha) et prolifèrent à la fin du printemps mais surtout en été.

2- Les blattes urbaines :

De nombreux travaux ont été entrepris depuis longtemps au niveau de la détermination des espèces de blattes rencontrées dans les habitations dans les différentes régions du monde. C'est ainsi que, dès 1927, Rhen & Hebard établissent une clé de 156 espèces (comprenant 47 genres) dans l'Ouest Indien. Rhen (1931 ; 1937) propose la description et la clé de nombreuses espèces africaines et malgaches

En Algérie, la faune des Blattidés n'est pas suffisamment connue, tant sur le plan de la biodiversité que sur le plan de la biologie spécifique. La littérature à ce sujet reste ancienne, extrêmement limitée et nécessite une actualisation des données (Finot, 1895 ; Vosseler, 1902 ; Werner, 1914 ; Chopard, 1929 ; 1940).

En 1994, un inventaire réalisé par Messikh dans la région d'Annaba montre que *P. americana*, *B. germanica* et *B. orientalis* colonisent les immeubles, les magasins, les boulangeries et la société nationale SEMPAC de la région. En 2004 un autre inventaire a été dressé dans la région de Guelma; ce dernier a permis le recensement de quatre espèces de blattes domestiques : *P. americana*, *B. germanica*, *B. orientalis* et *S. longipalpa* (Cherairia, 2004). Plus récemment, un autre inventaire réalisé dans la région d'Annaba montrent que *P. americana*, *B. germanica*, et *B. orientalis* sont présentes dans les différents habitations de la région (Habes, 2006). Au cours de ce travail, les quatre espèces mises en évidence par Cherairia (2004) étaient omniprésentes dans tout l'Est algérien.

Le recensement que nous avons réalisé au cours de ce travail dans les différentes régions de l'Est algérien montre la présence de *B. germanica* dans tous les sites urbains prospectés (hôpitaux, boulangerie et logements habités) alors que la présence de *P. americana*, *B. orientalis* et *S. longipalpa* reste épisodique dans certaines régions. Ces résultats sont similaires à ceux de Messikh (1994) et Habes (2006) dans la région d'Annaba et de Cherairia, (2004) dans la région de Guelma.

Les blattes sont des insectes qui s'adaptent et qui colonisent rapidement les locaux dès que la nourriture et l'eau sont repérées (Rust *et al.*, 1995 ; Potera, 1997). Nous avons montré que la température, influe sur la distribution saisonnière des blattes mais également que l'indice d'hygiène joue un rôle important dans la distribution des blattes et de *B. germanica* en particulier. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus dans la région de Guelma, où la température, l'humidité et l'indice d'hygiène influent sur la répartition des blattes dans les

hôpitaux, les boulangeries, les cafés, les logements habités et les logements vides (Cherairia, 2004).

2.1- *Periplaneta americana* : Cette espèce a été décrite pour la première fois par Linée en 1758 qui lui a donné le nom de *Blatta americana*. Malgré son nom, cette espèce est originaire d'Afrique (Cornwell, 1968). Elle aurait été importée aux Etats-Unis lors des nombreux trafics d'esclaves venant du Nigeria puis, par les échanges commerciaux, elle aurait gagné l'Amérique du Sud et l'Inde (Rehn & Hebard, 1927 ; Hebard, 1929). Au Maghreb, sa présence est signalée très tôt, en Tunisie et en Algérie (Finot, 1895 ; Bonett & Finot, 1885) et au Maroc (Bolivard, 1914 ; Chapman, 1938) ; plus récemment, Messikh (1994) signale sa présence dans la région d'Annaba.

P. americana est une espèce cosmopolite qui se retrouve dans les ports, les hôtels, les magasins de denrées alimentaires, les entrepôts et dans les égouts (Chopard, 1943 ; Cornwell, 1968 ; Grandcolas, 1998 ; Hamman & Gold, 1994). *P. americana* affectionne tout particulièrement les recoins sombres, chauds et très humides comme les égouts et les gaines de vide-ordures. Comme de nombreuses blattes, c'est un vecteur de moisissures, de bactéries, de virus de certains vers intestinaux responsables de maladies graves (Gordon, 1996).

P. americana a des préférences écologiques similaires à celles de *B. germanica* avec une sensibilité à l'indice d'hygiène suivi par l'humidité et enfin la température (Cornwell, 1968). Cette espèce occupe de façon préférentielle les logements habités, les boulangeries et nous avons pu montrer que, contrairement aux résultats obtenus dans la région de Guelma, l'espèce est très peu présente dans l'hôpital de Annaba et de Azzaba (Cherairia, 2004).

2.2- *Blattella germanica* : c'est est la plus commune et la plus cosmopolite des espèces domestiques; elle se rencontre dans les habitations, les hôpitaux mais aussi dans les commerces liés à la nourriture (Ebeling, 1978 ; Ross *et al.*, 1984 ; Hamman & Gold, 1994 ; Rivault *et al.*, 1995 ; Rust *et al.*, 1995 ; Lyon, 1997 ; Hash & Zumofen, 1999).

Nommée *Blatta germanica* par Linée en 1767 après un échantillonnage réalisé au Danemark, cette blatte est en fait originaire de l'Afrique de l'Est (Ethiopie, Soudan) (Rehn, 1945) puis s'est étendue vers l'Europe puis vers toutes les parties du monde grâce aux échanges commerciaux (Rehn, 1945 ; Hebard, 1929 ; Cornwell, 1968 ; Atkinson *et al.*, 1991 ; Grandcolas, 1994 ; Hamman & Gold, 1994). Dans le Maghreb, *B. germanica* a été signalé en Tunisie (Boneli & Finot, 1885), au Maroc (Bolivard, 1914 ; Chopard, 1936b). En Algérie, elle a été décrite pour la première fois en 1914 par Werner à Alger, alors que, dans la région

d'Annaba, on ne révèle son existence que beaucoup plus tard (Messikh, 1994 ; Nouacer & Kerkabi, 1997).

B. germanica prédomine dans tous les sites urbains que nous avons étudiés. Cette présence peut s'expliquer par le fait que c'est une espèce très peu sensible aux variations de température qui représentent le facteur le moins déterminant pour la distribution. L'abondance de cette espèce dans les différents sites d'étude (hôpitaux, boulangerie et logements habités) est aussi expliquée par le facteur "indice d'hygiène" et le facteur de "humidité" conditionnant principalement sa répartition. Nous avons montré que les effectifs de *B. germanica* augmentaient généralement au printemps et diminuaient en automne. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Cherairia (2004) et de Habes (2006). En automne, la diminution n'est pas vraiment importante dans les hôpitaux (Ibn Rochd à Annaba et Mohamed Dendane à Azzaba), contrairement à celle rencontrée dans la boulangerie, la résidence universitaire 2000 lits et les différents logements habités étudiés. Cette baisse d'effectif serait due, non seulement aux divers traitements insecticides effectués par les habitants, mais également au nettoyage des locaux qui reste un phénomène social en été (diminution de l'indice d'hygiène). Une étude plus approfondie étalée sur toute l'année pourrait mieux nous renseigner sur la répartition de l'espèce.

2.3- *Blatta orientalis* : la littérature ancienne et le nom attribué à cette espèce font supposer une origine orientale; cependant, Linée en 1758 en établissant le genre *Blatta* à partir d'insectes collectés en Amérique, Russie, Suède et Finlande a conclu qu'il s'agissait, en fait, d'une espèce introduite. Rhen (1945) a émis l'hypothèse que cette espèce était originaire du Nord de l'Afrique et qu'elle fut introduite en Europe grâce aux échanges commerciaux. On la trouve également au Chili, en Malaisie, en Russie, et aux Etats-Unis (Hebard, 1929 ; Cornwell, 1968 ; Hamman & Gold, 1994). *B. orientalis* est aussi présente en Algérie; elle a été rencontrée à Telmcen, Oran, Ain Safra, Biskra, Ghardaia, Ouargla, Touggourt et à Annaba (Finot, 1895 ; Vosseler, 1896 ; Finot, 1902 ; Krauss, 1902 ; Messikh, 1994 ; Habes, 2006). On la trouve principalement dans les sous-sols, caves et soubassements.

B. orientalis préfère les lieux où l'indice d'hygiène et où la température sont faibles (lieux propres et frais) (Cherairia, 2004). La fluctuation de cette espèce et le très faible effectif que nous avons pu observer dans la région de l'Oued montrent que *B. orientalis* est quasi-absente dans les sites prospectés. Ce résultat est similaire à celui enregistré par Cherairia (2004) dans la région de Guelma.

2.4- *Supella longipalpa* : c'est également d'origine africaine; elle a été introduite en Inde, à Cuba, au Mexique, au Brésil, à Hawaï et aux États-Unis (Cornwell, 1968 ; Atkinson *et al.*, 1991). En Algérie, elle a été observée par Chopard (1929 ; 1940) dans le Hoggar, à Tamanrasset et à Djanet. Il semble que cette espèce colonise les zones urbaines du Sud algérien puisque nos résultats montrent que l'espèce n'existe que dans les logements habités de la région de Ouled-Djelal à Biskra. *S. longipalpa* est une espèce qui se cache dans les endroits surélevés et chauds (Hamman & Gold, 1994) et qui affectionne surtout les habitations, les hôtels, les maisons de retraite, les hôpitaux mais aussi dans les commerces d'alimentation (Grandcolas, 1998 ; Hamman & Gold, 1994).

Chapitre 2 :

Mode de vie de L. decipiens

INTRODUCTION

Lors d'une étude sur la dynamique des populations, il est nécessaire de réaliser un échantillonnage correct pour évaluer la densité de l'espèce. Pour cela, la connaissance de son aire de répartition est indispensable. Dans le premier chapitre de ce travail, nous avons effectué un inventaire des espèces de blattes que l'on pouvait rencontrer dans différentes forêts du Nord-Est algérien. Nos résultats montrent que *L. decipiens* est l'espèce la plus abondante.

Bien qu'il existe de nombreux travaux traitant sur le mode de vie et le comportement des blattes, très peu ont été consacrés aux blattes forestières, et notamment à *L. decipiens* qui reste à l'heure actuelle une espèce très mal connue (Grandcolas, communication personnelle).

Dans ce travail nous avons donc étudié la structure de la population de *Loboptera* vivant dans les subéraies d'El-Kala et de l'Edough, ainsi que dans les forêts d'eucalyptus, et réalisé une étude biométrique des individus à tous les stades de développement. L'étude des oothèques a permis de mieux cerner le potentiel reproducteur de cette espèce.

Dans un deuxième temps, nous nous sommes penché sur le comportement alimentaire de cette blatte, caractéristique de la litière, à travers différents tests olfactométriques, ceci afin de mettre en évidence une possible attraction des blattes par différentes essences végétales. Une étude de la composition de la litière a également été abordée.

Enfin, le comportement sexuel de *L. decipiens* a été également étudié en détail, dans le but de décrire les différentes séquences comportementales conduisant à l'accouplement et de mettre en évidence l'existence, ou non, d'une phéromone sexuelle attractive à distance. De plus, comme chez beaucoup d'insectes, les composés hydrocarbonés adsorbés dans les cires cuticulaires (hydrocarbures cuticulaires) étant responsables de la reconnaissance par contact des différents individus, nous avons fait une analyse chimique du profil cuticulaire des blattes adultes (mâles et femelles) par chromatographie en phase gazeuse (CPG) afin de vérifier si certains composés étaient spécifiques d'un des sexes.

MATÉRIEL & MÉTHODES

1- *Loboptera decipiens* :

L. decipiens est une blatte aptère noir brillant, de forme ovoïde, et présentant chez les adultes une bordure blanchâtre autour du corps; elle mesure 8 à 10 mm de long. Ses élytres sont lobiformes et mesurent environ 2,5 mm; les antennes sont longues et les pattes épineuses de couleur brun roux (Chopard, 1943).

Comme toutes les blattes, *L. decipiens* est un insecte au développement hétérométabole qui passe par cinq stades larvaires (L1 à L5) avant le stade adulte (Haupt & Haupt, 1998 ; Bouachria, 2005 ; Ferrah, 2005).

Position systématique de l'insecte étudié

Embranchement : Arthropodes
Classe : Insectes
Super-Ordre : Blattopteroiidae
Sous-Ordre : Blattaria
Famille : Blattellidae
Genre : *Loboptera*

Sous Embranchement : Mandibulates
Sous-Classe : Aptérygotes
Ordre : Dictyoptera
Super-Famille : Blaberoidae
Sous-Famille : Ectobiinae
espèce : *decipiens*



Figure 13. *L. decipiens* (adultes mâles)

2- Cycle de vie dans la nature :

Afin de mieux connaître la répartition de la population de *L. decipiens* dans la litière des forêts que nous avons étudié (subéraies du PNEK, de l'Edough et site d'eucalyptus à Sidi Amar), on note le nombre d'individus capturés, ainsi que leur stade de développement, avant de les répartir selon leur stade de développement dans différents élevages.

Les prélèvements que nous avons effectués se sont étalés de Mai 2008 à Juin 2009 pour les subéraies d'El-Kala, entre Janvier 2007 et Juillet 2010 dans les subéraies de l'Edough et entre Avril 2010 et Mai 2011 pour le site d'eucalyptus à Sidi Amar.

3- Etude de l'habitat naturel :

Afin mieux connaître les caractéristiques de l'habitat de *L. decipiens*, nous avons réalisé une étude de la litière des différentes zones de prélèvement décrites précédemment.

La litière des sites étudiés a été prélevée sur trois parcelles. Dans chaque parcelle, trois couches de litière ont été sélectionnées : une couche superficielle (couche 1) externe de 2 à 3 cm de profondeur, une couche moyenne intermédiaire (couche 2) et une couche interne (couche 3) qui est au contact du sol (couche la plus décomposée).

Les échantillons de litières ont fait l'objet d'une séparation physique et d'une analyse physicochimique au laboratoire (Fig. 14).

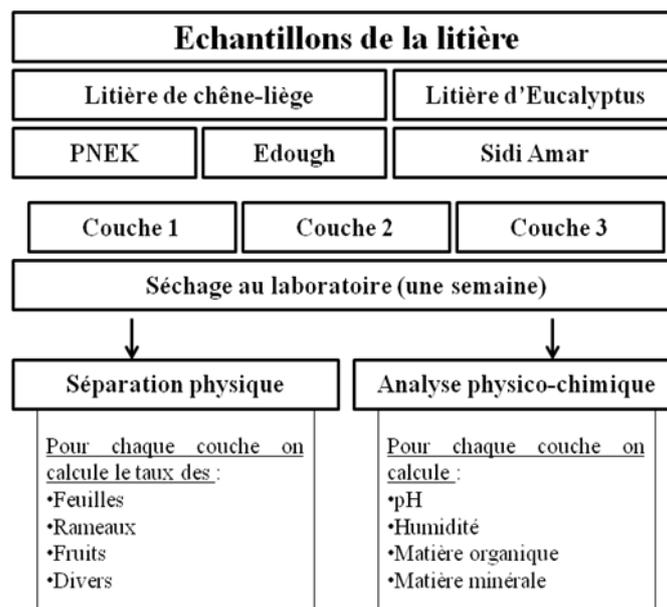


Figure 14. Méthode d'étude de la litière

4- Potentiel reproducteur :

Après l'accouplement, vingt femelles de *L. decipiens* sont élevées séparément dans des boîtes en plastique (12 x 9 x 4,5 cm). Les oothèques déposées, sont récupérées dans des tubes en plastique bouchés par du coton. Les oothèques (N= 20) sont pesées sur une balance de précision, avant et après éclosion des larves, et mesurées dans leur plus grand diamètre grâce à un papier millimétré. On note la durée que met la femelle pour déposer son oothèque après l'accouplement, la date de l'éclosion des jeunes larves ainsi que leur nombre. Nous avons également disséqué des oothèques viables et non viables afin de déterminer le nombre d'œufs présents dans les oothèques.

5- Comportement alimentaire :

5.1- Préparation des extraits de feuilles d'eucalyptus : les feuilles d'eucalyptus sont extraites par de l'hexane ou du dichlorométhane, solvants organiques respectivement apolaire et polaire. Cinq grammes de feuilles mortes, ou de feuilles fraîches, coupées en petits morceaux, sont plongées dans 40ml de solvant pendant 30 minutes avant d'être filtré sur laine de verre. Les différents extraits sont stockés au congélateur (-20°C) jusqu'à utilisation.

5.2- Tests en olfactomètre (tube en Y) : on utilise un olfactomètre bidirectionnel en verre (2 cm de diamètre) en forme de Y (branche principale A de 30 cm ; branches secondaires B et C de 20 cm de long (Fig. 14). L'olfactomètre est traversé par un faible courant d'air pur filtré sur une cartouche de charbon activé. La vitesse du courant d'air arrivant en amont des branches secondaires est contrôlée par un débitmètre et fixée à 10 ml / min afin d'éviter toute réponse anémotactique de l'insecte.

Les tests se déroulent en période de nuit (période d'activité de la majorité des blattes) à une température de 25 à 27 °C et à une hygrométrie de 70 à 80%. Une lampe rouge de faible intensité (non visible par les blattes) afin de pouvoir observer le comportement des individus.

Les jeunes larves ou les adultes à tester sont placés dans une petite cage munie d'une porte grillagée en aval de la branche principale de l'olfactomètre; le papier filtre (1 cm²) imprégné d'extrait (10 µl) est placé en amont dans l'une des branches secondaires 5 à 10 minutes avant le début du test.

Le début du test correspond au moment de la libération de la blatte. Grâce à un chronomètre, on note le "temps de choix" qui correspond au moment de l'introduction de la blatte jusqu'au moment où, arrivée à l'intersection des deux branches secondaires, elle

remonte dans l'une des branches; le choix de l'insecte et le temps qu'il met pour arriver à la source odorante (papier filtre) est également noté.



Figure 15. Test en olfactomètre (1, tube en Y; 2, lampe rouge; 3, compresseur; 4, débitmètre; 5, tuyau en téflon)

6- Comportement sexuel :

6.1- Elevage des adultes isolés (adultes naïfs) : les blattes sont élevées dans des boîtes en plastique présentant des orifices grillagés. Des feuilles de chêne-liège servent de nourriture et font office d'abris. Les insectes sont abreuvés grâce à des tubes remplis d'eau et bouchés avec du coton ; ces tubes assurent également l'humification du milieu ambiant. La température est d'environ 26°C, l'hygrométrie de 70 à 80% et la scotophase de 12 heures.

Périodiquement, les larves les plus âgées sont prélevées dans les différents élevages de masse et regroupées entre elles, ce qui nous permet de récupérer les adultes dès la mue imaginale. Ces adultes vierges sont sexés et regroupés selon leur sexe. Ces insectes sont élevés dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment.

L'identification des mâles et des femelles se fait sous loupe binoculaire et est basée sur la forme de la plaque sous-génitale (Fig. 16).

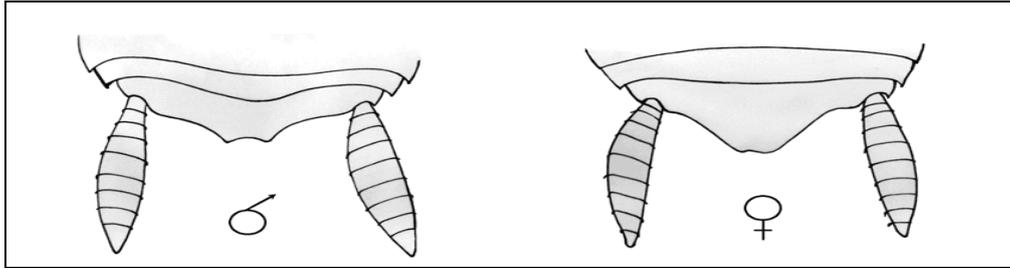


Figure 16. Plaques sous-génitales des mâles et des femelles de *L. decipiens* (Chopard, 1943)

6.2- Tests en enceinte close : l'observation des différentes séquences comportementales des mâles et des femelles conduisant à l'accouplement a lieu en lumière rouge dans les conditions de température et d'humidité de la salle d'élevage. Elles sont réalisées dans une enceinte close de petites dimensions (9,5 x 6,5 x 2 cm) munie d'un couvercle (Fig. 17).

Les tests se déroulent comme suit : on introduit à l'extrémité de l'enceinte une femelle vierge et, quelques minutes après, un mâle, à l'extrémité opposée. On note le temps mis par les deux partenaires pour se rencontrer, le temps mis par le mâle pour parader, le nombre de contacts antennaires entre les deux sexes et le temps mis pour réaliser l'accouplement. On note également le nombre d'accouplements réussis ainsi que leur durée et le nombre d'accouplements avortés.

Les individus testés (40 couples) sont sexuellement naïfs (les deux sexes n'ont jamais été en contact olfactif) et âgés de 15 jours

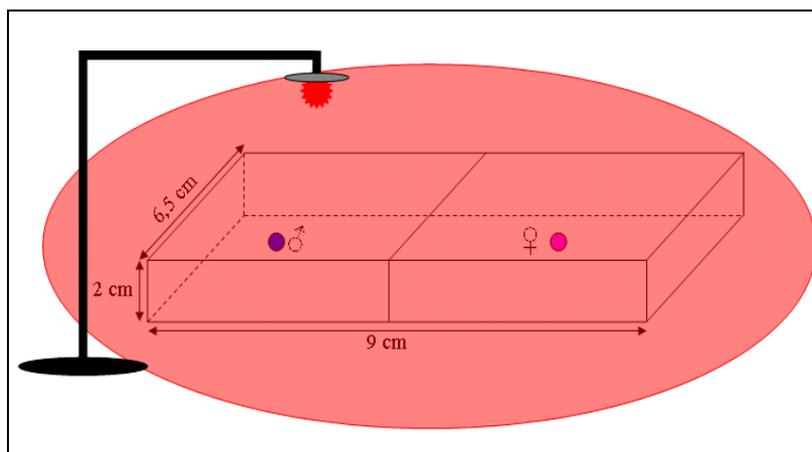


Figure 17. Dispositif utilisé pour les tests d'accouplement

6.3- Tests en olfactomètre (tube en Y) : afin de vérifier l'existence d'une phéromone sexuelle femelle attractive à distance, nous avons utilisé un olfactomètre en Y. Ces tests se déroulent dans les mêmes conditions que celles décrites ci-dessus.

Les individus testés sont des mâles naïfs âgés de 15 jours (N= 10). Des extraits de femelles vierges (1 à 5 femelles âgées de 15 jours par échantillon) sont réalisés avec de l'hexane ou du pentane. Avec ces deux solvants, on extrait principalement les composés apolaires.

Les extraits sont réalisés comme suit : dans un flacon contenant 1 ml de solvant, on plonge complètement la, ou les, femelles préalablement anesthésiées par le froid (-26°C) quelques minutes avant l'extraction. Après 15 minutes d'extraction à température ambiante, les extraits sont filtrés sur laine de verre afin d'éliminer toutes impuretés et stockés au congélateur (-20°C) jusqu'à leur utilisation.

6.4- Analyse physicochimique des hydrocarbures cuticulaires : après anesthésie par le froid (-20°C), les insectes naïfs (mâles et femelles âgées de 15 jours) sont plongés dans 1 ml de solvant (hexane distillé). L'extraction dure 5 minutes à température ambiante (temps suffisant pour extraire la majorité des hydrocarbures cuticulaires). On retire alors les insectes du solvant et les extraits sont conservés à -20°C jusqu'à leur utilisation. Ces derniers sont ramenés à un volume de 250 µl par évaporation sous flux d'azote avant injection (2 µl) dans le chromatographe en phase gazeuse (CPG).

Le chromatographe utilisé est un Varian CP 9000 équipé d'une colonne capillaire en silice fondue de type apolaire (CPSil 5CB, 30 m x 0,32 mm de diamètre interne, épaisseur du film 1µm, Varian), d'un injecteur de type split-splitless (fuite de 20 ml/mn pendant 30 sec), et d'un détecteur à ionisation de flamme. Le gaz vecteur est l'hydrogène (vitesse, 25 ml/mn à température ambiante). Les températures de l'injecteur et du détecteur sont respectivement de 280 °C et de 300 °C.

Le signal est enregistré sur PC, sous Windows, et analysé grâce au programme Maestro (Chrompack). Chaque analyse est répétée sur quinze échantillons différents. La concentration des différents composés quantifiés est calculée en fonction du facteur de réponse de chacun d'eux après injection d'un mélange d'hydrocarbures de référence (composés de synthèse) dans les mêmes conditions.

7- Analyse des données :

Les résultats obtenus lors de l'étude bioécologique ont été analysés statistiquement par des méthodes métriques descriptives donnant la moyenne, l'écart-type, la variance, le maximum et le minimum.

Les données obtenues lors de l'étude des oothèques (potentiel reproducteur des blattes) ont fait l'objet d'un calcul de corrélation à travers la droite de régression et le calcul du coefficient de corrélation « r » grâce au logiciel StatView (2009).

Concernant les résultats des tests en olfactomètre, ces derniers ont été comparés en utilisant les simulations de Monté-Carlo, basées sur un test Chi2 au seuil $p= 0,05$ (Vaillant & Derrij, 1992).

Les résultats obtenus pour ces tests ont également fait l'objet d'une comparaison de variances (test de Fisher) au seuil de significativité $\alpha= 0,05$, d'une part, et, d'autre part, d'une comparaison des moyennes (test de Student et Cochran-Cox) ($\alpha= 0,05$) grâce au logiciel XLStat 2009.

RESULTATS

1- Cycle de vie de *L. decipiens* dans la nature :

1.1- Dans les subéraies du PNEK et de l'Edough : les résultats obtenus sont résumés dans les figures 18 et 19. Dans les deux sites étudiés, les populations de *L. decipiens* sont faiblement représentées.

Pendant le mois d'Octobre, on ne récolte que des jeunes larves (L2, L3). Pendant l'hiver (Décembre et Janvier), on note l'absence totale de l'espèce dans les deux subéraies et ce n'est qu'à la fin du mois de Février qu'apparaissent quelques larves, aussi bien dans le PNEK que dans l'Edough (respectivement 2 à 6% d'individus). Au début du printemps, le nombre de jeunes larves augmente et l'on voit apparaître de plus en plus de larves âgées. Au mois de Mars, la population de *L. decipiens* (représentée essentiellement par les jeunes larves) est plus importante dans l'Edough que dans le PNEK (respectivement, 10 et 4% de larves L2, L3). Durant le mois d'Avril, les résultats montrent une forte présence de jeunes larves (jusqu'à 47% d'individus dans le PNEK) et une augmentation du nombre de larves âgées dans les deux subéraies (jusqu'à 16% de larves dans le PNEK). Le mois de Mai marque incontestablement l'apparition des premiers adultes (28% d'adultes dans le PNEK et 26% dans l'Edough) ; durant ce même mois, on remarque également un nombre très important de larves ; ces derniers représentent plus de 80% de la population dans les subéraies.

Le nombre d'adultes s'accroît dès le début de l'été. Le nombre d'adultes récolté atteint son maximum (jusqu'à 46 % d'individus dans l'Edough) en Juin et Juillet, période à laquelle la totalité des larves disparaît. C'est aussi à cette période que l'on récolte les oothèques dans la litière.

Il ressort des ces observations que l'apparition des jeunes larves se font de manière ralentie durant l'hiver et s'accélère au début du printemps, alors que c'est au mois de Mai qu'on enregistre les plus grands effectifs de larves (tout stades confondus) mais également d'adultes. Il semble que le mois de Mai représente le début de la période de reproduction de cette espèce dans la forêt. La reproduction de cette blatte dure tout l'été ; les mois de Septembre et Octobre marquent le début des éclosions de la nouvelle génération.

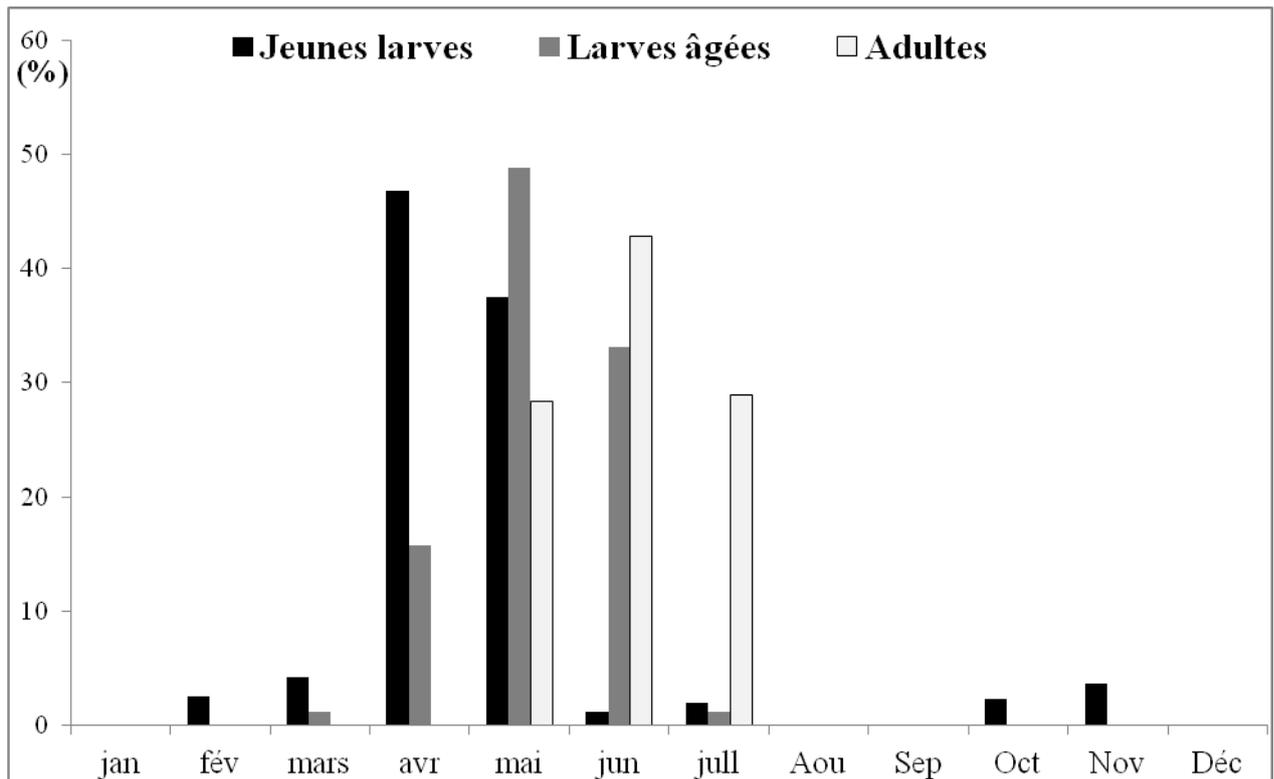


Figure 18. Structure de la population de *L. decipiens* dans le Parc National d'El-Kala

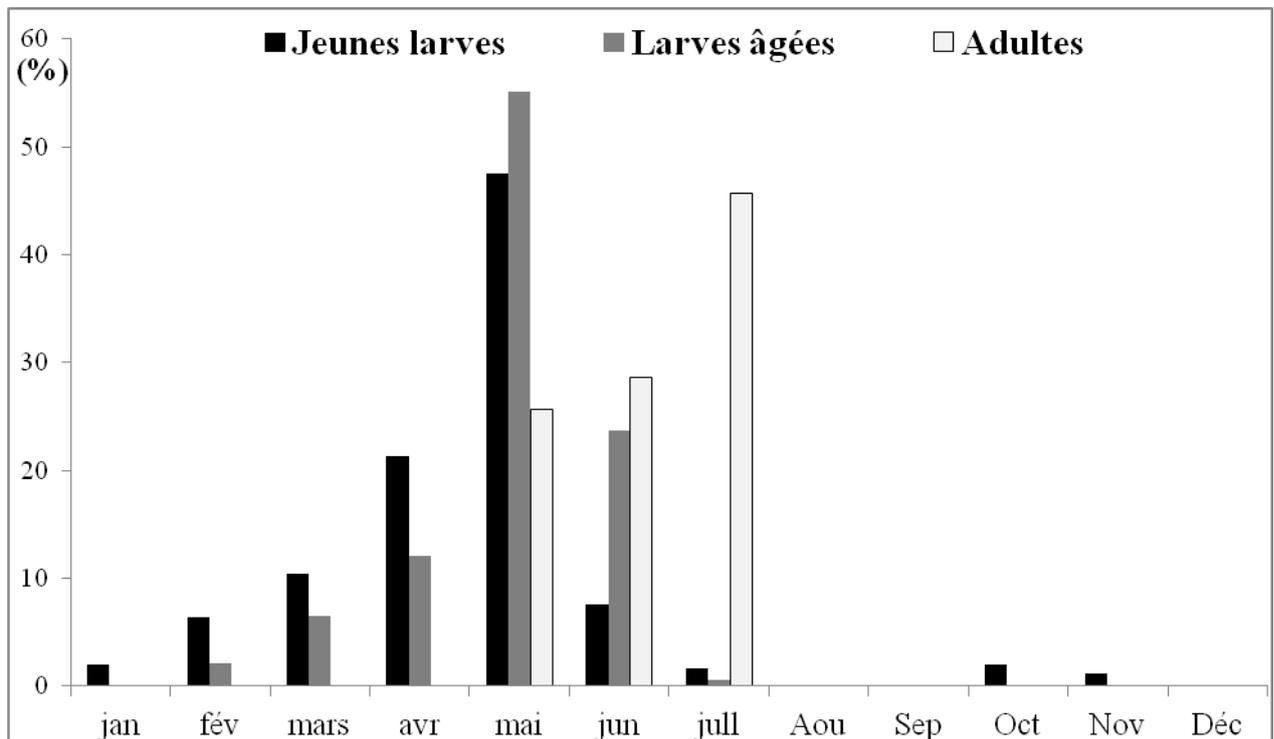


Figure 19. Structure de la population de *L. decipiens* dans la subéraie de l'Edough

1.2- Dans la forêt de Sidi Amar : nous avons prospecté les forêts d'eucalyptus uniquement pendant le printemps, et ce, pendant deux saisons (2010, 2011).

Comme le montre la figure 20, le nombre de larves récoltées est beaucoup plus important en 2010 qu'en 2011. Bien que les populations de larves âgées soient bien représentées pendant le mois d'Avril (41% de larves récoltées en 2010) (Fig. 20), c'est en Mai qu'on en trouve le plus (plus de 53% de larves âgées ont été récoltées en 2010). Au cours de ce même mois apparaissent les premiers adultes; ces derniers représentent de 17 à 29% de la population à la fin du mois de Mai et leur nombre augmente en Juin avec un taux de 39%. Ces adultes vont s'accoupler tout l'été pour donner une nouvelle génération.

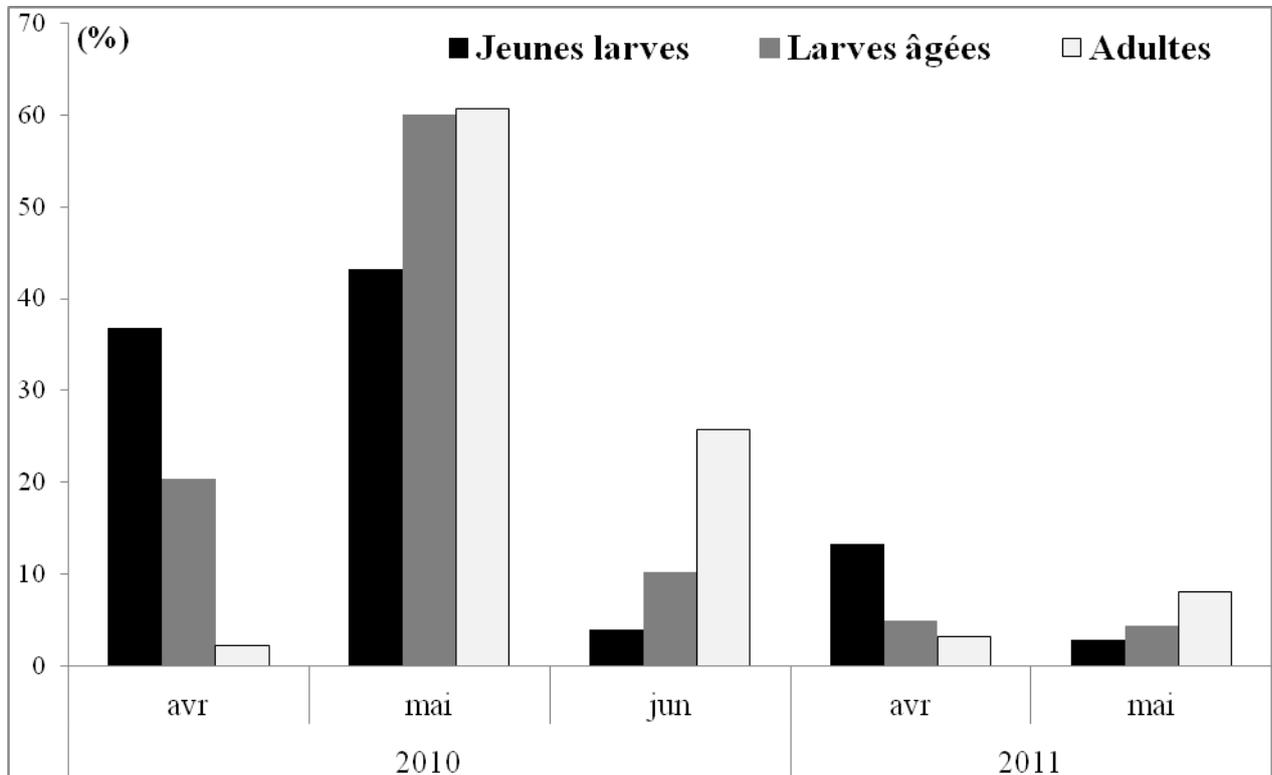


Figure 20. Structure de la population de *L. decipiens* dans la forêt d'eucalyptus (Sidi Amar)

2- Bioécologie de *L. decipiens* :

2.1- Les oothèques : *L. decipiens* est une blatte ovipare. Une fois la femelle fécondée, son abdomen se dilate à son extrémité pour laisser peu à peu l'oothèque apparaître. L'oothèque qui porte les œufs est de couleur blanchâtre lorsqu'elle sort du tractus génital et devient brun foncé en quelques heures (tannage de la cuticule) ce qui la rend résistante. Dès la fin de sa formation, la femelle la dépose dans un endroit humide (collée sur le sol). Comme chez la majorité des espèces de blattes, l'éclosion a lieu à l'air libre après quelques semaines d'incubation.

Le tableau 5 résume les différentes caractéristiques morphologiques des oothèques obtenues à dans nos élevages.

Tableau 5 : Etude biométrique des oothèques de *L. decipiens*. n = 20

	Moy ± S	Var	Min	Max
Taille (mm)	5,14 ± 0,18	0,44	4	6
Poids avant éclosion (mg)	23,14 ± 0,78	8,59	19	29
Poids après éclosion (mg)	2,68 ± 0,21	0,6	1,5	4

[Moy ± S: Moyenne ± Ecart-type ; Var : Variance ; Min : Minimum ; Max : Maximum]

2.2- Les différents stades de développement : la durée de vie des différents stades de développement (observations réalisées au laboratoire) est résumée dans le tableau 6 et la figure 21.

Tableau 6 : Durée de développement de *L. decipiens*

	Durée de vie (jours)
Développement larvaire (L1 à L5)	70,81 ± 3,49
Adulte	122,61 ± 9,21
Durée totale du développement	193,42 ± 9,19

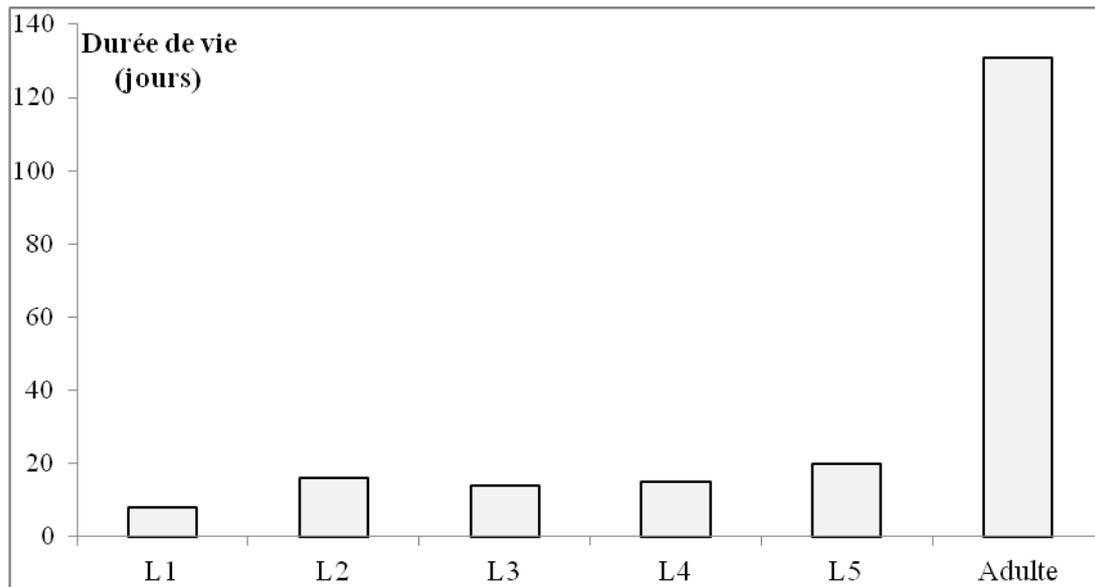


Figure 21. Durée de vie (jours) des différents stades développement de *L. decipiens*

Les caractéristiques morphométriques des différents stades larvaires de *L. decipiens* élevés au laboratoire sont résumées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Mensurations des différents stades larvaires de *L. decipiens*. n=20

		Moy ± s	Variance	Min	Max
Taille (mm)	L2	4,71 ± 0,11	0,22	4	5
	L3	6,29 ± 0,14	0,41	5	7
	L4	6,77 ± 0,17	0,36	6	8
	L5	8,46 ± 0,18	0,44	7	9
Poids (mg)	L2	5,05 ± 0,21	0,75	3,2	6,4
	L3	7,68 ± 0,14	0,44	7,03	10
	L4	14,62 ± 0,81	8,63	11,4	19,2
	L5	31,35 ± 1,41	25,97	23,9	39,2

(Moy ± s : Moyenne ± Ecart-type ; Min : Minimum ; Max : Maximum)

a/ Le premier stade larvaire (L1) : il est très petit, difficile à voir, et surtout à manipuler, mais il a la même forme que les adultes. Il est mou et de couleur blanche à sa sortie de l'oothèque. Au fur et à mesure que les heures passent, la cuticule se tanne et se colore rapidement pour prendre une couleur marron caractéristique de l'insecte. Les L1 sont très fragiles et sensibles aux facteurs extérieurs (température, humidité, etc...) ce qui explique les forts taux de mortalité généralement observés.

Il est très difficile d'observer l'exuvie de ces individus ; cependant, nous avons pu déterminer que ce stade durait $8,42 \pm 0,17$ jours.

b/ *Le deuxième stade larvaire (L2)* : les larves de deuxième stade sont très actives et plus foncées (brun vif brillant) que les L1. Leur développement dure environ en deux semaines (Fig. 21). Les résultats morphométriques obtenus montrent que l'échantillon mesuré est homogène.

c/ *Les troisième et quatrième stades larvaires (L3, L4)* : les larves de ces deux stades prennent une couleur (brun noirâtre) encore plus foncée que celle des L2. Comme les L2, elles sont très actives et le taux de mortalité observé à ces stades est moins élevé que ceux des deux premiers stades. Comme pour les L2, elles vivent environ deux semaines (Fig. 21) et là encore, les données morphométriques montrent que l'échantillon est homogène au sein de chaque stade.

d/ *Le cinquième stade larvaire (L5)* : c'est incontestablement le plus gros de tous les stades larvaires et qui présente des caractères apparents similaires aux adultes. Sa couleur, plus foncée, tire sur le noir. Sa durée de vie est la plus longue ($19,13 \pm 0,22$ jours) (Fig. 21).

Comme pour les stades précédents, les résultats statistiques montrent que notre échantillon est homogène (Tab. 7).

e/ *Le stade adulte* : après la dernière mue larvaire (mue imaginale), l'adulte se différencie des larves par l'apparition de deux bandes blanches latérales. Les adultes sont d'une couleur noir brillant.

L'absence d'ailes chez cette espèce complique l'identification entre les deux sexes. Cependant, l'observation des plaques sous-génitales permet de différencier les mâles des femelles.

Les adultes vivent environ 122 jours dans les conditions contrôlées de température et d'humidité au niveau du laboratoire (Tab. 6; Fig. 21).

Les résultats statistiques montrent que notre échantillon est homogène (Tab. 8).

Tableau 8 : Données morphologiques des adultes de *L. decipiens*. n = 20

	Moy ± s	Variance	Min	Max
Taille (mm)	8,67 ± 0,11	0,24	8	9
Poids (mg)	39,69 ± 1,21	26,48	31	49,1

(Moy ± s : Moyenne ± Ecart-type ; Min : Minimum ; Max : Maximum)

3- Etude de l'habitat naturel de *Loboptera decipiens* :

3.1- La litière des subéraies du PNEK et de l'Edough (chêne- liège) :

a/ Composition de la litière : dans le site d'El-Kala (subéraies du PNEK), les résultats montrent (Tab. 9) que, dans les trois parcelles étudiées, la couche externe est composée essentiellement de feuilles et de rameaux, ces deux fractions représentant plus de 45% de la litière alors qu'il y a très peu de fruits et beaucoup d'autres déchets. La couche moyenne montre des pourcentages élevés de la fraction "divers", les feuilles et les rameaux étant peu présents et les fruits quasi-inexistants. En ce qui concerne la couche la plus profonde, on remarque une diminution importante des feuilles, des rameaux et des fruits au niveau des trois parcelles. Par contre on y trouve un taux élevé de fragments décomposés puisqu'on enregistre de 86 à 95% de composés "divers".

Au niveau du site de l'Edough, nos résultats montrent (Tab. 9) que, contrairement au site d'El-Kala, la couche superficielle est essentiellement composée de rameaux alors que la couche moyenne présente des taux élevés de "divers" et que la couche interne est surtout très riche en humus ("divers").

Tous ces résultats montrent que la litière du PNEK est, d'une façon générale, plus riche que celle de l'Edough.

Tableau 9 : Composition des différentes couches de la litière (%)

Sites	Parcelles	Couches	Feuilles	Rameaux	Fruits	Divers
PNEK	P1	C1	45,70	23,30	0,76	30,21
		C2	24,95	13,44	0,15	61,44
		C3	11,35	2,42	0,43	85,78
	P2	C1	42,58	23,64	5,41	28,34
		C2	21,09	5,52	3,05	70,31
		C3	2,90	1,27	0,96	94,85
	P3	C1	33,05	25,89	0,89	40,15
		C2	20,01	8,17	0,35	71,45
		C3	9,69	2,77	0,17	87,35
Edough	P1	C1	37,99	29,31	0,17	15,98
		C2	19,69	10,72	1,05	68,54
		C3	1,53	1,55	0	96,03
	P2	C1	16,59	64,58	0,72	17,27
		C2	13,38	42,84	3,23	26,99
		C3	2,63	7,43	3,19	84,04
	P3	C1	23,57	71,52	0	3,71
		C2	2,63	7,43	3,19	84,04
		C3	5,21	6,61	0	87,97

(P1 à 3, Parcelles; C1 à C3, couches).

b/ Caractéristiques physicochimiques de la litière : Comme le montrent nos résultats (Tab 10), l'acidité de la litière des subéraies du PNEK et de l'Edough est comparable (voisin de 6). La quantité d'eau retenue dans la litière des subéraies du PNEK, bien que dépendante des différentes couches, est, d'une façon générale, plus élevée que dans l'Edough. Les mêmes constatations peuvent être faites au niveau des matières organiques et minérales.

Toutes ces observations montrent, là encore, que la litière des forêts d'El-Kala sont beaucoup plus riches que celles de l'Edough.

Tableau 10 : Caractères physicochimiques des différentes couches de la litière des subéraies

Sites	Parcelles	Couches	pH	H (%)	M.O (%)	M.M (%)
PNEK	P1	C1	6,26	34,79	69,50	30,28
		C2	6,16	40,94	48,20	51,79
		C3	6,20	34,42	34,15	64,23
	P2	C1	6,14	31,08	86,58	13,41
		C2	6,68	34,62	45,54	54,45
		C3	6,28	30,85	30,35	69,13
	P3	C1	5,70	44,11	76,47	23,61
		C2	6,41	46,58	50,88	49,10
		C3	6,49	38,84	51,11	48,59
Edough	P1	C1	5,57	4,45	3,65	0,71
		C2	5,85	3,30	2,88	1,07
		C3	6,06	69,77	1,87	1,58
	P2	C1	6,65	5,68	1,72	0,3
		C2	6,68	36,11	1,46	0,64
		C3	6,59	37,41	2,61	1,7
	P3	C1	5,86	5,10	3,10	0,22
		C2	6,44	1,35	1,20	0,2
		C3	6,73	2,49	1,57	0,63

(H : Humidité ; M.O : Matière Organique ; M.M : Matière Minérale)

3.2- La litière d'eucalyptus de Sidi Amar :

a/ *Composition de la litière* : dans les forêts d'eucalyptus, les résultats obtenus (Tab.11) montrent que, dans toutes les couches, c'est la fraction la plus décomposée ("divers") qui est la plus importante. On trouve également beaucoup de rameaux mais très peu de feuilles.

Tableau 11 : Composition (%) des différentes couches de la litière d'eucalyptus

Parcelles	Couches	Feuilles	Rameaux	Divers
P1	C1	3,50	33,38	63,11
	C2	1,88	7,59	91,15
	C3	0,94	5,30	93,75
P2	C1	8,18	33,92	57,89
	C2	5,01	11,67	83,31
	C3	0	2,57	97,42
P3	C1	6,40	15,95	77,65
	C2	2,31	16,39	81,29
	C3	0	0,94	99,06

(P1 à 3, Parcelles; C1 à C3, couches).

b/ Caractéristiques physicochimiques de la litière : contrairement au pH de la litière des subéraies, le pH de la litière d'eucalyptus est basique et voisin de 8. La teneur en eau est plus importante au niveau des couches moyennes et internes et la teneur en matière organique diminue avec la profondeur dans les trois. Excepté pour la première parcelle, la quantité de la matière minérale est plus élevée dans la couche interne (49 à 69 %) que dans la couche externe (36 % environ).

Tableau 12 : Caractéristiques physicochimiques des différentes couches de la litière d'eucalyptus

Parcelles	Couches	pH	H (%)	MO (%)	MM (%)
P1	C1	7,96	9,58	72,92	27,07
	C2	8,21	12,94	66,84	33,15
	C3	7,94	14,97	73,33	26,66
P2	C1	8,08	11,29	64,52	35,47
	C2	8,06	11,63	60,26	39,73
	C3	8,18	8,21	51,14	48,85
P3	C1	7,98	12,5	54,50	35,49
	C2	8,20	12,56	59,78	40,21
	C3	8,37	6,58	30,74	69,25

(H : Humidité ; M.O : Matière Organique ; M.M : Matière Minérale)

4- Potentiel reproducteur de *L. decipiens* :

Sur les 21 oothèques étudiées au laboratoire, 10 oothèques ont donné des larves (oothèques viables), 9 n'ont pas éclos (oothèques non-viables) et 2 oothèques étaient parasitées. Nos résultats montrent que les femelles de *L. decipiens* portent leurs oothèques pendant 1 à 4 jours avant de les déposer (temps de rétention), la période d'incubation durant près d'un mois (Tab. 13).

Tableau 13 : Temps de rétention et d'incubation des oothèques par les femelles de *L. decipiens*

		Temps de rétention (Heures)	Période d'incubation (Jours)
Oothèques	Moy ± s	58,37 ± 15,36	/
	Max	78	
	Min	24	
Oothèques non-viables	Moy ± s	58,50 ± 18,35	
	Max	78	
	Min	24	
Oothèques viables	Moy ± s	60,62 ± 12,27	25,33 ± 3,28
	Max	72	30
	Min	48	18

(Moy ± s, Moyenne ± Ecart-type)

Une étude morphométrique des oothèques a été réalisée (Tab. 14). Si les différentes mesures sont comparables pour les oothèques viables et non-viables, le nombre total d'œufs contenus dans une oothèque non-viable est deux fois moins élevé que pour une oothèque viable.

Tableau 14 : Caractéristiques morphologiques des oothèques de *L. decipiens*. (Moyenne ± Ecart type), n = 21

	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Poids avant éclosion (mg)	Poids après éclosion (mg)	Nombre total d'œufs
Viables	4,83 ± 0,46	2,70 ± 0,28	11,20 ± 3,83	2,12 ± 0,66	13,60 ± 3,56
Non -viables	4,51 ± 0,94	2,77 ± 0,33	10,77 ± 3,72		8,11 ± 4,75

La relation entre la taille des oothèques viables et le nombre d'œufs dans cette dernière ne montre aucune corrélation ($Y = 0,03 X + 4,46$; $r = 0,2$) et il n'y a aucune différence significative entre les mensurations des oothèques qui ont éclos et celles qui n'ont pas éclos.

L'analyse statistique de la relation entre la taille des oothèques non-viables et le nombre d'œufs (embryons) dans cette dernière montre une corrélation significative ($Y = 0,09 X + 3,74$; $r = 0,48$). Les mêmes résultats ont été enregistrés entre le poids des oothèques non-viables et le nombre ($Y = 0,42 X + 7,38$; $r = 0,53$).

Après dissection de ces oothèques, on peut observer que ces dernières contiennent des L1 mal formées (Fig. 22).



Figure 22. Embryons d'oothèques non-viables de *L. decipiens*

Concernant les oothèques parasitées, nous avons pu isoler deux parasites qui sont au cours d'identification par le Prof. Pujade-Villar (département de Biologie Animale, Université de Barcelone ; Espagne) (Fig. 23).



Gr : x 400

Gr : x 40

Figure 23. Parasites d'oothèques de *L. decipiens*

5- Comportement alimentaire de *L. decipiens* :

Les tests olfactométriques que nous avons réalisés montrent que les jeunes larves (L2, L3) sont significativement plus attirées par les odeurs d'extraits provenant de feuilles mortes ou de feuilles fraîches, mais uniquement dans le cas d'extraits réalisés avec de l'hexane (Tab. 15). En ce qui concerne les adultes, ces derniers ne sont significativement attirés que par l'odeur provenant d'un extrait hexanique de feuilles fraîches (Tab. 15).

Dans tous les cas, les extraits de feuilles, mortes ou fraîches, sont inactif vis à vis des larves et des adultes de *L. decipiens* lorsqu'ils sont réalisés avec du dichlorométhane (Tab. 15). Ces résultats montrent que les composés chimiques actifs vis-à-vis des individus testés et présents dans les extraits sont certainement de nature apolaire.

Tableau 15 : Pourcentages d'attractivité des jeunes larves et des adultes par les odeurs d'extraits de feuilles d'eucalyptus (olfactomètre en Y)

	Feuilles Mortes				Feuilles Fraîches			
	Hexane		CH ₂ Cl ₂		Hexane		CH ₂ Cl ₂	
	JL	Ad	JL	Ad	JL	Ad	JL	Ad
A	67	50	63	60	73	80	70	70
NA	33	50	37	40	27	20	30	30
P	0,964 (S)	NS	0,904 (NS)	NS	0,992 (S)	0,947 (S)	0,752 (NS)	0,752 (NS)

(JL : Jeunes Larves ; Ad : Adultes ; A : Attiré ; NA : Non Attiré ;

S : Significative ; NS : Non Significative).

Comparativement aux larves, les adultes mettent significativement beaucoup plus de temps à localiser la source de l'odeur provenant de feuilles mortes que celles provenant de feuilles fraîches lorsque les extraits sont réalisés à l'hexane ou au dichlorométhane (Tab. 16) et, d'une façon générale, tous les insectes testés mettent moins de temps à détecter l'odeur provenant d'un extrait de feuilles à l'hexane qu'au dichlorométhane (Tab. 16).

En ce qui concerne les feuilles fraîches, il n'existe aucune différence significative entre les temps moyens de détection des extraits réalisés à l'hexane ou au dichlorométhane enregistrés pour les adultes et les jeunes larves.

Tableau 16 : Temps de détection (secondes), par les larves et les adultes de *L. decipiens*, des odeurs provenant d'extraits de feuilles d'eucalyptus (olfactomètre en Y ; Moyenne ± SEM)

	Feuilles Mortes		Feuilles Fraîches	
	Hexane	CH ₂ Cl ₂	Hexane	CH ₂ Cl ₂
Jeune larves	18,20 ± 1,84	28,42 ± 3,00	26,09 ± 2,67	25,71 ± 2,31
Adultes	62,40 ± 11,54	58,33 ± 12,90	36,62 ± 8,30	39,14 ± 9,01
Comparaison des variances (test de Fisher)	F= 9,87 p : 0,000 *	F= 5,84 p : 0,004 *	F= 3,51 p : 0,024 *	F= 5,06 p : 0,005 *
Comparaison des moyennes	(1) t= -6,75 p : <0,0001 * (2) t= -3,78 p : 0,019 *	(1) t= -3,41 p : 0,002 * (2) t= -2,26 p : 0,072	(1) t= -1,60 p : 0,122 * (2) t= -1,21 p : 0,264 *	(1) t= -2,09 p : 0,047 * (2) t= -1,44 p : 0,197

(* , différences significatives)

Les jeunes larves mettent significativement moins de temps pour arriver à la source odorante que les adultes (Tab. 17) lorsque les extraits testés de feuilles mortes et de feuilles fraîches ont été faits à l'hexane (Tab. 17).

En ce qui concerne les extraits de feuilles réalisés au dichlorométhane, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les larves et les adultes (Tab. 17).

Tableau 17 : Temps d'arrivée (secondes) des larves et les adultes de *L. decipiens* à la source d'odeur provenant d'extraits de feuilles d'eucalyptus (olfactomètre en Y ; moyenne \pm SEM)

	Feuilles Mortes		Feuilles Fraîches	
	Hexane	CH ₂ Cl ₂	Hexane	CH ₂ Cl ₂
Jeune larves	8,50 \pm 1,07	13,21 \pm 1,39	9,82 \pm 0,94	12,38 \pm 1,11
Adultes	44,00 \pm 10,58	15,00 \pm 2,48	24,50 \pm 7,43	9,57 \pm 1,62
Comparaison des variances (test de Fisher)	F= 24,33 p : <0,0001 *	F= 1,01 p : 0,883	F= 22,89 p : <0,0001 *	F= 1,41 p : 0,709
Comparaison des moyennes	(1) t= -6,58 p : <0,0001 * (2) t= -3,34 p : 0,029 *	(1) t= -0,63 p : 0,534 (2) t= -0,63 p : 0,552	(1) t= -3,18 p : 0,004 * (2) t= -1,96 p : 0,090	(1) t= 1,31 p : 0,201 (2) t= 1,43 p : 0,191

(* , différences significatives)

6- Comportement sexuel de *L. decipiens* :

6.1- Les différentes séquences conduisant à l'accouplement :

Nous avons étudié les différentes séquences comportementales conduisant à l'accouplement (Fig. 24) et nous avons pu mettre en évidence que c'est la femelle qui attire le mâle à distance.

a/ L'attraction du mâle par la femelle : lorsque les deux partenaires sexuels sont mis dans une enceinte, le mâle commence par explorer les lieux. Après quelques minutes, on remarque que c'est toujours le mâle qui va vers la femelle (le contraire est très rare). Cependant, nous n'avons pas pu mettre en évidence, un comportement d'appel de la part de la femelle (position caractéristique qu'adopte la femelle pour émettre une phéromone sexuelle). Après quelques minutes, la femelle s'immobilise, le mâle se rapproche d'elle puis s'arrête, fléchit ses pattes postérieures. On peut alors enregistrer un mouvement continu des antennes du mâle dans toutes les directions, jusqu'à ce qu'il établisse un contact antennaire avec la femelle (Fig. 24A).

b/ La reconnaissance des deux partenaires par contacts antennaires : le mâle arrive au contact de la femelle et l'explore de ses antennes par des échanges antennaires plus ou moins lents sur tout le corps de la femelle (antennes, corps, pattes, pièces génitales); ce comportement peut se répéter plusieurs fois et de manière très rapide. Après quelques contacts, on observe chez la majorité des couples, que les mâles poursuivent les femelles qui s'éloignent d'eux (Fig. 24B). Après avoir détecté la présence d'une femelle, le mâle adopte généralement, après 3 à 10 contacts antennaires, un comportement de parade qui démontre son excitation.

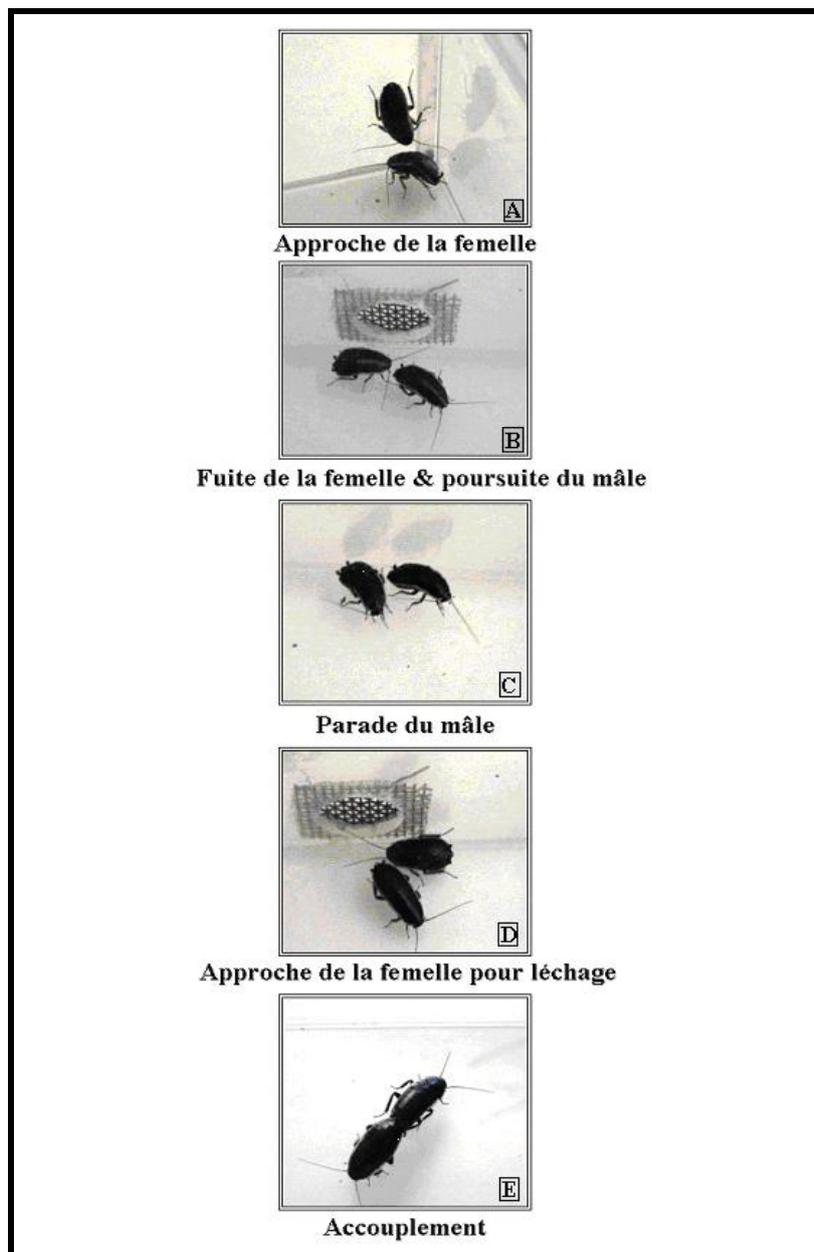


Figure 24. Les différentes séquences du comportement sexuel de *L. decipiens*

c/ La parade du mâle : le mâle commence généralement à parader près de la femelle: il se place à côté, tête baissée, abdomen orienté vers elle et effectue des mouvements abdominaux de haut en bas. Pendant la parade, les antennes du mâle restent toujours en contact avec le corps ou les antennes de la femelle (Fig. 24 C). La femelle peut refuser de s'accoupler malgré la parade du mâle.

d/ Le léchage des tergites du mâle par la femelle : après une sollicitation continue du mâle, la femelle réceptive approche de ce dernier et commence par lécher le 6ème et le 7ème tergite du mâle (Fig. 24D). Elle monte alors rapidement sur le dos du mâle. Ce dernier aplati son abdomen du côté aplati contre le sol et les cerques soulevés touchent presque le thorax de la femelle. Le léchage ne dure que quelques secondes. Les femelles peuvent refuser de s'accoupler même après léchage.

e/ L'accouplement : dès que la femelle est sur son dos, le mâle étend progressivement son abdomen afin d'accrocher les pièces génitales de la femelle à l'aide de son phallosome. La femelle accrochée, le mâle effectue aussitôt une rotation de 180° qui va placer le couple en position opposée. L'accouplement dure de 2 à 3 heures. Pendant l'accouplement, le mâle reste immobile tandis que la femelle, plus grosse, reste active et tire le mâle derrière elle. Le décrochage des deux partenaires annonce la fin de l'accouplement (Fig. 24E).

Les différents actes comportementaux conduisant à l'accouplement sont résumés dans la figure 25.

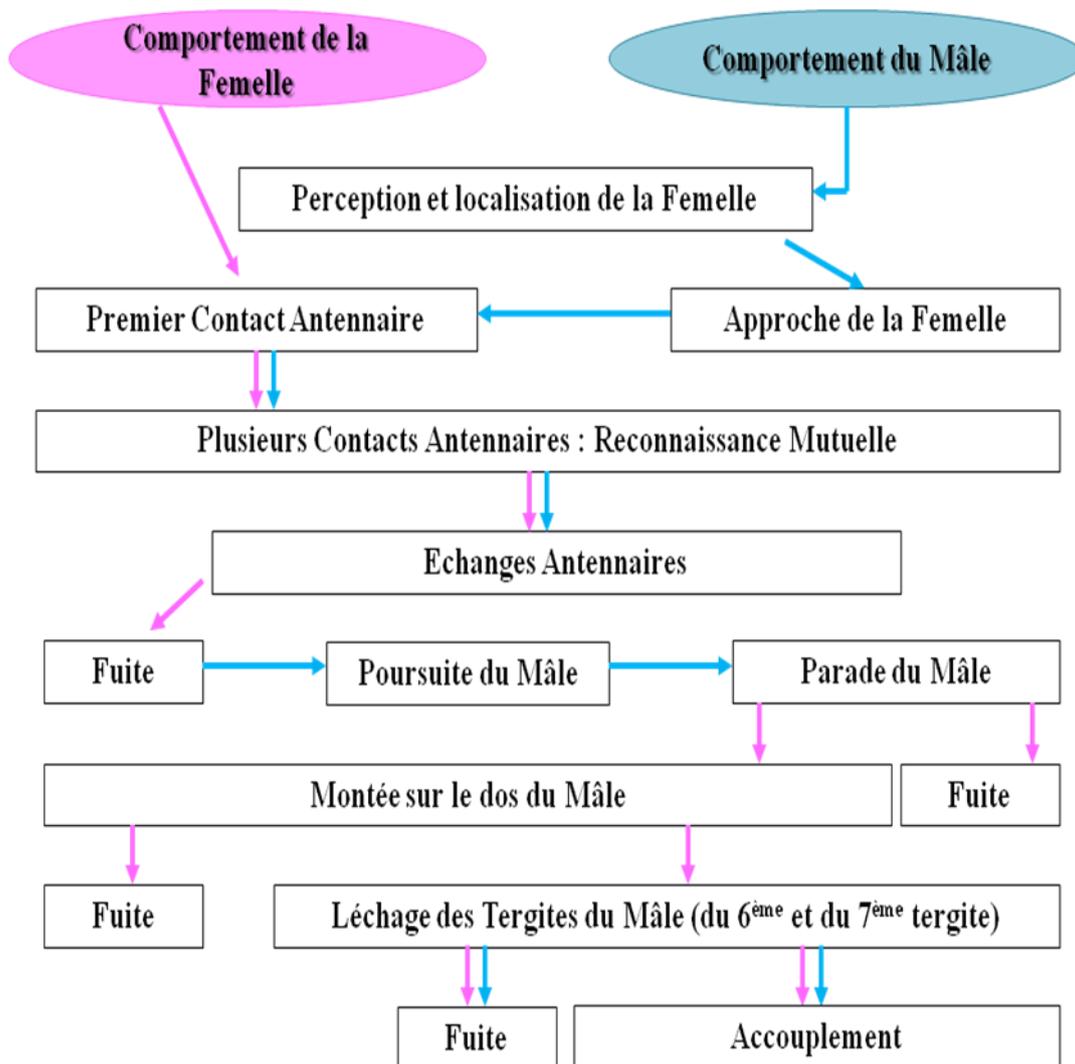


Figure 25. Ethogramme du comportement sexuel de *L. decipiens*

6.2- Cas des accouplements réussis :

Sur les 20 accouplements réussis, nos observations montrent qu'il n'y a un seul couple où c'est la femelle qui se dirige vers le mâle alors que, pour les 19 autres couples, c'est toujours le mâle qui se dirige vers la femelle.

Comme le montrent nos résultats, toutes les valeurs enregistrées sont très variables (Tab. 18). Ainsi, le mâle peut mettre de quelques secondes à près d'une minute pour se diriger vers la femelle et près de 3 minutes pour assurer les premiers contacts antennaires avec cette dernière.

L'enchaînement des contacts antennaires constitue une phase primordiale de la parade du mâle et cet acte, bien que très peu nombreux, peut durer plus de 2 heures.

La réponse de la femelle aux contacts du mâle se traduit toujours par, au moins, un léchage des sécrétions sur les tergites du mâle. Le nombre moyen de tentatives d'accouplement ne dépasse pas une dizaine de tentatives par couples.

L'accouplement peut durer plus de 3 heures. Dès leur séparation, les adultes cherchent à s'alimenter. La prise de nourriture est une nécessité pour la femelle; nous avons enregistré six cas de cannibalisme, la femelle s'attaquant au mâle lorsqu'elle ne dispose pas d'une source alimentaire dans l'enceinte de test.

Tableau 18 : Durées (secondes) des différentes séquences du comportement sexuel de *L. decipiens* (accouplements réussis). n = 20

	Moy ± s	Max	Min
Temps de latence	16,67 ± 13,59	51	4
Temps de 1er contact antennaire	43,67 ± 37,46	164	10
Nombre de contacts antennaires	42,72 ± 20,71	103	16
Nombre de parades	1,5 0 ± 0,53	2	1
Temps de parade	3652 ± 2559	9000	420
Léchages des tergites du mâle par la femelle	4,13 ± 3,91	11	1
Tentatives d'accouplement	2,88 ± 3,91	10	0
Temps d'accouplement	6912 ± 2492	11520	1680

(Moy ± s, Moyenne ± Ecart-type ; Max : Maximum ; Min : Minimum)

6.3- Cas des accouplements avortés :

Comparativement aux résultats observés lors des accouplements réussis, les temps de latence sont comparables, mais le temps que met un mâle pour trouver la femelle (temps de 1er contact) est légèrement plus élevé (Tab. 19). De plus, si le nombre de contacts antennaires et le nombre de parades observés chez le mâle sont sensiblement égaux à ceux décrit ci-dessus, une des principales caractéristiques des couples qui ne se sont pas accouplés est la diminution très importante du temps de parade des mâles (près de 3 fois moins pour les couples qui se sont accouplés).

Il est également à remarquer, qu'aucune tentative de léchage des tergites mâles par la femelle, n'a pu être enregistré.

Tableau 19 : Durées (secondes) des différentes séquences du comportement sexuel de *L. decipiens* (accouplements avortés). n = 20

	Moy ± s	Max	Min
Temps de latence	26,35 ± 20,81	67	3
Temps de 1er contact	57,79 ± 77,9	308	4
Nombre de contacts	41,57 ± 39,47	110	1
Nombre de parades	3 ± 2	5	1
Temps de parade	1160 ± 517,3	1620	600

(Moy ± s : moyenne ± écart type ; Max : Maximum ; Min : Minimum)

6.4- Etude de l'attraction des mâles par les femelles (olfactomètre en Y) :

Nos résultats montrent que tous les extraits femelles que nous avons testés attirent significativement les mâles à distance (Tab. 20). L'augmentation de la concentration de l'extrait (5 ♀) n'augmente que très peu le nombre de mâles attirés.

Tableau 20 : Nombre de mâles attirés par différents extraits de femelles de *L. decipiens*

	Attirés	Non Attirés	p
1 ♀ / Hexane	20	10	0,964 (S)
1 ♀ / Pentane	21	9	0,980 (S)
5♀ / Hexane	20	10	0,964 (S)
5♀ / Pentane	24	6	1,000 (S)

(S : Significatif)

Excepté pour un des extraits (1 ♀ / Hexane), les temps que mettent les mâles pour détecter l'odeur des extraits sont comparables quelle que soit la concentration en femelle de l'extrait testé (Tab. 21). Les mâles mettent une trentaine de secondes pour détecter l'odeur femelle et 30 secondes de plus pour arriver au contact de la source odorante (Tab. 21).

Tableau 21 : Temps moyens (Moyenne \pm Ecart-type; secondes) de détection (TD), d'arrivée (TA) et global (TG) de l'attractivité de différents extraits de femelles à l'égard des mâles de *L. decipiens*. n = 30

	TD	TA	TG
1 ♀ / Hexane	19,76 \pm 14,11 a	26,62 \pm 11,42	43,44 \pm 15,96
1 ♀ / Pentane	26,86 \pm 16,11 b	29,81 \pm 9,48	56,66 \pm 18,89
5 ♀ / Hexane	24,33 \pm 8,82 b	35,00 \pm 12,82	59,33 \pm 15,34
5 ♀ / Pentane	25,62 \pm 18,12 b	24,37 \pm 22,62	50,00 \pm 31,55

Les valeurs ayant des lettres différentes sont significativement différentes.

6.5- Analyse chimique des hydrocarbures cuticulaires (CPG) :

L'analyse chimique des extraits cuticulaires par chromatographie en phase gazeuse (CPG) ne montre aucune différence entre les profils mâles et femelles (Fig. 26). Ces profils montrent l'existence, pour chaque sexe, d'une trentaine de composés différents qui restent à identifier.

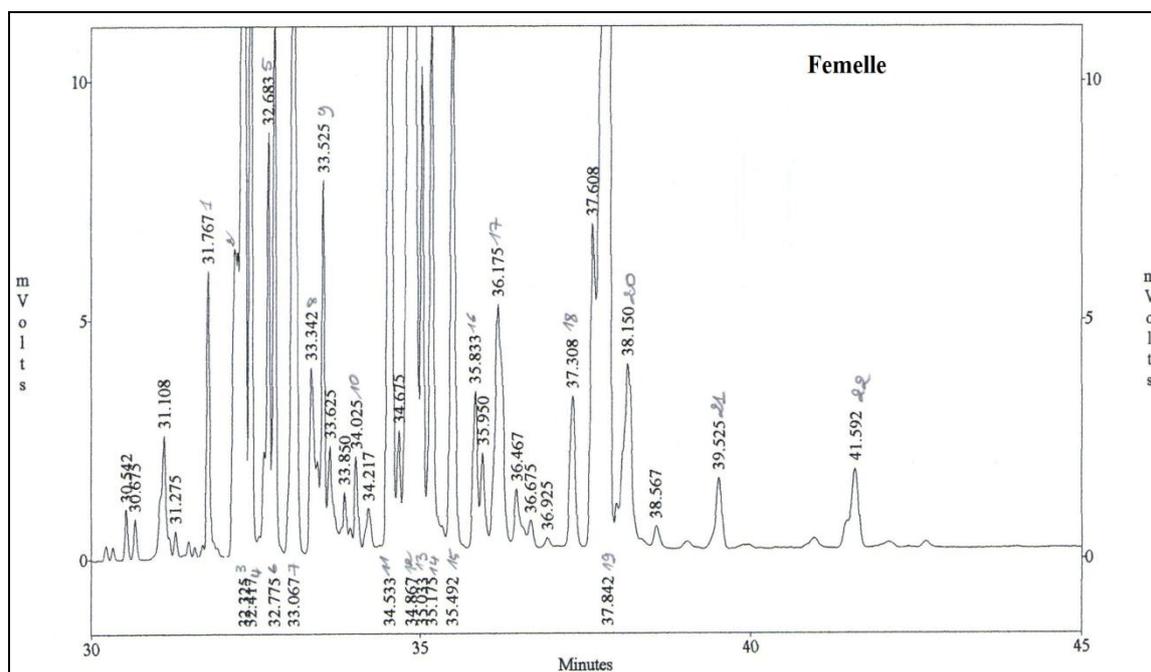


Figure 26. Profil chromatographique d'un extrait hexanique de femelles de *L. decipiens*.

Les résultats consignés dans le tableau 22 présentent les différents pourcentages des hydrocarbures majoritaires présents dans les cires cuticulaires des mâles et des femelles de *L. decipiens*. Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence.

Certains composés, comme les pics 3, 4, 7, 11, 12 et 19 représentent à eux tous plus de 60 % des molécules extraites chez les adultes des deux sexes ce qui leur conférerait très certainement un rôle non négligeable au niveau de la reconnaissance des partenaires.

Tableau 22 : Pourcentages des hydrocarbures cuticulaires majoritaires chez les mâles et les femelles de *L. decipiens*

Pics	Femelles	Mâles	P
1	2,06 ± 0,09	1,67 ± 0,12	0,959 (NS)
2	3,57 ± 0,43	3,10 ± 0,27	0,962 (NS)
3	13,76 ± 0,58	11,57 ± 0,62	0,905 (NS)
4	5,13 ± 0,17	5,00 ± 0,32	0,991 (NS)
5	2,61 ± 0,06	2,36 ± 0,05	0,977 (NS)
6	2,89 ± 0,15	3,59 ± 0,51	0,941 (NS)
7	8,52 ± 0,42	7,15 ± 0,29	0,927 (NS)
8	1,87 ± 0,05	1,94 ± 0,05	0,993 (NS)
9	1,60 ± 0,06	1,42 ± 0,10	0,979 (NS)
10	0,59 ± 0,04	0,81 ± 0,03	0,961 (NS)
11	7,33 ± 0,17	7,30 ± 0,49	0,998 (NS)
12	16,86 ± 0,38	16,06 ± 0,36	0,969 (NS)
13	2,02 ± 0,09	2,05 ± 0,15	0,997 (NS)
14	3,35 ± 0,07	3,50 ± 0,17	0,988 (NS)
15	3,58 ± 0,10	3,43 ± 0,20	0,988 (NS)
16	1,19 ± 0,06	1,44 ± 0,07	0,968 (NS)
17	2,87 ± 0,07	3,25 ± 0,07	0,968 (NS)
18	1,50 ± 0,07	1,79 ± 0,16	0,966 (NS)
19	15,62 ± 0,41	18,57 ± 1,02	0,885 (NS)
20	2,04 ± 0,12	2,66 ± 0,27	0,939 (NS)
21	0,45 ± 0,05	0,58 ± 0,04	0,973 (NS)
22	0,58 ± 0,06	0,78 ± 0,12	0,964 (NS)

(Moyenne ± SEM; NS : Non-Significatif)

DISCUSSION

1- Le cycle de vie de *L. decipiens* :

Bien qu'il existe de nombreux travaux qui traitent des blattes (voir références dans Bell, 1990) très peu sont consacrés à *L. decipiens*. C'est une espèce monovoltine, c'est-à-dire qu'elle n'effectue qu'une seule génération par an, alors que d'autres espèces domestiques telle que *B. germanica* peuvent présenter trois ou quatre générations par an (Gordon, 1996). *L. decipiens* est omnivore et se nourrit principalement de restes végétaux et animaux. Elle a une activité annuelle intense en été et en automne et joue un rôle non négligeable au niveau de la dégradation de la matière organique (Haupt & Haupt, 1998). Elle est également une proie idéale pour de nombreuses fourmis, araignées et pour certains petits vertébrés (Chopard, 1943 ; Boyer & Rivault, 2003).

Notre travail a permis de confirmer l'existence de *L. decipiens* dans le P.N.E.K. En effet, nous avons déjà signalé la présence de cet insecte dans la subéraie de Brabtia et d'El-Mellah en 2004, en 2005, et lors d'une étude plus détaillée étalée sur deux ans (2008 et 2009) (Ferrah, 2005; Hanifi, 2005; Habbachi, 2009). Nous avons montré que *L. decipiens* colonise le sol et la litière des quatre sites étudiés, quelle que soit l'essence végétale qui les recouvre (chêne-liège ou eucalyptus). Les populations sont plus importantes dans les forêts du littoral, les subéraies du PNEK et les forêts d'eucalyptus de Sidi Amar, comparativement aux subéraies de l'Edough, dans laquelle elle vit avec *Ectobius kervillei*, et de Machrouha où l'espèce est très peu abondante.

Le suivi du cycle de développement de *L. decipiens* dans les trois sites là où elle est la plus abondante montre que ce dernier est fonction des conditions climatiques (température, humidité, pluviométrie). En effet, c'est une espèce qui n'apparaît qu'au printemps et en été et qui est complètement absente en automne et en hiver. Ces observations corroborent celles obtenues dans la subéraie de Brabtia et d'El-Mellah (Habbachi, 2009) et dans l'Edough (Halfaoui, 2010).

Les oothèques pondues à la fin de l'été et au début de l'automne éclosent au début du printemps, ce qui explique l'apparition des jeunes larves (L2, L3) au mois de Mars quand la

température commence à augmenter. A la fin du printemps et au début de l'été, nous avons vu que la quasi-totalité des individus récoltés sont des larves âgées (L4, L5) et des adultes.

Le cycle de développement de *L. decipiens* est également lié à l'altitude puisque la population de cet insecte est plus dense dans les subéraies de l'Edough (Zerzour, 2008 ; Halfaoui, 2010) que dans les subéraies du PNEK. Cependant, il arrive parfois que le nombre d'individus récoltés soit plus important dans l'Edough qu'au niveau du PNEK. L'état sanitaire des subéraies du PNEK pourrait expliquer ces résultats, puisque ces dernières souffrent de problèmes de dépérissement depuis 2005; c'est le cas, par exemple, des subéraies de Brabtia, d'El-Melah et de Sanaoubari (Adjami, 2009).

La prospection des forêts d'eucalyptus de Sidi Amar, au printemps et en été, montre que la densité de *L. decipiens* est beaucoup plus forte dans cette forêt, comparativement aux subéraies étudiées. Il semble que la litière composée de feuilles et de rameaux d'eucalyptus assure un développement idéal pour cette espèce. Nos résultats révèlent également que le niveau de population de *L. decipiens* est plus élevé en 2010 qu'en 2011. Cela peut être dû aux conditions climatiques différentes enregistrées pendant ces années.

Chez les blattes, la taille des oothèques est variable selon les espèces; elles mesurent entre 4 à 5 mm chez *Margattea nimbata* et *Lobopterella dimidiatipes*, 6 et 8 mm chez *B. germanica*, *Blattella biligata*, *Blatta longicercata* et *Scalida latius vittata*, environ 12 mm chez *Blatta orientalis*, 14 mm chez *Pycnoscelus surinamensis* (Boyer & Rivault, 2004 ; Chopard, 1943). Chez *L. decipiens*, nous avons pu montrer qu'elle mesurait environ 5 mm.

Dans les conditions de laboratoire, la vie larvaire de *L. decipiens* dure 2 à 3 mois. Nos observations révèlent que les larves de premier stade (L1) sortent de l'oothèque, quelques semaines après la ponte de la femelle. Ces dernières passeront par cinq stades pour donner des adultes. Le nombre de mues larvaires peut varier selon les espèces : chez la blatte germanique, *B. germanica*, par exemple, le nombre de mue varie entre 5 et 7 (Cornwell, 1968), chez la blatte orientale, *B. orientalis*, on peut observer 7 à 10 mues (Gordon, 1996) et chez la blatte américaine, *Periplaneta americana*, une douzaine de mues (Gordon, 1996).

L'étude biométrique des individus aux différents stades de développement montre que la taille moyenne de cet insecte ne dépasse pas 8 mm de longueur au stade adulte pour un poids de 39 mg. Les adultes vivent 5 à 6 mois dans les conditions optimum de laboratoire (eau et nourriture à volonté); Cette durée de vie est comparable à celle de nombreuses espèces

forestières et agricoles telles que *Blattella lituricollis*, *B. biligata*, *B. longicercata* et *L. dimidiatipes* (Boyer & Rivault, 2004).

Dans la forêt, le sol est recouvert d'une quantité importante de matériel végétal tel que feuilles, rameaux, fruits et graines. L'ensemble de ce matériel constitue la litière (Rapp, 1971 ; Tussaux, 1996). La décomposition de la matière organique contenue dans la litière représente une source d'énergie potentielle pour les espèces qui les consomment (Gobat *et al.*, 1998). La décomposition de la litière varie selon le groupement forestier : elle est d'environ 32% pour les forêts de chêne-liège (Beldjehem, 2001).

L'analyse physique que nous avons menée sur la litière du chêne-liège montre que les différentes fractions (feuilles, rameaux, fruits et « divers ») sont distribuées de façon comparable dans les trois parcelles de chacun des sites que nous avons étudiés. La composition physique diffère d'une couche à l'autre : la couche la plus externe est composée essentiellement de feuilles, de rameaux et de divers débris, avec parfois quelques fruits, alors que la couche la plus interne est composée majoritairement d'éléments « divers » plus ou moins décomposés.

La quantité de feuilles présente dans la première couche, au niveau de l'Edough, est moins importante que celle enregistrée dans le PNEK, alors que la fraction « divers » est plus importante dans l'Edough (première et troisième couches). Ces observations peuvent être mises en relation avec une activité de décomposition plus importante dans la subéraie de l'Edough mais également par un dépérissement des arbres, de plus en plus important dans les subéraies du PNEK (Adjami, 2009 ; Amamra & Bouchaib, 2011).

Dans les forêts d'eucalyptus de Sidi Amar, les feuilles sont peu présentes, voire inexistantes, au niveau des différentes couches des trois parcelles échantillonnées. La couche externe de cette litière est composée essentiellement de la fraction « divers » et de feuilles et de rameaux, tandis que la couche interne présente essentiellement divers matériaux décomposés. Cela explique certainement l'abondance des insectes détritivores présents dans le sol de ce site et notamment de blattes comme *E. kervillei* et *L. decipiens* (plus de 400 individus de *L. decipiens* récoltés durant le printemps).

Dans les subéraies du PNEK et de l'Edough, la couche moyenne, qui est la plus riche en *L. decipiens*, est constituée essentiellement de la fraction la plus décomposée (« divers »). Les feuilles, les fruits et les rameaux, présents en faible proportion au niveau de cette couche, servent d'abri à *L. decipiens*. La même couche, dans les trois parcelles de la forêt

d'eucalyptus, présente quelques différences par rapport aux sites de chêne-liège puisque cette dernière est généralement plus riche en rameaux, avec une fraction « divers » très abondante. Ces résultats sont similaires à ceux enregistrés par Beldjehem (2001) lors de l'analyse physique d'échantillons prélevés dans la subéraie d'El-Mellah et ceux de Habbachi (2009) dans les subéraies de Brabtia et d'El-Mellah. La dominance de la fraction décomposée s'explique par des conditions favorables au développement et à l'activité biologique des microorganismes et surtout les bactéries qui sont présentes dans cette couche à plus de 62 % (Beldjehem, 2001).

L'analyse physicochimique que nous avons réalisée sur les litières des différents sites montre que les valeurs de pH, d'humidité (H), de matière organique (MO) et de matière minérale (MM) varient au sein des différentes couches d'une même parcelle ainsi qu'au niveau des sites d'échantillonnage (chêne-liège et eucalyptus).

La litière de chêne-liège ne subit pas une grande transformation chimique, mais subit une défragmentation probablement liée à l'activité biologique ou à l'action du groupement végétale (type et âge de la végétation) (Rapp, 1971 ; Beldjehem, 2001). Le pH est relativement acide dans les trois parcelles, quelle que soit la subéraie étudiée. En ce qui concerne le pH de la litière d'eucalyptus celui-ci est plus basique. L'abondance des blattes dans ce dernier type de litière pourrait donc s'expliquer que ces dernières préfèrent vivre dans un sol basique.

Dans l'ensemble des couches des subéraies, ainsi que dans le site forestier d'eucalyptus, le taux d'humidité est toujours inférieure à 50%, ce qui témoigne d'une faible capacité de rétention d'eau de ces sols (Rapp, 1971).

La teneur en matière organique de la litière de chêne-liège et celle d'eucalyptus est assez importante dans la première couche de chaque parcelle ce qui représente une source d'énergie non négligeable pour les micro-organismes (Gobat *et al.*, 1998). Notre étude montre aussi que l'habitat de *L. decipiens* est également riche en matière minérale surtout au niveau de la couche interne (forte minéralisation qui permet une bonne activité des micro-organismes) (Robert, 1996).

2- Le potentiel reproducteur de *L. decipiens* :

Chez les blattes, le système reproducteur des femelles est constitué de deux ovaires composés de huit ovarioles. Située à la jonction des oviductes, on trouve une spermathèque qui emmagasine le sperme reçu lors de l'accouplement. Lorsque les œufs passent à ce niveau,

ils sont fécondés (Gordon, 1996). Les oeufs se développent alors dans une poche incubatrice, au sein d'une oothèque.

La forme et la taille de l'oothèque varient selon les espèces de blattes (Roth, 1968 ; Tanaka, 1976) et le nombre d'œufs est fonction de l'âge de la femelle et des conditions environnementales (Gordon, 1996). La période d'incubation des œufs est également variable et dépend de la température et des espèces (Gunn, 1935 ; Willis *et al.*, 1958 ; Roth & Stay, 1962 ; Tanaka, 1973 ; Barson & Rehn, 1983 ; Cochran, 1983 ; Durbin & Cochran, 1985). Nos observations montrent que les oothèques de *L. decipiens* sont plus petites que celles de *B. germanica* et ne dépasse pas cinq millimètres de long.

Chez *L. decipiens*, la femelle dépose son oothèque 25 jours environ avant l'éclosion des larves. Au moment de l'éclosion des larves, l'oothèque cède sous la pression combinée de nombreuses larves. Une fente apparaît le long de la ligne de moindre résistance, là où les deux moitiés de l'oothèque sont accolées et les larves s'échappent par cette fissure. Le nombre de larves de premier stade (L1) se trouvant dans les oothèques est étroitement corrélé avec les différents paramètres morphométriques. Comme c'est le cas chez *B. germanica*, le taux d'éclosion ne dépasse pas généralement 50% car les oothèques se trouvent souvent parasitées ou contiennent des embryons qui n'arrivent pas à maturité. Cela peut être dû aux conditions de température et d'humidité défavorables au développement des jeunes larves.

3- Le comportement alimentaire de *L. decipiens* :

Chez les insectes, les signaux odorants, parfois bien plus que les signaux visuels, jouent un rôle primordial dans la vie et la survie des espèces, les relations entre individus d'une même espèce ou d'espèces différentes, ou entre un individu et son environnement. Ce sont souvent des signaux chimiques qui guident l'insecte vers son lieu de ponte, ou vers les sources de nourriture, ce sont également des molécules en suspension dans l'air ambiant (molécules volatiles à propriétés odorantes) qui permettent à l'insecte de détecter le partenaire sexuel, de localiser ses prédateurs ou encore d'identifier ses congénères (Masson & Brossut, 1981).

Les blattes sont des insectes omnivores qui peuvent manger de tout; toutefois elles semblent préférer les hydrates de carbone (amidon et sucre) aux protéines et au gras. Dans la nature, les blattes forestières jouent un important rôle de décomposeurs. Elles participent au

recyclage rapide de la matière organique en se nourrissant de végétaux, mais elles ne causent habituellement pas de dommages (Gordon, 1996).

Les insectes herbivores ont généralement le choix entre une grande variété de plantes qui seront, ou non, consommées. Les espèces spécialistes, ou oligophages, ne consomment qu'un petit nombre de plantes alors que les insectes généralistes, ou polyphages, consomment de nombreuses espèces de plantes appartenant à des familles différentes. Dans cette étude, nous avons mis en évidence que *L. decipiens*, affectionne particulièrement les feuilles d'eucalyptus fraîches ou en décomposition.

La détection de la nourriture par les insectes, en général, et par les blattes, en particulier, reste très peu connue. La sélection des plantes par les insectes polyphages consiste en une séquence comportementale en réponse à un ou plusieurs stimuli associés à une plante hôte ou à une plante non hôte (Staedler, 1976). Ces insectes sont attirés, entre autres, olfactivement grâce à l'odeur qui émane de la plante grâce aux nombreux récepteurs olfactifs localisés sur leurs palpes maxillaires et surtout leurs antennes (Visser, 1986). En cas de réponse positive à un stimulus olfactif, celle-ci provoque un mouvement orienté vers la source odorante qui peut se définir par sa vitesse et sa direction. L'efficacité d'un attractant est déterminée par la concentration initiale de la molécule au niveau de la source, la manière dont elle diffuse sur son support (air, sol, liquide) et les mécanismes internes d'orientation de l'insecte (Visser, 1986).

La nature chimique de l'hôte alimentaire est très peu étudiée et l'on ne peut expliquer l'attraction ou non des insectes par telle ou telle espèce végétale uniquement par un seul facteur comme, par exemple, la valeur nutritive de la plante ou la présence de nombreux alcaloïdes (composés connus pour être souvent répulsifs vis-à-vis des chenilles) (Raffauf, 1970; Miller & Feeny, 1983; Barbosa & Krischik, 1987). L'hypothèse la plus probable résulterait d'une interaction complexe entre les propriétés nutritives, physiques, et allélochimiques du feuillage (Saxena *et al.*, 1976; Lechowicz & Jobin, 1983; Norris, 1986; Meyer & Montgomery, 1987).

Chez les Lépidoptères, comme les chenilles de *Lymantria dispar*, qui affectionne particulièrement le chêne-liège, le comportement de recherche alimentaire varie en fonction du stade des larves (Ouakid, 2006 ; Fraval, 1989). Nous avons montré que la détection des odeurs des extraits des feuilles d'eucalyptus se fait également en fonction du stade de développement de *L. decipiens* et de l'état des feuilles extraites. Ainsi, les adultes sont plus attirés que les jeunes larves par des extraits de feuilles fraîches. L'attraction à distance des

individus par les extraits hexaniques de feuilles nous permet de supposer que les molécules actives doivent être de nature plus ou moins apolaire. Récemment, Halfaoui (2010), a pu montrer que *L. decipiens* était également attiré par des extraits hexaniques de gland de chêne. Une analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse serait nécessaire afin d'identifier les différents composés chimiques constituant l'odeur des feuilles d'eucalyptus ou de glands. Nous pourrions alors sélectionner certains composés et les tester sur l'attraction des larves et des adultes de *L. decipiens*.

4- Le comportement sexuel de *L. decipiens* :

Chez les insectes vivant la nuit, l'attraction visuelle ne peut qu'intervenir que très sommairement (détection de mouvements, par exemple) et la rencontre des sexes est entièrement sous la dépendance d'un signal phéromonal émis par l'un ou les deux sexes.

Une phéromone est une substance, ou un ensemble de plusieurs substances (bouquet phéromonal), qui est émise à l'extérieur par un individu et qui, après avoir été perçus par un individu de la même espèce, provoque chez lui une réaction comportementale spécifique ou une modification physiologique (Masson & Brossut, 1981). Les phéromones sexuelles peuvent agir à distance ou nécessiter un contact avec la source émettrice. Il n'est pas rare que les deux types de signaux soient produits par la même espèce, soit par le même individu, soit par des individus différents (mâle et femelle, par exemple) (Farine *et al.*, 2007).

Les blattes ont développé une véritable communication chimique, le comportement sexuel de celles-ci en est le reflet. Les différentes phases comportementales conduisant à l'accouplement débutent toujours par un comportement d'appel de l'un des deux sexes (Abed, 1993). Chez certaines espèces de blattes c'est le mâle qui attire la femelle; c'est le cas, par exemple de *Leucophaea maderae* et de *Nauphoeta cinerea* (Sirugue, 1992), *B. orientalis* (Barth, 1970 ; Abed *et al.*, 1993 c), *Eurycotis floridana* (Farine *et al.*, 1993, 1994) et *Diploptera punctata* (Gropeaux, 1994) mais il existe d'autres espèces, comme *B. germanica* (Tokro *et al.*, 1993) ou, comme nous l'avons montré, *L. decipiens*, où c'est la femelle qui attire le mâle .

Chez les blattes, l'âge de la maturité sexuelle joue un rôle important dans le bon déroulement du comportement sexuel. Nos résultats montrent que tous les adultes de *L. decipiens* refusent de s'accoupler à l'émergence et qu'il faut attendre 10 à 15 jours pour qu'ils s'accouplent.

Le comportement sexuel commence souvent par une reconnaissance mutuelle des partenaires. L'importance du contact antennaire varie selon les espèces. Chez *Blaberus craniifer*, par exemple, les contacts antennaires sont de première importance pour qu'il y ait accouplement (Goudey-Perrière, 1987) alors qu'ils ne sont pas nécessaires chez les mâles de *P. americana* (Barth, 1970). Chez les mâles de *N. cinerea*, le contact avec un autre partenaire provoque, soit un comportement de parade s'il a reconnu une femelle, soit un comportement agressif, ou la fuite, s'il est en présence d'un autre mâle (Fenaux-Benderitter, 1994). Chez d'autres espèces, comme *B. craniifer* (Abed *et al.*, 1993 a), de *B. orientalis* (Abed *et al.*, 1993c), *E. floridana* (Farine *et al.*, 1996) ou de *Schultesia lampyridiformis* (Cornette, 1997), la reconnaissance par contact provoque l'ouverture de l'atrium génital de la femelle et probablement l'émission de substances volatiles indiquant que la femelle accepte l'accouplement.

En présence de la femelle, le mâle adopte souvent une posture de parade spécifique à l'espèce afin de mieux exposer ses glandes tergaux (Tokro, 1984 ; Gordon, 1996). La parade d'un mâle peut être déclenchée lorsqu'il touche de ses antennes une femelle. Chez *L. decipiens*, le mâle reconnaît une femelle après trois à dix contacts antennaires et commence à parader tout en étirant son abdomen. Cette séquence de parade se fait une à deux fois pendant plus d'une heure en moyenne. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse des hydrocarbures cuticulaires, composés souvent impliqués dans la reconnaissance par contact, du fait de leur faible volatilité, a révélé qu'ils sont essentiellement constitués de plus de 22 composés majoritaires hydrocarbonés à plus de 36 atomes de carbones. Tous ces composés restent à identifier.

Le léchage des glandes tergaux du mâle par la femelle constitue une séquence importante du comportement précopulatoire des blattes (Roth, 1969). Les zones glandulaires tergaux (rides, mamelon) léchées, sont souvent associées à des touffes de soies mécanoréceptrices qui indiquent au mâle que la femelle se trouve dans une position propice à l'accouplement (Brossut & Roth, 1977). Chez *B. orientalis* et *S. lampyridiformis*, il existe des zones glandulaires sous la partie antérieure du tergite 1 et 9 et dont les sécrétions sont attractives pour les femelles (Abed *et al.*, 1993 c ; Cornette, 1997). Chez *L. decipiens*, les glandes tergaux sont situées sur le 6ème et le 7ème tergite du mâle.

La sécrétion des glandes tergaux ne constitue pas uniquement un message sensoriel perçu par contact. Les palpes labiaux, surtout, sont constamment en mouvement, mais l'observation des pièces buccales montre que la sécrétion est non seulement léchée, mais

également absorbée. Chez *L. maderae*, ces glandes tergaes produisent des sécrétions riches en protéines, dites "aphrodisiaques" (Cornette, 2007). Le rôle essentiel des aphrodisiaques est de favoriser l'acceptation du mâle par la femelle. A ce jour, la nature chimique de ces sécrétions chez *L. decipiens* est inconnue et reste à déterminer.

Chez la majorité des blattes, au moment du léchage, le mâle recule sous la femelle et afin d'accrocher les pièces génitales de son phallomère. Une fois accouplé, sans quitter sa partenaire, le mâle effectue alors une rotation de 180°; les deux individus se retrouvent alors dos-à-dos. Le mâle et la femelle restent ainsi attachés par l'extrémité de leur abdomen plus ou moins longtemps (de quelques minutes à plusieurs heures), la semence du mâle passant dans le corps de la femelle (Gordon, 1996). Chez *L. decipiens*, notre étude montre que l'accouplement dure deux à trois heures; par contre chez *B. germanica* elle ne dépasse pas une heure environ (Tokro, 1984).

Chez *L. decipiens*, une femelle déjà accouplée peut s'accoupler une deuxième fois, avant la ponte. Après la ponte, toutes les femelles testées refusent de s'accoupler. Un mâle peut s'accoupler avec 3 ou 4 femelles à la suite. Cependant, au laboratoire, nous avons pu noter que les taux d'accouplements avortés étaient relativement élevés chez *L. decipiens* et *B. germanica* (de 50% à 60) ce qui pourrait s'expliquer par des problèmes liés aux conditions de test (enceinte d'observation trop petite, bruit, température, humidité, etc...).

Il est souvent très difficile de déterminer ce qu'un insecte émet comme phéromone dans le milieu ambiant. Cependant, la nature chimique des sécrétions phéromonales de quelques espèces de blattes est connue. Par exemple, la phéromone sexuelle mâle de *L. maderae* comprend quatre composés majoritaires : l'hydroxy-3-butanone-2, qui attire les femelles à distance, le 2,3-butanediol dont le rôle est inconnu, et deux acides, l'acide sénéciolique, attractif à distance à forte concentration, et l'acide (*E*)-2-octénoïque au rôle indéterminé (Farine *et al.*, 2007). En ce qui concerne la phéromone sexuelle femelle de *L. decipiens*, il semblerait que les composés actifs soient de nature plus ou moins apolaire puisqu'on peut les extraire au pentane ou à l'hexane. Les tests en olfactomètre bidirectionnel montrent que le pentane semble le meilleur solvant pour l'extraction de ces sécrétions et que plus on augmente la concentration de l'extrait en femelles, plus l'attraction des mâles est rapide.

Chapitre 3 :

Action de différents biopesticides sur B. germanica

INTRODUCTION

De nombreuses espèces de blattes sont responsables de certaines maladies transmissibles en étant vecteurs d'agents pathogènes (virus, bactéries et champignons) (Espinosa *et al.*, 2002). *B. germanica*, l'espèce la plus répandue dans le monde provoque de nombreux problèmes d'allergies cutanées et respiratoires chez l'homme (Grandcolas, 1998).

Pour des raisons à la fois techniques et économiques, il est très difficile d'éradiquer définitivement des populations entières de blattes. Toutefois, il est possible d'éviter leur prolifération excessive et de contrôler en partie le développement de leur population (Grandcolas, 1996).

Afin de contrôler les insectes nuisibles comme les blattes, l'homme déploie des efforts considérables, et recherche de nouvelles méthodes de lutte physique, biologique ou chimique afin de limiter leur prolifération (Appel, 1990 ; Kim *et al.*, 1995 ; Lyon, 1997). Cependant l'application abusive et répétée des insecticides conventionnels a fait apparaître chez les blattes et, plus particulièrement, chez *B. germanica*, des souches résistantes (Valles *et al.*, 2000 ; Fulton & Key, 2001 ; Yu *et al.*, 2003 ; Kristensen *et al.*, 2005) qui se traduisent chez l'insecte par des modifications physiologiques, biochimiques et comportementales (Cochran, 1990 ; 1991 ; Sharf *et al.*, 1997 ; Saito & Hama, 2000).

Suite aux conséquences néfastes de la lutte chimique sur l'environnement et sur l'homme qui se traduisent par des phénomènes cancérigènes (El Sayed *et al.*, 1997 ; Ishaaya & Horowitz, 1998) et à l'accroissement de la résistance chez les blattes, on cherche donc à utiliser d'autres substances et d'autres techniques de lutte. A l'heure actuelle, les insecticides utilisés sont souvent moins toxiques et plus spécifiques et sont basés sur des données physiologiques de l'insecte.

Les produits naturels sont de plus en plus recherchés pour une lutte efficace. La lutte contre les insectes nuisibles, dont les blattes, comprend plusieurs méthodes comme celles faisant appel à des analogues synthétiques d'hormones d'insectes (hormone juvénile,

ecdysone) qui perturbent l'éclosion des œufs, la reproduction et les différents comportements des blattes, les méthodes génétiques et les méthodes, dites écologiques, qui consistent à rendre le milieu défavorable au développement de l'insecte. Cependant, la lutte biologique reste la plus sûre et la plus sélective.

B. germanica, est une espèce principalement inféodée aux milieux urbains, comme les cuisines, les salles de bains et les zones de stockage des aliments (placards, celliers, etc...). Cette blatte, caractérisée par une fécondité élevée, rend le contrôle des populations très difficile à maîtriser (Barcay, 2004). Elle est devenue résistante aux composés organochlorés et organophosphorés, aux carbamates, et à de nombreux pyréthriinoïdes (Scott *et al.*, 1990). Il est toutefois possible d'éviter leur prolifération excessive et de contrôler en partie leur développement en agissant sur le déroulement de leur comportement reproducteur (Grandcolas, 1996).

Du fait de leur facilité d'élevage, les blattes sont des insectes étudiés depuis longtemps au laboratoire ce qui permet de tester de nouveaux insecticides de synthèse ou des molécules, ayant un effet insecticide, issues de la nature et donc moins toxiques pour l'homme et les animaux domestiques. C'est le cas de deux biopesticides, ou bioinsecticides, que nous avons utilisé au cours de ce travail afin d'étudier en détail leur impact (seuls ou en mélange) sur le comportement et le potentiel reproducteur de *B. germanica* grâce à des observations comportementales (tests en enceintes, test en olfactomètre en Y, étude des hydrocarbures cuticulaires par chromatographie en phase-gazeuse, etc...).

Le premier composé que nous avons étudié est une des nouvelles molécules biologiques présentant un effet insecticide qui apparue sur le marché il y a quelques années : le spinosad (Thompson *et al.*, 2000). Ce composé, découvert dans la nature, est issue de la fermentation d'une bactérie : *Saccharopolyspora spinosa* (Mertz & Yao, 1990). Ce bioinsecticide est classé comme produit à risque réduit à cause de son mode d'action unique et de sa spécificité élevée à cibler les insectes nuisibles. De plus, l'intérêt majeur du spinosad est sa faible toxicité sur les mammifères, les poissons, les oiseaux, les insectes utiles et les êtres humains (Thompson & Hutchins, 1999 ; Celveland *et al.*, 2001 ; Cisneros *et al.*, 2002).

Le deuxième composé utilisé est également une autre bactérie vivant naturellement dans les sols : le *Bacillus thuringiensis* (ou Bt). Ce biopesticide est utilisé couramment depuis

plus de 30 ans dans le monde entier comme agent de lutte biologique pour combattre, surtout, les moustiques.

Après une étude de la toxicité des ces deux biopesticides sur la blatte germanique et afin de mieux cerner l'effet direct et/ou différé de ces deux produits, nous nous sommes penchés sur l'effet potentiel du spinosad et du Bt (*Bt var. kurstaki*) sur les différentes phases comportementales conduisant à l'accouplement, et ce, en utilisant des concentrations sublétales. La probabilité d'avoir un effet synergique entre le spinosad et le Bt a également été exploitée.

MATÉRIEL & MÉTHODES

1- *Blattella germanica* :

La blatte germanique, *B. germanica*, est une espèce de petite taille (10 à 15mm de longueur), qui se caractérise par une couleur brune tirant sur le jaune et par deux bandes longitudinales de couleur noire sur le pronotum. Elle est capable de se déplacer très rapidement (130 cm/seconde) et peut facilement grimper sur des surfaces verticales rugueuses ou lisses. Les adultes femelles sont de couleur plus sombre et possèdent un corps trapu et un abdomen arrondi, alors que chez les mâles l'abdomen est plus effilé.

Position systématique de l'insecte étudié

Embranchement : Arthropodes	Sous Embranchement : Mandibulates
Classe : Insectes	Sous-Classe : Aptérygotes
Super-Ordre : Blattopteroiidae	Ordre : Dictyoptera
Sous-Ordre : Blattaria	Super-Famille : Blaberoidae
Famille : Blattellidae	Sous-Famille : Blattellinae
Genre : <i>Blattella</i>	espèce : <i>germanica</i>

B. germanica est une espèce domestique cosmopolite (Gordon, 1996 ; Guillaumin *et al.*, 1969 ; Miller & Koehlen, 2003). Les adultes femelles, qui peuvent vivre près de 6 mois au laboratoire (Cornwell, 1968), produisent en moyenne 4 à 6 oothèques, contenant jusqu'à une trentaine d'œufs, durant leur vie. Les oothèques sont déposées près d'une source de nourriture peu avant l'éclosion (Tanaka, 1976 ; Gordon, 1996). Le temps d'incubation des œufs dépend des conditions extérieures. Dans les conditions de température les plus favorables (30°C environ), l'éclosion des larves a lieu 17 jours environ après l'accouplement. Les jeunes larves qui éclosent sont molles, de couleur blanchâtre et, après tannage de la cuticule en quelques heures, prennent une couleur brunâtre. Les larves sont aptères (Willis *et al.*, 1958). Le développement larvaire présente 5 à 7 stades successifs séparés par des mues (Wattiez & Beys, 1999) (Fig. 27).

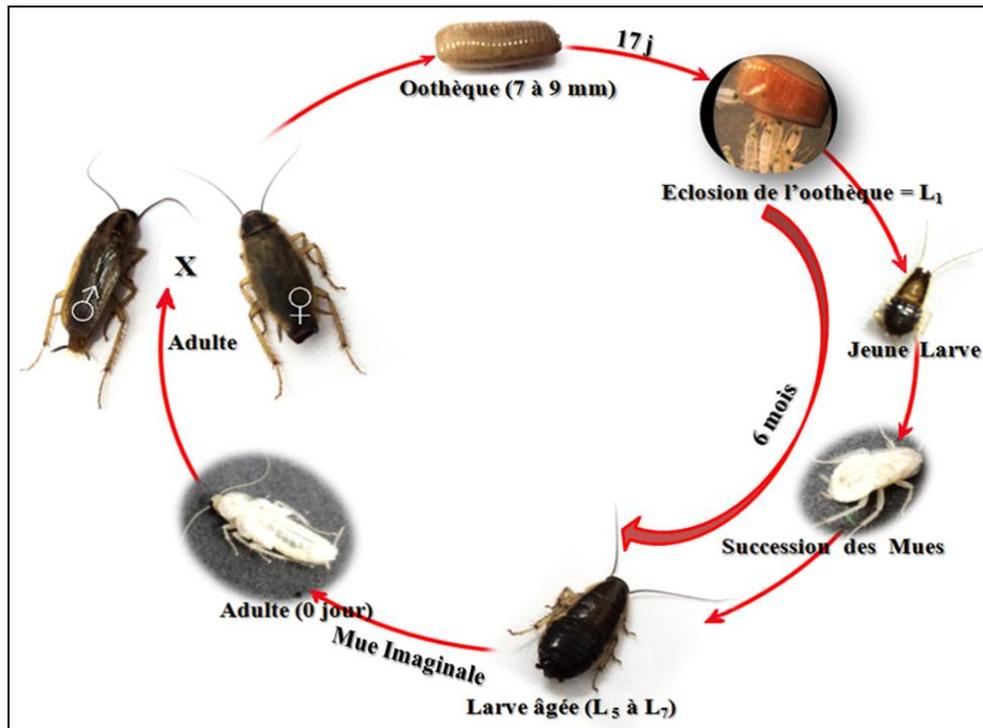


Figure 27. Cycle de développement de *B. germanica*

Comme la plupart des blattes, *B. germanica* est une espèce grégaire et nocturne. La journée, elle reste cachée dans des lieux chauds, humides et sombres : fissures de murs, tuyaux d'écoulement, cuisinières, placards, compartiments à moteur, réfrigérateurs. On la trouve en grand nombre dans les cuisines, les boulangeries, les magasins d'alimentation, les hôtels, les restaurants, les habitations, les hôpitaux, etc...) (Grandcolas, 1996).

Les blattes sont généralement omnivores et sont particulièrement attirées par les substances en fermentation et la nourriture destinée à la consommation humaine (Gordon, 1996) ; cette dernière peut être contaminée, soit par transfert mécanique des agents provoquant des maladies à partir du corps de l'insecte, soit par transmission dans les excréments. Les blattes représentent des vecteurs potentiels de maladies comme la dysenterie, les gastroentérites, la fièvre typhoïde et la poliomyélite ; elles peuvent causer des réactions allergiques graves (Durier & Rivault, 2003).

2- Etude des populations dans les sites urbains :

Après avoir effectué un inventaire des blattes dans les différents sites urbains étudiés (voir le chapitre I), nous avons pu voir que la blatte germanique représentait l'espèce la plus abondante en milieu urbain. Afin de mieux cerner la structure de la population de cet insecte, les individus récoltés sur les différents sites sont emmenés au laboratoire afin d'être répartis par stade de développement et par sexe (larves, mâles, femelles).

3- Elevage de masse :

Les blattes que nous avons utilisées pour nos recherches proviennent d'un élevage de l'ex-Laboratoire « Communication Chimique chez les Insectes » (CNRS, UMR5548) de l'Université de Bourgogne à Dijon (France). Ces insectes n'ont jamais été mis en contact avec des insecticides.

Les élevages de masse (Fig. 28) se font dans des boîtes en plastiques transparentes présentant des orifices grillagées. Des cartons à œufs font office d'abris. Les blattes sont nourries de biscuits pour chien (Royal Canin) et abreuvés grâce à des tubes remplis d'eau et bouchés par du coton ; ces tubes assurent également l'humification du milieu. L'élevage est maintenu à une température de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, une hygrométrie de 70 à 80% et une scotophase de 12 : 12.



Figure 28. Elevage de masse de *B. germanica*

4- Elevage des adultes isolés :

Périodiquement, les larves les plus âgées sont prélevées dans les différents élevages de masse et regroupées entre elles, ce qui nous permet de récupérer les adultes dès la mue imaginale. Ces adultes vierges sont regroupés selon leur sexe. Ces insectes sont élevés dans les mêmes conditions décrites précédemment.

L'identification des mâles et des femelles se fait à l'œil nu grâce à la forme des ailes et à celle des extrémités abdominales ventrales (Fig. 29).

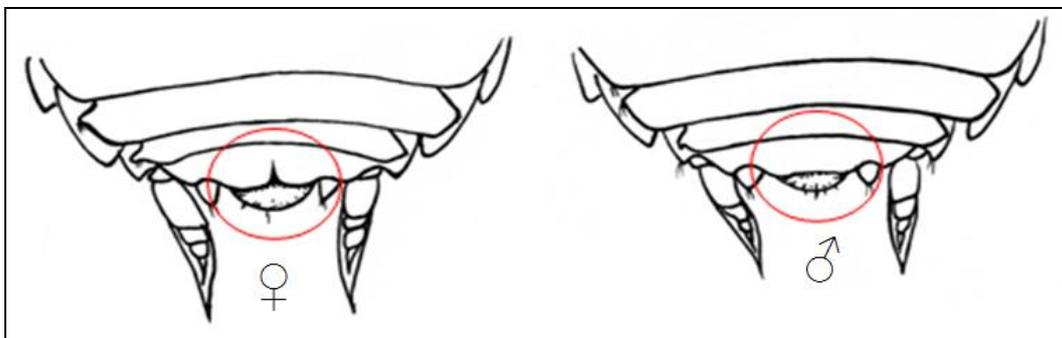


Figure 29. Plaques sous-génitales des femelles et des mâles de *B. germanica* (face ventrale de l'abdomen)

5- Potentiel reproducteur :

Après accouplement, vingt femelles de *B. germanica* sont élevées dans des boîtes en plastique munies d'orifices grillagés (12 x 9 x 4,5 cm). Une fois déposées par les femelles, les oothèques sont mesurées grâce à du papier millimétré. Les oothèques (N= 20) sont pesées sur une balance de précision (Kern-770; précision de 0,1 mg) avant et après éclosion afin de déterminer le poids de chaque oothèque. On note également la durée d'incubation des œufs (temps écoulé entre l'accouplement et le dépôt de l'oothèque), la date d'éclosion et le nombre de larves de premier stade (L1) qui éclosent. On a également disséqué des oothèques viables et non viables afin de déterminer le nombre d'œufs restants.

6- Traitements des adultes :

6.1- Les biopesticides utilisés :

a/ *Le Spinosad* : le spinosad se présente sous forme solide, de couleur gris pâle à blanc; sa formule chimique est $C_{41}H_{65}NO_{10}$ (Fig. 30; Tab. 23). C'est un produit phytosanitaire qui présente un effet insecticide (Thompson *et al.*, 2000). Elle est issue de la fermentation d'une bactérie, *Saccharopolyspora spinosa* (Fig. 31) (Mertz & Yao, 1990 ; Bret *et al.*, 1997 ; Thompson & Hutchins, 1999). Les produits de la fermentation de la bactérie sont deux métabolites biologiquement actifs baptisés spinosynes A et D (Spinosad est le nom donné au mélange des deux est spinosynes) (Mertz & Yao, 1990 ; Salgado *et al.*, 1998 ; Organic Materials Review Institute, 2002).

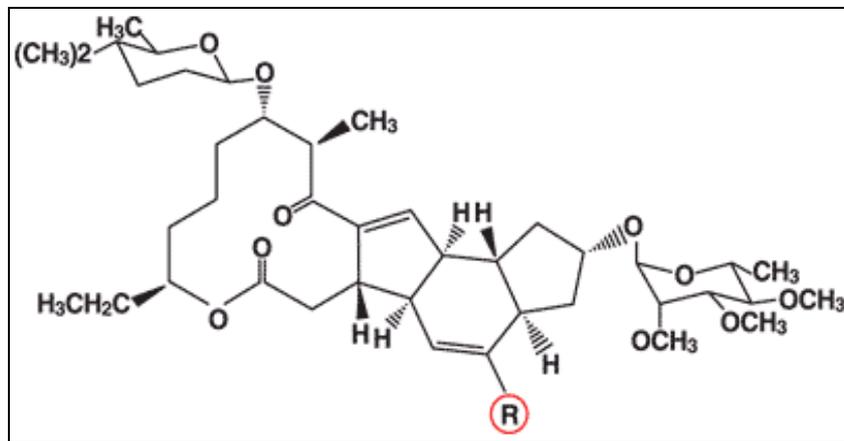


Figure 30. Structure du spinosad (R = H : spinosyne A ; R = CH_3 : spinosyne D)

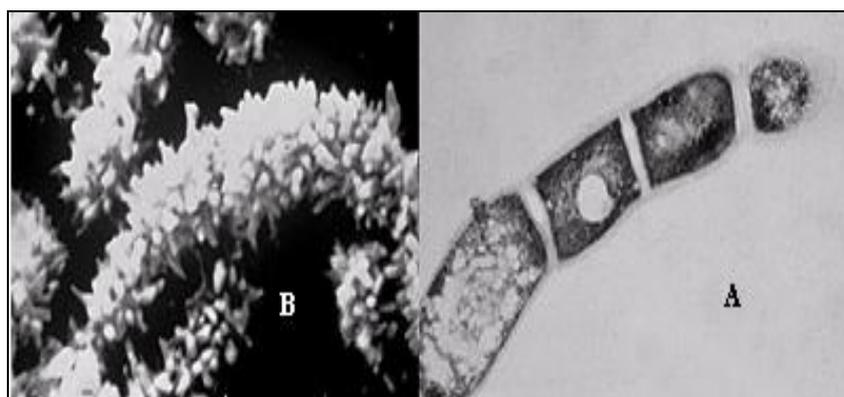


Figure 31. *Saccharopolyspora spinosa*, bactérie utilisée dans la production du spinosad (A : Coupe longitudinale de la bactérie B : Surface épineuse de la bactérie)

Tableau 23 : Propriétés physiques et chimiques du spinosad

Nom chimique	(<i>E, Z</i>)-1-(6-chloro-3-pyridylméthyl)- <i>N</i> -nitroimidazolidinylidène amine.
Nom proposé	Spinosad
Formule chimique	C ₄₁ H ₆₅ NO ₁₀
Poids moléculaire	731,45 g/mol
Apparence et odeur	Solide et d'une couleur gris pâle à blanc
Densité	0,512 g/ml à 20° C
Solubilité dans l'eau	290 ppm; eau pH 5 à 20° C 235 ppm; eau pH 7 à 20° C 16 ppm; eau pH 9 à 20° C
Solubilité dans les solvants organiques	Acétone, Acétonitrile, dichlorométhane, Acétate d'amyle, Hexane, Méthanol, Isopropanol, 1-Octanol, Toluène
Température de fusion	84,0 - 99,5°C

Le mode d'action du spinosad est unique : il agit, par contact ou ingestion, en dépolarisant les neurones de l'insecte, affectant à la fois les récepteurs GABA, les récepteurs nicotiniques et les récepteurs d'acétylcholine (Salgado, 1997 ; 1998), induisant ainsi la paralysie puis la mort de l'insecte.

Le spinosad est classé comme produit à risque réduit et utilisé comme bioinsecticide (Copping & Menn, 2000 ; Cineros *et al.*, 2002). Il a un mode d'action unique sur les insectes nuisibles et est très peu toxique pour les mammifères, poissons, oiseaux et êtres humains. Il peut être utilisé comme alternatif aux insecticides conventionnels dans les programmes de lutte intégrée des ravageurs (Thompson & Hutchins, 1999 ; Cleveland *et al.*, 2001 ; Cisneros *et al.*, 2002).

b/ Le *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (Bt) : c'est une bactérie qui vit dans le sol et les milieux aquatiques. Produit biologique d'origine naturelle, il est utilisé dans le contrôle des chenilles des Lépidoptères nuisibles aux plantes cultivées et aux essences forestières.

Le Bt a été isolé pour la première fois en 1901 par le bactériologiste japonais S. Ishiwata à partir de vers à soie *Bombyx mori* infectés. C'est un bacille Gram positif, aérobie et sporulé qui est étroitement apparenté à la bactérie *Bacillus cereus* ; il est pratiquement présent dans tous les types de sols. Les cellules végétatives mesurent 1µm de largeur sur 5µm de longueur et sont pourvues de courts flagelles ciliés. Le Bt est une bactérie ubiquiste qui se rencontre dans le sol, l'eau, l'air et sur le feuillage. Il se distingue du *B. cereus* par sa capacité à produire une protéine cristallisée durant la sporulation (Höfte & Whiteley, 1989 ; Martin, 1994). L'activité du Bt est due à une toxine présente dans les cultures sporulées, mais absente dans les jeunes cultures de cellules végétatives (Beegle & Yamamoto, 1992).

Le Bt produit un corps d'inclusion parasporal de nature cristalline durant la sporulation. Ce cristal est constitué de plusieurs types de protéines. Höfte et Whiteley (1989) ont proposé un système de classification qui repose, d'une part, sur la structure des protéines cristallisées et, d'autre part, sur la gamme d'hôtes. Une fois ingérés, les cristaux se dissolvent dans l'environnement alcalin de l'intestin moyen de l'hôte. Les protéines cristallisées exercent leurs effets sur l'hôte en lysant les cellules épithéliales de l'intestin moyen et en provoquant la paralysie du tube digestif. L'insecte infecté cesse alors de se nourrir et finit par mourir (Aronson *et al.*, 1986 ; Höfte & Whiteley, 1989 ; Lereclus *et al.*, 1993 ; Adang, 1991 ; Gill *et al.*, 1992 ; Bauer, 1995).

Lors de notre travail, nous avons utilisé le *B. thuringiensis* var. *kurstaki*, produit de commerce, sous forme de poudre (23000 UI). C'est un insecticide biologique, non dangereux qui est actuellement très utilisé par les agriculteurs (Fig. 32).



Figure 32. Le *B. thuringiensis* var. *kurstaki* utilisé pour les traitements des blattes

6.2- Mode opératoire :

a/ *Le spinosad* : juste après la mue imaginale, les jeunes adultes sont isolés et regroupés par 10 du même sexes dans des boîtes (12 x 9 x 4,5) cm contenant une croquette pour chien (aliment) et un tube d'eau additionné de diverses concentrations en spinosad. Après des essais préliminaires, nous avons utilisé plusieurs concentrations de spinosad : 25, 50, et 100 mg/l, 1 et 2 g/l. Chaque expérience est répétée trois fois (10 individus / répétition). Le lot témoin (n=10 individus) est abreuvé d'eau pure. Pendant 30 jours, on note quotidiennement le nombre d'individus morts.

b/ *Le B. thuringiensis var. kurstaki* : le même protocole expérimental que ci-dessus a été suivi pour le Bt en utilisant 4 concentrations : 1, 2, 20 et 200 g/l.

c/ *La synergie spinosad et Bt var. kurstaki* : Nous avons également étudié l'action potentielle d'un mélange spinosad / *Bt var kurstaki* à des concentrations subléthales, afin de déceler une éventuelle synergie.

Trois concentrations ont été utilisées : 12,5 mg de spinosad + 500 mg/l de Bt , 50 mg de spinosad + 1 g/l de Bt , et 125 mg de spinosad + 5 g:l de Bt.

Les tests de mortalité sont répétés 3 fois sur 10 mâles et 10 femelles par lot avec un lot témoin (n=10 individus). Le nombre d'individus morts est noté pendant 30 jours.

7- Effet des traitements sur le comportement sexuel :

7.1- Description du comportement sexuel :

Comme chez de nombreuses blattes, le comportement sexuel de *B. germanica* comprend cinq phases successives : l'attraction à distance du mâle, la reconnaissance mutuelle des partenaires après contacts antennaires, la parade du mâle, le léchage des glandes tergaux du mâle par la femelle et, enfin l'accouplement, (Tokro, 1984).

Toutes les observations comportementales ont été effectuées en lumière rouge de faible intensité (non visible par les blattes) pendant la période de nuit, dans les conditions de la salle d'élevage.

a/ *L'attraction à distance des mâles par les femelles* : chez *B. germanica* c'est toujours le mâle qui va vers la femelle (Fig. 33). La femelle adopte une position caractéristique, peu spectaculaire et difficile à observer (ouverture furtive de l'atrium génital), pendant qu'elle émet sa phéromone sexuelle (Liang & Shall, 1993b). Le mâle ne présente pas de modification comportementale et il n'y a pas de posture particulière associée à la détection la phéromone sexuelle femelle.



Figure 33. Attraction des mâles à distance

Il est très rare qu'un mâle se dirige directement vers la femelle qu'il a détecté et il lui faut environ une minute pour la percevoir. Une fois détectée, il se dirige directement vers elle, puis, arrivé à son contact, il fléchit ses pattes antérieures, baisse la tête, les antennes se

déplaçant dans toutes les directions jusqu'à ce qu'il entre en contact de la femelle (Fig. 34) (Nishida & Fukami, 1983).



Figure 34. Premier contact antennaire

b/ *La reconnaissance mutuelle après contacts antennaires* : lorsqu'un mâle arrive au contact d'une femelle, ses antennes sont presque verticales puis il les abaisse brusquement afin qu'elles entrent en contact avec celles de la femelle (Fig. 35). Souvent la femelle relève aussi ses antennes pour établir des contacts avec le mâle (Tokro, 1984). Les adultes mâles et femelles discriminent le sexe du partenaire grâce aux nombreux chimiorécepteurs de contacts présents sur leurs antennes (Nishida & Fukami, 1983 ; Masson & Brossut, 1981).

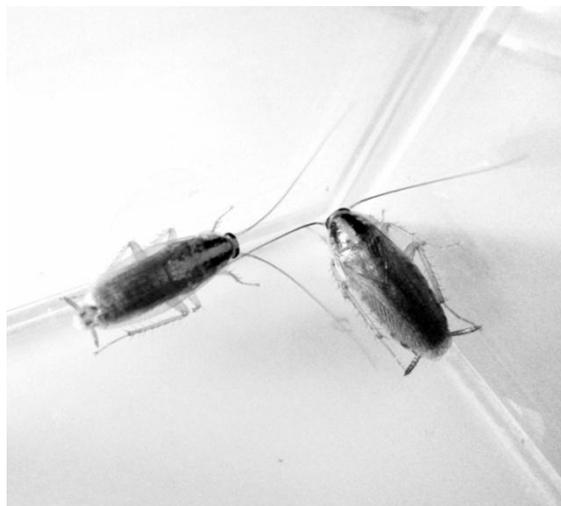


Figure 35. Contacts antennaires

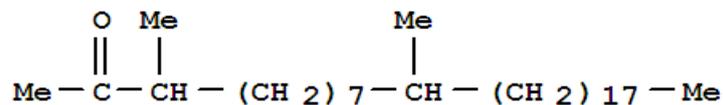
c/ *Le comportement de parade du mâle* : après les premiers contacts antennaires, le mâle se déplace autour de la femelle et relève brusquement ses ailes (Fig. 36). Les ailes, qui restent relevées quelques secondes (une minute au maximum), forment un angle de 30° à 90° environ avec le reste du corps.

En relevant ses ailes, le mâle découvre complètement ses tergites abdominaux sur lesquels se trouvent les glandes tergaux (partie antérieure des tergites 7 et 8). Au repos, ces glandes sont cachées par le bord postérieur des tergites 6 et 7, et par les ailes. Les glandes tergaux sont visibles à l'œil nu; il suffit de relever les ailes et de presser le thorax pour distendre l'abdomen. Souvent, on peut même apercevoir la sécrétion tergale (film liquide) au fond et au bord des dépressions cuticulaires. Pendant qu'il parade, les antennes du mâle restent toujours en contact avec le corps ou les antennes de la femelle (Nishida & Fukami, 1983).

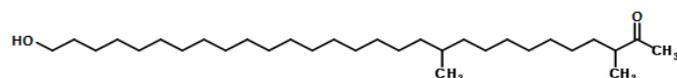


Figure 36. Parade du mâle

Le facteur principal responsable de la parade du mâle (ou "wing-raising posture") est de nature chimique et contenu dans les cires cuticulaires des femelles. Il s'agit de deux composés hydrocarbonés (hydrocarbures cuticulaires) non volatiles, le 3, 11-diméthyl-2-nonacosanone et le 29-hydroxy-3, 11-diméthyl-2-nonacosanone (Nishida & Fukami, 1983).



Formule chimique de la 3, 11-diméthyl-2-nonacosanone.



Formule chimique de la 29- hydroxy-3, 11-diméthyl-2-nonacosanone.

d/ *Le léchage des glandes tergaes du mâle par la femelle* : si la femelle est réceptive, elle monte sur le dos du mâle pour lécher les sécrétions tergaes, se plaçant ainsi dans une position propice à l'accouplement.

La sécrétion des glandes tergaes ne constitue pas uniquement un message sensoriel perçu par contact. Les palpes labiaux (surtout) de la femelle sont constamment en mouvement, mais l'observation des pièces buccales montre que la sécrétion est « léchée » et absorbée. Le léchage est assez bref (10 à 40 secondes).

Durant le léchage, la tête de la femelle est au-dessus des tergites 7 et 8, l'abdomen du mâle est aplati contre le sol, les cerques arrivant sous le thorax de la femelle (Fig. 37). Il arrive qu'une femelle léchant les sécrétions tergaes refuse de s'accoupler, elle s'éloigne alors du mâle qui la suit en gardant le contact antennaire, relevant de temps en temps les ailes, il continue de la suivre en la touchant de ses antennes puis finit par renoncer.



Figure 37. Léchage des glandes tergaes mâle par la femelle

e/ *L'accouplement* : lorsque la femelle est sur le dos du mâle, ce dernier étend progressivement son abdomen sous la femelle et agrippe les genitalia la femelle à l'aide de son phallomère. Une fois l'accouplement réalisé, le mâle se retourne et les deux individus se retrouvent en position opposée (Fig. 38). Tandis que le mâle reste immobile, la femelle est plus active et se déplace en "tirant" le mâle derrière elle. L'accouplement dure 45 à 70 minutes.



Figure 38. Accouplement

7.2- Etude des différentes séquences comportementales :

Tous les individus testés sont des adultes naïfs (mâles et femelles n'ayant jamais été en contact olfactif l'un de l'autre) arrivés à maturité sexuelle (âgés de 10 jours). Les tests se déroulent dans une salle obscure. Les observations se font dans une enceinte close ($18 \times 7 \times 12$ cm) sous lumière rouge de faible intensité (Fig. 39). Les conditions de température et d'humidité de la salle de test sont les mêmes que celle de l'élevage.

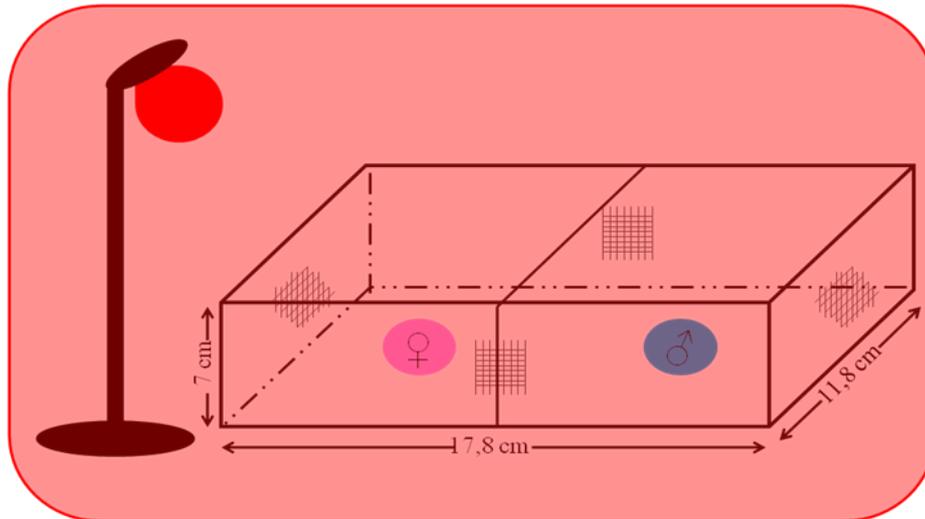


Figure 39. Enceinte utilisée pour les tests d'accouplement

Au commencement du test, on introduit une femelle à l'extrémité de l'enceinte et, quelques minutes après, un mâle, à l'extrémité opposée. Grâce à un chronomètre, on note le temps de premier contact antennaire entre les deux sexes, le temps de la première parade du mâle, le nombre de parades, le temps du premier léchage des sécrétions tergaux mâle par la femelle, le nombre de léchage, le temps de la première tentative d'accouplement et le nombre de ces tentatives. La durée d'accouplement, s'il est réussi, est aussi enregistrée.

Les tests ont été réalisés à partir de différents couples :

- mâles et femelles témoins (n= 10),
- mâles et femelles traitées (n= 10),
- mâles traités et femelles témoins (n= 10),
- mâles témoins et femelles traitées (n= 10).

7.3- Tests en olfactomètre en Y :

On utilise un olfactomètre bidirectionnel en verre en forme de Y de 2 cm de diamètre (branche principale : 30 cm de long, branches secondaires 20 cm de long) (Fig. 40).

L'olfactomètre est traversé par un faible courant d'air pur (fourni par un petit compresseur d'aquarium) filtré sur une cartouche de charbon activé. La vitesse du courant d'air, arrivant en amont des branches secondaires, est contrôlée par un débitmètre et fixée à 10 ml/min afin d'éviter toute réponse anémotactique de l'insecte.

Les individus à tester sont placés dans une petite boîte (6 x 5 x 4,5 cm) munie d'une porte grillagée (qui permet de libérer l'insecte dans la branche principale de l'olfactomètre). Un papier filtre (1 cm² environ) imbibé d'extrait à tester est placé, de façon aléatoire, en amont d'une des branches secondaires, 2 minutes avant le début du test. On dépose dans l'autre branche un papier filtre de même taille imbibé avec le même solvant qui a servi à faire les extraits (papier témoin).

Le début du test correspond au moment de la libération de la blatte dans la branche principale de l'olfactomètre. On note le temps de détection qui correspond au temps que met la blatte à arriver à l'intersection des deux branches, le choix de l'insecte et le temps qu'il met pour arriver à la source odorante (le papier filtre).

Ces tests se déroulent dans les mêmes conditions de température et d'obscurité citées plus haut.



Figure 40. Olfactomètre Bidirectionnel en Y. 1, Boîte de départ; 2, Olfactomètre; 3, Lampe rouge; 4, Compresseur; 5, débitmètre; 6, tuyaux d'arrivée d'air

7.4- Préparation des extraits :

Les adultes, mâles et femelles âgés de 10j, traités ou non, sont anesthésiés par le froid (-20°C) quelques minutes avant l'extraction. Dans des petits flacons contenant 1ml d'hexane, on plonge complètement un des insectes à extraire. Après cinq minutes d'extraction dans les conditions du laboratoire, les extraits sont filtrés sur laine de verre et stockés à -20°C jusqu'à leur utilisation.

Les différents extraits que nous avons utilisés sont les suivants :

- mâle et femelle témoins,
- mâle et femelle traités avec le spinosad (25 mg/l),
- mâle et femelle traités avec le Bt (1 g/l),
- mâle et femelle traités avec le mélange spinosad / Bt (12,5 mg spinosad + 500 mg/l Bt).

8. Etude des hydrocarbures cuticulaires :

8-1. Extraction des hydrocarbures :

Après anesthésie par le froid (-20°C), les adultes sont plongés individuellement dans 1ml de solvant (hexane distillé) contenant 50µg de C22 (docosane; standard interne). L'extraction dure 5 minutes à température ambiante (temps suffisant pour extraire la majorité des hydrocarbures cuticulaires). On retire les insectes du solvant et les extraits sont conservés à -20°C jusqu'à leur utilisation.

Les individus extraits sont des mâles et des femelles naïfs âgées de 10 jours, témoins ou traités avec des concentrations sublétales des biopesticides utilisés : 25 mg/l de spinosad, 1g/l de Bt et, pour la synergie, 12,5mg de spinosad + 500 mg/l de Bt. Les extraits sont ramenés à un volume de 250 µl par évaporation sous flux d'azote.

8-2- Analyse chimique des extraits (CPG) :

L'analyse des extraits a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse (CPG). Le chromatographe utilisé est un Varian CP 9000 équipé d'une colonne capillaire en silice fondue de polarité moyenne (DB 1701, 30 m x 0,32 mm de diamètre interne, épaisseur du film 1µm, Varian), d'un injecteur de type split-splitless (fuite de 20ml/min pendant 30sec), et d'un détecteur à ionisation de flamme. Le gaz vecteur est l'hydrogène (vitesse, 25ml/min à température ambiante). Les températures de l'injecteur et du détecteur sont respectivement de 280 et 290°C.

Le signal est enregistré sur PC, sous windows, et analysé grâce au programme Maestro (Chrompack). Chaque analyse est répétée sur quinze échantillons différents. La concentration

des différents composés quantifiés est calculée en fonction du facteur de réponse du standard interne (C22).

9- Analyses Statistiques des résultats :

9.1- Traitement des adultes :

En ce qui concerne les résultats obtenus pour l'étude toxicologique, nous avons calculé, selon les procédés mathématiques de Finney, les concentrations létales (CL50 et CL90) pour chacun des biopesticides utilisés.

Pendant les 30 jours d'exposition aux biopesticides, la variable mesurée est le nombre des individus morts quotidiennement. Le taux de mortalité observé est corrigé par la formule d'Abott qui permet de connaître la toxicité réelle des biopesticides. Les différents taux subissent une transformation angulaire d'après les tables de Bliss. Les données sont ainsi normalisées et font l'objet d'une analyse de variance sur XLStat 2009; les données obtenues sont alors transformées en probits, ce qui permet d'établir une droite de régression en fonction des logarithmes décimaux des concentrations utilisées. Le test Chi2 permet un bon ajustement de la droite (Finney, 1971). A partir de cette droite, on calcule les concentrations létales.

La même analyse statistique a été utilisée pour calculer les temps létaux de chaque concentration utilisée (TL50 et TL90). Le taux de mortalité observé pour chaque concentration est corrigé par la formule d'Abott, puis transformé d'après les tables de Bliss, ce qui nous permet de comparer les variances sur XLStat 2009. Ces taux sont aussi transformés en probits afin d'établir une droite de régression en fonction des logarithmes décimaux des temps d'exposition, un test Chi2 permettant un bon ajustement de la droite (Finney, 1971). A partir de cette droite, on peut alors calculer les temps létaux.

9.2- Rôles des biopesticides sur le comportement :

Les différents temps obtenus ont été analysés par des méthodes métriques descriptives donnant la moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum ainsi que la variance. Les résultats obtenus sont alors comparés en utilisant une analyse des variances (ANOVA) sur XLSTAT 2009.

Les résultats des tests de choix obtenus en olfactomètre sont comparés en utilisant la simulation de Monté-Carlo, basée sur un test Chi2 au seuil $p=0,05$ (Vaillant & Derrij, 1992).

RESULTATS

1- Etude des populations dans les sites urbains :

Le tableau 24 résume l'importance des différents stades de développement (larves, adultes mâles et femelles) présents aux différentes périodes de l'année dans les différents lieux étudiés. Aucun piégeage n'a été effectué de Juillet à Septembre. Sur 2500 individus capturés, plus de 54% sont des larves (tout stades confondus), 21% des mâles et seulement 8% des femelles.

La grande majorité des blattes capturées l'a été de Mars à Mai (49% de capture, dont 62% de larves, 17% de mâles et 21% de femelles) et de Novembre à Janvier (35% de capture, dont 50% de larves, 21% de mâles et 28% de femelles).

Tableau 24 : Structure de la population de *B. germanica* dans les sites urbains étudiés

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Oct	Nov	Déc	Total
Larves	144	89	448	121	188	15	50	184	110	1349
Mâles	45	58	113	29	68	10	53	75	67	518
Femelles	73	79	148	36	72	15	29	83	92	627

La structure de la population est variable en fonction des périodes de l'année (Fig. 41). Si les larves prédominent de Mars à Mai et de Novembre à Décembre, elles sont beaucoup moins abondantes en Février, Juin et Octobre où elles ne représentent que 38% des individus capturés. En Février et Juin, les adultes femelles sont un peu plus abondantes que les mâles (respectivement, 35 et 38% de femelles contre 26 et 25% de mâles) alors qu'en Octobre, elles sont deux fois moins abondantes que les larves et les mâles (respectivement, 22% de femelles, 38% de larves et 40% de mâles).

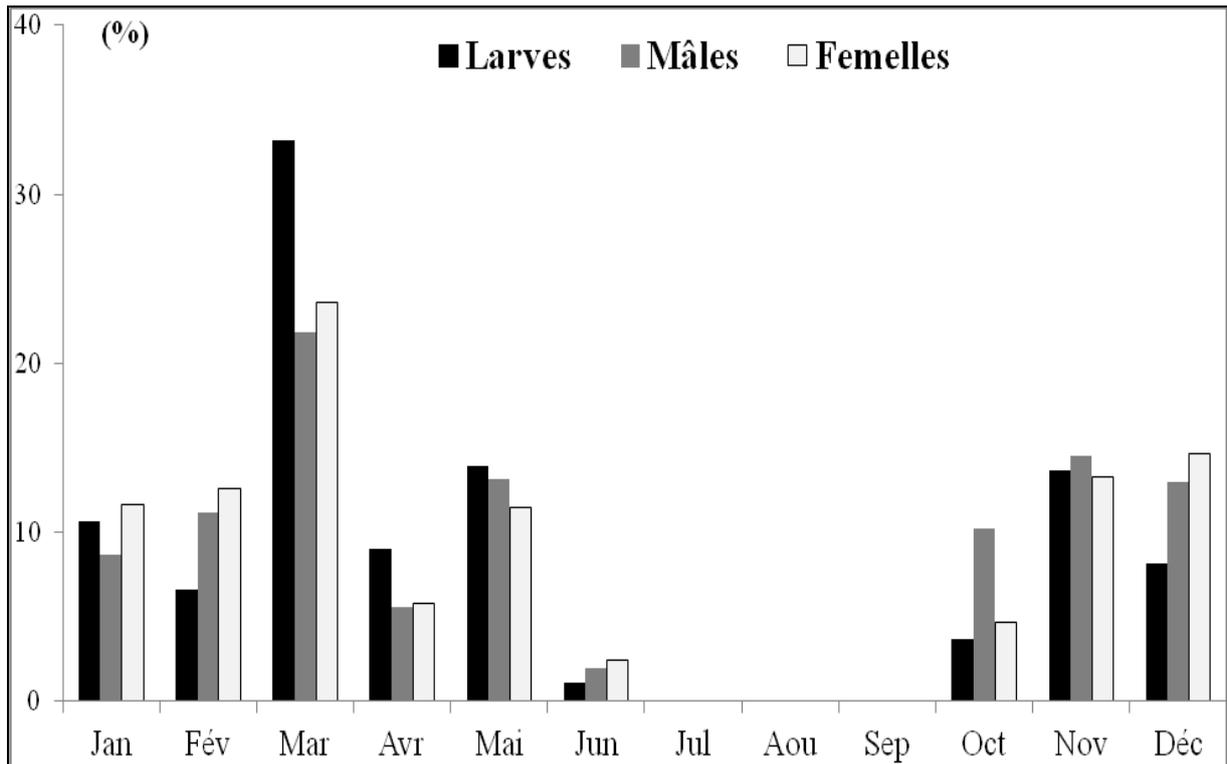


Figure 41. Structure de la population de *B. germanica* dans les sites urbains étudiés

2- Potentiel reproducteur :

Les tableaux 25 et 26 résument les résultats obtenus au cours de l'étude biométrique des oothèques collectées dans notre élevage de masse de *B. germanica*.

Les oothèques viables, qui donnent des larves, mesurent près de 7 mm avec un diamètre d'environ 3 mm; leur poids, qui est d'environ 28 mg avant éclosion perd près de 90% de son poids après l'éclosion des œufs. Le nombre de larves qui quittent ces oothèques est très variables (de 6 à 38) (Fig. 42 ; Tab. 25).

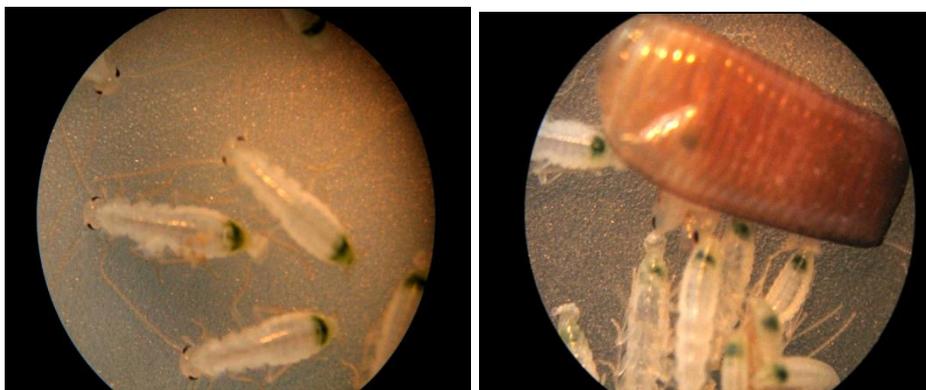


Figure 42. Larves de premier stade de *B. germanica* dès l'éclosion (Gr : x 9)

Tableau 25 : Morphologie des oothèques viables de *B. germanica* (n = 10)

Paramètres	Moy ± s	Var	Min	Max
Longueur (mm)	7,23 ± 0,43	1,81	4	9
Largeur (mm)	3,12 ± 0,15	0,22	2	3,7
Poids avant éclosion (mg)	27,83 ± 4,29	73,58	21	39,9
Poids après éclosion (mg)	2,46 ± 0,73	5,28	0,1	5,8
Nombre de L1	24,4 ± 2,73	74,27	6	38

[Moy ± s, Moyenne ± Ecart-type ; Var, Variance ; Min, Minimum ; Max, Maximum]

La longueur de l'oothèque est fortement corrélée au nombre d'individus qui quittent les oothèques viables (coefficient de corrélation : $R = 0,76$; $Y = 0,12 X + 4,33$) (Fig. 43A). Par contre, la relation entre le diamètre des oothèques viables et le nombre d'œufs montre une faible corrélation entre les deux paramètres ($R = 0,24$; $Y = 0,01 X + 2,79$) (Fig. 43B).

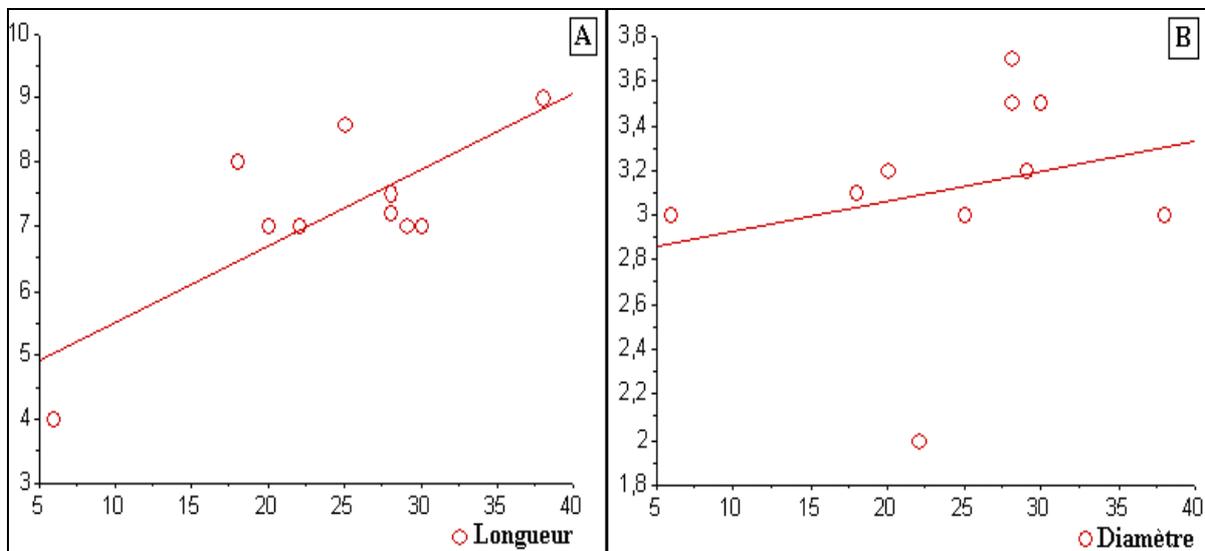


Figure 43. Droite de régression des oothèques viables de *B. germanica*. A, relation entre le nombre d'œufs et la longueur de l'oothèque ; B, relation entre le nombre d'œufs et le diamètre de l'oothèque

En ce qui concerne la relation entre le poids des oothèques viables avant éclosion et le nombre des larves de premier stade, l'analyse statistique indique une faible corrélation entre les deux paramètres ($R = 0,53$) (Fig. 44A). L'analyse ne montre aucune corrélation entre le

poids après éclosion et le nombre d'individus dans les oothèques ($R = 0,1$ et $Y = 0,03 X + 1,84$) (Fig. 44B).

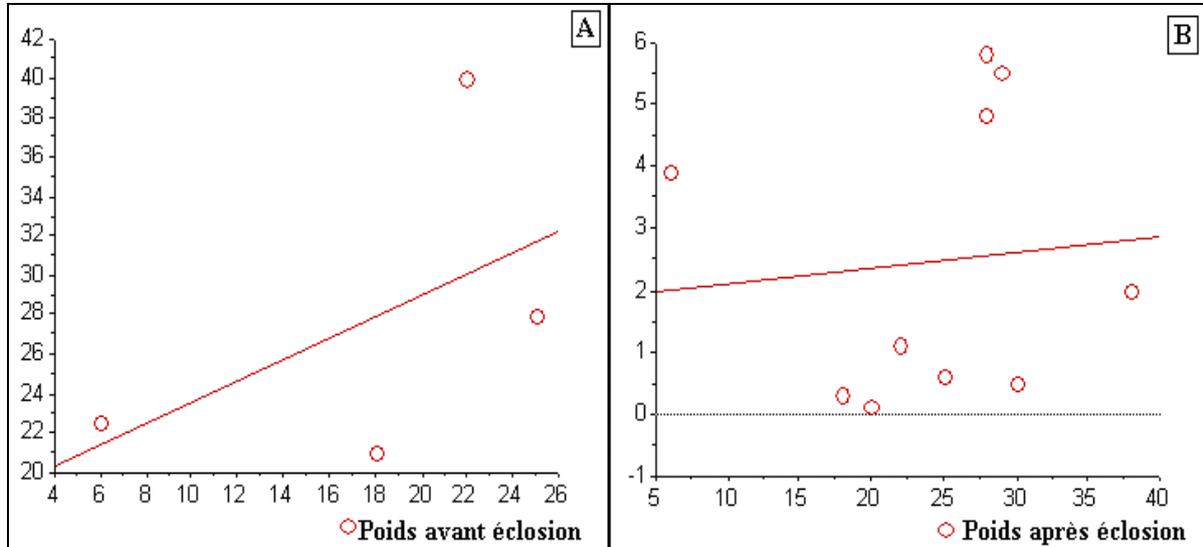


Figure 44. Droite de régression des oothèques viables de *B. germanica*. A, relation entre le nombre d'œufs et le poids avant éclosion ; B, relation entre le nombre d'œufs et le poids après éclosion

Les oothèques dont les œufs n'ont pas éclos mesure, comme dans le cas des oothèques viables, près de 7mm et environ 3 mm de diamètre. Par contre, le poids de ces oothèques varie énormément avant éclosion (entre 8 et 39 mg) ce qui explique que la variance soit égale à 128,06 (Tab. 26). Cette variance s'explique par une différence très importante au niveau des embryons dans chaque oothèque. En effet, la dissection de ces dernières indique qu'un certain nombre de L1 (17 individus par oothèque au maximum) n'ont pas terminé leur développement embryonnaire (Fig. 45).

Tableau 26 : Morphologie des oothèques non viables de *B. germanica* (n = 10)

Paramètres	Moy ± s	Var	Min	Max
Longueur (mm)	6,58 ± 1,58	1,76	4,1	8
Largeur (mm)	2,87 ± 0,01	0,015	2,6	3
Poids (mg)	25,2 ± 115,25	128,06	7,6	38,6
Nombre de L1	7 ± 8,71	76	3	17

[Moy ± s, Moyenne ± Ecart-type ; Var, Variance ; Min, Minimum ; Max, Maximum]

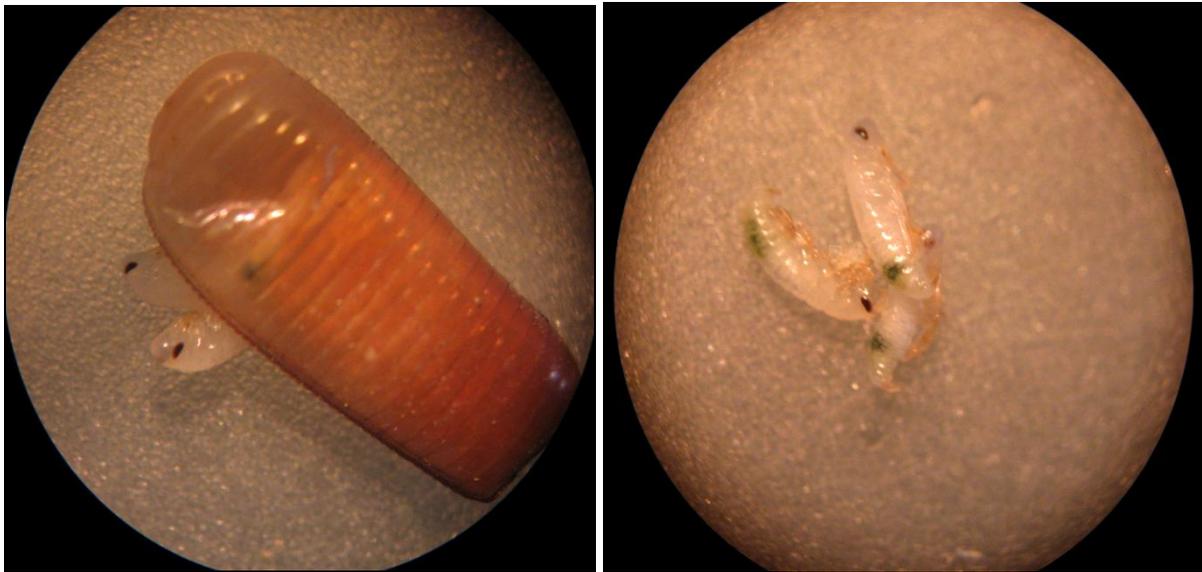


Figure 45. Embryons d'oothèques non viables de *B. germanica* (Gr : x 9,5)

3- Comportement sexuel :

Les résultats consignés dans les tableaux 27 et 28 résument les différents temps enregistrés tout au long des tests d'accouplement (individus témoins âgés de 10 jours).

Sur 15 couples, nous avons enregistré 6 accouplements réussis, 8 accouplements avortés (malgré les différentes tentatives d'accrochage de la femelle par le mâle, l'accouplement final n'a pas eu lieu) et un accouplement nul (aucune tentative d'accouplement).

3.1- Accouplement réussis :

Le tableau 27 résume les différents temps enregistrés pour les accouplements réussis.

Dans tous les cas, c'est toujours le mâle qui se dirige vers la femelle. Les mâles mettent près de 70 sec pour établir les premiers contacts antennaires avec la femelle. Les contacts antennaires constituent une phase primordiale de la parade du mâle.

La première parade des mâles (relèvement des ailes) à lieu une quinzaine de secondes après le premier contact antennaire. Après parades, en moyenne, la réponse des femelles se traduit toujours par un léchage des sécrétions tergaux du mâle environ 2 minutes après et les mâles ne tentent de s'accoupler une minute après le premier léchage après un certain nombre d'essais (3 à 8 fois).

Les individus testés mettent près de 30 minutes pour s'accoupler. La durée d'accouplement est d'environ 1 heure 30.

Tableau 27 : Durée des différentes séquences du comportement sexuel de *B. germanica*. (Accouplements réussis). n = 6

	Temps de Latence	1ère Parade (sec)	Nombre de Parades	1er Léchage (sec)	Nombre de Léchages	1ère Tentative d'accouplement (sec)	Nombre de Tentatives d'accouplement	Temps avant accouplement (min)
Moy ± s	70 ± 20	95 ± 13	4 ± 1	212 ± 33	8 ± 1	278 ± 60	5 ± 1	30 ± 7
max	120	123	7	300	10	480	8	60
mini	5	55	2	120	6	130	3	12
var	2350	984	5	6664	2	21697	4	330
Méd	75	106	3	215	8	247	5	25

[Moy ± s, Moyenne ± écart-type ; max, maximum ; mini, minimum ; var, variance ; Méd, Médiane].

3.2- Accouplement avortés :

Le tableau 28 résume les différents temps enregistrés pour les accouplements avortés.

Comme dans le cas des accouplements réussis, c'est le mâle qui se dirige vers la femelle mais, comparativement, il faut près de deux fois moins de temps pour qu'ils établissent les premiers contacts antennaires. La variance est élevée et s'explique par l'existence d'importantes variations individuelles parmi les insectes testés.

Les mâles sont plus longs à parader, les femelles mettent autant de temps pour commencer le premier léchage et les mâles plus long à s'accoupler.

Le nombre de parades observé chez les mâles est équivalent au cas précédent, le nombre de léchage du mâle par la femelle ainsi que le nombre de tentatives d'accouplements est un peu moins élevé.

La comparaison des moyennes montre qu'il n'existe aucune différence significative entre le temps de premier contact antennaire enregistré pour les accouplements réussis et avortés ($\alpha=0,05$; $t= -1,047$; $p : 0,316$). La même comparaison réalisée sur les temps de la première parade, du premier léchage et celui de la première tentative d'accouplement montre que la différence entre les moyennes n'est pas significative ($t= 0,343$; $p : 0,738$ / $t= 0,128$; $p : 0,900$ / $t=1,089$; $p : 0,297$).

Tableau 28 : Durée des différentes séquences du comportement sexuel de *B. germanica* (Accouplements avortés). $n = 8$

	Temps de Latence	1ère Parade (sec)	Nombre de Parades	1er Léchage (sec)	Nombre de Léchages	1ère Tentative d'accouplement (sec)	Nombre de Tentatives d'accouplement
Moy ± s	46 ± 28	105 ± 23	4 ± 1	218 ± 28	6 ± 1	347 ± 32	3 ± 1
max	96	180	7	300	8	480	5
mini	3	6	1	60	2	230	1
var	798	2558	5	2880	5	7818	2
Méd	45	98	4	240	6	343	3

[Moy ± s, Moyenne ± écart-type ; max, maximum ; mini, minimum ; var, variance ; Méd, Médiane].

3.3- Accouplements Nuls :

Sur les 15 couples testés un seul couple n'a jamais tenté de s'accoupler. Dans ce cas, le mâle est entré en contact avec la femelle au bout de 60 sec ; deux parades ont été enregistrées après 65 sec ainsi que 4 léchages du mâle par la femelle après 360 sec.

3.4- Attractivité à distance d'extraits totaux d'adultes (olfactomètre en Y) :

Nous avons étudié l'attraction des adultes (mâles et femelles âgés de 5, 10 et 15 jours) par des extraits totaux de mâles ou de femelles (âgées de 5, 10 et 15 jours). Les tableaux 29 à 31 résument les résultats obtenus (Tab. 29).

Comme le montrent nos résultats, alors que les extraits de mâles âgés de 5 jours attirent plus de 80% de mâles ou de femelles, les extraits de femelles âgées de 5 jours n'attirent que femelles.

Tableau 29 : Pourcentages d'attractivité des adultes de *B. germanica* par des extraits de mâles et femelles âgés de 5 jours (olfactomètre en Y)

	Extraits mâles			Extraits femelles		
	A	NA	p	A	NA	p
♂	80	20	0,947 (S)	50	50	NS
♀	85	15	0,988 (S)	80	20	0,947 (S)

[A, Attiré ; NA, Non Attiré ; S, Significatif ; NS, Non Significatif]

Les extraits de mâles âgés de 10 jours attirent plus de femelles que de mâles alors que les extraits femelles sont un peu moins attractifs vis-à-vis des mâles que des femelles (Tab. 30).

Tableau 30 : Pourcentages d'attractivité des adultes de *B. germanica* par des extraits de mâles et femelles âgés de 10 jours (olfactomètre en Y)

	Extraits mâles			Extraits femelles		
	A	NA	p	A	NA	p
♂	80	20	0,947 (S)	70	30	0,752 (NS)
♀	100	0	1,000 (S)	80	20	0,947 (S)

[A, Attiré ; NA, Non Attiré ; S, Significatif ; NS, Non Significatif]

Lorsque les extraits sont réalisés avec des adultes âgés de 15 jours, ces derniers attirent fortement tous les adultes testés (Tab. 31).

Tableau 31 : Pourcentages d'attractivité des adultes de *B. germanica* par des extraits de mâles et femelles âgés de 15 jours (olfactomètre en Y)

	Extraits mâles			Extraits femelles		
	A	NA	p	A	NA	p
♂	90	10	1,000 (S)	97	3	1,000 (S)
♀	80	20	1,000 (S)	100	0	1,000 (S)

[A, Attiré ; NA, Non Attiré ; S, Significatif ; NS, Non Significatif]

4- Les hydrocarbures cuticulaires des adultes :

Les analyses chromatographiques révèlent que les cires cuticulaires des adultes de *B. germanica* sont composées essentiellement de 25 composés hydrocarbonés (Fig. 46). D'un point de vue qualitatif, tous les composés sont présents chez les mâles et les femelles. Le 9-, 11- & 13-methylheptacosane (pic 2), le n-nonacosane (pic 12), les 9-, 11-, 13- & 15-methylnonacosane (pic 13), le 5-methylnonacosane (pic 15), les 11,15- & 13,17-dimethylnonacosane (pic 16), le 3-methylnonacosane (pic 17) et les 3,7-, 3,9- & 3,11-dimethylnonacosane (pic 19) sont les composés majoritaires chez les deux sexes.

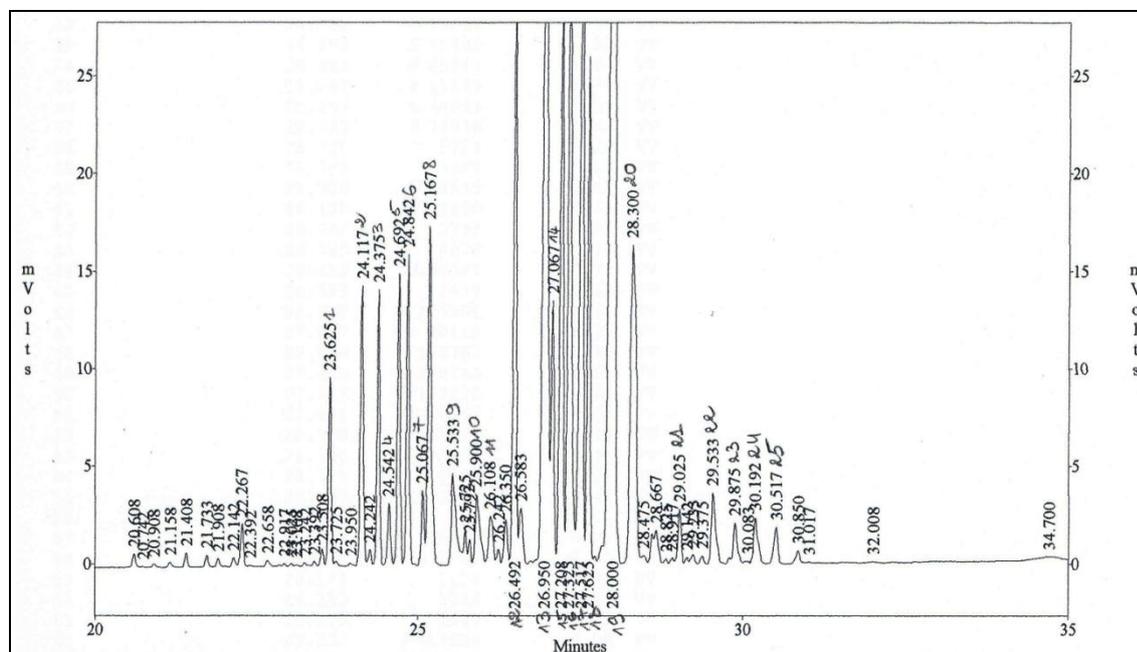


Figure 46. Profil chromatographique des hydrocarbures cuticulaires des mâles et des femelles de *B. germanica*

Les quantités d'hydrocarbures diffèrent en fonction du sexe sont plus d'une fois et demi plus élevées chez les femelles que chez le mâles (cela est peut être lié à la taille de l'insecte ; les femelles étant plus grosses que les mâles). Cependant, nous pouvons remarquer

que certains composés (pics 2, 3) sont en quantité plus importante chez le mâle que chez la femelle.

Tableau 32 : Quantités (μg) et ratio (%) des différents hydrocarbures cuticulaires chez les adultes mâles et femelles de *B. germanica* âgés de 10 j

Pics	Molécules	Mâles Témoins	Ratio	Femelles Témoins	Ratio	Variation d'Indice
1	n-Heptacosane	0,94 \pm 0,08	2,9	0,98 \pm 0,05	2,0	-0,02
2	9-,11- & 13-Methylheptacosane	2,63 \pm 0,22	8,1	1,43 \pm 0,10	2,9	0,30
3	5-Methylheptacosane	1,45 \pm 0,13	4,4	1,28 \pm 0,09	2,6	0,06
4	11,15-Dimethylheptacosane	0,33 \pm 0,03	1,0	0,39 \pm 0,03	0,8	-0,08
5	3-Methylheptacosane	1,39 \pm 0,11	4,3	1,53 \pm 0,08	3,1	-0,05
6	5,9- & 5,11-Dimethylheptacosane	0,53 \pm 0,06	1,6	0,83 \pm 0,13	1,7	-0,22
7	n-Octacosane	0,24 \pm 0,02	0,7	0,37 \pm 0,02	0,7	-0,21
8	3,11- & 3,9-Dimethylheptacosane	0,66 \pm 0,08	2,0	1,13 \pm 0,18	2,3	-0,26
9	12- & 14-Methyloctacosane	0,49 \pm 0,03	1,5	0,63 \pm 0,03	1,3	-0,12
10	2-Methyloctacosane	0,36 \pm 0,02	1,1	0,62 \pm 0,03	1,2	-0,26
11	4-Methyloctacosane	0,21 \pm 0,01	0,6	0,35 \pm 0,01	0,7	-0,26
12	n-Nonacosane	1,55 \pm 0,11	4,8	2,96 \pm 0,18	6,0	-0,31
13	9-,11-, 13- & 15-Methylnonacosane	5,89 \pm 0,37	18,1	7,16 \pm 0,32	14,5	-0,10
14	7-Methylnonacosane	0,85 \pm 0,06	2,6	1,12 \pm 0,06	2,3	-0,14
15	5-Methylnonacosane	1,99 \pm 0,14	6,1	3,15 \pm 0,20	6,4	-0,23
16	11,15- & 13,17-Dimethylnonacosane	2,35 \pm 0,14	7,2	4,70 \pm 0,21	9,5	-0,33
17	3-Methylnonacosane	2,11 \pm 0,12	6,5	4,29 \pm 0,18	8,7	-0,34
18	5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	1,29 \pm 0,10	4,0	2,39 \pm 0,14	4,8	-0,30
19	3,7-, 3,9- & 3,11-Dimethylnonacosane	4,51 \pm 0,32	13,9	9,61 \pm 0,51	19,4	-0,36
20	11-, 13- & 15-Methyltriacontane	0,78 \pm 0,08	2,4	1,81 \pm 0,19	3,6	-0,39
21	4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	1,37 \pm 0,09	4,2	1,66 \pm 0,06	3,4	-0,10
22	11-, 13- & 15- Methylhentriacontane	0,34 \pm 0,03	1,0	0,41 \pm 0,02	0,8	-0,10
23	13,17- & 11,15-Dimethylhentriacontane	0,13 \pm 0,01	0,4	0,27 \pm 0,01	0,6	-0,37
24	5,9- & 5,11-Dimethylhentriacontane	0,10 \pm 0,01	0,3	0,32 \pm 0,02	0,6	-0,51
25	10 & 12-Methyldotriacontane	0,06 \pm 0,01	0,2	0,13 \pm 0,01	0,3	-0,39
Total		32,56 \pm 1,99		49,52 \pm 2,12		

5- Toxicité du spinosad sur les adultes :

Nous avons testé l'activité de diverses concentrations du spinosad sur la mortalité des mâles et des femelles.

5.1- Effet du spinosad sur la mortalité des mâles :

A la concentration de 25mg/l, le spinosad, provoque environ 7% de mortalité chez les mâles après 10 jours, 17 % après 15 jours et 42 % à la fin du 30ème jour d'exposition (Fig. 47). Pour les concentrations de 50 et 100mg/l, le taux moyen de mortalité des mâles est, respectivement, de 13 et 17% à 10 jours, de 53 et 40% à 15 jours et de 73% à 30 jours (Fig. 43). La mortalité des mâles augmente lorsqu'on utilise des concentrations de 1 (47% à 10 jours) et 2 g/l (93 % à 10 jours). A ces deux concentrations, tous les mâles meurent au bout de 15 jours (Fig. 43).

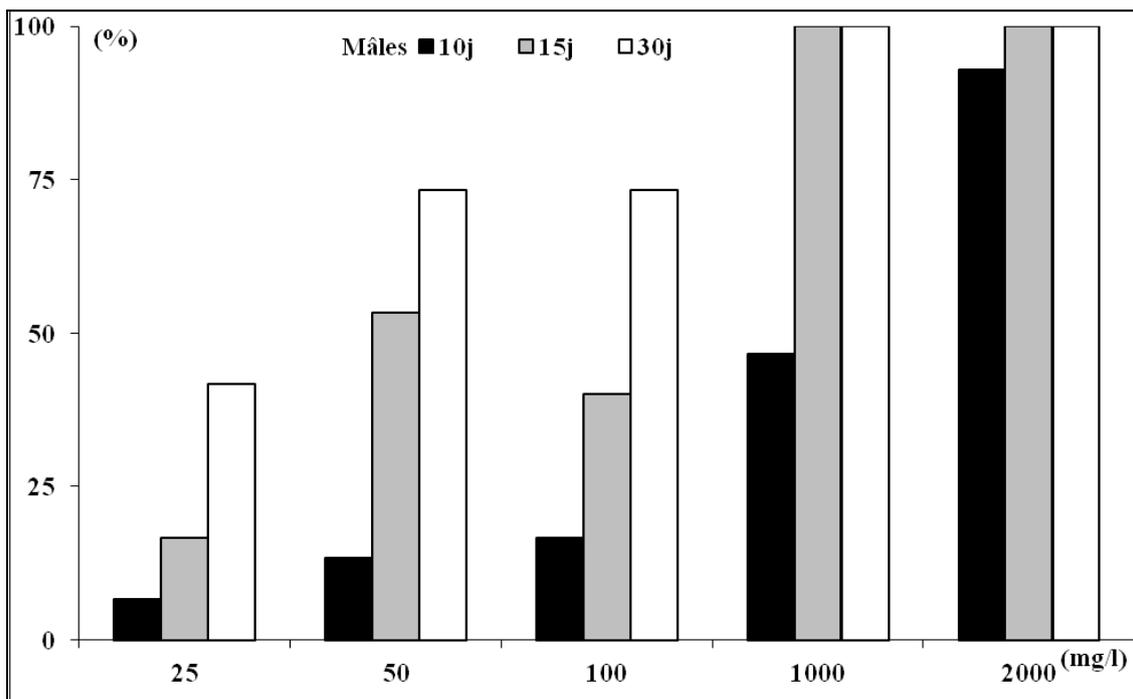


Figure 47. Pourcentages de mortalité corrigée chez les mâles traités par différentes concentrations de spinosad

La comparaison des variances des différentes concentrations utilisées (Tab. 33) montre qu'au seuil de significativité $\alpha = 0,05$, il n'existe pas de différence significative entre la mortalité enregistrée pour les quatre concentrations au bout de 10 et 15 jours. Par contre, au bout d'un mois, les différences significatives entre la mortalité enregistrée pour les quatre concentrations utilisées.

Concernant les concentrations de 25 et 100 mg/l, aucune différence significative entre les taux de mortalité enregistrés n'a pu être mis en évidence. Par contre, lors de l'exposition des mâles à 50 mg/l, 1 et 2 g/l de spinosad, il existe des différences significatives entre la mortalité enregistrée après 10 j, 15 j et 30 jours.

Tableau 33 : Pourcentages de mortalité corrigée chez les mâles traités par le spinosad

10 jours							
	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	1 g/l	2 g/l	Fobs	p
R1	10	20	20	50	100	3,02	0,07
R2	0	0	10	40	80		
R3	10	20	20	50	100		
Moy	6,67	13,33	16,67	46,67	93,33		
15 jours							
	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	1 g/l	2 g/l	Fobs	p
R1	0	80	20	100	100	3,15	0,09
R2	25	60	40	100	100		
R3	25	20	60	100	100		
Moy	16,67	53,33	40	100	100		
30 jours							
	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	1 g/l	2 g/l	Fobs	p
R1	25	80	80	100	100	7,96	0,009*
R2	75	80	60	100	100		
R3	25	60	80	100	100		
Moy	41,67	73,33	73,33	100	100		
Fobs	0,07	5,77	0,87	12,01	12		
p	0,93	0,04*	0,46	0,008*	0,004*		

[Moy, moyenne ; R, répétition ; *, différence significative]

5.2- Effet du spinosad sur la mortalité des femelles :

La figure 48 résume les différents taux de mortalité enregistrés pour les femelles.

Chez les femelles, la concentration 25 mg/l provoque 7% de mortalité après 10 jours et 27% après 15 et 30 jours. Plus on augmente la concentration de spinosad, plus le taux de mortalité augmente. A 50 et 100 mg/l, on observe 10 à 13% de mortalité après 10 jours, 33 à 53 % après 15 jours et 47 à 60% après 30 jours. Les plus fortes concentrations provoquent 13 (1 g/l) à 60 % (2 g/l) de mortalité après 10 jours d'exposition et 100 % de mortalité à partir du 15ème jour d'exposition.

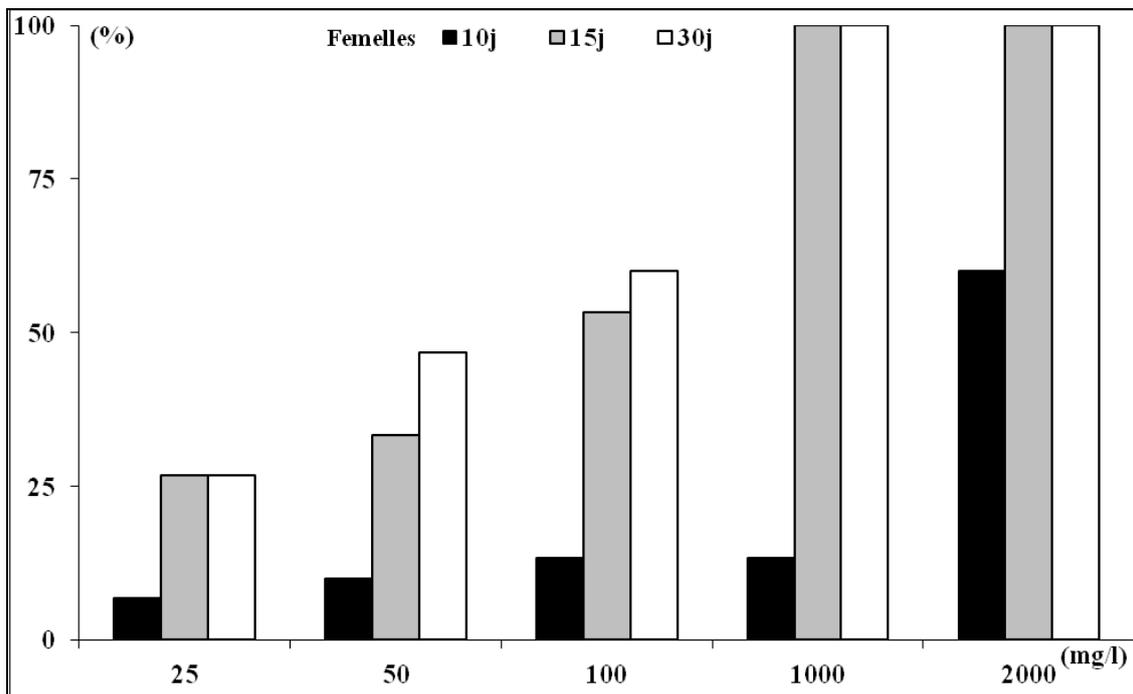


Figure 48. Pourcentages de mortalité corrigée chez les femelles traitées par différentes concentrations de spinosad

L'analyse statistique des résultats (Tab. 34) montre qu'il n'existe pas de différence significative entre la mortalité enregistrée pour les quatre concentrations au bout de 10 et 30 jours. Par contre, la comparaison des variances de la mortalité femelle à 15 jours, révèle l'existence de différences significatives entre la mortalité enregistrée pour les quatre concentrations. A 25 mg/l, il n'y a pas aucune différence significative entre les jours d'exposition. Le même résultat est obtenu avec les concentrations de 50 et 100 mg/l et 2 g/l, alors qu'à 1 g/l, il existe des différences significatives entre 10, 15 et 30 jours.

Tableau 34 : Pourcentages de mortalité corrigée chez les femelles traités par le spinosad :

10 jours							
	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	1 g/l	2 g/l	Fobs	p
R1	20	20	20	20	70	0,80	0,55
R2	0	0	0	0	40		
R3	0	10	20	20	70		
Moy	6,67	10,00	13,33	13,33	60,00		
15 jours							
	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	1 g/l	2 g/l	Fobs	p
R1	20	40	60	100	100	5,36	0,03*
R2	40	20	40	100	100		
R3	20	40	60	100	100		
Moy	26,67	33,33	53,33	100	100		
30 jours							
	25 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	1 g/l	2 g/l	Fobs	p
R1	20	40	80	100	100	2,49	0,13
R2	40	40	40	100	100		
R3	20	60	60	100	100		
Moy	26,67	46,67	60,00	100	100		
Fobs	3,02	1,40	0,92	16	4,39		
p	0,12	0,32	0,45	0,004*	0,07		

[Moy, moyenne ; R, répétition ; *, différence significative]

5.3- Paramètres toxicologiques du spinosad :

Les adultes de *B. germanica* exposés pendant 10, 15 et 30 jours au spinosad présentent des moyennes corrélées aux concentrations utilisées (Tab. 35).

Nos résultats montrent que, à 10 jours, les femelles sont beaucoup plus résistantes au traitement que ne le sont les mâles. A 15 jours, ces résultats s'estompent et les CL50 et CL90 sont comparables chez les deux sexes, alors qu'à 30 jours les femelles sont 2 fois plus sensibles que les mâles.

Tableau 35 : Paramètres toxicologiques du spinosad (concentrations létales)

Temps d'exposition	Mâles			Femelles		
	Droite de régression	CL50 (mg/l)	CL90 (mg/l)	Droite de régression	CL50 (mg/l)	CL90 (mg/l)
10j	$Y = 1,58 + 1,30 X$ ($R^2=0,88$)	427	4074	$Y = 2,54 + 0,66 X$ ($R^2= 0,64$)	5370	467735
15j	$Y = - 0,25 + 2,91 X$ ($R^2=0,93$)	63	174	$Y = -0,13 + 2,87 X$ ($R^2=0,95$)	62	170
30j	$Y = 1,23 + 2,44 X$ ($R^2=0,96$)	35	117	$Y = 1,66 + 2,79 X$ ($R^2=0,96$)	16	45

En ce qui concerne les temps létaux (Tab. 36), nos résultats révèlent qu'à des concentrations de 25 et 50 mg/l, faut 2 à 3 fois plus de temps pour obtenir 50 à 90% de mortalité chez les femelles, comparativement aux mâles. A 100 mg/l, 1 et 2 g/l, les résultats sont comparables chez les mâles et les femelles, bien que les temps létaux soient un peu plus élevés chez les femelles que chez les mâles.

Tableau 36 : Paramètres toxicologiques du spinosad (temps létaux)

Concentrations	Mâles			Femelles		
	Droite de régression	TL50 (j)	TL90 (j)	Droite de régression	TL50 (j)	TL90 (j)
25 mg/l	$Y = 0,85 + 2,61 X$ ($R^2=0,99$)	39	120	$Y = 2,09 + 1,63 X$ ($R^2= 0,62$)	60	371
50 mg/l	$Y = 0,66 + 3,44 X$ ($R^2=0,88$)	18	43	$Y = 1,54 + 2,34 X$ ($R^2=0,86$)	30	105
100 mg/l	$Y = 0,80 + 3,27 X$ ($R^2=0,99$)	19	47	$Y = 1,56 + 2,60 X$ ($R^2=0,72$)	21	65
1 g/l	$Y = -1,23 + 7,11 X$ ($R^2= 0,61$)	8	12	$Y = -3,89 + 9,02 X$ ($R^2=0,62$)	9	13
2g/l	$Y = 2,61 + 4,36 X$ ($R^2=0,62$)	3	7	$Y = -0,34 + 6,47 X$ ($R^2= 0,62$)	7	10

6- Toxicité du *B. thuringiensis* var. *kurstaki* (Bt) sur les adultes :

Nous avons testé l'activité de diverses concentrations de Bt sur la mortalité des mâles et des femelles âgés après 10, 15 et 30 jours d'exposition.

6.1- Effet du Bt sur la mortalité des mâles :

Comme le montrent nos résultats (Fig. 49), les taux de mortalité mâles sont très variables, non seulement en fonction du temps de traitement, mais également en fonction de sa concentration.

Les résultats obtenus avec des concentrations de 1 et 2g/l sont comparables : le taux de mortalité minimum observé des mâles est de 3% à 10 jours (2g/l) et le taux maximum est d'environ 25% à 30 jours. A 20g/l, la mortalité moyenne passe de 13% (10 j) à 53% (30 j), alors qu'à une concentration de 200g/l, ces taux chutent de façon importante (aucune mortalité à 10 jours et un maximum de 37% à 30 jours).

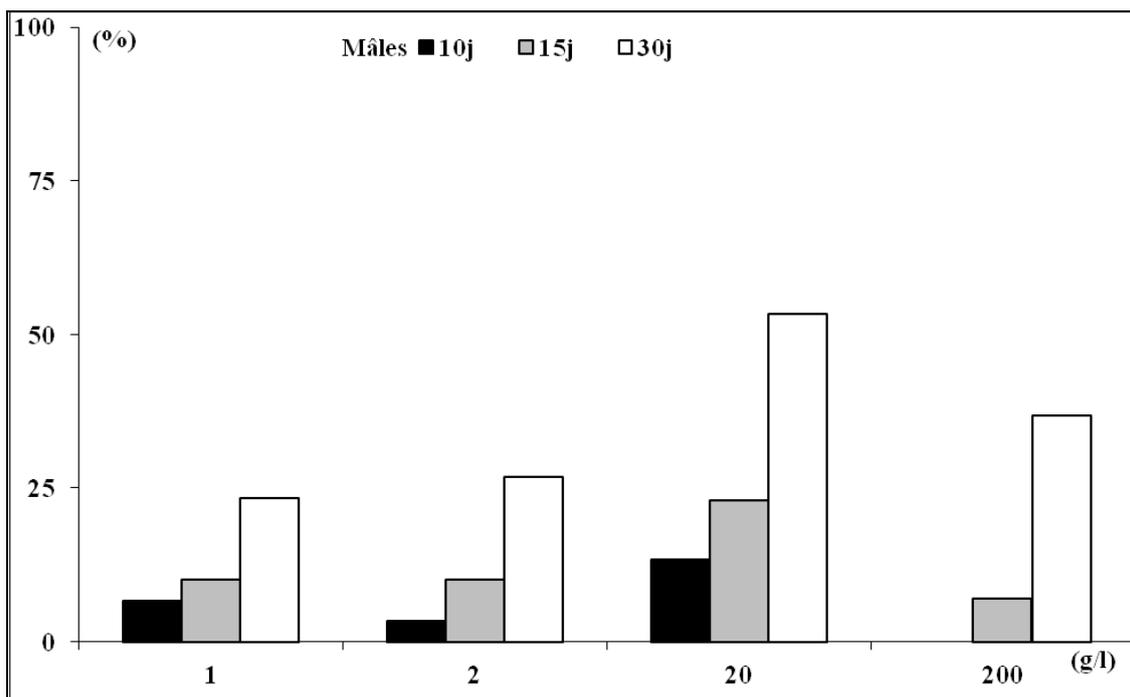


Figure 49. Mortalité corrigée des mâles traités avec différentes concentrations de Bt

Au seuil de significativité $\alpha = 0,05$, la comparaison des variances indique l'existence de différences significatives entre les différents taux de mortalité enregistrés pour les quatre concentrations au bout de 10 jours, alors qu'il n'existe aucune différence significative entre les taux de mortalités enregistrés pour les quatre concentrations au bout de 15 et 30 jours (Tab. 37).

En regardant les taux de mortalité obtenus avec les concentrations de 1 et 200g/l, pendant toute la durée du traitement, la différence est significative, alors que, pour les concentrations de 2 et 20g/l, aucune différence significative n'est visible (Tab. 37).

Tableau 37 : Pourcentages de mortalité corrigée des mâles traités par le Bt

10 jours						
	1 g/l	2 g/l	20 g/l	200 g/l	Fobs	p
R1	10	10	20	0	6,85	0,01*
R2	10	0	10	0		
R3	0	0	10	0		
Moy	6,67	3,33	13,33	0		
15 jours						
	1g/l	2 g/l	20 g/l	200 g/l	Fobs	p
R1	10	20	20	0	2,87	0,10
R2	10	10	50	10		
R3	10	0	0	10		
Moy	10	10	23,33	6,67		
30 jours						
	1g/l	2 g/l	20 g/l	200 g/l	Fobs	p
R1	30	40	70	20	0,75	0,55
R2	30	10	60	40		
R3	10	30	30	50		
Moy	23,3	26,7	53,3	36,7		
Fobs	8,19	0,17	2,14	5,35		
p	0,02*	0,85	0,20	0,05*		

[Moy, moyenne ; R, répétition ; *, différence significative]

6.2- Effet du Bt sur la mortalité des femelles :

La figure 50 résume les différents taux de mortalité enregistrés pour les femelles. Une très faible mortalité des femelles a été obtenue à la concentration de 1g/l (7% en 30 jours). L'effet des concentrations de 2 et 20 g/l sont comparables : 3% des femelles meurent en 10 jours et environ 20% au bout de 30 jours. A 200g/l, environ 10 % des femelles meurent à 10 et 15 jours et plus de 40 % en 30 jours.

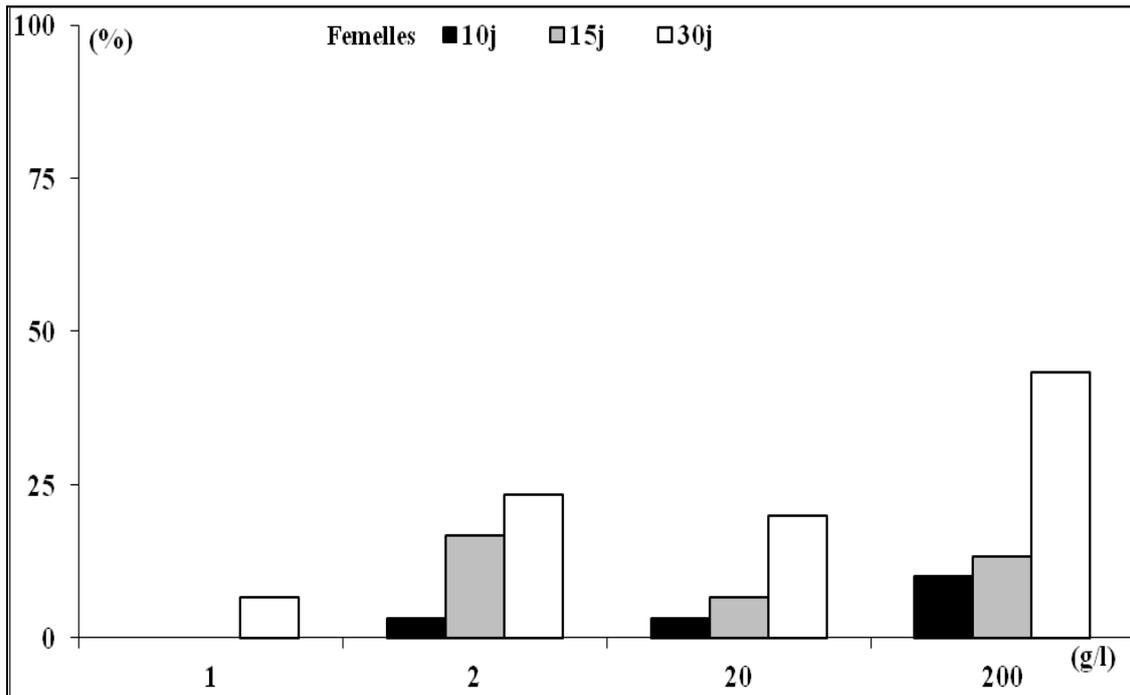


Figure 50. Mortalité des femelles traitées avec le Bt

La comparaison des variances des différentes concentrations utilisées montre qu'il existe des différences significatives entre la mortalité enregistrée pour les quatre concentrations, uniquement pour la période correspondant à 15 jours de traitement, et que seule la concentration de 1g/l montre des résultats significatifs au cours du temps (Tab. 38).

Tableau 38 : Pourcentages de mortalité corrigée des femelles traitées par le Bt

10 jours						
	1 g/l	2 g/l	20 g/l	200 g/l	Fobs	p
R1	0	0	0	20	3,98	0,05
R2	0	0	0	0		
R3	0	10	10	10		
Moy	0	3,33	3,33	10		
15 jours						
	1 g/l	2 g/l	20 g/l	200 g/l	Fobs	p
R1	0	10	10	20	7,79	0,009*
R2	0	20	0	0		
R3	0	20	10	20		
Moy	0	16,7	6,7	13,3		
30 jours						
	1 g/l	2 g/l	20 g/l	200 g/l	Fobs	p
R1	10	30	30	50	2,55	0,13
R2	0	20	10	40		
R3	10	20	20	40		
Moy	6,66	23,33	20	43,33		
Fobs	16	0,00	0,36	2,67		
p	0,004*	1,00	0,71	0,15		

[Moy, moyenne ; R, répétition ; *, différence significative]

6.3- Paramètres toxicologiques du Bt :

Les concentrations létales de Bt calculées pour 10, 15 et 30 jours d'exposition sont résumées dans le tableau 39. Comme le montrent nos résultats, les mâles sont, d'une façon générale, plus sensibles au Bt que les femelles à 10 et 15 jours. Si les CL50 sont équivalentes pour les deux sexes à 30 jours, les valeurs des CL90 sont 100 fois plus élevées chez les mâles que chez les femelles.

Tableau 39 : Paramètres toxicologiques du Bt (concentrations létales)

Temps d'exposition	Mâles			Femelles		
	Droite de régression	CL50 (g/l)	CL90 (g/l)	Droite de régression	CL50 (g/l)	CL90 (g/l)
10j	$Y = 3,92 - 1,31 X$ ($R^2 = 0,59$)	0,15	0,016	$Y = 1,37 + 1,17 X$ ($R^2 = 0,52$)	1259	15849
15j	$Y = 3,84 - 3,45 X$ ($R^2 = 0,01$)	0,45	0,20	$Y = 1,79 + 1,09 X$ ($R^2 = 0,35$)	871	13183
30j	$Y = 4,39 + 0,22 X$ ($R^2 = 0,39$)	589	$4 \cdot 10^8$	$Y = 3,75 + 0,45 X$ ($R^2 = 0,73$)	603	416869

En ce qui concerne les temps létaux, il existe une bonne corrélation positive entre la mortalité des adultes, due à un accroissement de la concentration de Bt et le temps d'exposition puisque le coefficient de corrélation varie entre 0,71 et 0,99 (Tab. 40). Plus les concentrations en Bt augmentent plus les temps létaux diminuent, et ce, aussi bien chez les mâles que chez les femelles.

Tableau 40 : Paramètres toxicologiques du Bt (temps létaux)

Concentrations	Mâles			Femelles		
	Droite de régression	TL50 (j)	TL90 (j)	Droite de régression	TL50 (j)	TL90 (j)
1 g/l	$Y = 2,31 + 1,34 X$ ($R^2 = 0,85$)	102	912	$Y = -5,68 + 6,08 X$ ($R^2 = 0,71$)	57	93
2 g/l	$Y = 1,41 + 2,05 X$ ($R^2 = 0,96$)	56	240	$Y = -5,41 + 7,01 X$ ($R^2 = 0,83$)	29	46
20 g/l	$Y = 1,86 + 2,17 X$ ($R^2 = 0,99$)	28	110	$Y = -5,43 + 6,92 X$ ($R^2 = 0,89$)	32	49
200 g/l	$Y = -6,12 + 7,62 X$ ($R^2 = 0,94$)	28	43	$Y = -6,18 + 7,78 X$ ($R^2 = 0,91$)	27	40

7- Action synergique du spinosad et du Bt sur les adultes :

Nous avons testé l'activité de divers mélanges de spinosad et de Bt sur la mortalité des mâles et des femelles.

7.1- Effet synergique sur la mortalité des mâles :

Comme le montre nos résultats (Fig. 51), l'ajout de Bt au spinosad, montre peu d'effets sur la mortalité des mâles si on compare les taux de mortalité obtenus avec l'utilisation du spinosad seul (Fig. 47).

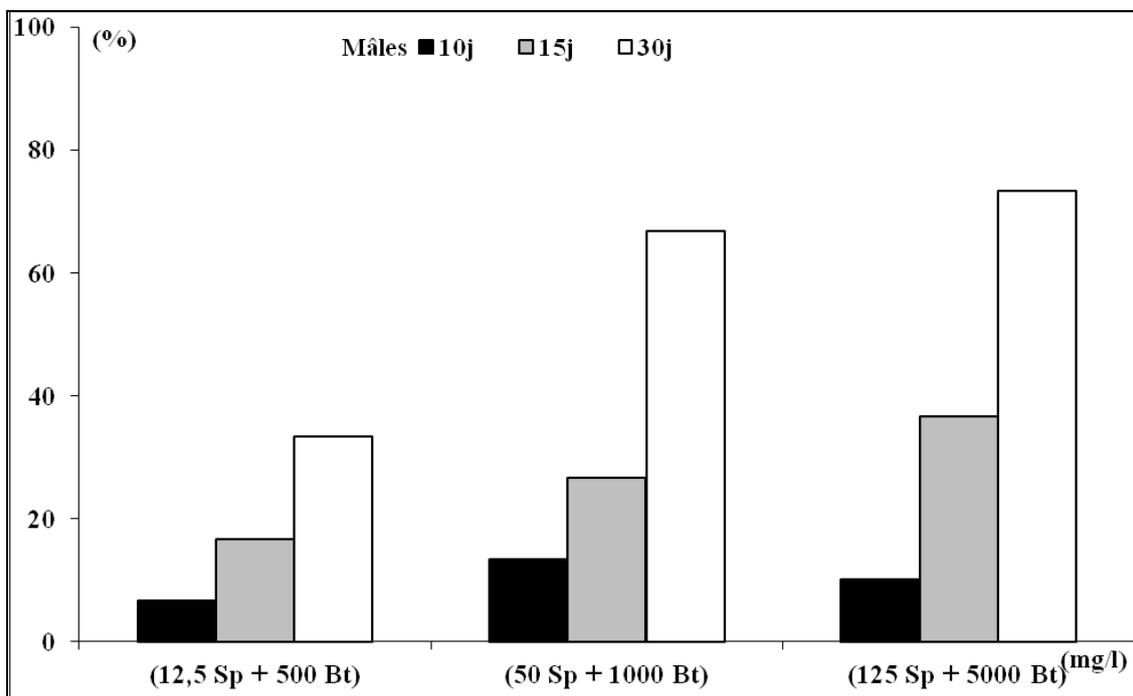


Figure 51. Mortalité corrigée des mâles traités avec le spinosad et le Bt en synergie

La comparaison des variances montre, qu'au seuil de significativité $\alpha=0,05$, il n'existe pas de différence significative entre les taux de mortalité enregistrés pour les trois concentrations utilisées lors des traitements de 10, 15 et 30 jours (Tab. 41).

En ce qui concerne les trois concentrations utilisées, la comparaison des variances entre la mortalité enregistrée après 10, 15 et 30 jours de traitements ne révèle également aucune différence significative entre les différents pourcentages de mortalité enregistrés (Tab. 41).

Tableau 41 : Pourcentages de mortalité corrigée des mâles traités par le spinosad et le Bt en synergie

10 jours					
	12,5 Sp + 500 Bt (mg/l)	50 Sp + 1000 Bt (mg/l)	125 Sp + 5000 Bt (mg/l)	Fobs	p
R1	10	10	0	0,19	0,83
R2	10	30	20		
R3	0	0	10		
Moy	6,67	13,33	10		
15 jours					
	(12,5 Sp + 500 Bt) mg/l	(50 Sp + 1000 Bt) mg/l	(125 Sp + 5000 Bt) mg/l	Fobs	p
R1	40	20	40	2,17	0,19
R2	10	40	30		
R3	0	20	40		
Moy	16,67	26,67	36,67		
30 jours					
	(12,5 Sp + 500 Bt) mg/l	(50 Sp + 1000 Bt) mg/l	(125 Sp + 5000 Bt) mg/l	Fobs	p
R1	50	60	70	3,62	0,09
R2	40	80	70		
R3	10	60	80		
Moy	33,33	66,67	73,33		
Fobs	0,37	1,13	4,05		
p	0,70	0,38	0,08		

7.2- Effet synergique sur la mortalité des femelles :

Contrairement aux résultats obtenus chez les mâles, l'ajout de Bt à de faibles concentrations en spinosad, provoque une légère augmentation du taux de mortalité chez les femelles (Fig. 49) par rapport à ceux obtenus avec le spinosad seul (Fig. 52). Ces différences sont surtout visibles après 30 jours de traitement.

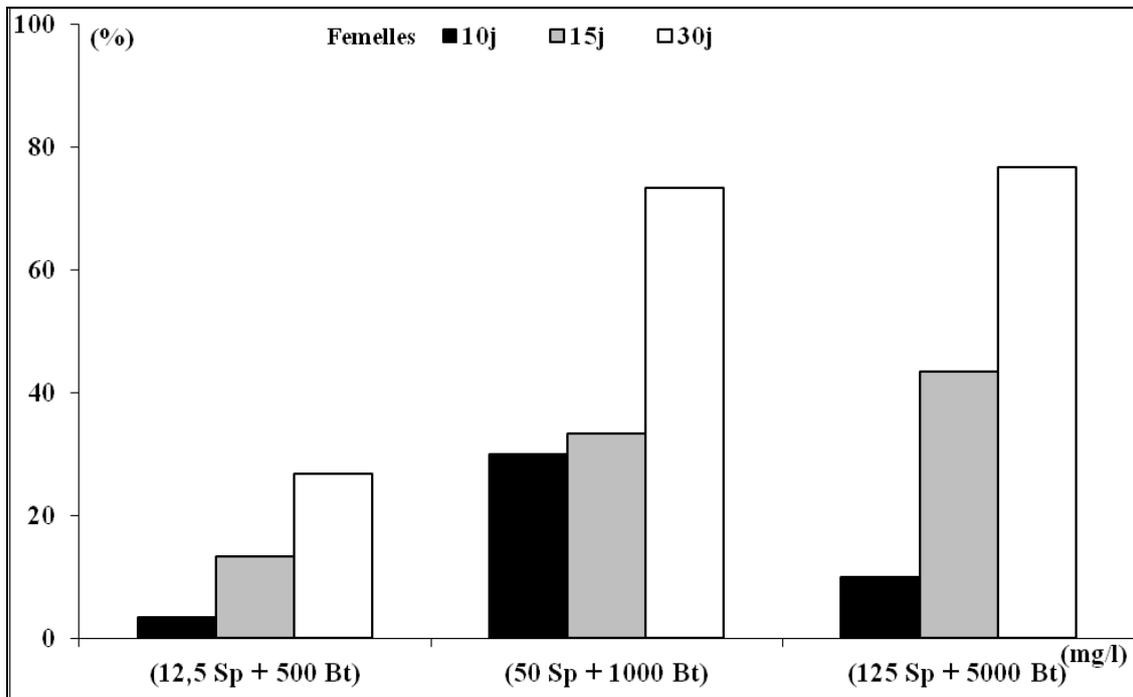


Figure 52. Mortalité corrigée des femelles traitées par le spinosad et le Bt en synergie

L'analyse statistique des résultats (Tab. 42) ne révèle aucune différence significative entre les taux de mortalité enregistrés durant la période de traitement des femelles à l'aide des différentes concentrations de spinosad et de Bt utilisées en synergie.

Si on regarde les taux de mortalité obtenus en fonction du temps d'exposition, les résultats montrent également aucune différence significative entre les variances pour les trois concentrations utilisées.

Tableau 42 : Pourcentages de mortalité corrigée des femelles traitées par le spinosad et le Bt en synergie

10 jours					
	12,5 Sp + 500 Bt (mg/l)	50 Sp + 1000 Bt (mg/l)	125 Sp + 5000 Bt (mg/l)	Fobs	p
R1	10	20	0	0,21	0,82
R2	0	40	10		
R3	0	30	20		
Moy	3,33	30	10		
15 jours					
	12,5 Sp + 500 Bt (mg/l)	50 Sp + 1000 Bt (mg/l)	125 Sp + 5000 Bt (mg/l)	Fobs	p
R1	30	30	30	0	1,000
R2	10	50	60		
R3	0	20	40		
Moy	13,33	33,33	43,33		
30 jours					
	12,5 Sp + 500 Bt (mg/l)	50 Sp + 1000 Bt (mg/l)	125 Sp + 5000 Bt (mg/l)	Fobs	p
R1	50	70	80	4,76	0,06
R2	10	80	70		
R3	20	70	80		
Moy	26,67	73,33	76,67		
Fobs	2,30	1,22	1,22		
p	0,18	0,36	0,36		

7.3- Paramètres toxicologiques du spinosad et du Bt utilisé en synergie :

Du fait de l'utilisation d'un mélange de deux insecticides, seuls les temps létaux ont pu être calculés.

Les résultats obtenus (Tab. 43) indiquent qu'il existe une corrélation positive entre la mortalité des adultes et le temps d'exposition (coefficients de corrélation variant entre 0,90 et 0,98).

Si les TL50 et TL90 sont comparables chez les mâles et les femelles pour les concentrations C1 [12,5 Sp + 500 Bt (mg/l)] et C2 [50 Sp + 1000 Bt (mg/l)], les femelles sont

beaucoup plus sensibles que les mâles lorsqu'on utilise la plus forte concentration C3 [125 mg/l Sp + 5000 Bt (mg/l)].

Tableau 43 : Paramètres toxicologiques du spinosad et du Bt utilisés en synergie

Concentrations (Sp / Bt)	Mâles			Femelles		
	Droite de régression	TL 50 (j)	TL 90 (j)	Droite de régression	TL50 (j)	TL90 (j)
C1	$Y = 1,37 + 2,18 X$ ($R^2 = 0,98$)	45,71	177,83	$Y = 0,82 + 2,45 X$ ($R^2 = 0,94$)	51,29	169,82
C2	$Y = 0,62 + 3,24 X$ ($R^2 = 0,90$)	22,39	56,23	$Y = 1,85 + 2,49 X$ ($R^2 = 0,91$)	18,20	60,26
C3	$Y = -6,81 + 3,88 X$ ($R^2 = 0,98$)	1096	2344,23	$Y = -0,20 + 4,07 X$ ($R^2 = 0,96$)	19,05	38,90

[C1, 12,5 Sp + 500 Bt (mg/l) ; C2, 50 Sp + 1000 Bt (mg/l) ; C3, 125 Sp + 5000 Bt (mg/l)]

8- Rôle d'une concentration sublétales (25 mg/l) de spinosad sur le comportement sexuel :

Tous les insectes utilisés lors de nos tests étaient vierges et âgés de 10 jours (insectes à maturité sexuelle).

8.1- Taux d'accouplement :

Les résultats montrent que le spinosad, administré à une concentration sublétales de 25mg/l, supprime complètement l'accouplement et ce, quelle que soit le sexe traité au sein d'un couple (dyade) (Tab. 44).

Tableau 44 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur le pourcentage de réussite des accouplements

	% d'accouplement	
	Réussi	Avorté
MT x FT	60	40
MT x FSp	0	20
MSp x FT	0	30
MSp x FSp	0	40

[M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

8.2- Premier contact antennaire :

A la concentration de 25 mg/l, il semble que le spinosad n'ait que très peu d'effets sur cette séquence comportementale (Tab. 45). Tous les couples testés arrivent à établir un

premier contact antennaire. Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence quels que soient les dyades testées. Cependant, nous pouvons remarquer que dès qu'un des individus est traité, le temps de premier contact augmente fortement (du simple au double).

Tableau 45 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur le temps du premier contact antennaire

	MT x FT	MT x FSp	MSp x FT	MSp x FSp	Fobs	p
n	10	10	10	10	2,21	0,10
Moy ± SEM	55 ± 12	112 ± 28	96 ± 20	107 ± 22		
Min	5	30	18	20		
Max	120	270	230	240		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

8.3- Parade du mâle :

Les résultats montrent que le traitement n'influe pas sur le pourcentage de parades enregistrées. Tous les mâles témoins ou traités avec 25 mg/l de spinosad paraded lorsqu'ils sont en contact avec une femelle.

a/ Effets sur le nombre de parades : les résultats obtenus (Tab. 46) montrent que le nombre moyen de parades observé est de 3 à 4 fois supérieure si les individus mâles et femelles ne sont pas traités (couple témoin).

La comparaison des variances montre qu'il existe des différences significatives entre les quatre types de couples étudiées au seuil de significativité $\alpha=0,05$.

Tableau 46 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur le nombre de parade

	MT x FT	MT x FSp	MSp x FT	MSp x FSp	Fobs	p
n	10	10	10	10	3,99	0,01*
Moy ± SEM	8 ± 5	3 ± 1	3 ± 0	2 ± 0		
Min	1	1	2	1		
Max	54	6	5	4		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

b/ *Effets sur le temps de la première parade* : comme le montrent nos résultats (Tab. 47), le traitement par 25 mg/l de spinosad, d'un ou des deux partenaires augmente fortement le temps mis par le mâle pour parader. Cependant, la comparaison des variances obtenues pour les quatre couples testés montre que le produit n'agit pas sur le temps de la première parade ; il n'existe aucune différence significative entre les quatre variables étudiées.

Tableau 47 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur le temps de la première parade

	MT x FT	MSp x FSp	MT x FSp	MSp x FT	Fobs	p
n	10	10	10	10	2,71	0,05
Moy ± SEM	110 ± 17	186 ± 23	191 ± 28	179 ± 44		
Min	55	90	45	41		
Max	480	300	345	480		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

8.4- Léchage du mâle par la femelle :

En ce qui concerne le léchage, toutes les femelles témoins effectuent cette étape, alors que seuls 70% à 90% des couples traités arrivent à réaliser cet acte.

Le nombre de léchage observé chez un couple témoin est plus de 3 fois supérieur à celui observé chez un couple où l'un, ou les deux, individus, sont traités. Cependant, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence (Tab. 48).

Tableau 48 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur le nombre de léchage

	MT x FT	MT x FSp	MSp x FT	MSp x FSp	Fobs	p
n	10	7	9	7	2,42	0,09
Moy ± SEM	9 ± 2	3 ± 1	2 ± 0	3 ± 0		
Min	5	1	1	1		
Max	30	5	5	4		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad].

Comme le montrent nos résultats (Tab. 49), il n'existe également aucune différence significative sur le temps de premier léchage lorsqu'un, ou les deux, partenaires sont traités et un couple témoin.

Tableau 49 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur le temps de premier léchage

	MT x FT	MT x FSp	MSp x FT	MSp x FSp	Fobs	p
n	10	7	9	7	1,83	0,16
Moy ± SEM	227 ± 22	233 ± 48	288 ± 56	336 ± 61		
Min	120	60	65	180		
Max	300	360	525	600		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

8.5- Nombre de tentatives d'accouplement :

Chez les couples témoins, 100% des mâles tentent de s'accoupler, tandis que 60% à 70% n'y arrivent pas lorsque l'un des deux sexes, ou les deux, partenaires sont traités (Tab. 50).

Tableau 50 : Nombre de tentatives d'accouplement

	MT x FT	MT x FSp	MSp x FT	MSp x FSp	Fobs	p
n	10	3	3	4	3,68	0,03*
Moy ± SEM	4 ± 1	2 ± 1	1 ± 0	1 ± 0		
Min	1	1	1	1		
Max	8	3	1	2		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

a/ Effets sur la première tentative d'accouplement : nos résultats montrent que, contrairement aux résultats précédents, le traitement de l'un, ou des deux, partenaires ne modifie pas statiquement le temps mis par le mâle et la femelle pour sa première tentative d'accouplement (Tab. 51).

Tableau 51 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur le temps de la première tentative d'accouplement

	MT x FT	MT x FSp	MSp x FT	MSp x FSp	Fobs	p
n	10	3	3	4	2,85	0,07
Moy ± SEM	311 ± 41	270 ± 160	312 ± 44	446 ± 123		
Min	130	90	90	225		
Max	480	590	590	780		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

9- Rôle d'une concentration sublétales (1g/l) de *Bt var. kurstaki* sur le comportement sexuel :

Comme dans le cas du spinosad, les résultats obtenus montrent que le Bt, administré à concentration sublétales de 1 g/l perturbe le déroulement des séquences comportementales conduisant à l'accouplement.

9.1- Taux d'accouplement :

Les résultats consignés dans le tableau 52 montrent que dès qu'un des partenaires est traité, plus aucun accouplement n'est réussi ; on peut cependant remarquer que, dans le cas où seule la femelle est traitée, le taux d'accouplement avorté est équivalent à celui obtenu dans un couple témoin.

Tableau 52 : Effets du Bt (1 g/l) sur le pourcentage de réussite des accouplements

	% d'accouplement	
	Réussi	Avorté
MT x FT	60	40
MT x FBt	0	40
MBt x FT	0	0
MBt x FBt	0	0

[M : Mâle ; F : Femelle ; T : Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

9.2- Premier contact antennaire :

Bien que les temps de premier contact soient moins élevés dans un couple où un, ou les deux individus sont traités, par rapport aux valeurs observées chez les témoins, l'analyse de la variance montre qu'il n'existe pas des différences significatives (Tab. 53).

Tableau 53 : Effet du Bt (1 g/l) sur temps du premier contact antennaire

	MT x FT	MT x FBt	MBt x FT	MBt x FBt	Fobs	p
n	10	10	8	10	1,12	0,35
Moy ± SEM	54 ± 12	29 ± 9	29 ± 14	23 ± 5		
Min	5	4	3	5		
Max	120	89	125	56		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

9.3- Parade du mâle :

Seuls 30 % à 80 % des mâles traités paradent, alors que 100 % de témoins réalisent ce comportement.

a/ *Effets sur le nombre de parades* : la comparaison des variances montre qu'il n'existe aucune différence significative entre les quatre couples étudiés (Tab. 54).

Tableau 54 : Effets du Bt (1 g/l) sur le nombre de parades

	MT x FT	MT x FBt	MBt x FT	MBt x FBt	Fobs	p
n	10	8	4	3	1,19	0,34
Moy ± SEM	8 ± 5	10 ± 1	7 ± 4	20 ± 9		
Min	1	1	1	1		
Max	54	15	18	32		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M , Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

b/ *Effets sur le temps de la première parade* : nos résultats montrent que, si les temps mis par le mâles pour effectuer leur première parade sont comparables dans un couple où les deux individus sont traités ou non (témoins), ce dernier diminue fortement lorsqu'un seul des partenaires est traité (Tab. 55).

Tableau 55 : Effets du Bt (1 g/l) sur le temps de la première parade

	MT x FT	MT x FBt	MBt x FT	MBt x FBt	Fobs	p
n	10	8	4	3	22,98	<0,0001*
Moy ± SEM	282 ± 116	50 ± 11	99 ± 40	253 ± 204		
Min	55	7	6	23		
Max	215	92	180	660		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M , Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

9.4- Léchage du mâle par la femelle :

Vingt à 70 % de femelles léchent les sécrétions mâles chez les couples où, au moins un, des individus est traité.

a/ *Effets sur le nombre de léchages* : comme le montrent nos résultats (Tab. 56), et bien que ces derniers ne soient pas significatifs, le nombre de léchages est moins important lorsque dans le couple le mâle est traité.

Tableau 56 : Effets du Bt (1 g/l) sur le nombre de léchages

	MT x FT	MT x FBt	MBt x FT	MBt x FBt	Fobs	p
n	10	7	2	2	0,71	0,56
Moy ± SEM	9 ± 2	5 ± 1	2 ± 0,5	2 ± 1		
Min	5	2	1	1		
Max	30	10	2	3		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

b/ *Effets sur le temps de premier léchage* : les résultats obtenus (Tab. 57) sont comparables à ceux où le traitement est effectué avec le spinosad (Tab. 49). Bien que les données ne soient pas significatives, le temps de premier léchage est plus important dans les couples où les deux individus sont traités.

Tableau 57 : Effets du Bt (1 g/l) sur le temps du premier léchage

	MT x FT	MT x FBt	MBt x FT	MBt x FBt	Fobs	p
n	10	70	2	2	2,22	0,12
Moy ± SEM	227 ± 22	216 ± 112	157 ± 80	404 ± 267		
Min	120	16	77	137		
Max	300	873	236	670		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

9.5- Nombre de tentatives d'accouplement :

Si 100 % des couples témoins essayent au moins une fois de s'accoupler, aucun couple renfermant un mâle traité ne s'accouple.

a/ *Effets sur le nombre de tentatives d'accouplement* : chez les couples dans lequel se trouve mâle témoin, l'analyse du nombre de tentatives d'accouplement montre, qu'au seuil de significativité $\alpha=0,05$, les variances sont différentes ($F = 7,51$; $p: 0,02$) (Tab. 58).

Tableau 58 : Effets du Bt (1 g/l) sur le nombre de tentatives d'accouplement

	MT x FT	MT x FBt	MBt x FT	MBt x FBt	Fobs	p
n	10	4	-	-	7,51	0,02*
Moy ± SEM	4 ± 1	1 ± 0	-	-		
Min	1	1	-	-		
Max	8	1	-	-		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

b/ *Effets sur la première tentative d'accouplement* : contrairement au nombre de tentatives, l'analyse statistique des temps de la première tentative d'accouplement montre qu'il n'y a pas de différence significative (Tab. 59).

Tableau 59 : Effets du Bt (1 g/l) sur la première tentative d'accouplement.

	MT x FT	MT x FBt	MBt x FT	MBt x FBt	Fobs	p
n	10	4	-	-	0,17	0,69
Moy ± SEM	311 ± 41	260 ± 64	-	-		
Min	130	71	-	-		
Max	480	348	-	-		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis*]

10- Rôle des concentrations sublétales d'un mélange de spinosad (25 mg/l) et de *Bt var. kurstaki* (1g/l) sur le comportement sexuel :

10.1- Taux d'accouplement :

L'action synergique du spinosad et du Bt perturbe profondément le déroulement du comportement sexuel chez *B. germanica*. Certaines séquences comportementales conduisant à l'accouplement ne sont pas observées, ce qui a pour conséquences de supprimer tout accouplement potentiel.

Tableau 60 : Effets du mélange spinosad / Bt sur le pourcentage de réussite des accouplements

	% d'accouplement	
	Réussi	Avorté
MT x FT	60	40
MT x FSpBt	0	0
MSpBt x FT	0	0
MSpBt x FSpBt	0	0

[M, Mâle ; F, Femelle ; T, Témoin ; Bt, *B. thuringiensis* ; Sp, Spinosad]

10.2- Premier contact antennaire :

Le mélange des deux molécules n'a aucun effet sur cette séquence comportementale (Tab. 61). Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les différents couples testés.

Tableau 61 : Effets du mélange spinosad / Bt sur le temps du premier contact antennaire

	MT x FT	MT x FSpBt	MSpBt x FT	MSpBt x FSpBt	Fobs	p
n	10	10	10	10	2,58	0,07
Moy ± SEM	55 ± 12	31 ± 5	69 ± 16	57 ± 17		
Min	5	12	7	9		
Max	120	58	139	180		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

10.3- Parade du mâle :

Nos observations révèlent que seuls 10 à 30% des mâles traités parodent, alors qu'on peut observer 100% des mâles témoins qui parodent.

a/ *Effets sur le nombre de parades* : Comme le montre nos résultats, le traitement des deux biopesticides en synergie, n'affecte pas le nombre de parades.

Tableau 62 : Effets du mélange spinosad / Bt sur le nombre de parades

	MT x FT	MSpBt x FSpBt	MT x FSpBt	MSpBt x FT	Fobs	p
n	10	1	3	2	0,26	0,85
Moy ± SEM	8 ± 5	26	9 ± 8	14 ± 12		
Min	1	-	0	0		
Max	54	-	25	25		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

b/ *Effets sur le temps de parade* : la comparaison montre que le mélange de spinosad et de Bt utilisé n'agit pas sur le temps de la première parade du mâle, bien qu'il existe une différence hautement significative entre les quatre variables étudiées. Cette différence est directement liée au fait que dans le couple mâle traité et femelle traitée, le seul mâle qui parade le fait très rapidement (76 sec).

Tableau 63 : Effets du mélange spinosad / Bt sur le temps de la première parade

	MT x FT	MT x FSpBt	MSpBt x FT	MSpBt x FSpBt	Fobs	p
n	10	3	2	1	9,87	0,001*
Moy ± SEM	110 ± 17	392 ± 134	259 ± 19	76		
Min	55	240	240	-		
Max	215	660	277	-		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

10.4- Effets sur le léchage du mâle par la femelle :

Chez les couples où l'un ou les deux sexes sont traités, 10 % de femelles essayent de lécher les sécrétions mâles, tandis que 100 % de ces dernières effectuent cette séquence quand il s'agit de couples témoins.

a/ *Effets sur le nombre de léchages* : on peut noter l'existence d'un très faible nombre de léchage (n= 3) lorsque les deux sexes sont traités, alors que ce nombre est plus important dans le couple témoin (n= 9) ou lorsque un seul des individus est traité (n= 11).

Tableau 64 : Effets du mélange spinosad / Bt sur le nombre de léchages

	MT x FT	MT x FSpBt	MSpBt x FT	MSpBt x FSpBt	Fobs	p
n	10	1	1	1	0,41	0,75
Moy ± SEM	9 ± 2	11	11	3		
Min	5	-	-	-		
Max	30	-	-	-		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

b/ *Effets sur le temps du premier léchage* : la comparaison des variances montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les variances (Tab. 65). Nous pouvons cependant remarquer que, si les résultats sont comparables dans les couples où le mâle n'est pas traité, le temps du premier léchage est plus important dans les couples où le mâle est traité.

Tableau 65 : Effets du mélange spinosad / Bt sur le temps du premier léchage

	MT x FT	MT x FSpBt	MSpBt x FT	MSpBt x FSpBt	Fobs	p
n	10	1	1	1	2,43	0,13
Moy ± SEM	227 ± 22	259	396	544		
Min	120	-	-	-		
Max	300	-	-	-		

[Moy, Moyenne ; S, Ecart-type ; Min, Minimum ; Max, Maximum ; Var, Variance ; M, Mâle; F, Femelle ; T, Témoin ; Sp, Spinosad]

10.5- Effets sur l'accouplement :

Aucune tentative d'accouplement n'a été observée lorsqu'on traite le mâle, la femelle, ou les deux sexes, avec le mélange spinosad / Bt.

11- Rôles des différents traitements sur l'attraction à distance des adultes (olfactomètre en Y) :

11.1- *Le Spinosad (25 mg/l)* :

Comme le montrent nos résultats (Tab. 66), tous les mâles témoins sont attirés par les extraits de femelles témoins et 80% par des extraits de mâles témoins. Les résultats obtenus sur des femelles témoins avec des extraits de mâles ou de femelles témoins sont comparables à ceux des mâles.

Par contre, bien que les tests statistiques ne soient pas significatifs ($p : < 0,752$), dès qu'un insecte testé est traité, on n'observe plus aucune attraction.

Tableau 66 : Attraction des adultes traités avec le spinosad par différents extraits (n=10)

Insectes testés	Extraits											
	Extrait ♂ T			Extrait ♂ Sp			Extrait ♀ T			Extrait ♀ Sp		
	A	NA	p	A	NA	p	A	NA	p	A	NA	p
♂ T	8	2	S	5	5	NS	10	0	S	4	6	NS
♀ T	10	0	S	6	4	NS	8	2	S	2	8	NS
♂ Sp	3	7	NS	0	10	NS	2	8	NS	1	9	NS
♀ Sp	3	7	NS	1	9	NS	2	8	NS	2	8	NS

[A, Attiré ; NA, Non Attiré ; S, Significatif ; NS, Non Significatif ; Sp, Spinosad ; T, Témoin ; H, Hexane]

11.2- *Le Bt (1g/l)* :

Les résultats obtenus (Tab. 67) avec les individus témoins sont comparables à ceux décrits précédemment, mais uniquement dans le cas où les extraits testés sont réalisés avec des individus non traités. En effet, bien que les résultats ne soient pas significatifs, les mâles et les femelles traités au Bt montrent une légère réaction positive (attraction) lorsqu'on leur présente les différents extraits.

Ces résultats montrent qu'un traitement à une concentration sub létale de Bt (1 g/l) est moins efficace que lorsqu'on utilise une concentration sub létale de spinosad (25 mg/l).

Tableau 67 : Attraction des adultes traités au Bt par différents extraits (n=10)

Insectes testés	Extraits											
	Extrait ♂ T			Extrait ♂ Bt			Extrait ♀ T			Extrait ♀ Bt		
	A	NA	p	A	NA	p	A	NA	p	A	NA	p
♂ T	8	2	S	7	3	NS	8	2	S	7	3	NS
♀ T	10	0	S	4	6	NS	8	2	S	5	5	NS
♂ Bt	7	3	NS	3	7	NS	6	4	NS	4	6	NS
♀ Bt	2	8	NS	3	7	NS	2	8	NS	2	8	NS

[A, Attiré ; NA, Non Attiré ; S, Significatif ; NS, Non Significatif ; T, Témoin]

11.3- La synergie spinosad (25mg/l) et Bt (1 g/l) :

Comme dans les cas précédents, les mâles et les femelles témoins sont attirés significativement par des extraits réalisés à partir d'individus non traités; cette attraction diminue plus ou moins lorsque les extraits proviennent de mâle ou de femelle traités (Tab. 68).

Bien que non significatifs, si l'on compare les résultats obtenus avec des adultes traités, on s'aperçoit que les taux d'attraction se situent entre ceux des individus traités au spinosad et ceux traités au Bt.

Ces observations révèlent que l'effet synergique du spinosad et du Bt, à des concentrations sublétales, est très peu marqué.

Tableau 68 : Attraction des adultes traités au mélange spinosad / Bt par différents extraits (n=10)

Insectes testés	Extraits											
	Ext ♂ T			Ext ♂ SpBt			Ext ♀ T			Ext ♀ SpBt		
	A	NA	p	A	NA	p	A	NA	p	A	NA	p
♂ T	10	0	S	5	5	NS	9	1	S	1	9	NS
♀ T	9	1	S	5	5	NS	8	2	S	4	6	NS
♂ SpBt	2	8	NS	3	7	NS	3	7	NS	1	9	NS
♀ SpBt	3	7	NS	5	5	NS	4	6	NS	6	4	NS

[A, Attiré ; NA, Non Attiré ; S, Significatif ; NS, Non Significatif ; Sp, Spinosad ; T, Témoin ; H, Hexane]

12- Effets des biopesticides sur les hydrocarbures cuticulaires des adultes :

12.1- Effets du spinosad sur les mâles :

Il ressort du tableau 69 que le traitement des mâles par une concentration sublétales de spinosad (25 mg/l) affecte le profil cuticulaire de ces derniers.

Sur les 25 composés analysés, on enregistre une très forte diminution de la quantité totale des hydrocarbures.

L'indice de variation calculé pour chacun des composés varie de -0,84 à -0,79 (Tab. 69). Nous avons pu calculer que le pourcentage de perte en hydrocarbures cuticulaires des mâles traités par le spinosad était voisin de 89%.

Tableau 69 : Effets du spinosad (25 mg/l) sur les hydrocarbures cuticulaires des mâles

Pics	Molécules	Mâles Témoins (µg)	Ratio (%)	Mâles Traités (µg)	Ratio (%)	Indice de Variation
1	n-Heptacosane	0,94 ± 0,08	2,9	0,10 ± 0,01	2,8	-0,81
2	9-, 11- & 13-Methylheptacosane	2,63 ± 0,22	8,1	0,29 ± 0,02	8,1	-0,80
3	5-Methylheptacosane	1,45 ± 0,13	4,4	0,17 ± 0,01	4,5	-0,79
4	11,15-Dimethylheptacosane	0,33 ± 0,03	1,0	0,04 ± 0,00	1,1	-0,79
5	3-Methylheptacosane	1,39 ± 0,11	4,3	0,15 ± 0,01	4,2	-0,80
6	5,9- & 5,11-Dimethylheptacosane	0,53 ± 0,06	1,6	0,06 ± 0,01	1,7	-0,79
7	n-Octacosane	0,24 ± 0,02	0,7	0,03 ± 0,00	0,7	-0,81
8	3,11- & 3,9-Dimethylheptacosane	0,66 ± 0,08	2,0	0,07 ± 0,01	2,0	-0,80
9	12- & 14-Methyloctacosane	0,49 ± 0,03	1,5	0,05 ± 0,00	1,5	-0,80
10	2-Methyloctacosane	0,36 ± 0,02	1,1	0,04 ± 0,00	1,1	-0,80
11	4-Methyloctacosane	0,21 ± 0,01	0,6	0,02 ± 0,00	0,6	-0,80
12	n-Nonacosane	1,55 ± 0,11	4,8	0,18 ± 0,01	4,9	-0,79
13	9-, 11-, 13- & 15-Methylnonacosane	5,89 ± 0,37	18,1	0,67 ± 0,04	18,4	-0,79
14	7-Methylnonacosane	0,85 ± 0,06	2,6	0,10 ± 0,01	2,6	-0,80
15	5-Methylnonacosane	1,99 ± 0,14	6,1	0,23 ± 0,02	6,4	-0,79
16	11,15- & 13,17-Dimethylnonacosane	2,35 ± 0,14	7,2	0,27 ± 0,02	7,4	-0,79
17	3-Methylnonacosane	2,11 ± 0,12	6,5	0,24 ± 0,01	6,5	-0,80
18	5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	1,29 ± 0,10	4,0	0,15 ± 0,01	4,1	-0,79
19	3,7-, 3,9- & 3,11-Dimethylnonacosane	4,51 ± 0,32	13,9	0,50 ± 0,04	13,7	-0,80
20	11-, 13- & 15-Methyltriacontane	0,78 ± 0,08	2,4	0,09 ± 0,01	2,4	-0,80
21	4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	1,37 ± 0,09	4,2	0,12 ± 0,01	3,3	-0,84
22	11-, 13- & 15- Methylhentriacontane	0,34 ± 0,03	1,0	0,04 ± 0,00	1,1	-0,79
23	13,17- & 11,15-Dimethylhentriacontane	0,13 ± 0,01	0,4	0,01 ± 0,00	0,4	-0,80
24	5,9- & 5,11-Dimethylhentriacontane	0,10 ± 0,01	0,3	0,01 ± 0,00	0,3	-0,79
25	10- & 12-Methyldotriacontane	0,06 ± 0,01	0,2	0,01 ± 0,00	0,2	-0,78
Total		32,56 ± 1,99		3,65 ± 0,19		

12.2- Effets du spinosad sur les femelles :

Comme pour les mâles, le traitement des femelles avec 25 mg/l de spinosad affecte de façon drastique le profil cuticulaire de ces dernières avec un indice de variation calculé pour chaque composé qui varie de -0,86 à -0,80 (Tab. 70). Les pertes en hydrocarbures cuticulaires chez les femelles (90% environ) sont légèrement plus importantes que chez les mâles.

Tableau 70 : Effet du spinosad (25 mg/l) sur les hydrocarbures cuticulaires des femelles

Pics	Molécules	Femelles Témoins (μg)	Ratio (%)	Femelles traitées (μg)	Ratio (%)	Indice de Variation
1	n-Heptacosane	0,98 \pm 0,05	2,0	0,10 \pm 0,01	2,0	-0,82
2	9-, 11- & 13-Methylheptacosane	1,43 \pm 0,10	2,9	0,15 \pm 0,02	3,2	-0,81
3	5-Methylheptacosane	1,28 \pm 0,09	2,6	0,12 \pm 0,01	2,5	-0,83
4	11,15-Dimethylheptacosane	0,39 \pm 0,03	0,8	0,04 \pm 0,00	0,8	-0,82
5	3-Methylheptacosane	1,53 \pm 0,08	3,1	0,15 \pm 0,01	3,1	-0,82
6	5,9- & 5,11-Dimethylheptacosane	0,83 \pm 0,13	1,7	0,09 \pm 0,02	1,9	-0,80
7	n-Octacosane	0,37 \pm 0,02	0,7	0,04 \pm 0,00	0,8	-0,82
8	3, 11- & 3,9-Dimethylheptacosane	1,13 \pm 0,18	2,3	0,13 \pm 0,03	2,6	-0,80
9	12- & 14-Methyloctacosane	0,63 \pm 0,03	1,3	0,06 \pm 0,01	1,3	-0,82
10	2-Methyloctacosane	0,62 \pm 0,03	1,2	0,06 \pm 0,01	1,3	-0,82
11	4-Methyloctacosane	0,35 \pm 0,01	0,7	0,04 \pm 0,00	0,7	-0,82
12	n-Nonacosane	2,96 \pm 0,18	6,0	0,30 \pm 0,04	6,2	-0,82
13	9-, 11-, 13- & 15-Methylnonacosane	7,16 \pm 0,32	14,5	0,72 \pm 0,07	15,1	-0,82
14	7-Methylnonacosane	1,12 \pm 0,06	2,3	0,11 \pm 0,01	2,3	-0,82
15	5-Methylnonacosane	3,15 \pm 0,20	6,4	0,29 \pm 0,03	6,1	-0,83
16	11,15- & 13,17- Dimethylnonacosane	4,70 \pm 0,21	9,5	0,45 \pm 0,04	9,5	-0,82
17	3-Methylnonacosane	4,29 \pm 0,18	8,7	0,42 \pm 0,05	8,8	-0,82
18	5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	2,39 \pm 0,14	4,8	0,21 \pm 0,02	4,4	-0,84
19	3,7-, 3,9- & 3,11- Dimethylnonacosane	9,61 \pm 0,51	19,4	0,88 \pm 0,09	18,4	-0,83
20	11-, 13- & 15-Methyltriacontane	1,81 \pm 0,19	3,6	0,14 \pm 0,02	2,9	-0,86
21	4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	1,66 \pm 0,06	3,4	0,16 \pm 0,01	3,3	-0,82
22	11-, 13- & 15- Methylhentriacontane	0,41 \pm 0,02	0,8	0,04 \pm 0,00	0,8	-0,82
23	13,17- & 11,15- Dimethylhentriacontane	0,27 \pm 0,01	0,6	0,03 \pm 0,00	0,5	-0,83
24	5,9- & 5,11- Dimethylhentriacontane	0,32 \pm 0,02	0,6	0,03 \pm 0,00	0,5	-0,85
25	10- & 12-Methyldotriacontane	0,13 \pm 0,01	0,3	0,01 \pm 0,00	0,2	-0,84
Total		49,52 \pm 2,12		4,78 \pm 0,46		

12.3- Effets du Bt (1 g/l) sur les mâles :

Comme dans le cas du traitement avec le spinosad, le traitement des mâles avec une concentration sub létale de Bt (1 g/l) affecte le profil cuticulaire de ces derniers, dans ce cas, il y a suractivation de la biosynthèse de tous les hydrocarbures (Tab. 71). L'indice de variation pour chaque molécule varie de -0,002 à 0,14. Le gain total en hydrocarbures chez les mâles traités au Bt représente près de 200% de la quantité des différents composés que l'on trouve chez les témoins.

Tableau 71 : Effet du Bt (1 g/l) sur les hydrocarbures cuticulaires des mâles

Pics	Molécules	Mâles Témoins (µg)	Rati o (%)	Mâles Traités (µg)	Ratio (%)	Indice de Variatio n
1	n-Heptacosane	0,94 ± 0,08	3	1,04 ± 0,07	3	0,05
2	9-, 11- & 13-Methylheptacosane	2,63 ± 0,22	8	2,81 ± 0,22	7	0,03
3	5-Methylheptacosane	1,45 ± 0,13	4	1,65 ± 0,12	4	0,06
4	11,15-Dimethylheptacosane	0,33 ± 0,03	1	0,36 ± 0,03	1	0,04
5	3-Methylheptacosane	1,39 ± 0,11	4	1,55 ± 0,11	4	0,05
6	5,9- & 5,11-Dimethylheptacosane	0,53 ± 0,06	2	0,54 ± 0,07	1	0,01
7	n-Octacosane	0,24 ± 0,02	1	0,27 ± 0,02	1	0,07
8	3,11- & 3,9-Dimethylheptacosane	0,66 ± 0,08	2	0,66 ± 0,08	2	-0,002
9	12- & 14-Methyloctacosane	0,49 ± 0,03	2	0,57 ± 0,05	1	0,08
10	2-Methyloctacosane	0,36 ± 0,02	1	0,43 ± 0,04	1	0,09
11	4-Methyloctacosane	0,21 ± 0,01	1	0,25 ± 0,02	1	0,08
12	n-Nonacosane	1,55 ± 0,11	5	1,97 ± 0,18	5	0,12
13	9-, 11-, 13- & 15-Methylnonacosane	5,89 ± 0,37	18	7,27 ± 0,63	19	0,11
14	7-Methylnonacosane	0,85 ± 0,06	3	1,02 ± 0,09	3	0,09
15	5-Methylnonacosane	1,99 ± 0,14	6	2,53 ± 0,22	6	0,12
16	11,15- & 13,17-Dimethylnonacosane	2,35 ± 0,14	7	2,95 ± 0,29	8	0,11
17	3-Methylnonacosane	2,11 ± 0,12	6	2,59 ± 0,22	7	0,10
18	5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	1,29 ± 0,10	4	1,66 ± 0,18	4	0,13
19	3,7-, 3,9- & 3,11-Dimethylnonacosane	4,51 ± 0,32	14	5,74 ± 0,58	15	0,12
20	11-, 13- & 15-Methyltriacontane	0,78 ± 0,08	2	0,96 ± 0,11	2	0,10
21	4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	1,37 ± 0,09	4	1,43 ± 0,03	4	0,02
22	11-, 13- & 15-Methylhentriacontane	0,34 ± 0,03	1	0,45 ± 0,04	1	0,14
23	13,17- & 11,15-Dimethylhentriacontane	0,13 ± 0,01	0	0,16 ± 0,01	0	0,13
24	5,9- & 5,11-Dimethylhentriacontane	0,10 ± 0,01	0	0,13 ± 0,01	0	0,13
25	10- & 12-Methyldotriacontane	0,06 ± 0,01	0	0,07 ± 0,01	0	0,13
Total		32,56 ± 1,99		39,08 ± 3,10		

12.4- Effets du Bt (1 g/l) sur les femelles :

Contrairement aux résultats obtenus chez les mâles traités au Bt (1 g/l), chez les femelles traitées, on enregistre une diminution des quantités d'hydrocarbures cuticulaires avec un indice de variation allant de -0,32 à -0,06 (Tab. 72). Le pourcentage de perte totale des hydrocarbures chez les femelles est d'environ 34 %.

Tableau 72 : Effet du Bt (1 g/l) sur les hydrocarbures cuticulaires des femelles

Pics	Molécules	Femelles Témoins (μg)	Ratio (%)	Femelles traitées (μg)	Ratio (%)	Indice de Variation
1	n-Heptacosane	0,98 \pm 0,05	2	0,71 \pm 0,08	2	-0,16
2	9-, 11- & 13-Methylheptacosane	1,43 \pm 0,10	3	0,97 \pm 0,14	3	-0,19
3	5-Methylheptacosane	1,28 \pm 0,09	3	0,91 \pm 0,11	3	-0,17
4	11,15-Dimethyheptacosane	0,39 \pm 0,03	1	0,25 \pm 0,04	1	-0,23
5	3-Methylheptacosane	1,53 \pm 0,08	3	0,97 \pm 0,12	3	-0,23
6	5,9- & 5,11-Dimethyheptacosane	0,83 \pm 0,13	2	0,59 \pm 0,14	2	-0,17
7	n-Octacosane	0,37 \pm 0,02	1	0,26 \pm 0,03	1	-0,16
8	3,11- & 3,9-Dimethyheptacosane	1,13 \pm 0,18	2	0,86 \pm 0,20	3	-0,14
9	12- & 14-Methyloctacosane	0,63 \pm 0,03	1	0,42 \pm 0,05	1	-0,20
10	2-Methyloctacosane	0,62 \pm 0,03	1	0,41 \pm 0,05	1	-0,20
11	4-Methyloctacosane	0,35 \pm 0,01	1	0,23 \pm 0,03	1	-0,21
12	n-Nonacosane	2,96 \pm 0,18	6	2,10 \pm 0,23	6	-0,17
13	9-, 11-, 13- & 15-Methylnonacosane	7,16 \pm 0,32	14	4,62 \pm 0,57	14	-0,22
14	7-Methylnonacosane	1,12 \pm 0,06	2	0,73 \pm 0,09	2	-0,21
15	5-Methylnonacosane	3,15 \pm 0,20	6	2,02 \pm 0,23	6	-0,22
16	11,15- & 13,17- Dimethylnonacosane	4,70 \pm 0,21	9	2,93 \pm 0,40	9	-0,23
17	3-Methylnonacosane	4,29 \pm 0,18	7	2,74 \pm 0,34	8	-0,22
18	5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	2,39 \pm 0,14	5	1,45 \pm 0,17	4	-0,24
19	3,7-, 3,9- & 3,11- Dimethylnonacosane	9,61 \pm 0,51	19	6,10 \pm 0,81	19	-0,22
20	11-, 13- & 15-Methyltriacontane	1,81 \pm 0,19	4	1,17 \pm 0,17	4	-0,22
21	4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	1,66 \pm 0,06	3	1,48 \pm 0,08	5	-0,06
22	11-, 13- & 15- Methylhentriacontane	0,41 \pm 0,02	1	0,28 \pm 0,04	1	-0,19
23	13,17- & 11,15- Dimethylhentriacontane	0,27 \pm 0,01	1	0,17 \pm 0,03	1	-0,24
24	5,9- & 5,11- Dimethylhentriacontane	0,32 \pm 0,02	1	0,17 \pm 0,03	1	-0,32
25	10- & 12-Methyldotriacontane	0,13 \pm 0,01	0	0,09 \pm 0,01	0	-0,16
Total		49,52 \pm 2,12		32,61 \pm 3,90		

12.5- Rôle du mélange spinosad (25mg/l) / Bt (500 mg/l) sur les mâles :

Chez les mâles, le traitement par des concentrations sublétales en spinosad et en Bt utilisés en synergie, influe sur le profil des hydrocarbures cuticulaires en diminuant la quantité de tous les hydrocarbures, excepté celle des pics 19, 20 et 22 à 25, qui augmentent légèrement. La quantité d'hydrocarbures cuticulaires chez les mâles témoins est environ 1,3 fois plus importante que chez les mâles traités. L'indice de variation varie entre -0,61 et 0,05, tandis que le pourcentage de perte en hydrocarbures cuticulaires est d'environ 22% pour l'ensemble des mâles traités.

Tableau 73 : Effets synergiques du spinosad (12,5 mg/l) et du Bt (500 mg/l) sur les hydrocarbures cuticulaires des mâles

Pics	Molécules	Mâles Témoins (µg)	Ratio (%)	Mâles Traités (µg)	Ratio (%)	Indice de Variation
1	n-Heptacosane	0,94 ± 0,08	3	0,42 ± 0,04	2	-0,38
2	9-,11- & 13-Methylheptacosane	2,63 ± 0,22	8	1,16 ± 0,08	5	-0,39
3	5-Methylheptacosane	1,45 ± 0,13	4	0,71 ± 0,05	3	-0,34
4	11,15-Dimethylheptacosane	0,33 ± 0,03	1	0,19 ± 0,01	1	-0,27
5	3-Methylheptacosane	1,39 ± 0,11	4	0,73 ± 0,05	3	-0,31
6	5,9- & 5,11-Dimethylheptacosane	0,53 ± 0,06	2	0,34 ± 0,05	1	-0,22
7	n-Octacosane	0,24 ± 0,02	1	0,13 ± 0,01	1	-0,30
8	3,11- & 3,9-Dimethylheptacosane	0,66 ± 0,08	2	0,40 ± 0,06	2	-0,25
9	12- & 14-Methyloctacosane	0,49 ± 0,03	2	0,30 ± 0,02	1	-0,24
10	2-Methyloctacosane	0,36 ± 0,02	1	0,24 ± 0,02	1	-0,19
11	4-Methyloctacosane	0,21 ± 0,01	1	0,16 ± 0,01	1	-0,13
12	n-Nonacosane	1,55 ± 0,11	5	1,26 ± 0,11	5	-0,11
13	9-,11-, 13- & 15 Methylnonacosane	5,89 ± 0,37	18	4,49 ± 0,26	18	-0,13
14	7-Methylnonacosane	0,85 ± 0,06	3	0,70 ± 0,04	3	-0,09
15	5-Methylnonacosane	1,99 ± 0,14	6	1,76 ± 0,13	7	-0,06
16	11,15- & 13,17-Dimethylnonacosane	2,35 ± 0,14	7	2,14 ± 0,12	8	-0,05
17	3-Methylnonacosane	2,11 ± 0,12	6	1,91 ± 0,14	8	-0,05
18	5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	1,29 ± 0,10	4	1,32 ± 0,08	5	0,01
19	3,7-, 3,9- & 3,11-	4,51 ± 0,32	14	4,82 ± 0,30	19	0,03
20	11-, 13- & 15-Methyltriacontane	0,78 ± 0,08	2	0,83 ± 0,07	3	0,03
21	4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	1,37 ± 0,09	4	0,39 ± 0,01	2	-0,56
22	11-, 13- & 15-	0,34 ± 0,03	1	0,43 ± 0,03	2	0,12
23	13,17- & 11,15-	0,13 ± 0,01	0	0,20 ± 0,02	1	0,24
24	5,9- & 5,11-Dimethylhentriacontane	0,10 ± 0,01	0	0,17 ± 0,01	1	0,24
25	10- & 12-Methyldotriacontane	0,06 ± 0,01	0	0,10 ± 0,01	0	0,28
Total		32,56 ± 1,99		25,30 ± 1,55		

12.6- Rôle du mélange spinosad (25mg/l) / Bt (500 mg/l) sur les femelles :

En ce qui concerne les femelles, ce traitement en synergie augmente très légèrement (4%) les quantités d'hydrocarbures cuticulaires par rapport aux femelles témoins. Les indices de variation varie entre -0,44 et 0,22 selon les pics.

Tableau 74 : Effets synergiques du spinosad (12,5 mg/l) et du Bt (500 mg/l) sur les hydrocarbures cuticulaires des femelles

Pics	Molécules	Femelles Témoin (µg)	Ratio (%)	Femelles Traitées (µg)	Ratio (%)	Indice de Variation
1	n-Heptacosane	0,98 ± 0,05	2	0,71 ± 0,08	1	-0,16
2	9-, 11- & 13-Methylheptacosane	1,43 ± 0,10	3	1,18 ± 0,14	2	-0,10
3	5-Methylheptacosane	1,28 ± 0,09	3	0,95 ± 0,10	2	-0,15
4	11,15-Dimethylheptacosane	0,39 ± 0,03	1	0,36 ± 0,06	1	-0,04
5	3-Methylheptacosane	1,53 ± 0,08	3	1,21 ± 0,12	2	-0,12
6	5,9- & 5,11-Dimethylheptacosane	0,83 ± 0,13	2	0,57 ± 0,08	1	-0,19
7	n-Octacosane	0,37 ± 0,02	1	0,28 ± 0,03	1	-0,14
8	3,11- & 3,9-Dimethylheptacosane	1,13 ± 0,18	2	0,77 ± 0,12	1	-0,19
9	12- & 14-Methyloctacosane	0,63 ± 0,03	1	0,56 ± 0,06	1	-0,06
10	2-Methyloctacosane	0,62 ± 0,03	1	0,56 ± 0,06	1	-0,05
11	4-Methyloctacosane	0,35 ± 0,01	1	0,32 ± 0,03	1	-0,05
12	n-Nonacosane	2,96 ± 0,18	6	2,68 ± 0,30	5	-0,05
13	9-, 11-, 13- & 15-Methylnonacosane	7,16 ± 0,32	14	7,17 ± 0,76	14	0,00
14	7-Methylnonacosane	1,12 ± 0,06	2	1,21 ± 0,13	2	0,04
15	5-Methylnonacosane	3,15 ± 0,20	6	3,19 ± 0,36	6	0,01
16	11,15- & 13,17-Dimethylnonacosane	4,70 ± 0,21	9	5,15 ± 0,54	10	0,05
17	3-Methylnonacosane	4,29 ± 0,18	9	4,56 ± 0,51	9	0,03
18	5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	2,39 ± 0,14	5	2,93 ± 0,30	6	0,10
19	3,7-, 3,9- & 3,11-Dimethylnonacosane	9,61 ± 0,51	19	12,47 ± 1,33	24	0,13
20	11-, 13- & 15-Methyltriacontane	1,81 ± 0,19	4	2,28 ± 0,31	4	0,12
21	4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	1,66 ± 0,06	3	0,73 ± 0,02	1	-0,39
22	11-, 13- & 15-Methylhentriacontane	0,41 ± 0,02	1	0,62 ± 0,09	1	0,20
23	13,17- & 11,15-Dimethylhentriacontane	0,27 ± 0,01	1	0,47 ± 0,06	1	0,26
24	5,9- & 5,11-Dimethylhentriacontane	0,32 ± 0,02	1	0,46 ± 0,05	1	0,18
25	10- & 12-Methyldotriacontane	0,13 ± 0,01	0	0,23 ± 0,03	0	0,28
Total		49,52 ± 2,12		51,60 ± 5,34		

12.7- Traitement statistiques des résultats :

Nous avons analysé l'effet des différents traitements sur les hydrocarbures cuticulaires des mâles et des femelles (Fig. 53).

Au seuil de significativité $\alpha = 0,05$, l'analyse statistique (test de Kruskal-Wallis) montre qu'il existe des différences hautement significatives entre les quantités d'hydrocarbures cuticulaires des quatre échantillons chez les mâles et chez les femelles (respectivement, $H = 38,73$; $p < 0,0001$; $H = 41,21$; $p < 0,0001$).

Le test de Mann-Whitney, montre que le traitement "spinosad" a plus de poids sur le profil cuticulaires des blattes adultes que les autres traitements.

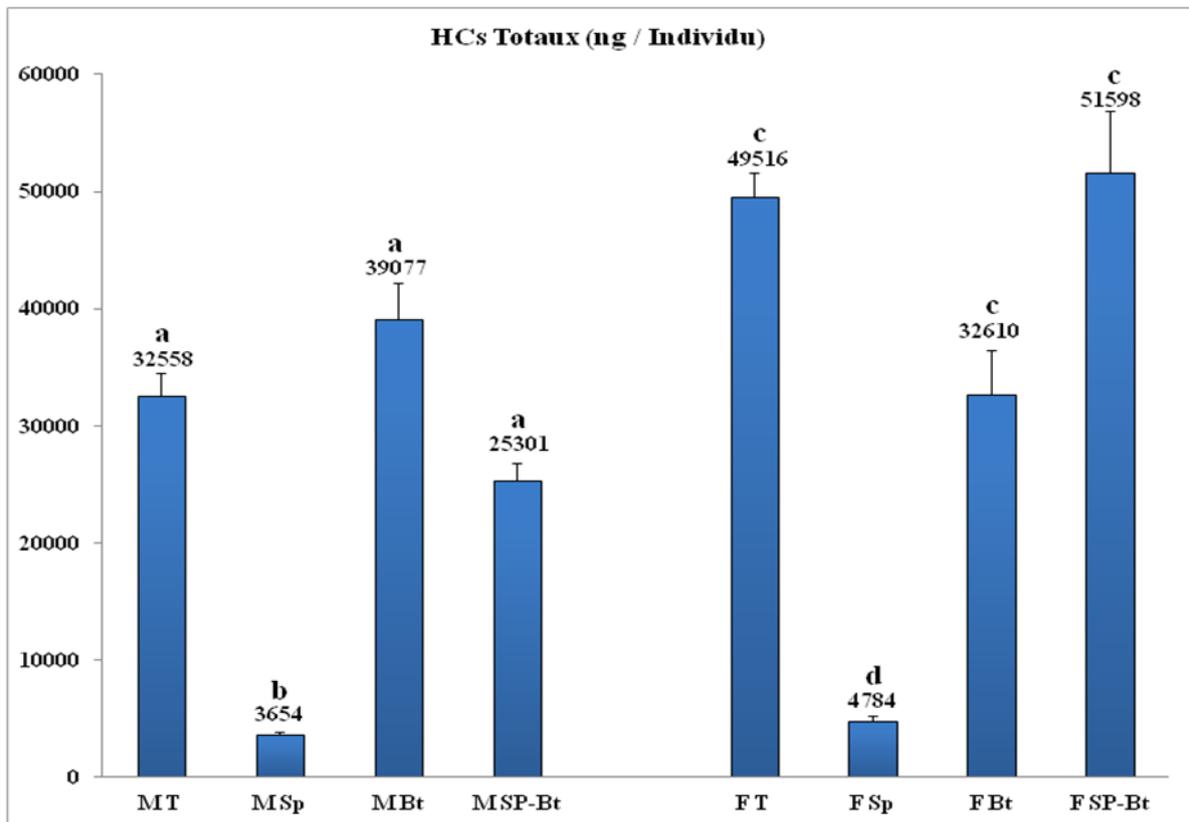


Figure 53. Comparaison des différentes quantités (Moyenne \pm SEM) d'hydrocarbures cuticulaires chez les mâles et les femelles témoins (T), traités au spinosad (Sp), au BT (Bt) ou au mélange Spinosad / Bt (Sp-Bt). Les valeurs ayant des lettres différentes sont significativement différentes.

DISCUSSION

1- Structure de la population et potentiel reproducteur de *B. germanica* :

Les blattes sont apparues sur terre dès le carbonifère, période à laquelle elles abondaient dans les forêts. De nos jours, la plupart des 4000 espèces décrites à ce jour vivent dans les zones tropicales et seules quelques-unes d'entre elles sont inféodées aux habitations.

Parmi le genre *Blattella*, *B. germanica* est la plus répandue; originaire du Nord-Est de l'Afrique, elle a rapidement gagné l'Europe puis toutes les parties du monde grâce aux échanges commerciaux (Cornwell, 1968 ; Miller & Koehle, 2003). En outre, son régime omnivore lui permet de s'accommoder à toutes sortes d'aliments et s'adapte très bien aux conditions difficiles comme le manque d'eau ou de nourriture (Gordon, 1996). Cependant, elle ne peut ni se développer, ni s'alimenter et ni se reproduire lorsqu'il fait trop froid (Grandcolas, 1998).

L'étude menée dans ce travail montre que *B. germanica* abonde les zones urbaines et que la structure de la population est variable en fonction des mois. Le plus grand nombre d'individus a été récolté dès le mois de mars où la température augmente; les conditions deviennent alors très favorables pour l'éclosion des oothèques et explique le nombre élevé de larves récoltées par rapport celui des adultes. De plus, la présence de larves et d'oothèques de dimensions variées indique que ces colonies sont solidement établies (OMS, 1999). Nos résultats sont comparables à ceux de Djebari & Mohamedi (2011) et de Berkous & Benfiala (2012).

Chez les espèces des blattes domestiques, la durée de vie est fonction des conditions climatiques. Cette dernière peut être plus ou moins longue selon les espèces mais, d'une façon générale, plus l'insecte est gros, plus il vit longtemps. Dans les conditions optimales de laboratoire, les adultes de *B. germanica*, qui est une petite espèce, peuvent vivre 2 à 3 mois alors qu'une grosse espèce comme *P. americana* pourra vivre plus de 2 ans (Cornwell, 1968).

Chez les blattes, l'oothèque est généralement déposée dans un lieu abrité des prédateurs et humide. La forme et la taille de l'oothèque varient selon les espèces; chez *B. germanica* elle mesure en moyenne 8 mm (Roth, 1968 ; Tanaka, 1976). Nos résultats confirment ces mensurations. Nous avons également mis en évidence que la taille de l'oothèque ne donne aucune information sur le nombre de larves qui en sortiront, contrairement leur poids qui est fortement corrélé au nombre de larves. La période d'incubation des oothèques est variable et dépend des conditions de température et peut varier de 17 à 36 jours lorsque la température varie de 30 à 20°C (Barson & Rehn, 1983; Cochran, 1983; Durbin & Cochran, 1985; Roth & Stay, 1962; Tanaka, 1973; Willis *et al.*, 1958).

Dans la plupart des cas, les femelles produisent plus d'une oothèque durant leur vie. Une femelle de *P. americana*, par exemple, pourra donner plus de 1000 oothèques, alors que *B. germanica* n'en donnera, le plus souvent, que quatre ou cinq qui contiennent une trentaine d'embryons en moyenne. Nos résultats montrent que le nombre des larves qui quittent les oothèques viables diffère d'une oothèque à l'autre; le maximum de larves obtenues a été de 38 et le minimum de 6. Chez cette espèce, l'oothèque reste attachée 3 à 4 semaines à l'abdomen pendant tout le développement embryonnaire et n'est libérée que peu de temps avant l'éclosion des larves.

En ce qui concerne l'accouplement, nous avons pu montrer que les taux de réussite ne dépassaient pas 40 % et qu'il y avait près de 50 % d'accouplements avortés. Ce résultat peut s'expliquer par une sélection des mâles par les femelles afin de sélectionner les meilleurs gènes du mâle pour sa progéniture et assurer ainsi la survie de l'espèce. Cette hypothèse a été vérifiée chez une autre blatte, *Leucophaea maderae* (Mondet, 2008). Par voie de conséquences, la mise à disposition de nombreux mâles fournira à la femelle l'opportunité de choisir un bon partenaire potentiel afin de s'accoupler. Dans les conditions naturelles, les phéromones grégaires, responsables de la cohésion des groupes, jouent un rôle important et favorisent le rapprochement des sexes, mais ne se substituent en aucun cas aux phéromones sexuelles (Brossut, 1979).

L'étude du comportement sexuel des adultes témoins confirme les résultats de Tokro (1984) qui montrent que, chez *B. germanica*, c'est toujours la femelle qui émet une phéromone sexuelle volatile au niveau d'une petite zone glandulaire située sur son pygidium (dernier tergite abdominal recouvrant l'atrium génital) afin d'attirer les mâles à distance. Au

cours de nos tests comportementaux, nous avons pu mettre en évidence que les mâles âgés de 10 jours étaient toujours fortement attirés par les femelles.

Le rôle des contacts antennaires dans la reconnaissance mutuelle des partenaires a été prouvé chez différentes espèces de blattes (Roth & Willis, 1952, Smyth, 1963, Farine *et al.*, 1993, Gropeaux, 1994). Cette phase de reconnaissance antennaire entre les deux sexes déclenche chez le mâle un comportement de parade, la « wing-raising posture », qui démontre son excitation. Nous avons pu montrer que les mâles de *B. germanica* non traités adoptent cette posture au maximum 7 fois au cours de la première parade. La femelle, si elle est réceptive, monte sur le dos du mâle et grignote les sécrétions tergaux du mâle. Ces sécrétions, contenant des protéines, des sucres et des lipides, ont longtemps été considérées comme aphrodisiaques ; elles provoquent l'immobilité de la femelle, ce qui permet au mâle de s'accoupler.

Comme chez de nombreux insectes, les cires cuticulaires, tout en protégeant l'individu des agressions extérieures (température, humidité) renferme de nombreux composés chimiques à longue chaîne carbonée : les hydrocarbures cuticulaires (HCs). Les HCs jouent un rôle déterminant dans la biologie et le comportement des insectes (Blomquist *et al.*, 2005 ; Brossut & Sreng, 1985 ; Clément *et al.*, 1987; Espelie *et al.*, 1994 ; Everaerts *et al.*, 1997 ; Saïd *et al.*, 2005; Wertheim *et al.*, 2005).

Chez *B. germanica*, Rivault *et al.* (1998) ont montré que les HCs consistent en un mélange d'une trentaine de n-alkanes, de monométhylalkanes et de diméthylalkanes. Le pourcentage et les quantités de ces composés varient selon l'âge et le sexe de l'individu étudié. Des études portant sur le profil cuticulaire de différentes souches de *B. germanica* ont permis de démontrer que les n-alkanes et les monométhylalkanes sont des invariants spécifiques de l'espèce et sont responsables des phénomènes d'agréations et de la reconnaissance entre individus. Les diméthylalkanes, quand à eux, pourraient jouer un rôle dans la discrimination entre les différentes souches de cette espèce (Rivault *et al.*, 2002).

Les analyses chromatographiques des profils cuticulaires que nous avons réalisés chez les mâles et les femelles non traités aux biopesticides montrent la présence de 25 composés hydrocarbonés majoritaires. Nos résultats sont conformes à ceux décrits précédemment par Rivault *et al.* (1998, 2002). Si d'un point de vue qualitatif, les profils sont identiques chez les mâles et les femelles, la quantité totale en HCs des femelles est toujours plus élevée que celle

des mâles. Cette différence peut s'expliquer par la taille des individus (la femelle est toujours plus grosse que le mâle). L'analyse chromatographique des adultes témoins âgées de 10 jours montrent que les HCS majoritaires sont constitués essentiellement de 9-, 11- et de 13-methylheptacosane, de n-nonacosane, de 9-, 11-, 13- et de 15-methylnonacosane, de 5-methylnonacosane, de 11,15- et de 13,17-Dimethylnonacosane, de 3-methylnonacosane et de 3,7-, 3,9- et de 3,11-dimethylnonacosane.

Chez les femelles de *B. germanica*, la nature chimique de la phéromone sexuelle de contact est 3, 11-dimethylnonacosan-2-one (Chase *et al.*, 1991; 1992). Ce composé, difficile à détecter par chromatographie en phase gazeuse, déclenche la position de parade du mâle lorsqu'il touche la femelle.

2- Utilisation de biopesticides comme moyen de lutte contre *B. germanica* :

Le rôle très important des blattes comme vecteurs de maladies n'est plus à démontrer et *B. germanica* en est un bon exemple. Les moyens de lutte contre cette espèce se font le plus souvent, soit par épandage d'insecticides hautement toxiques dans les lieux de rassemblement de insectes, soit par utilisation d'appâts toxiques. Il est cependant de plus en plus difficile d'éliminer les blattes au moyen d'insecticides car ces dernières sont devenues très résistantes à la plupart des insecticides courants comme les organochlorés, qui tendent à être abandonnés (Strong *et al.*, 2000 ; Haubruge & Amichot, 1998). En outre, de nombreux insecticides additionnés aux appâts exercent sur les blattes un effet répulsif et assurent ainsi, indirectement, leur protection (Wooster & Ross, 1989). De plus, la lutte chimique n'apporte qu'un répit temporaire aux pullulations de blattes et doit, dans toute la mesure possible, s'accompagner de l'assainissement de l'environnement ou vit l'insecte à éradiquer (Schall, 1988).

L'apparition d'un phénomène de résistance aux insecticides conventionnels chez de nombreuses espèces de blattes, et des considérations d'ordre écologique, conduit à remplacer les composés organochlorés par des organophosphorés, des carbamates biodégradables, des pyréthrénoïdes de synthèse ou, plus récemment, par des régulateurs de croissance. Ces derniers agissent en perturbant le passage de la larve à l'adulte. Ils sont en revanche peu toxiques pour les organismes non ciblés, mais leur utilisation est limitée par un prix élevé et des problèmes d'approvisionnement (OMS, 1999). Il est donc essentiel de continuer à

développer de nouveaux produits ou de nouvelles approches combinant différents moyens de lutte. C'est ce que nous avons tenté de faire au cours de cette thèse.

En raison de sa nuisance et en tant que vecteur de diverses maladies, *B. germanica* a fait l'objet de plusieurs études toxicologiques, grâce à l'utilisation de produits chimiques peu toxiques pour l'homme ou les animaux domestiques. L'utilisation de l'acide borique comme moyen de lutte contre *B. germanica* en est un bon exemple, mais son mode d'action reste à élucider (Habes, 2006).

Récemment, depuis la découverte du pouvoir pathogène de certaines bactéries, tout d'abord dans le domaine agricole, puis dans le domaine médical, les insecticides d'origine biologique connaissent un essor tel qu'ils semblent constituer de plus en plus une alternative raisonnable aux insecticides chimiques. Un des biopesticides les plus utilisés de nos jours est le spinosad. Issu d'une bactérie naturelle, *Saccharopolyspora spinosa*, (Sparks *et al.*, 1998), cette molécule semble présenter une solution plus appropriée que les molécules insecticides classiques, pour lutter contre divers parasites. De plus, le spinosad présente une faible toxicité pour l'homme (Liu & Yue, 2000) et les mammifères (Kirst, 2010) et se dégrade rapidement, ce qui préserve l'environnement (Dua *et al.*, 2009).

L'effet toxique du spinosad a été évalué sur plusieurs espèces d'insectes comme certains parasites d'abeilles (Penagos *et al.*, 2005) ou certaines chenilles de Lépidoptères comme *L. dispar* (Touati, 2010). Ce composé est également de plus en plus utilisé pour lutter contre les larves de moustiques comme *Anopheles stephensis*, *Anopheles multicolor*, *Aedes aegypti* et *Culex pipiens* (Bahgat *et al.*, 2007; Mrabeti, 2010; Romi *et al.*, 2006).

Dans cette étude, nous avons étudié la toxicité du spinosad lorsqu'il était ingéré par les adultes de *B. germanica*. Nos résultats montrent que le spinosad entraîne une mortalité variable selon le sexe des individus traités, la concentration utilisée et le temps de traitement. Nous avons démontré que les concentrations létales, CL50 et CL90, ainsi que les temps létaux, TL50 et TL90, diminuent en fonction de la durée du traitement et/ou de l'augmentation de la concentration en spinosad: au bout de dix jours, la mortalité des mâles est plus importante que celle des femelles; au-delà de 15 jours de traitement, les taux de mortalité des mâles et des femelles augmentent et peuvent atteindre 100% lorsqu'on utilise les plus fortes concentrations (1 et 2 g/l).

Notre étude montre également que la CL50 du spinosad diminue en fonction du temps de traitement et montre qu'après 30 jours d'exposition, la CL50 est équivalente à 30 mg/l chez

les mâles et 16 mg/l chez les femelles. Nos résultats corroborent ceux obtenus récemment par d'autres auteurs (Maiza *et al.*, 2011; Nasirian *et al.*, 2011) et révèlent qu'une solution aqueuse de spinosad agit relativement lentement par ingestion contrairement à une application réalisée directement sur l'insecte (Nasirian *et al.*, 2011). Cependant, ce dernier mode de traitement est très difficile à concevoir si l'on veut lutter contre des espèces invasives comme les blattes, qui vivent la nuit et se cachent dans des endroits difficiles d'accès.

L'arrivée de produits entomopathogènes comme les diverses souches de *B. thuringiensis* (Bt) nous a laissé croire pendant plusieurs années que le problème de résistance des insectes à un traitement insecticide allait être rapidement révolu, à cause de la variété des toxines produites par ces entomopathogènes (provoquent l'intoxication puis la mort de l'insecte).

Les premières applications du Bt dans l'environnement datent de 1933. Il a été utilisé dès les années 1950 dans les forêts, les champs et les vignobles. Jusqu'au milieu des années 1970, on l'a beaucoup utilisé dans la lutte contre les lépidoptères ravageurs des forêts et des cultures intensives. En 1976, la découverte des sérotypes *israelensis* (Bti) et *tenebrionis* a lancé l'utilisation du Bt en santé publique grâce à une action larvicide sur les moustiques, les simules et les coléoptères (Barjac; 1978; Bendali, 2006). Il était donc intéressant de tester l'activité du Bt comme moyen de lutte contre *B. germanica*.

Au cours de ce travail, nous avons montré que les adultes de *B. germanica* étaient peu sensibles au *Bt var. kurstaki* (Btk). En effet, après ingestion d'une solution aqueuse de Btk, le pourcentage de mortalité obtenu a été, dans le meilleur des cas, de l'ordre de 10% après 10 jours de traitement et n'a jamais dépassé 50%, même lorsqu'on exposait les blattes à des concentrations élevées (20 g/l et 200 g/l) pendant plus d'un mois. Cette faible activité du Bt contre les adultes de *B. germanica*, même à des concentrations élevées pourrait s'expliquer par un effet répulsif de la bactérie due essentiellement à sa forte odeur.

Un des principaux moyens utilisés pour diminuer la résistance des insectes contre un traitement est l'emploi d'un mélange de différents produits afin de créer un effet synergique, qui aura un impact plus important sur l'insecte que la somme des actions produites par chacun des produits pris indépendamment (Mulla *et al.*, 2003). Il semble important de mélanger des produits qui ont des modes d'actions ou des sites d'ancrages différents pour les toxines au niveau cellulaire. Deux produits agissant par synergisme verraient donc leur potentiel toxique

augmenter. Il serait alors possible de diminuer les doses des formulations à utiliser sur le terrain afin d'augmenter le pourcentage de mortalité du parasite ciblé.

Un certain nombre d'études montrent que certains insecticides agissent en synergie contre les vecteurs de maladies et les insectes nuisibles. Par exemple, le fongicide *Metarhizium anisopliae* et l'acide borique (insecticide chimique) peuvent agir en synergie contre *B. germanica* (Zuker *et al.*, 2002). En utilisant un mélange de ces deux composés, on obtient deux fois plus de mortalité chez les insectes traités, et ce, avec des TL50 qui passent de 10 à 6 jours. Récemment, Christos *et al.*, (2011), ont montré qu'un mélange de spinosad et de méthoprene présentait également une bonne activité insecticide contre six espèces d'insectes de denrées stockées.

Chez *B. germanica*, nous avons voulu vérifier si l'association de deux molécules, comme le spinosad et le Btk, pouvait avoir un effet synergique sur la mortalité des adultes. Le choix des concentrations de ces deux biopesticides a été fait en fonction du taux de mortalité obtenu pour chacun d'eux pris isolément. Les concentrations létales se rapprochant le plus de 50% ont été retenues afin de permettre une meilleure évaluation du potentiel synergique pouvant exister entre les deux composés. Lorsque plusieurs concentrations d'un biopesticide provoquaient des mortalités oscillant autour de 50 à 70 %, les concentrations les moins élevées étaient choisies, respectant ainsi un des objectifs de l'étude qui était de diminuer les doses à appliquer sur le terrain. La formulation utilisée, le dosage (en spores/ml ou unités/ml) de la bactérie dans le produit et la fréquence des traitements sont autant de facteurs qui peuvent également influencer la toxicité de l'insecticide « bactérien » seul et en synergie (Lacey & Merritt, 2003).

Les résultats obtenus lors de cette thèse montrent que l'action conjuguée du spinosad et du Btk augmente, sans ambiguïté, les taux de mortalité des adultes lorsqu'on utilise les concentrations les plus faibles. Cette mortalité est en forte corrélation, non seulement avec les concentrations utilisées, mais également avec le temps de traitement. Après 30 jours, le mélange contenant les plus fortes concentrations a provoqué la mort de plus de 70% des mâles et des femelles, alors que, en appliquant ces mêmes concentrations à des traitements ne contenant que l'un des biopesticides, les pourcentages de mortalité observées varient entre 20 et 50%. Ces résultats confirment qu'il existe bien un effet synergique lorsqu'on utilise un mélange de spinosad et de Btk pour lutter contre *B. germanica*. Sur le terrain, cela conduira à diminuer les doses à appliquer et, par voie de conséquence, engendrera une diminution des coûts des traitements.

3- Perturbations du comportement sexuel de *B. germanica* par les biopesticides :

L'étude des changements de comportement chez les insectes est un sujet très vaste, notamment après traitement insecticide. Il peut s'agir de changements temporaires, qui disparaissent généralement au cours des années après l'arrêt du traitement ou d'une augmentation de la sensibilité naturelle à certaines molécules qui fait que les individus éviteront plus rapidement les zones traitées. L'insecticide utilisé ne sera alors actif que sur une fraction réduite de la population visée. Enfin, dans certains cas, l'emploi massif de certains insecticides entraînera une modification durable du comportement qui persistera après l'arrêt des traitements et se manifestera dans les zones non traitées (Hamon, 1963).

Parmi les insecticides naturels les plus couramment utilisés, le spinosad, l'azadiractine, le *Bacillus thuringiensis israeliensis* (Bti) et le *Bacillus sphaericus* (Bsp), présentent chacun des mécanismes d'actions singuliers (IRAC, 2008). L'étude détaillée du comportement sexuel et du potentiel reproducteur des blattes, et de *B. germanica* en particulier, était donc un des facteurs primordiaux à ne pas négliger, et c'est ce que nous avons tenté de faire tout au long de ce travail.

Dans cette étude on a montré qu'un traitement par ingestion de biopesticides, comme le spinosad ou le Bt, avait un impact sur le comportement sexuel de *B. germanica*. Nous avons pu mettre en évidence l'existence d'effets différés du spinosad (administré à concentration sub létale, 25mg/l) sur le comportement sexuel de cet insecte. La toxine agit essentiellement sur le déroulement des différentes séquences comportementales conduisant à l'accouplement en affectant le taux de parades du mâle (diminution de 40% du nombre de parades par rapport aux témoins) et les tentatives d'accouplement après léchage des sécrétions mâles par la femelle (60 à 80% d'accouplements en moins). Les tests en olfactomètre montrent également que l'attractivité sexuelle et grégaire est affectée: seuls 30% des individus traités (âgés de 5 jours) localisent l'odeur de leurs congénères traités alors que 60% d'entre eux localisent les odeurs des individus témoins.

Il existe de nombreux travaux sur l'utilisation du Bt comme moyen de lutte, mais aucun article s'intéressant aux effets différés de cette bactérie. Au cours de ce travail, même si la souche de Bt (Btk) utilisée ne provoque pas des taux de mortalité très importants chez *B.*

germanica, celle-ci agit incontestablement sur le comportement sexuel des adultes. Bien que n'agissant pas significativement sur la reconnaissance mutuelle des partenaires, le Bt est responsable de l'augmentation du temps de la première parade du mâle et celui du premier léchage femelle. En effet, 100% des mâles traités avec la bactérie ne s'accouplent pas (40% d'accouplement chez les témoins).

Des découvertes scientifiques récentes montrent que bon nombre d'insecticides agissent par des mécanismes tels qu'ils peuvent enclencher des effets à de très faibles concentrations et agir en synergie avec d'autres pesticides (Wattiez & Bey, 1999). Les chercheurs s'intéressent de plus en plus à l'impact de doses sublétales d'insecticides sur les populations d'insectes nuisibles. Les exemples sont divers chez *B. germanica* : effet de l'acide borique sur la structure de l'intestin moyen et l'activité de divers enzymes (acétylcholinestérase et glutathion s-transférase) (Habes *et al.*, 2005), perturbations de l'ovogénèse après l'application de précocène, de RH-0345 ou de pyriproxifène (Belles *et al.*, 1985 ; Rouibi, 2002 ; Kawada, 1988), effet du *Metarhizium anisopliae* sur la reproduction des femelles, la production d'oothèques, le taux d'éclosion, et nombre de larves (Quesada-Moraga *et al.*, 2004). Chez d'autres espèces d'insectes, on peut citer le rôle de phénoxy-carbe (régulateur de croissance) sur la longévité et les capacités vectrices de *Simulium damnosum*, vecteur de l'onchocercose (Lochouarn *et al.*, 1992), celui de l'azadirachtine contre le ravageur du riz *Nilaparvata lugens* (Senthil *et al.*, 2008) et du méthoxyfénozide (régulateur de croissance) sur la pyrale des pommes qui induit une fécondité et une fertilité réduites et modifie le comportement sexuel des adultes (Fraser, 2009).

Plusieurs travaux montrent qu'il peut exister un effet différé d'insecticides agissant en synergie sur divers modèles : spinosad et diflubenzuron sur la croissance et la reproduction des crustacés (Duchet *et al.*, 2011), spinosad et indoxacarbe sur la reproduction et le développement d'*Harmonia axyridis* (Galvan *et al.*, 2005) et Bti et Azadirachtine sur l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) chez *Cnaphalocrocis medinalis* (Senthil *et al.*, 2006).

Au cours de cette thèse, nous avons mis en évidence l'effet d'un traitement spinosad/Bt, lorsque ces deux composés étaient utilisés en synergie, sur le comportement sexuel de *B. germanica*. Cette dernière ne s'accouple pas lorsqu'on l'expose à de faibles doses du mélange. 100 % des accouplements observés sont avortés. Les insectes traités perdent également la faculté de perception des odeurs de leurs congénères ce qui indique que les deux composés en synergie ont un impact sur le système sensoriel de *B. germanica*.

Certains insecticides affectent le profil des HCs chez *B. germanica* : l'acide borique, par exemple, peut féminiser le profil des hydrocarbures cuticulaires des mâles alors que celui des femelles n'est pas touché (Kilani-Morakchi *et al.*, 2005) et l'halofénozide (agoniste d'ecdystéroïdes) diminue les taux d'HCs chez les deux sexes, probablement en affectant la synthèse et/ou le transport de ces composés (Kilani-Morakchi *et al.*, 2009).

Dans cette étude, l'effet du spinosad sur le profil des HCs a été étudié chez les mâles et les femelles de *B. germanica* arrivés à maturité sexuelle (10 jours). Nos analyses ont révélé que cette toxine entraîne une forte diminution des quantités de tous les hydrocarbures par rapport aux témoins. Ainsi, chez les mâles, la quantité d'HCs passe de 32 µg à environ 3µg et chez les femelles, de 50 à 5 µg. Cette diminution est fonction de la durée d'exposition des insectes au spinosad. En effet, dans une étude précédente, nous avons montré que chez les individus âgés de 5 jours, le spinosad agissait uniquement sur le taux de certains HCs responsables essentiellement de la reconnaissance du partenaire sexuel (Habbachi *et al.*, 2009). L'utilisation du Btk perturbe également le profil cuticulaire, soit en augmentant les quantités totales des HCS (cas des mâles), soit en les diminuant (cas des femelles). Ces perturbations sont aussi plus importantes lorsqu'on utilise les deux biopesticides en synergie : chez les mâles traités, la combinaison entre spinosad et Btk induit une diminution plus ou moins importante dans les quantités des HCs analysés (32 µg chez les témoins, 25 µg chez les traités). Toutes ces perturbations au niveau des HCs peuvent expliquer les résultats obtenus lors de l'étude du comportement sexuel et de celle concernant l'attractivité à distance des adultes (tests en olfactomètre).

Plusieurs articles de synthèse (Lacey & Undeen, 1986 ; Ahmed *et al.*, 1988 ; Lacey & Lacey, 1990 ; Schoenly, 1990) font régulièrement le point sur l'état d'avancement des recherches en matière de lutte biologique. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) participe activement à cette mise à jour en publiant et réactualisant régulièrement des articles récapitulatifs sur les agents les plus prometteurs. En effet, si certains organismes prédateurs ou pathogènes d'insectes, tels que certains insectes, crustacés et poissons larvivores (Rivière *et al.*, 1987 ; Sherratt & Tikasingh, 1989 ; Linden & Cech, 1990), nématodes (Rojas *et al.*, 1987; Santamaria-Mijares, 1987), microsporides (Anthony *et al.*, 1978 ; Sweeney & Becnel, 1991), spiroplasmes (Humphery-smith *et al.*, 1991 ; Vorms-Le Morvan *et al.*, 1991) ou encore certains virus (Lacey, 1982 ; Federici, 1985) ont bien donné des résultats encourageants au laboratoire, ces derniers ont été peu convainquant sur le terrain.

Le fait de disposer d'un bon insecticide, chimique ou d'origine biologique, ne suffit pas toujours pour garantir le succès d'un programme de lutte antivectorielle. Le choix de la stratégie et les moyens de l'appliquer, est tout aussi important. Il importe donc de bien réfléchir sur l'ensemble de ces paramètres avant de passer à l'exécution d'un programme. C'est à ce prix seulement que des campagnes de lutte ambitieuses pourront être entreprises sans risque que celles-ci avortent prématurément faute de moyens humains, financiers, logistiques ou tout simplement faute d'avoir su choisir l'insecticide le plus approprié.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Comme nous avons pu le voir dans la première partie de ce travail, nous avons pu mettre en évidence l'existence, dans nos forêts de Nord-Est algérien, de trois espèces de blattes: *L. decipiens*, *E. kervillei* et *E. sp.* Lors de l'inventaire effectué dans quatre sites différents (PNEK, Edough, Machrouha et Sidi Amar), nous avons pu montrer que la distribution de ces blattes diffère en fonction de l'altitude, les conditions climatiques et l'essence végétale prédominante. Ces blattes sont présentes dans les litières forestières durant presque toute l'année avec des effectifs fluctuants.

L. decipiens est une blatte dont on ne connaît que très peu de choses. C'est pourquoi, il nous a semblé intéressant d'étudier plus en détail cet insecte. Dans le deuxième chapitre de cette thèse, nous avons montré que *L. decipiens* vivait dans la litière des subéraies du PNEK et de l'Edough, ainsi que dans les forêts d'eucalyptus. C'est une blatte qui apparaît au début du printemps pour ne disparaître qu'en hiver. Il semble qu'elle hiverné sous forme d'œufs dans l'oothèque. Une étude de l'effet de la température sur les œufs pourrait lever cette hypothèse. La litière des forêts (subéraies et eucalyptus) est riche en matière organique, et constitue donc un habitat idéal et permet un développement optimal de l'espèce. Il serait donc intéressant de poursuivre ce travail en menant une étude plus approfondie sur les caractéristiques microbiologiques, par exemple, de la litière. L'étude du comportement alimentaire de *L. decipiens* montre que les adultes sont plus attirés par les extraits de feuilles fraîches d'eucalyptus que par les feuilles sèches. L'odeur de ces feuilles, véhiculée par le vent, pourrait servir de signal pour maintenir les groupements de *L. decipiens* au pied des arbres. Il serait donc intéressant d'étudier la composition chimique de ces feuilles par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM) afin de pouvoir tester le rôle potentiel de certaines molécules odorantes sur l'attraction à distance de cette espèce.

D'un point de vue éthologique, le comportement sexuel de *L. decipiens* a été étudié en détail au laboratoire, dans des conditions contrôlées. Nous avons pu mettre en évidence que, chez cette espèce, c'est la femelle qui attire le mâle à distance, très certainement, par le biais d'une phéromone sexuelle dont la nature reste à élucider. La reconnaissance des deux

partenaires se fait grâce à de nombreux contacts. L'identification chimique par CPG/SM des hydrocarbures cuticulaires adsorbés dans les cires cuticulaires des adultes permettrait certainement d'expliquer plus en détail le rôle joué par ces contacts antennaires. Enfin, la composition exacte des sécrétions tergaux du mâle qui semblent inciter la femelle à monter sur son dos serait également à explorer.

La lutte contre les blattes reste le plus gros marché d'insecticides en santé publique et fait vivre quantité de petites entreprises de désinsectisation (Guillet *et al.*, 1997). Au cours de ce travail, nous avons vu que *B. germanica* était, de loin, l'espèce la plus abondante dans tous les sites prospectés (hôpitaux, habitations, résidence universitaire et boulangerie). Cette blatte devenant de plus en plus résistante aux insecticides conventionnels, il est urgent d'appliquer d'autres méthodes de lutte en utilisant, de préférence, des insecticides non toxiques pour l'homme et les animaux. Ces nouvelles molécules, ou biopesticides, sont généralement issues du milieu naturel ; c'est le cas des deux composés que nous avons étudiés dans le troisième chapitre de cette thèse : le spinosad et le Btk.

Nous avons mis en évidence l'effet toxique du spinosad par ingestion sur les adultes de *B. germanica* et calculé les différentes concentrations létales de ce biopesticide. Si le Btk n'a qu'une faible activité sur la mortalité des blattes, par contre, l'utilisation d'un mélange de concentrations sublétales de spinosad / Btk augmente l'efficacité de ces derniers.

Les effets sublétaux les plus importants d'un insecticide sont ceux qui perturbent les traits liés à la reproduction des insectes, comme la recherche du partenaire sexuel, le sexe ratio, la fertilité des œufs, etc... Dans les conditions de laboratoire, nous avons montré que, lorsque le spinosad et le Btk (seuls ou en mélange) étaient ingérés par les adultes, cela provoquait des troubles importants du comportement sexuel (attraction à distance, reconnaissance par contact, etc...) et, par voie de conséquence, rendait les individus incapables de s'accoupler, donc, de donner une descendance. Tous ces effets sont beaucoup plus marqués lorsqu'on utilise un mélange spinosad / Btk à des concentrations sublétales ce qui permettrait donc de lutter efficacement, et à moindre coût, contre *B. germanica* sur le terrain.

RÉSUMÉS

RESUME

Les blattes, insectes dictyoptères, sont apparues sur terre il y a plus de 400 millions d'années. Insectes très résistants, ils se sont adaptés à tous les milieux. Plus de 4000 espèces de blattes sont connues à ce jour et un certain nombre d'entre elles sont considérées comme nuisibles.

Dans la première partie de ce travail, nous avons dressé un inventaire faunistique des principales espèces de blattes que l'on pouvait rencontrer dans les milieux forestiers et domestiques de l'Est-Algérien. Ce type d'étude n'avait jamais été entrepris en Algérie. Nous avons pu identifier trois espèces de blattes forestières, *Loboptera decipiens*, *Ectobius kervillei* et *Ectobius sp.* *L. decipiens* abonde dans les forêts de chêne-liège et d'Eucalyptus du littoral alors que les populations d'*Ectobius* occupent plus les forêts de moyenne et haute montagne. Concernant les blattes domestiques, notre étude nous a permis de recenser l'existence de quatre espèces : *Blattella germanica* (espèce dominante), *Periplaneta americana*, *Blatta orientalis* et *Supella longipalpa*.

La deuxième partie de ce travail porte sur l'étude bioécologique de *L. decipiens* qui est une blatte dont on ne connaît que très peu de choses. L'analyse physicochimique de la litière montre que cet insecte participe activement à la décomposition primaire du sol. Dans les conditions de laboratoire, nous avons montré que le taux d'éclosion des oothèques est d'environ 48%. Son comportement alimentaire a été déterminé grâce à des tests olfactométriques ; les résultats montrent que *L. decipiens* est très attiré par des extraits de feuilles fraîches d'Eucalyptus réalisés avec de l'hexane ou du dichlorométhane. L'observation du comportement sexuel de cette espèce révèle que c'est le mâle qui localise la femelle avant de s'accoupler. Une étude physicochimique des hydrocarbures cuticulaires, composés ayant un rôle phéromonal, montre l'existence de 22 composés à plus de 36 atomes de carbones.

Au cours de la troisième partie de ce travail, nous nous avons étudié l'impact toxicologique de deux biopesticides (spinosad et *Bacillus thuringiensis*) sur *B. germanica* qui représente plus de 90% des infestations domestiques. Cette étude montre que la synergie de ces deux molécules augmente le taux de mortalité des blattes. L'ingestion de concentrations sublétales de ces composés affecte également le déroulement des différentes phases du comportement sexuel ainsi que l'attractivité sexuelle des femelles. L'analyse physicochimique des sécrétions phéromonales (hydrocarbures cuticulaires) indique une modification quantitative de certains composés hydrocarbonés. Grâce à des tests de choix, nous avons pu montrer que ces modifications avaient un fort impact sur l'attractivité des mâles par les femelles.

Mots-clés : Blattes, *Loboptera decipiens*, *Blattella germanica*, comportement alimentaire, comportement sexuel, biopesticides, spinosad, *Bacillus thuringiensis var kurstaki*, toxicité, hydrocarbures cuticulaires.

ABSTRACT

Cockroaches appeared 400 million years ago. More than 4000 cockroach's species are known to date and a great majority of them are considered as pests.

In Algeria, a number of cockroaches are encountered in the forest and the urban areas but nothing is known about their way of life. So, in the first part of this work, the major encountered species were determined and their way of life has been studied: three species live in the forest (*Loboptera decipiens*, *Ectobius kervillei* and *Ectobius sp.*) and four in houses (*Blattella germanica*, *Periplaneta americana*, *Blatta orientalis*, *Supella longipalpa*).

The second part of this work focuses on the bio-ecological study of *L. decipiens*, which is a not well known insect. The chemical analysis of the ground revealed that this insect is actively involved in the primary decomposition of the soil. The study of its development in laboratory conditions showed that the hatching rate of the ootheca is near 48%. The feeding behavior determined by olfactometric tests showed that *L. decipiens* is more attracted to hexane or methylene chloride extracts of Eucalyptus fresh leaves than dried leaves. The observation of the sexual behavior revealed that the female attracts the conspecific male before mating, revealing the existence of a sex-pheromone. Using gas-chromatography technic, we determined that the cuticular hydrocarbons, which are present at the surface of the cuticle of the insects, are composed of 22 components.

In the third part of this work, we particularly studied the toxicological impact of two biopesticides (*Bacillus thuringiensis* and spinosad) on the major urban pest, *B. germanica* which represents more than 90% of the domestic infestations. We demonstrate that the synergy of these two molecules increases the mortality of the cockroaches. The ingestion of sublethal concentrations also affects the development and the mating success of the adults. The chemical analysis of the pheromonal secretions (cuticular hydrocarbons) indicates a quantitative change in a number of hydrocarbon compounds. Using a two-choice olfactometer, we demonstrate that these changes have a significant impact on the attractiveness of the males by the females.

Keywords : Cockroaches, *Loboptera dicipiens*, *Blattella germanica*, behavior, spinosad, *Bacillus thuringiensis*, biopesticides, toxicity, cuticular hydrocarbons.

المخلص

الصراصير هي فصيلة من الحشرات التي ظهرت على وجه الأرض منذ 044 سنة، و يعرف منها اكثر من 0444 نوع إلى يومنا هذا، و أغلبها صنفت كحشرات ضارة ذات السمعة السيئة.

في القسم الأول من هذا العمل، قمنا بجرد أنواع الصراصير الموجودة في الغابات و المناطق العمرانية للشرق الجزائري. أظهرت النتائج وجود الأنواع، *Loboptera decipiens* *Ectobius kervillei* و *Ectobius sp*. تتمركز *L. decipiens* في غابات البلوط و الكاليتوس أما عشائر *Ectobius* فتتواجد في المرتفعات. في ما يخص المناطق العمرانية، يُبين من خلال هذا العمل تواجد أربعة أنواع (*Blattella germanica*: الأكثر تواجداً) *Supella longipalpa* و *Blatta orientalis*، *americana Periplaneta*.

في القسم الثاني، درسنا الجانب البيويكولوجي لـ *L. decipiens*. قمنا بدراسة عشائر الحشرة الغابية في غابات الشرق الجزائري كما قمنا بمعايرة الوسط الطبيعي للحشرة الذي يمنح لها جميع الشروط الملائمة للتطور (حرارة، رطوبة، غذاء) ألا و هي البساط النباتي إضافة إلى السلوك الغذائي. النتائج أظهرت أن الحشرة أهلة في غابات الشرق الجزائري و تتطور أساساً في بداية الربيع كما تشارك بفاعلية في التفكيك الأولي للذبال. في الظروف المخبرية نسبة فقس البيوض قدرت بـ 04 % تم أيضاً تحديد السلوك الجنسي لهذا النوع من الصراصير الغابية و هذا من خلال عدة تجارب داخل علبة مغلقة و تحت ضوء أحمر. عند هذا الصرصور، الذكر يجد أنثاه و يبدأ بالاستعراض بعد ثلاثة إلى ستة ملامسات بقرون الاستشعار كما يفرز بعض المواد على ظهره التي تجلب الأنثى و تجعلها تصعد للحس الإفرازات و يعتبر هذا اللّحس مرحلة هامة من بين جميع المراحل المؤدية للاقتران . التحليل الكيميائي للغطاء الجلدي لهذه الحشرة بين وجود 22 مركب عضوي يحوي أكثر من 63 ذرة كربون.

في القسم الثالث درسنا تأثير مبيدين بيولوجيين على تغيير السلوك الجنسي لهذا الصرصور. المبيدين هما *spinosad* و *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* كما درسنا تأثير تعاضد هذين المبيدين على السلوك الجنسي. نتائج العمل أظهرت أيضاً التأثير السلبي المؤخر لـ *spinosad* على السلوك الجنسي للحشرة كما بينت أيضاً أن *Bt var. kurstaki* يؤثر أكثر على هذا السلوك أما استعمال المبيدين معا يزيد من تأثيرهما على السلوك الجنسي و أيضاً قدرة الحشرة على صناعة و استقبال المؤشر الكيميائي.

كلمات مفتاح : الصراصير، *Blattella germanica*، *Loboptera decipiens*، سلوك جنسي، سلوك غذائي،

مبيدات بيولوجية، *Bacillus thuringiensis var. kurstaki*، *spinosad*، تسمم.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abed D., 1993** . Comportement sexuel et phéromones sexuelles chez les blattes. Thèse de doctorat. Université de Bourgogne. Dijon. 48 pp.
- Abed D., Brossut R., Farine J. P., 1993 c** . Evidence for sex pheromones produced by males and females in *Blatta orientalis* (Blattidae). *J. Chem. Ecol*, 19 : 2831-2853.
- Abed D., Tokro P., Farine J. P., Brossut R., 1993 a** . Pheromones in *Blattella germanica* and *Blaberus craniifer* (Blaberoidae) : glandular source, morphology and analyses of pheromonally released behaviour. *Chemoecology*, 4 : 46-54.
- Adang M.J., 1991** . *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins: gene structure, action, and utilization. In: Biotechnology for biological control of pests and vectors (Edited by K. Maramorosch). *CRC Press, London*. 3-23.
- Adjami Y., 2009** . Etat sanitaire des subéraies du Nord-Est Algérien. Etudes des facteurs de dépérissements du chêne liège (*Quercus suber* L.). Essai insecticides contre les insectes du gland. Mémoire de Magister. Université de Annaba (Algérie). 120 pp.
- Ahmad I., Mehmood Z., Mohammad F., 1998** . Screening of some Indian medicinal plants for their antimicrobial properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 62 : 183–193.
- Ahmed A., Enayati F., Motevalli H., 2007** . Biochemistry of Pyrethroid Resistance in German cockroach (Dictyoptera : Blattellidae) from Hospitals of Sari, Iran. *Iranian. Biochemica. Journal*, 11 (4) : 251-258.
- Amamra R. & Bouchaib B., 2011** . Etude des facteurs de dépérissement dans les subéraies du Parc National d'El-Kala (Nord-est algérien). Mémoire de Master. Université de Annaba (Algérie). 50 pp.
- Anthony D.W., Savage K.E., Hazard E.I., Avery S.W., Boston M.D. & Oldacre S.W., 1978**. Field tests with *Nosema algerae* Vavra and Undeen (Microsporidia, Nosematidae)

against *Anapheles albimanus* Weidmann in Panama. *Misc. Publ. entomol. Soc. Am*, 11 : 17-28.

Appel A. G., 1990. Laboratory and field performance of consumer bait products for German cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) control. *J. Ecom. Entomol*, 83 (1): 153-159.

Aronson A.I., Beckman, W., Dunn P., 1986. *Bacillus thuringiensis* and related insect pathogens. *Microbiol. Rev.* 50: 1-24.

Atkinson T.H., Koehler P.G., Patterson R.S., 1991. Atlas and catalog of the cockroaches (Dictyoptera: Blattaria) of North America north of Mexico. *Misc. Publ. Entomol. Soc. America*, No: 78.

Azzioui O., Es-Sgaouri A., Fennane M., 2000 . Valeur écologique et biogéographie du genre *Genista* (L.) au Maroc. *Lagascalìa*, 21 (2) : 263 – 278.

Bahgat I.M., EL-Kady G.A., Temerak S.A., Lysaandrou M., 2007. The natural bioinsecticide spinosad and its toxicity to combat some mosquito species in Ismailia Governorate, Egypt. *World J. of Agricultural Sciences*, 3 (4): 396 – 400.

Barbosa P. & Krisch1k V.A., 1987 . Influence of alkaloids on feeding preference of eastern deciduous forest trees by the gypsy moth *Lymantria dispar*. *Am. Nat*, 130 : 53-69.

Barcay, S.J., 2004. Cockroaches,. In S.A. Hedges (ed.). *Handbook of Pest Control*. GIE Media, Inc., Richfield, OH, 121-215.

Barson G. & Rehn N., 1983 . Hatching from oothecae of the German cockroach (*Blattella germanica*) under laboratory culture conditions and after premature removal. *Entomol. Exp. & Appl*, 34 : 179-185.

Barth R. H., 1970 . The mainting behavior of *Periplaneta americana* and *Blatta orientalis*, with notes on three additional species of *Periplaneta* and interspecific action of female sex pheromones. *Z. Tierpsychol*, 27 : 722-748.

Bauer, L.S., 1995. Resistance: a threat to the insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Florida Entomol*, 78(3): 414- 442.

- Beegle, C.C., and Yamamoto, T. 1992.** History of *Bacillus thuringiensis* Berliner research and development. *Can. Entomol*, 124: 587-616.
- Beldjhem S., 2001.** Contribution à l'évaluation qualitative de la litière provenant de trois groupements forestiers de la région d'El – Kala « cas du chêne-liège, pin maritim, aulne glutineux ». Mémoire d'Ingénieur. Université de Annaba (Algérie). 42 pp.
- Bell W. J., 1990 .** Biology of the cockroach. *In* Cockroaches as Models for Neurobiology: Applications in Biomedical Research. *I. Huber, E.P.Masler, and B.R. Rao, editors. CRC Press. Boca Raton, Vol. 1.*
- Belles X., Messegues A., Piulachs M.B., 1985.** Sterilization induced by precocenes on females of *Blattella germanica* (L): short and long term effects. *Zeitschrift fur Angewandte Entomologie*, 100: 409-417.
- Bendali F, 2006.** Etude bioécologique, systématique et biochimique des Culicidae (Diptera : Nematocera) de la région d'Annaba .Lutte biologique anticulicidienne. Thèse de doctorat en biologie animale. Université de Annaba (Algérie). 120 pp.
- Benyacoub S. & Chabi Y., 2000 .** Diagnose écologique de l'avifaune du Parc National d'El Kala. Composition, statut de répartition. Synthèse n°: 7 Juin 2000. Revue des sciences et technologies. Université d'Annaba (Algérie). 98 pp.
- Benyacoub S., 1993 .** Ecologie de l'avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (Nord-Est algérien). Thèse. Université de Bourgogne - Dijon (France).
- Berchiche T., 1986 .** Contribution à l'étude socio-économique de la forêt algérienne. Mémoire de Magister INA – Alger (Algérie). 254 pp.
- Berkous N. & Benfiala N., 2012 .** Effets toxicologiques des bioinsecticides à l'égard des adultes de *Blattella germanica* (Dictyoptera ; Blattellidae) : Cas de Spinosad et *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* et synergie des molécules. Mémoire de Master. Université de Annaba (Algérie). 50 pp.
- Blomquist G.J., Jurenka R., Schall C., Tittiger C., 2005 .** Biochemistry and molecular biology of pheromone production. *In* : Gilbert L.I., latrou K., Gill S. (Eds). Comprehensive molecular insect science. *Elsevier Academic. Sn Francisco, Vol 3* : 705 – 751.

- Bohn H., Picker M., Klass K.D., Colville J., 2010** . A Jumping Cockroach from South Africa, *Saltoblattella montistabularis*, gen. nov., spec. nov. (Blattodea: Blattellidae). *Arthropod Systematics & Phylogeny*, 68 (1) : 53 – 69.
- Bolívar I., 1907** . Los "Pamphagus" de Marruecos. *Bol. R. Soc. Esp Hist. Nat*, VII: 324-336.
- Bolívard I., 1914** . Dermapteros y Ortopteros de Marruecos. *Mem. R. Soc. Esp. Hist. Nat*, VIII: 157-239.
- Bonett E.D. & Finot A., 1885** . Catalogue raisonné des Orthoptères de la régence de Tunis. *Rev. Sc. Nat. Montpellier*, pl. VII et XVI, VI: 193-232 et 333-367.
- Bouachria O., 2005** . Etude du cycle de développement de *Loboptera decipiens* (Dictyoptera : Blattellidae) dans les conditions contrôlées. Mémoire d'ingénieur. Université de Annaba (Algérie). 55 pp.
- Bouzeriba L., 2001** . Contribution à la caractérisation du peuplement des Lépidoptères Hétérocères dans le Parc National d El-Kala. Mémoire d'ingénieur. Université de Annaba (Algérie). 41pp.
- Boyer S. & Rivault C., 2003** . La Réunion and Mayotte cockroaches: impact of altitude and human activity. CNRS, U.M.R, 6552 Université de Rennes I, campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex. France.
- Boyer S. & Rivault C., 2004** . Life history traits of cockroaches in sugar-cane fields in Réunion (Blattodea : Blattellidae and Blabbaridae). *Oriental Insects*, 38 : 373-388.
- Bret B. L., Larson L., Schoonover J., Sparks T. C., Thompson G. D., 1997** . Biological properties of Spinosad. *Down to Earth*, 52 : 6-13.
- Brossut R., 1979** . Gregarism in cockroaches and in *Eublaberus* in particular. In : *Chemical Ecology: Odour Communication in Animals* (Ed. By F. J. Ritter), 237-246. Amsterdam : Elsevier.
- Brossut R., 1983** . Allomonal secretion in cockroaches. *J. Chem. Ecol*, 9 : 143-148.
- Brossut R., 1996** . Pheromones : La communication chimique chez les animaux. *Ed. CNRS. Paris*. 137 pp.

- Brossut R. & Roth L. M., 1977** . Tergal modifications associated with abdominal glandular cells in the Blattaria. *J. Morphol*, 151 : 259-298.
- Brossut R. & Sreng L., 1985** . L'univers chimique des Blattes. *Bulletin de la société entomologique de France, 150 e anniversaire*, 90 : 266-280.
- Cleveland C. B., Mayes M. A., Cryer S. A., 2001** . An ecological risk assessment for spinosad use on cotton. *Pest. Manag. Sci.* 58 : 70-84.
- Chabi Y., 1998** . Biologie de la reproduction des mésanges dans les chênaies du Nord-Est de l'Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Annaba (Algérie). 162 pp.
- Chapman K.H., 1938** . Orthoptera collected in the Atlas montains, Morocco, 1934-1936. Parts I-II. *Proc. R. Ent. Soc. London (B)*, VII: 89-102.
- Chase J., Jurenka R.A., Schall C., Halarnkar P.P., Blomquist G.J., 1991**. Biosynthesis of methyl-branched hydrocarbons: Precursors to the female contact sex pheromone of the German cockroach *Blattella germanica* (L.) (Orthoptera, Blattellidae). *Insect Biochem*, 20 : 149–156.
- Chase J., Toahara K., Prestwich G. D., Schall C., Blomquist G. J., 1992** . Biosynthesis and endocrine control of the production of the German cockroach sex pheromone, 3-11-dimethyl-nonacosan-2-one. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89 : 6050-6054.
- Chenoune K., Messaoudene M., Belletreche M., 2011**. Structure et modélisation de la croissance du *Quercus suber* dans certaines subéraies de Souk-Ahras et de Tizi-Ouzou. Communication du deuxième rencontres méditerranéennes sur la gestion des subéraies et la qualité du liège.
- Cherairia M., 2004**. Les blattes dans l'est algérien (Guelma) inventaire, biométrie et biotypologie. Mémoire de Magistère. Université de Annaba (Algérie). 139 pp.
- Chopard L., 1929** . Note sur les Orthoptères du Hoggar. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. N.* XX, 234-246, 1pl.
- Chopard L., 1936 b** . Contribution à l'étude de la faune des Orthoptères du Maroc. *Bull. Soc. Hist. Nat. Maroc* , XVI, p 151-179.

- Chopard L., 1940** . Contribution à l'étude de la faune des Orthoptères du Nord de l'Arique. *Ann. Soc. Ent. Fr.* CIX, 155-169.
- Chopard L., 1943** . Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord. Faune de l'empire Français. *Ed. Librairie Larousse*. Paris, 447 pp.
- Chopard L., 1951** . Orthoptéroïdes. *Faune de France 56. Office central de faunistique*. 358 pp.
- Christos G., Athanassiou C.G., Arthur F.H., Kavallieratos N.G., Throne J.E., 2011** . Efficacy of spinosad and methoprene, applied alone or in combination, against six stored-product insect species. *J. Pest. Sci*, 84:61–67.
- Cisneros J., Perez J. A., Penagos D. I., Ruiz J. V., Goulson D., Caballero P., Cave R. D., Williams T., 2002** . Formulation of a Nucleopolyhedrovirus with Boric Acid for control of *Spodotera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae). in *Maize. Biological control*, 23 : 87-95.
- Clément J. L., Bonavita-Cougourdan A., Lange C., 1987** . Nestmate recognition and cuticular hydrocarbons in *Camponotus vagus*. In : *Eder J., Rembold H. (Eds.). The chemistry and biology of social insects. Verlag. J. Peperny, Munich*, 473-474.
- Cleveland C. B., Mayes M. A., Cryer S. A., 2001** . An ecological risk assessment for spinosad use on cotton. *Pest. Manag. Sci*, 58 : 70-84.
- Cochran D. G., 1983** . Food and waterconsumption during the reproductive cycle of female German cockroaches. *Entomol. Exp. et Applic*, 34 : 51-57.
- Cochran D. G., 1990** . Managing resistance in the German cockroache. *Pest Control Technology*, 18 : 56-57.
- Cochran D. G., 1991** . Extended selections for pyrethroid resistance in the German cockroache (Dictyoptera : Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*, 84 : 1412-1416.
- Copping L. G. & Menn J. J., 2000** . Biopesticides. A review of their action, applications and efficacy. *Pest. Manag. Sci*, 56 : 651-676.

- Cornette R., 1997** . Comportement sexuel et mise en évidence d'une phéromone sexuelle femelle chez une blatte nidicole, *Schultesia lampyridiformis* (Blaberidae, Zetoborinae). *Développement ed. Masson ed. Michel*.
- Cornwell P. B., 1968** . The cockroach.. *A laboratory insect and an industrial pest. Vol I*, 116 pp.
- Cornwell PB., 1976** . The cockroaches, vol. 2. Insecticide and cockroaches control.
- Dajoz R., 1980** . Ecologie des insectes forestiers .*Ed Gauthier - Villars, Paris*, 489 pp.
- Dajoz R., 1998** . Les insectes de la forêt ; Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier – Technique et documentation. *ISBN 2743002549* : 594 pp.
- De Barjac H., 1978**. Toxicité de *Bacillus thuringiensis var. israelensis* pour les larves d'*Aedes aegypti* et d'*Anopheles stephensi*. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, 286 D : 1175-1178.
- De Belair, 1990** . Structure et fonctionnement et perspectives de gestion de quatre éco-complexes lacustres et marécageux (El-Kala), (Est Algérien). Thèse de Doctorat. Univ. U.S.T.L. Montpellier France.
- Djebari N. & Mohamedi H., 2011**. Étude des effets de *Bacillus thuringiensis kurstaki* sur *Blattella germanica* (Dictyoptera ; Blattellidae). Tests toxicologiques et comportementaux. Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar – Annaba (Algérie). 30 pp.
- Dua V.K., Pandey A.C., Raghavendra K., Gupta A., Sharma T., Dash A.P., 2009** . Larvicidal activity of neem oil (*Azadirachta indica*) formulation against mosquitoes. *Malaria Journal*, 8: 124–129.
- Duchet C., Inafuku M.M., Caquet T., Larroque M., Franquet E., Lagneau C., Lagadic L., 2011**. Chitobiase activity as an indicator of altered survival, growth and reproduction in *Daphnia pulex* and *Daphnia magna* (Crustacea: Cladocera) exposed to spinosad and diflubenzuron. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74 : 800–810.
- Durbin E. J. & Cochran d. G., 1985** . Food and water deprivation effects on reproduction in female *Blattella germanica*. *Entomol. Exp. & Applic*, 37 : 77-82.

- Durier V. & Rivault C., 2003** . Amelioration in German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) le contrôle de la population par la distribution fragmentée de gel appâts. *Journal of Economic Entomology*, 96 : 1254-1258.
- Ebling W., 1978** . Urban entomology. University of California. *Division of Agricultural Science. Berkeley, CA.*
- El-Sayed N. M. A. & Donelson J. E., 1997** . African trypanosomes have differentially expressed genes encoding homologues of the Leishmania GP63 surface protease. *J. Biol. Chem*, 272 : 26742-26748.
- Emberger L., 1955** . Travaux de Botanique et d'Ecologie. Masson et Compagnie. Paris.
- Emberger L., 1971** . Travaux de Botanique et d'Ecologie. Masson et Compagnie. Paris.
- Espelie K. E., Bammboea G. J., Grudzien T. A., Bura E. A., 1994** . Cuticular hydrocarbons of the paper wasp *Polistes fuscatus* : a search for recognition pheromones. *J. Chem. Ecol*, 20 : 1677-1687.
- Espinosa J.M., Verdun R.E., Emerson B.M., 2002** . p53 functions through stress- and promoter-specific recruitment of transcription initiation components before and after DNA damage. *Mol Cell*, 12 (4) : 1015 – 27.
- F. S. F. E.** Fiche Signalétique sur les Forêts de l'Edough.
- Everaerts C., Farine J.P., Brossut R., 1997** . Changes of species specific cuticular hydrocarbons profiles in the cockroaches *Nauphoeta cinerea* and *Leucophaea maderae* reared in heterospecific groups. *Entomol. Exp. Appl*, 85 : 145-150.
- Failla M.C. & Messina A., 1981** . Una nuova specie di Ectobius di Sicilia e ridecrizione di *Ectobius aetneus* Ramme (Insecta, Blattaria, Ectobiidae). *Animalia. ISSN 0391-7746*, Vol 8 (1-3) : 43-49.
- Farine J.P., Le Quéré J. L., Duffy J., Sémon E., Brossut R., 1993** . 4-Hydroxy-5-methyl-3-(2H)-furanone and 4-hydroxy-2, 5-dimethyl- 3-(2H)-furanone, two components of the male sex pheromone of *Eurycotis floridana* (Blattidae). *Biosci. Biotech. Biochem*, 57 : 2026-2030.

- Farine J.P., Le Quéré J. L., Duffy J., Sémon E., Everaerts C., Brossut R., 1994** . The male sex pheromone of the cockroach *Eurycotis floridana* (Blattidae, Polyzosteriinae): Role and composition of tergites 2 and 8 secretions. *J. Chem. Ecol*, 20 : 2291-2306.
- Farine J.P., Everaerts C., Abed D., Ntari M., Brossut R., 1996** . Pheromonal emission during mating behaviour of *Eurycotis floridana* (Blattidae : Polyzosteriinae). *J. Insect Behav*, 9 : 197-213.
- Farine J.P., Sirugue D., Abed-Vieillard D., Everaerts C., Le Quere J.L., Bonnard O., Brossut R., 2007** . The male abdominal glands of *Leucophaea maderae* (Dictyoptera, Blaberidae) : chemical identification of the volatile secretion and sex pheromone function. *J. Chem. Ecol. Feb*, 33 (2) : 405-15.
- Federici B.A., 1985** . Viral pathogens. *American Mosquito Control Association*, 6 : 62-74.
- Fenaux-Benderitter F., 1994** . Communication chimique et dominance chez *Nauphoeta cinerea* (Blaberidae). Thèse d'Université. Université Paris XIII.
- Ferrah C., 2005** . Structure d'une population de *Loboptera decipiens* (Dictyoptera : Blattellidae) dans la subéraie de Brabtia d'El-Kala. Etude du comportement sexuel en enceinte close. Mémoire d'Ingéniorat. Université de Annaba (Algérie). 40 pp.
- Finney D.J., 1971** . Probits analysis, 3rd ed., Cambridge University Press. London.
- Finot A., 1895** . Faune de l'Algérie et de la Tunisie. Insectes Orthoptères. *Ann. Soc. Ent. Fr.* LXIV, 57-120, 401-552, pL10.
- Finot A., 1902** . Liste des orthoptères captures dans le Sahara algérien par M. le professeur Lameere. *Ann. Soc. Ent. Bel.*, XLVI., p : 432 – 435.
- Fraser H., 2009** . *Effets de nouveaux insecticides sur la pyrale de la pomme adulte*. Entomologie des cultures horticoles/ MAAARO. In : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/hort/news/orchnews/2009/on-0209a8.htm>.
- Fraival A., 1989** . *Lymantria dispar*. Actes Editions, Rabat, Maroc, 220 pp.
- Frichman A.M. & Alcamo I.E., 1977** . Domestic cockroaches and human bacterial disease. *Pest Control*, 16-20.

- Fulton M.H. & Key P.B., 2001** . Acetylcholinesterase inhibition in estuaries fish and invertebrate as an indicator of organophosphorus insecticide exposure and effects. *Environ. Toxic and Chemistry*, 20 (1) : 37-45.
- Galvan T.L., Koch R.L., Hutchison W.D., 2005** . Toxicity of commonly used insecticides in sweet corn and soybean to multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). *J. Econ. Entomol*, 98 (3) : 780–789.
- Gill S.S., Cowles E.A., Pietrantonio P.V., 1992** . The mode of action of *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxins. *Ann. Rev. Entomol*, 37: 615-636.
- Gobat J.M., Aragnet M., Matthey W., 1998** . Le sol vivant : Bases de pédologie, biologie des sols. *Ed. Presses Polytechniques et Universitaires. Romandes. collection « Gérer l'environnement »*, 14 : 521-519.
- Gordon H.T., 1968** . Intake rates of various solid carbohydrates by male German cockroaches. *Journal of Insect Physiology*, 14, (1) : 41–52.
- Gordon D. G., 1996** . The compleat cockroach : a comprehensive guide to the most despised (and least understood) creature on earth. *Ten Speed Press. Berkeley*. 178 pp.
- Goudey-Perrière F., 1987** . Socialité, sexualité et reproduction chez *Blabera craniifer* Burm. (Dictyoptera, blaberidae, Blaberinae). Thèse Doctorat en Sciences Univ. Pierre et Marie Curie.
- Gould G.E., 1943** . Replacement material for cockroach control. *Soap. Sanit. Chen*, 19 : 90. 93-111.
- Grandcolas P., 1994** . Blattaria (*Insecta* : *Dictyoptera*) of Saudi Arabia : a preliminary report. In Büttiker W. & Krupp F. (eds), *Fauna of Saoudi Arabia*, p. 40 – 58. Riyadh, *Basle*: *NCWCD, Pro Entomologia*.
- Grandcolas P., 1996** . The phylogeny of cockroach. Families a cladistic appraisal of morpho-anatomical data. *Canadian journal of Zoology*, 74 : 508-527.
- Grandcolas P., 1998** . The evolutionary interplay of social behaviour, resource use and antipredator behavior in Zetoborinae, Blaberinae, Gyninae and Diplopterinae cockroaches: a phylogenetic analysis. *Cladistics*, 14 : 117-127.

- Gropeaux J.C., 1994** . Comportement sexuel de *Diploptera punctata* (Dictyoptera, Blaberidae) : Approche éthologique. Mémoire de diplôme d'études approfondies de Biologie. Université Paris XIII. 18 pp.
- Guillaumin M., Renoux J., Stockman R., 1969** . La blatte : *Blabera fusca* Br. *Edition Doin I. Paris*. Vol I : 67 pp.
- Guillet P., Chandre F., Mouchet J., 1997** . L'utilisation des insecticides en santé publique : état et perspectives. *Med. Mal. Infect*, 27 : 552- 557.
- Gunn D.L., 1935** . The temperature and humidity relations of the cockroach. III. A comparison of temperature preference, rates of desiccation and respiration of *Periplaneta americana*, *Blatta orientalis* and *Blattella germanica*. *J. Exp. Biol*, 12 (3) : 185-190.
- Guthrie D.M. & Tindalla R., 1968** . The biology of the cockroach. London : *Edward Arnold*. 408 pp.
- Habbachi W., 2009** Étude de deux espèces de Blattellidae *Loboptera decipiens* & *Blattella germanica* (L.) : Reproduction et Comportement Sexuel. Mémoire de magister EN BIOLOGIE et physiologie environnementale Option: Éco-Éthologie, Université Badji Mokhtar Annaba, pp 88.
- Habbachi W., Bensafi H., Adjami Y., Ouakid M.L., Farine J.P., Everaerts C., 2010**. Spinosad Affects Chemical Communication in the German Cockroach, *Blattella germanica* (L). *J. Chem. Ecol*, 35 (12) : 1384-1410.
- Habes D., 2006** . Evaluation d'un insecticide inorganique, l'Acide Borique à l'égard d'un modèle à intérêt médicale (*Blattella germanica*) : Inventaire, Toxicité, Analyse des résidus, structure de l'intestin et activités enzymatiques. Thèse de Doctorat. Université de Annaba (Algérie). 121 pp.
- Habes D., Kilani-Morakchi S., Aribi N., Farine J.P., Soltani N., 2006** . Boric acid toxicity of the German cockroach, *Blattella germanica*: Alterations in midgut structure, and acetylcholinesterase and glutathione S-transferase activity. *Pestic. Biochem. Physiol*, 84 : 17-24.

- Halfaoui Z.N., 2010** . Étude de deux espèces de Blattellidae *Loboptera decipiens* & *Blattella germanica* (L.) : Cycle de développement et comportement alimentaire. Mémoire de Magistère. Université de Annaba (Algérie). 72 pp.
- Hamman P.J. & Gold R.E., 1994**. Cockroaches... Recognition and Control. *Texas Agricultural Extension Service*. The Texas A & M University System.
- Hamon J., 1963** . L'importance des changements de comportement chez les insectes. *Bull. Org. Mond. Santé. Suppl*, 29 : 115-120.
- Hanifi A., 2005** . Structure d'une population de *Loboptera decipiens* (Dictyoptera : Blattellidae) dans la subéraie d'El-Mellah d'El-Kala. Etude du comportement alimentaire en enceinte close. Mémoire d'Ingénieur. Université de Annaba (Algérie). 55 pp.
- Hasch J.J. & Zumofen M., 1999** . Notions d'hygiène hospitalière. 210 pp.
- Haubruge E. & Amichot, M., 1998** . Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 2 (3): 161-174.
- Haupt J. & Haupt H., 1998** . Guide des mille pattes, arachnides et insectes de la région méditerranéenne. 357 pp. *Ed. Delachaux et Niestle*.
- Hebard M., 1929** . Studies in Malayan Blattidae (Orthoptera). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 81 : 1-109.
- Höfte H. & Whiteley H.R., 1989** . Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev*, 53: 242-255.
- Houée P., 1996** . Les politiques de développement rural. *INRA Editions-Economica*, 322 pp.
- Humphery-Smith I., Grulet O., Chatel C., 1991** . Pathogenicity of *Spiroplasma taiwanense* for larval *Aedes aegypti* mosquitoes. *Medical and Veterinary Entomology*, 5 : 229-232.
- Inward D., Beccaloni G., Eggleton P., 2007** . Death of an order: A comprehensive molecular phylogenetic study confirms that termites are eusocial cockroaches. *Biol. Lett*, 3(3):331-5.
- IRAC., 2008** . Insecticide Resistance Action Committee. Resistance Management for sustainable agriculture and Improved Public Health.

- Ishaaya I. & Horowitz A.R., 1998** . Insecticides with novel mode of actions: overview. In: Ishaaya I. and Degheel D. (Eds). Insecticides with novel mode of action mechanisms and application. *Springer. Berlin Heidelberg New York*, 1-24.
- Kaiser L., 1999** . Le comportement des insectes. *Ann. Soc. Entomol. Fr. (N.S)*, Section 4 : Comportement, 35 (suppl.) : 136-147.
- Kawada H., 1988** . An insect growth regulator against cockroches. In: Ishaaya I. and Horowitz A. R. (Ed). Novel phenoxy juvenile hormone analog (Pyriproxyfen) suppresses embryogenesis and adult emergence of the *sweetpotato whitefly* (Homoptera: Aleurodidae). *J. Entomol*, 85(6): 2113-2117.
- Kilani-Morakchi S., Aribi N., Farine J. P., Everaerts C., Soltani N. 2005** . Effets de l'acide borique sur les profils d'hydrocarbures cuticulaires chez un insecte à intérêt médical, *Blattella germanica* (Dictyoptera : Blattellidae). *J. Soc. Alger. Chimie*, 15: 225–231.
- Kilani-Morakchi S., Aribi N., Farine J.P., Smaghe G., Soltani N., 2009** . Halofenozide affects sexual behaviour, cuticular hydrocarbons and reproduction in the female German cockroach *Blattella germanica* (Dictyoptera, Blattellidae). *Belg. J. Zool*, 139 (2) : 147-155.
- Kim M.S., Yu H.S., Kim H.C., 1995** . Studies on relative densities of cockroach population in 7 different habitas by using stuchy – traps in suwon. *Korean J. Appl. Entomol*, 34 (4) : 391-542.
- Kirst H.A., 2010** . The spinosyn family of insecticides: realizing the potential of natural products research. *J. Antibiot. Toky*, 63 (3) : 101-111.
- Klass K.D., 1997** . The external male genitalia and the phylogeny of Blattaria and Mantodea. *Bonner Zoologische Monographien*, 42 : 1–341.
- Klass K.D., 2001** . Morphological evidence on blattarian phylogeny: phylogenetic histories and stories (Insecta, Dictyoptera). *Mitteilungen aus dem Museum für Naturkunde in Berlin, Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 48 : 223–265.
- Klass K.D. & Meier R.A., 2006** . phylogenetic analysis of Dictyoptera (Insecta) based on morphological characters. *Entomol. Abh*, 63 : 3–50.

- Koehlen P.G. & Patterson R.S., 1987** . The Asian roach invasion. *Natural History*, 96 (11) : 28-35.
- Krauss H.A. & Vosseler J., 1896** . Beiträge zur orthopterenfauna Orans (West-Algerien). 12 pp.
- Krauss H.A., 1902** . Beitrag zur Kenntnis der Orthopteren Deutsch-Südwestafrikas. – Verhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft Wien. 51: 281–293.
- Kristensen M., Hansen K.K., Vagn – Jensen K.M., 2005** . Cross resistance between Dieldrin and Fipronil in German cockroach (Dictyoptera : Blattellidae). *J. Econ. Entomol.*, 98 (4) : 1305-1310.
- Lacey L.A., 1982** . Viral pathogens of vector Nematocera and their potential for microbial control. *Proc. 3rd Int. Coll. Invertebr. Pathol., Univ. Sussex, Brighton, UK* : 428-436.
- Lacey L.A. & Undeen H., 1986** . Microbial control of black flies and mosquitoes. *Ann. Rev. Entomol.*, 31 : 265-296.
- Lacey L.A. & Lacey C.M., 1990** . The medical importance of Riceland mosquitoes and their control using alternatives to chemical insecticides. *Jour. Amer. Mosquito Control Assoc. (supplément)*, 6 : 1-93.
- Lacey L.L. & Merritt R.W., 2003** . The safety of bacterial microbial agents used for black fly and mosquito control in aquatic environments. In “Environmental impacts of microbial insecticides, need and methods for risk assessment (Hokkanen H.M.T. et Hajak A.E.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 151-168.
- Lechowicz M.J. & Jobin L., 1983** . Differential susceptibility of forest trees to attack by the gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Ecological Entomology*, 8: 171-183.
- Lereclus, D., Delécluse, A., Lecadet, M.M., 1993**. Diversity of *Bacillus thuringiensis* toxins and genes. In: *Bacillus thuringiensis*, an Environmental Biopesticide: theory and practice (Edited by P.F. Entwistle, J.S. Cory, M.J. Bailey and S. Higgs). *Wiley, New York*, 37-69.
- Liang D., & Shall C., 1993b** . Ultrastructure and maturation of a sex pheromone gland in the female German cockroach, *Blattella germanica*. *Tissue & Cell*. 25: 763–776.

- Linden A.L. & Cech J.J., 1990.** Prey selection by mosquitofish (*Gambusia affinis*) in California rice fields : effect of vegetation and prey species. *Jour. Amer. & losquito Control Assoc, S(1)* : 115-120.
- Linée C., 1758 .** *Systema naturae, ed X, I.* 424 – 425.
- Linée C., 1767 .** *Systema naturae, ed XII* 687-689.
- Liu N. & Yue X., 2000.** Insecticide resistance and cross-resistance in the house fly (Diptera: Muscidae). *J. Econ. Entomol.*, 93: 1269-1275.
- Lochouarn L., Escaffre H., Hougard J.M., 1992 .** Étude de l'influence d'une dose subletale d'un insecticide regulateur de croissance sur la physiologie des vecteurs de l'onchocercose. *Ann. Soc. Belge. Med. Trop.* 72 : 21-2.
- Lyon W. F., 1997** German cockroach. Ohio State University Extension Fact Sheet Entomol.
- Maiza A., Kilani-Morakchi S., Rehamnia F., Bensbaa F., Aribi N., 2011 .** Activité d'un biopesticide, le spinosad, chez *Blattella germanica* : effets sur divers biomarqueurs (LDH, GSH, MDA). *Bull. Soc. Zool. Fr*, 136 (1-4) : 189-204.
- Martin, P.A.W. 1994 .** An iconoclastic view of *Bacillus thuringiensis* ecology. *Am. Entomol*, 40(1): 85-90.
- Masson C. & Brossut R., 1981 .** La communication chimique chez les insectes. *Ed. CNRS.* Paris.
- Mc Kittrick F. A., 1964 .** Evolutionary studies of cockroaches. *Memoirs of the Cornell Agricultural Experiment Station*, 389: 1 – 197.
- Mertz F. P. & Yao R. C., 1990 .** *Actinomadura fibrosa* sp. nov. isolated from soil. *Int. J. Syst. Bacteriol*, 40 (1) : 28-33.
- Messikh A., 1994 .** Inventaire des Dictyoptères dans la région de Annaba. Mémoire de DES Biologie Animale. Université de Annaba (Algérie). 40 pp.
- Meyer G.A. & Montgomery M.E., 1987 .** Relationships between leaf age and the food quality of cottonwood foliage for the gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Oecologia*, 72: 527–532.

- Miller J.S. & Feeny P.P., 1983** . Effects of benzyloquinoline alkaloids on the larvae of polyphagous Lepidoptera. *Oecologia*, 58: 332-339.
- Miller D.M. & Koehle P.G., 2003** . Least Toxic Methods of cockroach control. *ENY*, 258.
- Mondet C., 2008** . Dominance et sélection sexuelle chez la blatte *Leucophaea maderae* (Dictyoptera ; Oxyhaloïnae). Aspects comportementaux, communication chimique et héritabilité. Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne- Dijon (France). 130 pp.
- Monk B. E. & Pembrok A. C., 1987** . Cockroach dematias: an occupational hazard. *BRI. MED. J*, 294 : 935.
- Morse J.G. & Brawner O.L., 1986** . Toxicity of pesticides to *Scirtothrips citri* (Thysanoptera : Thripidae) and implications to resistance management. *J. Econ. Entomol*, 79 : 565-570.
- Mrabeti B., 2010**. Contribution a l'étude des Moustiques (les Culicidae) dans une région présaharienne (région de Biskra) – essais de lutte. Thèse de Magister. Université de Biskra (Algérie). 120 pp.
- Mulla M., Thavara U., Tawatsin A., Chomposri J., Su T., 2003** . Emergence of resistance and resistance management in field populations of tropical *Culex quinquefasciatus* to microbial control agent *Bacillus sphaericus*. *J. American Mosquito Control Association*, 19: 39 – 46.
- Nasirian H., Ladonni H., Aboulhassani M., Limoe M., 2011** . Susceptibility of field populations of *Blattella germanica* (Blattaria : Blattellidae) to spinod. *Pak. J. Biol. Sci*, 14 (18) : 862 – 868.
- Nishida R. & Fumaki H., 1983** . Female sex pheromone of the German cockroach, *Blattella germanica*. *Mem. Coll. Agric. (Kyoto Univ)*, 11 : 1-24.
- Norris, 1986** . Volatile versus non-volatile allelochemicals in bean plant-insect interactions. *Sym. Biol. Hung*, 39:145-151.
- Nouacer & Kerkabi., 1997** . Inventaire des Blattes dans la région de Annaba. Mémoire de DES Biologie Animale. Université de Annaba (Algérie). 30 pp.

- OMS., 1999** . Organisation mondiale de la Santé : La lutte antivectorielle - Méthodes à usage individuel et communautaire. Genève. *ISBN 92 4 254494 9*.
- Organic Materials Review Institute ., 2002** . Spinosad. Available from http://www.ormi.org/spinosad_final.pdf.
- Ouakid M.L., 2006** . Bioécologie de *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera, Lymantriidae) dans les subéraies d'El Tarf : comportement alimentaire et essais insecticides. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Naturelles. Université de Annaba (Algérie). 150 pp.
- Ouelmouhoub S., 2005** . Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie). « Master en Science » n°78. Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (France). 127 pp.
- Penagos D.I., Cisneros J., Hernandez O., Williams T., 2005** . Lethal and sublethal effects of the naturally derived insecticide spinosad on parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biocontrol Sci. Technol*, 15 : 81–95.
- Potera C., 1997** . Working the bugs out of asthma. *Environmental Health Perspectives*, 105 (11) : 1192-1194.
- Princis K., 1962** . Pars 3 : Blattariae : Subordo Polyphagoidea. Fam. Plyphagidae. In *Orthopterorum catalogus*. Edited by M Beier, Dr W. Junk, s-Gravenhage. pp 1-74.
- Princis K., 1971** . Pars 14 : Blattariae : Subordo Epilamproidea. Fam. Ectobiidae. In *Orthopterorum catalogus*. Edited by M Beier, Dr W. Junk, s-Gravenhage, 1039-1224.
- Quesada-Moraga E., Santos-Quiros R., Valverde-Garcia P., Santiago-A lvarez C., 2004** . Virulence, horizontal transmission, and sublethal reproductive effects of *Metarhizium anisopliae* (Anamorphic fungi) on the German cockroach (Blattodea: Blattellidae). *Journal of Invertebrate Pathology*, 87 : 51 – 58.
- Raffauf R.F., 1970** . Distribution of alkaloids in the plant kingdom. *Econ. Bot*, 24 : 34 - 38.
- Rapp M., 1971** . Cycle de la matière organique et éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens C.R du C.N.R.

- Rehn J.A.G., 1931** . African and Malagasy Blattidae (Orthoptera), Part I. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 83:305–387.
- Rehn J.A.G., 1937** . African and Malagasy Blattidae (Orthoptera), Part III. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 84: 405–511.
- Rehn J.A.G., 1945** . Man's uninvited fellow - traveller - the cockroach. *Scientific Monthly*. 61:265–276.
- Rhen J. A. G. & Hebard M., 1927** . The Orthoptera of the West Indies. No. I, Blattellidae. *Amer. Mus. Nat. Hist*, 54 : 1-320.
- Rivault C., Cloarec A., Mathieu N., Blane N., 1993** . Bacterial contamination of food by cockroaches. *J. Environ. Health*, 55 : 21-22.
- Rivault C., Cloarec A., Mathieu N., Blane N., 1994** . les blattes : un animal de ville à toutes saisons. *Ann. Rech. Urb*, 61 : 33 – 38.
- Rivault C., Cloarec A., Mathieu N., Blane N., 1995** . La ville au risque de l'écologie, les blattes en milieu urbain. *Rapport final. Appel d'offre N=° 93070* du Ministère de l'Environnement. 101 pp.
- Rivault C., Cloarec A., Sreng L., 1998** . Cuticular extracts inducing aggregation in the German cockroach *Blattella germanica* (L.). *J. Insect. Physiol*, 44 : 909-918.
- Rivault C., Cloarec A., Sreng L., 2002** . Are differences in hydrocarbon profiles able to mediate strain recognition in German cockroach (Dictyoptera : Blattellidae)? *Eur. J. Entomol*, 99 : 437-444.
- Rivière F., Kay B.H., Klein J.M. & Séchan Y., 1987**. *Mesocyclops aspericornis* (Copepoda) and *Bacillus thuringiensis* var. *Israelensis* for the biological control of *Aedes* and *Culex* vectors (Diptera : Culicidae) breeding in crab holes, tree holes, and artificial containers. *J. Med. entomol*, 24 : 425- 430.
- Robert M., 1996** . Le sol : Interface dans l'environnement, ressource pour le développement. *Ed Masson*.

- Rojas W., Northup J., Gallo O., Montoya A.E., Montoya F., Restrepo M., Nimnich, Arango M. & Echavarría M., 1987** . Reduction of malaria prevalence after introduction of *Romanomermis culicivorax* (Mermithidae : Nematoda) in larval *Anopheles* habitats in Colombia. *Bulletin of the World Health Organization*, 65(3) : 331-337.
- Romi R., Proietti S., Di Luca M., Cristofaro M., 2006** . Laboratory evaluation of the bio insecticide Spinosad for mosquito control. *Journal of American Mosquito Control Association*, 22: 93-96.
- Ross M.H., Bert BL., Keil C.B., 1984** . Population growth and behavior of *Blattella germanica* (L.) (Orthoptera : Blattellidae) in experimentally established shipboard infestations. *Ann. Ent. Soc. Amer*, 77 : 740 – 752.
- Roth L.M., 1968** . Ovarioles of the Blattaria. *Ann. Ent. Soc. Amer*, 61 : 132-140.
- Roth L.M., 1969** . The evolution of male tergal glands in the Blattaria. *Ann. Entomol.Soc. Amer*, 62 : 176-208.
- Roth, L.M. 1970** . Evolution and taxonomic significance of reproduction in Blattaria. *Annu. Rev. Entomol*, 15: 75-96.
- Roth L. M. & Stay B., 1962** . Oöcyte development in *Blattella germanica* and *Blattella vaga* (Blattaria). *Anm. Entomol. Soc. Am*, 55 : 633-642.
- Roth L.M. & Willis R., 1952** . A study of cockroach behaviour. *Am. Midl. Nat*, 47 : 66-129.
- Roth L.M. & Willis R., 1960** . The Biotic Association of cockroaches. Baltimore : *The Lord Baltimore Press*.
- Rouibi A., 2002** . Evaluation d'un mimétique des ecdystéroïdes (RH-0345) sur *Blattella germanica* (Dictyoptera : Blattellidae): Aspects morphométriques et biochimiques. Thèse de Magister en Biologie Animale. Université d'Annaba (Algérie). 80 pp.
- Rust M.K., Owens J.M., Reiersen D.A., 1995** . Understanding and Controlling the German Cocroache. *New York Oxford. Oxford University Press.*, 430 pp.

- Said I., Costagliola G., Leoncini I., Rivault C., 2005** . Cuticular hydrocarbon profiles and aggregation in four *Periplaneta* species (Insecta : Dictyoptera). *J. Insect. Physiol*, 51 (9) : 995-1003.
- Saito T. & Hama H., 2000** . Carboxylesterase isozymes responsible for organophosphate resistance in the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera : Aphididae). *Appl. Entomol. Zool*, 35 (1) : 171-175.
- Salgado V.L., 1997** . The modes of action of spinosad and other insect control products. *Down to Earth*, 52 : 35-43.
- Salgado V.L., 1998** . Studies on the mode of action of spinosad : insect symptoms and physiological correlates. *Pestic. Biochem. Physiol*, 60 : 91-112.
- Salgado V.L., Sheets J.J., Watson G.B., Schmidt A.L., 1998** . Studies on the mode of action of spinosad: the internal effective concentration and the concentration dependence of neural excitation. *Pest. Biochem. Physiol*, 60 : 103 - 110.
- Santamaria Mijares A. 1987** . Estudio comparativo de la infestacion de *Romanomemis culicivora* (Ross Y Smith, 1976) Rhabditida Mermithidae en larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus* Say, 1823 en condiciones de laboratorio. *Revista Cubana Medicina Tropica J*, 39(3) : 45 - 48.
- Saxena R.C., 1976** . Integrated approach for the control of *Thrips tabaci* Lind. *Ind. J. Agric. Sci*, 45 : 434 - 436.
- Schall C., 1988** . Relation among efficacy of insecticides, resistance levels, and sanitation in the control of the German cockroach (*Dictyoptera: Blattellidae*). *Journal of economic entomology*, 81: 536–544.
- Schoenly K., 1990**. The predator of insects. *Ecological Entomology*, 15 : 333-345.
- Scott, J.G., Cochran, D.G., Siegfried B.D., 1990**. Insecticide toxicity, synergism, and resistance in the German cockroach (*Dictyoptera: Blattellidae*). *J. Econ. Entomol*, 83 : 1698 – 1703.

- Senthil S.N., Kalaivani K., Murugan K., 2006** . Effect of biopesticides on the lactate dehydrogenase (LDH) of the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Insecta: Lepidoptera: Pyralidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65 (1) : 102–107.
- Senthil S.N., Choi M.Y, Seo H.Y, Paik C.H., Kalaivani K., Kim J.D., 2008** . Effect of azadirachtin on acetylcholinesterase (AChE) activity and histology of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70 (2) : 244 – 250.
- Sharf M. E., Neal J. J., Bennett G. W., 1997** . Changes of insecticide resistance levels and detoxication enzymes following insecticide selection in the German cockroach, *Blattella germanica* (L.). *Pest. Biochem. Physiol*, 59 : 67-79.
- Sherratt, T.S. & Tikasingh, E.S., 1989** . A laboratory investigation of mosquito larval predation by *Toxorhynchites moctezuma* on *Aedes aegypti*. *Medical and Veterinary Entomology*, 3 : 239-246.
- Sirugue D., 1992** . Comportement sexuel et hiérarchique chez *Leucophaea maderae* et *Nauphoeta cinera* (Blaberidae). Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne- Dijon (France). 259 pp.
- Smyth T,Jr., 1963** . Mating behavior of the Madeira cockroach. In: 35th Annual meeting eastern branch, *Entomology Society of America*.
- Sparks T.C., Thompson G.D., Kirst H.A., Hertlein M.B., Larson L.L., Worden T.V., Thibault S.T., 1998** . Biological activity of the spinosyns, new fermentation derived insect control agents, on tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *J. Econ. Entomol*, 91 : 1277 – 1283.
- Staedler., 1976** . Sensory aspects of insect plant interactions. Proc. XV Int. Congr. Entomol. Washington D.C, 228-48.
- Strong C. A., Koehler P. G & Patterson R. S., 2000** . Oral toxicity and repellency of borates to German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *J. Econ. Entomol*, 86 (5): 1458-1463.
- Sweeney A.W. & Becnel J.J., 1991** . Potential of microsporidia for the biological control of mosquitoes. *Parasitology Today*, 7(8) : 217-220.1

- Tanaka A., 1973** . General accounts the oocyte growth and identification of vitellogenin by means of immunospecificity in the cockroach, *Blattella germanica* (L.). *Develop. Growth Different*, 15 : 153-168.
- Tanaka A., 1976** . Stages in the embryonic development of the German cockroach *Blattella germanica* (Blattaria, Blattellidae). *Kontyû*, 44 : 512-525.
- Thompson G. & Hutchins S., 1999** . Spinosad. *Pestic Outlook*, 10 : 78-81
- Thompson G. D., Dutton R., Spaek T. C., 2000** . Spinosad – A Case Study: An exemple from a natural products discovery programme. *Pest Menage Sci*, 56 : 696-702.
- Tokro G., 1984**. Les phéromones sexuelles chez *Blattella germanica* L (Insecte, Dictyoptère). Secrétion d'une pheromone sexuelle volatile par le pygidium des femelles. Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne – Dijon (France). 54 pp.
- Tokro P.G., Brossut R., Sreng L., 1993** . Determination of sex pheromone in females of *Blattella germanica* L. *Insect Science and its Application*. 14:115–126.
- Touati L., 2010** . Etude d'un défoliateur majeur du chêne liège : *Lymantria dispar* (Lepidoptera ; Lymantriidae). Bioécologie dans les milieux naturels. Essais de lutte par les IGRs. Mémoire de Magistère. Université de Annaba (Algérie). 88 pp.
- Tussaux., 1996** . Une revue bibliographique des principaux mécanismes pedogénotyque dans le processus d'humification. *Rev. Bib, Pub* N° 60.
- Vaillant. J & Derridj. S, 1992:** Statistic analysis of insect preference in tow-choise expriments. *J. Insect Behav*, 5: 773-781.
- Valles S.M., Dong K., Brenner R.J., 2000** . Mechanisms responsible for cypermethrin resistance in a strain of German cockroach, *Blattella germanica*. *Pest. Biochem. Physiol*, 66 : 195 – 205.
- Visser J.H., 1986** . Host odor perception in phytophagous insects. *Annu. Rev. Entomol*, 31:121 – 44.

- Vorms-Le Morvan J., Vazeille-Falcoz M.C. & Rodhain F., 1991.** Infection expérimentale de moustiques *Aedes albopictus* par une souche de spiroplasmes isolée de *Culex annulus* B Taiwan, *Bull. Soc. Path. Ex*, 84 : 15- 24.
- Vosseler J., 1902 .** Beiträge zur Faunistik und Biologie der Orthopteren Algeriens und Tunesiens. *Zoologische Jahrbücher. Abt. Syst. Geogr. und Biol. der Tiere*, 16:337-404.
- Wattiez C. & Beys B., 1999 .** Pas de pesticides à la maison solution sans danger pour le contrôle de bestioles indésirables. *Pest. Action Network (Pan). Belg*, 12 pp.
- Werner F., 1914 .** Ergebnisse einer von Prof. Werner in sommer 1910 mit Unterstützung der Legale Wedl ausgeführten zoologischen Forschungsreise nach Algerien. III. Orthopteren.S. B. AK. *Wiss.Wien. CXXIII*, 363 – 404.
- Werthein B., Van Baalen E.J.A., Dicke M., Vet L.E.M., 2005 .** Pheromone-mediated aggregation in nonsocial arthropods: an evolutionary ecological perspective. *Annu. Rev. Entomol*, 50 : 321-346.
- Willis E. R., Riser G. R., Roth L. M., 1958 .** Observation on reproduction and development in cockroaches. *Ent. Soc. Amer. Ann*, 51 : 53-69.
- Wooster M.T. & Ross M.H., 1989 .** Sublethal responses of the German cockroach to vapors of commercial pesticide formulations. *Entomologia experimentalis et applicata*, 52 : 49 – 55.
- Yu S. J., Nguten S. N., Abd- Elghar G. E., 2003 .** Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugipedra* (J.E. Smith). *Pest. Biochem. Physiol*, 77 : 1-11.
- Zerzour T., 2008 .** Etude de *Loboptera decipiens* (Dictyoptera ; Blattellidae) : Cycle de développement dans la subéraie de l'Edough. Comportement alimentaire. Mémoire d'ingénieur. Université de Annaba (Algérie). 35 pp.
- Zurek L., Watson D.W., Schall C., 2002 .** The synergy between *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycota: Hyphomycetes) and Boric acid against the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *Biological Control*, 23 (3) : 296 – 302.

ANNEXE

J Chem Ecol (2009) 35:1423–1426
DOI 10.1007/s10886-009-9722-5

RAPID COMMUNICATION

Spinosad Affects Chemical Communication in the German Cockroach, *Blattella germanica* (L).

Wafa Habbachi · Hanene Bensafi · Yasmine Adjami ·
Mohamed L. Ouakid · Jean-Pierre Farine ·
Claude Everaerts

Received: 11 September 2009 / Revised: 13 November 2009 / Accepted: 3 December 2009 / Published online: 12 January 2010
© Springer Science+Business Media, LLC 2010

Abstract Spinosad is a biopesticide, derived from fermentation by the soil-dwelling actinomycete, *Saccharopolyspora spinosa*, which is used to control a variety of insects. Spinosad kills a wide range of insect pests when ingested or topically applied, by overexciting the nervous system, yet is harmless to mammals and many predatory insects. Other modes of action of this insecticide have not been documented. Here, we report that a non-lethal dose of spinosad causes adult male and female German cockroach, *Blattella germanica*, to exhibit altered responses to their aggregation pheromone as well as to have a changed cuticular hydrocarbon profile.

Keywords Cuticular hydrocarbons · aggregation pheromone · sex pheromone · biopesticides

Introduction

Spinosyns are biopesticides derived from fermentation by the soil-dwelling actinomycete *Saccharopolyspora spinosa* (Mertz and Yao 1990). Spinosad is a mixture of the two most active spinosyns (A, 85% and D, 15%). When ingested or topically applied to an insect, spinosad acts on the nicotinic acetylcholine and GABA receptors (Watson 2001). While spinosad is active against a wide range of

insect pests (Thompson et al. 1997), it appears to be harmless to mammals and predatory insects (Madhian et al. 2007).

Here we investigated the effect of spinosad on the responses of adult male and female German cockroach, *Blattella germanica*, to their aggregation pheromone.

Methods and Materials

Blattella germanica (L.) Colonies were founded with individuals caught in Ibn Rochd Hospital (Annaba, Algeria), and maintained in 0.75 l plastic boxes with dry pet food and water ad libitum, at 27±1°C and 75±5% RH on a 12:12 h light:dark cycle. Newly emerged adults were separated and kept in sex-specific groups of five, until 15 days old. Treated cockroaches were provided with an aqueous solution of spinosad, at a dose (25 µg/ml) that caused no mortality, in lieu of pure water (for controls).

Behavioral Tests Five 15-d-old control or treated individuals of each sex and treatment were immersed in 1 ml hexane for 5 min. An individual 15-d-old male or female was given a choice of two odors, 100 µl extract or 100 µl hexane (on a 0.5 cm² piece of filter paper), in a Y-maze olfactometer (1 cm i.d., branch=20 cm; side-pieces=15 cm; airflow=10 ml min⁻¹); which of the two odor sources the insect reached was recorded. The attractiveness of an extract (N=10–30 insects) was tested by a Chi-square test, using the adjusted Pearson residuals. When insects were given two control stimuli, no choice was observed, with <5% of insects reaching the end of the tubes.

Analysis of Cuticular Hydrocarbons Four-day-old cockroaches were immersed in 200 µl hexane for 5 min. Extracts

W. Habbachi · H. Bensafi · Y. Adjami · M. L. Ouakid
Laboratoire de Biologie Animale, University of Annaba,
Annaba, Algeria

J.-P. Farine · C. Everaerts (✉)
UMR 5548, CNRS - University of Burgundy,
Dijon, France
e-mail: Claude.Everaerts@u-bourgogne.fr

were analyzed initially by gas chromatography mass spectrometry to confirm the presence and Kovat's Indices of 25 cuticular hydrocarbons (CHs) identified by Rivault et al (1998). The amount of each of these CHs in extracts was determined using a Varian CP3380 gas chromatograph, fitted with a flame ionization detector, a CP-sil/5CB column (Varian Inc., 25 m×0.32 mm ID) and a split-splitless injector (split-flow=60 ml min⁻¹; opening 30 sec after injection) with helium as carrier gas (50 cm sec⁻¹). The oven was programmed from 140°C (2 min.) to 280°C at 5°C min⁻¹. CH proportions in control and spinosad-treated individuals (*N*=10) were compared using a *t*-test after arcsine transformation to normalize the data.

Statistical analyses were carried out using XLSTAT 2007 software (Addinsoft, New York, NY)

Results

The attractiveness of control female and male extracts was significantly different (Fig. 1; $Chi_1^2=82.2$; $P<0.001$); control female extract attracted significantly more control insects (96.7% males and 100% females) than did control male extract (90% males and 80% females).

Spinosad treatment produced several behavioral effects: (1) extract of treated females was less attractive than extract of untreated females to both control male and female cockroaches; there was no difference between attractiveness of extracts of treated and untreated males to control insects (Fig. 1a); (2) the responses of treated males to all extracts was low, although their response to control female extract was slightly higher (40%) than to all the other extracts (each 30%); (3) treated females responded similarly to extracts of males and females, whether they were from controls (50–60% for males and females) or treated (30% each from males and females) insects.

Spinosad treatment gave a significant decrease (10–30%) in the relative amounts of *n*-octacosane, 4-methyloctacosane, and *n*-nonacosane in both sexes, of 5-methylnonacosane and 3-methylnonacosane in males, and of 5,9- & 5,11-dimethylhentriacontane in females (Table 1).

Discussion

B. germanica males and females both were attracted more to female than to male cuticular extract. This confirms previous work by Tsai and Lee (1997), that showed a preference by males for female stimuli, but it contradicts their observed lack of female preference to female or male stimuli.

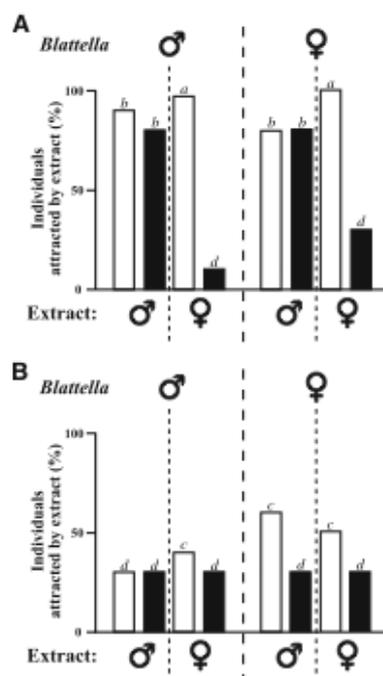


Fig. 1 Responses of control (a) and spinosad-treated (b) adult male and female *Blattella germanica* to hexane extracts of untreated (open bars) and spinosad-treated (filled bars) males and females. Cockroaches were tested in a Y-maze olfactometer. The frequencies of attracted insects were analyzed using a Chi-square test; identical lowercase letters in italics indicate values that were not significantly different from each other, *N*=10–30

We observed two effects of spinosad treatment on *B. germanica* chemical communication. First, responses of treated (male and female) adults to male or female control extracts were lower than for controls. Second, the attractiveness of extract from treated females to control adults (both male and female) was lower than that for extract of untreated females. As spinosad acts on the insect nervous system (Watson 2001), its effect on cockroach responses is not surprising. However, its effect on the attractiveness of female extracts was unexpected.

In *B. germanica*, male courtship is modulated by two pheromones: a female-produced contact pheromone (Eliyahu et al. 2008), and a female-produced volatile pheromone, blattellaquinone, which attracts males over a distance (Nojima et al. 2005). Spinosad affected quantities of four (CHs 7, 12, 15, and 17; see Table 1) of the six CHs that are described as aggregation cues in *B. germanica* (Rivault et al. 1998), which could, in turn, influence

Table 1 Proportion of the cuticular hydrocarbons (CHs) of control and spinosad-treated male and female *Blattella germanica*. In each sex, the proportion of each compound was compared between control and treated cockroaches by a bilateral *t*-test (after an *Arctsin* transformation)

CH ^a	Control males	Treated males	<i>t</i> _{18df}	<i>P</i>	Control females	Treated females	<i>t</i> _{18df}	<i>P</i>
1 <i>n</i> -Heptacosane	3.72±0.54	2.97±0.54	ns		4.27±0.46	3.15±0.54	ns	
2 9-,11- & 13-Methylheptacosane	6.88±0.57	8.32±0.92	ns		5.12±0.36	4.52±0.68	ns	
3 5-Methylheptacosane	4.12±0.27	4.42±0.51	ns		3.76±0.15	3.36±0.49	ns	
4 11,15-Dimethylheptacosane	0.70±0.06	0.82±0.08	ns		0.96±0.11	0.89±0.11	ns	
5 3-Methylheptacosane	4.29±0.14	4.25±0.45	ns		5.23±0.44	4.40±0.43	ns	
6 5,9- & 5,11-Dimethylheptacosane	1.33±0.22	1.19±0.09	ns		1.36±0.09	2.16±0.55	ns	
7 <i>n</i> -Octacosane	1.02±0.09	0.71±0.07	2.83	0.011	1.16±0.09	0.90±0.05	2.51	0.022
8 3,11- & 3,9-Dimethylheptacosane	1.36±0.14	1.38±0.09	ns		1.77±0.14	3.03±0.82	ns	
9 12- & 14-Methyloctacosane	1.53±0.06	1.52±0.07	ns		1.41±0.04	1.42±0.09	ns	
10 2-Methyloctacosane	1.00±0.02	0.98±0.03	ns		1.36±0.05	0.88±0.27	ns	
11 4-Methyloctacosane	0.72±0.01	0.66±0.02	2.84	0.011	0.95±0.03	0.85±0.02	2.69	0.015
12 <i>n</i> -Nonacosane	7.48±0.50	5.15±0.10	3.20	0.005	7.66±0.52	6.54±0.27	2.10	0.050
13 9-,11-, 13- & 15-Methylnonacosane	20.36±0.54	20.55±0.91	ns		13.79±0.30	14.33±0.29	ns	
14 7-Methylnonacosane	2.82±0.13	2.98±0.13	ns		2.41±0.13	2.58±0.12	ns	
15 5-Methylnonacosane	7.11±0.29	6.40±0.18	2.11	0.049	5.93±0.31	5.84±0.23	ns	
16 11,15- & 13,17-Dimethylnonacosane	4.77±0.40	5.72±0.40	ns		6.76±0.52	7.11±0.51	ns	
17 3-Methylnonacosane	9.50±0.61	7.31±0.21	3.30	0.004	9.85±0.32	9.22±0.52	ns	
18 5,9- & 5,11-Dimethylnonacosane	4.21±0.30	4.76±0.22	ns		4.70±0.21	4.79±0.47	ns	
19 3,7-, 3,9- & 3,11-Dimethylnonacosane	12.78±1.04	14.68±0.99	ns		16.55±1.33	19.17±0.77	ns	
20 11-, 13- & 15-Methyltriacontane	1.91±0.22	2.19±0.19	ns		2.42±0.17	2.41±0.17	ns	
21 4,8- & 4,10-Dimethyltriacontane	0.40±0.04	0.76±0.30	ns		0.67±0.05	0.62±0.05	ns	
22 11-, 13- & 15-Methylhentriacontane	1.22±0.11	1.27±0.31	ns		0.66±0.04	0.77±0.05	ns	
23 13,17- & 11,15-Dimethylhentriacontane	0.25±0.03	0.38±0.07	ns		0.37±0.02	0.42±0.04	ns	
24 5,9- & 5,11-Dimethylhentriacontane	0.36±0.06	0.42±0.06	ns		0.71±0.09	0.48±0.07	2.17	0.044
25 10 & 12-Methyldotriacontane	0.17±0.03	0.22±0.04	ns		0.15±0.02	0.17±0.01	ns	

t-Value (18 df) and the corresponding *P* are provided when significant.

^aThe CHs are identified following Rivault et al. (1998).

aggregation responses to treated cockroaches. However, this would not explain why we obtained reduced attraction to treated cockroach extract in the olfactometer. Future work should investigate whether spinosad treatment affects blattellaquinone production.

We have shown previously that other insecticides affect the CH profile in *B. germanica*. A sub-lethal dose of boric acid feminized the CH profile of males but did not change female the CH profile (Kilani-Morakchi et al. 2005). Halofenozide (an ecdysteroid agonist) decreased CH levels, probably by affecting synthesis and/or transport (Kilani-Morakchi et al. in press). Work is needed to determine precisely how these chemicals influence CH production in insects.

Acknowledgments This work was funded by the EGIDE/CMEP Tassili. Project PHC 09mdu758 "InsecTox". We are indebted to Dr Matthew Cobb for editing of the manuscript.

References

- ELIYAHU, D., NOJIMA, S., MORI, K., and SCHAL, C. 2008. New contact sex pheromone components of the German cockroach, *Blattella germanica*, predicted from the proposed biosynthetic pathway. *J. Chem. Ecol.* 34:229–237.
- KILANI-MORAKCHI, S., ARIBI, N., FARINE, J. P., EVERAERTS, C., and SOLTANI, N. 2005. Effets de l'acide borique sur les profils d'hydrocarbures cuticulaires chez un insecte à intérêt médical, *Blattella germanica* (Dictyoptera : Blattellidae). *J. Soc. Alger. Chimie.* 15: 225–231.
- KILANI-MORAKCHI, S., ARIBI, N., FARINE, J. P., SMAGGHE, G., and SOLTANI, N. Halofenozide affects sexual behaviour, cuticular hydrocarbons and reproduction in the female German cockroach *Blattella germanica* (Dictyoptera, Blattellidae). *Belg. J. Zool.* In press.
- MADHAN, K., VAN LEEUWEN, T., TIRRY, L., and DE CLERCQ, P. 2007. Susceptibility of the predatory stinkbug *Picromerus bidens* to selected insecticides. *BioControl* 52:765–774.
- MERTZ, F. P., and YAO, R. C. 1990. *Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. isolated from soil collected in a sugar mill rum still. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 40:34–39.

- NOJIMA, S., SCHAL, C., WEBSTER, F. X., SANTANGELO, R. G., and ROELOFS W. L. (2005). Identification of sex pheromone of the German cockroach, *Blattella germanica*. *Science* 307:1104–1106.
- RIVAULT, C., CLOAREC, A., and SRENG, L. 1998. Cuticular extracts inducing aggregation in the German cockroach, *Blattella germanica* (L.) *J. Insect Physiol.* 44:909–918.
- THOMPSON, G. D., MICHEL, K. H., YAO, R. C., MYNDERSE, J. S., and MOSBURG, C. T. 1997. The discovery of *Saccharopolyspora spinosa* and a new class of insect control products. *Down to Earth* 52:1–5.
- TSAL, C. W., and LEE, H. J. 1997. Volatile pheromone detection and calling behavior exhibition: Secondary mate-finding strategy of the German cockroach, *Blattella germanica* (L.). *Zool. Studies* 36:325–332.
- WATSON, G. B. 2001. Actions of insecticidal spinosyns on γ -aminobutyric acid responses from small-diameter cockroach neurons. *Pestic. Biochem. Physiol.* 71:20–28.