

UNIVERSITÉ MOHAMMED V – AGDAL
FACULTÉ DES SCIENCES
RABAT



N° d'ordre : 2694

THÈSE DE DOCTORAT

Présentée par

FEGROUCHE Rachida

Discipline : Biologie

Spécialité : Biologie et Écologie des Populations

**Bioécologie de *Sphodroxia maroccana* (Coleoptera : Melolonthidae).
Effets collatéraux du contrôle des larves de ce ravageur sur la faune
entomologique non cible dans les parcelles de régénération du chêne-liège
de la forêt de la Mamora (Maroc)**

Soutenue le : Lundi 13 janvier 2014

Devant le jury :

Présidente :

ZOUITEN Habiba, Professeur, Faculté des Sciences de Rabat

Examineurs :

ATAY KADIRI Zineb, Professeur, Faculté des Sciences de Rabat

RAHOUTI Mohamed, Professeur, Faculté des Sciences de Rabat

GHAILOULE Driss, Docteur Chercheur, Centre de Recherches Forestières

LUMARET Jean-Pierre, Professeur, Université Paul-Valéry Montpellier 3

Invitée :

EL ANTRY-TAZI SALWA, Chef de Service de Sylviculture, Centre de Recherches Forestières.

Faculté des Sciences, 4 Avenue Ibn Battouta B.P. 1014 RP, Rabat-Maroc

Tel +212 (0) 37 77 18 34/35/38, Fax : +212 (0) 37 77 42 61, <http://www.fsr.ac.ma>

*"No Matter, Try again
Fail again. Fail better."*

S. Beckett

AVANT-PROPOS

Les travaux de recherches concernant cette thèse ont été effectués aux laboratoires suivants : Laboratoire de Zoologie et de Biologie Générale de la Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V-Agdal ; Laboratoire d'entomologie du Centre de Recherche Forestière-Rabat (Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à La Lutte Contre la Désertification) ; et Laboratoire de Zoogéographie de l'Université Paul-Valéry Montpellier III. Deux projets de recherches (PROTARS III D 14/53 et PRAD 07-01) ont contribué à la mise en œuvre de mes travaux de recherches.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, **Madame ATAY KADIRI Zineb**, Professeur à la Faculté des Sciences, Université Mohamed V- Agdal (Rabat)-Laboratoire de Biologie et Zoologie, pour m'avoir proposé ce sujet passionnant, et qui m'a donné la chance de vivre cette expérience. Elle m'a initiée à la recherche scientifique en m'encadrant sur le même sujet pour la préparation de mon Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies (DESA) obtenue en 2007. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour l'intérêt qu'elle n'a cessé d'apporter à mon travail tout au long de mon séjour dans son laboratoire. Ses encouragements et son soutien m'ont permis de réaliser cette thèse dans les meilleures conditions.

Je remercie vivement, **Madame ZOUITEN Habiba**, Professeur à la Faculté des Sciences, Université Mohamed V- Agdal (Rabat)-Laboratoire de Biologie et Zoologie, d'avoir accepté de rapporter cette thèse autant que présidente des membres de jury, qu'elle accepte mes sincères remerciements pour avoir consacré son temps à la correction des mes travaux de recherche ainsi que pour ses jugements pertinents sur mon manuscrit.

Je remercie vivement, **Monsieur RAHOUTI Mohamed**, Professeur à la Faculté des Sciences, Université Mohamed V- Agdal (Rabat)-Laboratoire de Botanique, Mycologie et Environnement, d'avoir accepté de prendre part à mon jury de thèse, et de bien vouloir examiner mon manuscrit. Je lui exprime ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont à mon co-directeur de thèse, Monsieur le **Docteur GHAILOULE Driss**, Chercheur au Centre de Recherche Forestière de Rabat, qui depuis mon DESA m'a offert de travailler sur un sujet original et très intéressant en matière de santé et de reconstitution de la subéraie de la Mamora. Vous m'avez accompagnée et soutenue tout au long de mes années de DESA et de Doctorat. Merci aussi pour m'avoir fait partager votre expérience et votre culture scientifique et pour votre confiance qui est source intarissable de motivation. Travailler sous votre co-direction a été un plaisir et un honneur. Il est difficile de vous remercier en quelques phrases tant je vous suis redevable. Simplement, j'ai pu réaliser ce travail en toute sérénité dans des conditions idéales grâce à vous.

Mes remerciements vont de la même manière à Monsieur le **Professeur LUMARET Jean-Pierre**, Directeur du Laboratoire de Zoogéographie de l'Université Paul-Valéry Montpellier III, pour son accueil chaleureux au sein de l'équipe d'Ecologie des Arthropodes dans les Agrosystèmes Méditerranéens (UMR 5175 CEFÉ). C'est un honneur pour moi de l'avoir eu comme un second co-directeur de thèse. Je lui suis très reconnaissante pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour le temps qu'il m'a consacré pour discuter et diriger mes recherches. Ces quelques mots ont bien du mal pour lui exprimer l'estime et le respect que je lui porte. Merci à vous pour votre soutien, vos conseils, vos encouragements constants et votre aide.

Je tiens à remercier aussi **Madame EL ANTRY TAZI Salwa**, Chef du Service de Sylviculture et Santé des Forêts qui a accepté de lire et de faire partie de mon jury de thèse. Je ne vous remercierai jamais assez de l'intérêt que vous accordez à ce travail par vos conseils et les discussions que j'ai eu avec vous et qui m'ont aidé à avancer. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

Ma reconnaissance est grande aussi envers le **Directeur du Centre de Recherche Forestière de Rabat**, pour son accueil et les facilités qu'il m'a offertes. Que les agents, techniciens et chauffeurs du Centre trouvent ici un gage de ma profonde reconnaissance pour leur aide et soutien au cours des sorties sur le terrain.

Je remercie vivement Monsieur le **Docteur BERTRAND Michel**, Maître de Conférences au Laboratoire de Zoogéographie de l'Université de Paul-Valéry Montpellier III pour sa disponibilité, pour ses précieux conseils, pour son aide lors des analyses des résultats, et pour

m'avoir facilitée l'accès au monde fabuleux des Acariens ; qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie également Madame le **Docteur KADIRI Nassera**, Ingénieur de Recherche au Laboratoire de Zoogéographie de l'Université de Paul-Valéry Montpellier III, pour son aide précieuse lors de mes expérimentations en écotoxicologie et pour l'analyse et le traitement statistique des données ; qu'elle trouve ici ma profonde reconnaissance pour son soutien scientifique, sa patience, ses précieux conseils et pour ses encouragements lors de mes séjours à Montpellier.

Un grand merci à **FÉLIX Anne-Emmanuelle** et à **NIOGRET Jérôme** du même laboratoire pour leur collaboration lors du travail de terrain au Maroc et aussi leur bonne humeur.

J'adresse mes vifs remerciements au reste des membres de ce laboratoire à Montpellier, en particulier **JAY-ROBERT Pierre**, **DUVALLET Gérard**, **ANDRÉ Joël**, **LHÉRITIER Jean-Noël**, **COULOMB-FEUGRAY Martine**, **DE STORDEUR Eric**, **TIXIER Thomas** et **BALDACCHINO Frédéric**, sans oublier **DSOULI Najla** et **RUFFINO Lise** ; merci à tous pour les discussions fructueuses que nous avons eues ensemble et leur soutien lors de mes séjours en France. Ce laboratoire a été pour moi l'école où j'ai approfondi mes connaissances sur l'Écologie des Arthropodes.

Je tiens à remercier des personnes qui m'ont guidée ou soutenue plus tôt dans mon parcours universitaire. Je pense particulièrement à Monsieur **M'HIRIT Omar** Professeur Emérite qui m'a aiguillée vers la santé des forêts et à Monsieur **ADDOU Mohammed**, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, qui m'a soutenue durant tout mon cursus universitaire. Leurs conseils précieux et leurs encouragements constants qui m'ont toujours touchée. Je ne saurais leur exprimer toute ma profonde gratitude et mon respect.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à **EL GHELBAZOURI Omo Kaltoum**, **COLETTI Daniel** et **DALID Bouchra** pour les nombreux services qu'ils m'ont rendus et pour leurs soutiens moraux tout au long de mes années de recherches.

De nombreux **collègues et amis** m'ont également apporté leur aide lors de la réalisation et la rédaction de cette thèse : trop nombreux pour être cités, j'espère qu'ils se reconnaîtront eux-mêmes à travers les plus vifs remerciements que je leur adresse.

Dédicace

*A la mémoire de mon regretté père qui
m'a enseigné que rien n'égale la
connaissance et qu'apprendre n'a pas d'âge.*

*A ma mère qui a veillé sur mon
éducation et qui n'a épargné aucun effort
pour mon bien être.*

(Merci de dépasser tes limites pour nous !!!!)

A mes frères et soeurs.

A Lars Jonsson et sa famille

A mon cher oncle Ben Lougare Omar

A tous les membres de ma famille.

.....Je dédie le présent travail.

RÉSUMÉ

Le programme de régénération du chêne-liège dans la subéraie de la Mamora s'est heurté à un problème de mortalité des jeunes plants dû à des attaques massives par les vers blancs. *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera, Melolonthidae), une espèce endémique de cette région, est responsable de l'essentiel des dégâts dans les parcelles de régénération du chêne-liège. La durée de son cycle biologique est de trois ans en moyenne pour les mâles et de cinq ans pour les femelles. Une étude expérimentale a montré que les larves se déplaçaient selon la teneur en humidité du sol, parcourant des distances d'environ 6 cm par jour lorsque le sol est moyennement humide (40 -60% d'humidité) et de seulement 0,5 cm par jour lorsque le sol est sec (humidité < 10%). Les racines des jeunes plants de chênes-lièges exercent un effet attractif vis-à-vis des larves, contrôlant aussi leur orientation et leur mobilité. Ces facteurs expliquent sur le terrain la saisonnalité des dégâts qui sont importants en périodes humides.

Les premières émergences des adultes de *S. maroccana* ont lieu début juin et se poursuivent tout le long de l'été, jusqu'à mi-septembre. Les femelles ne volent pas et restent à demi enfouies dans le sol sablonneux des parcelles, en émettant une phéromone sexuelle pour attirer les mâles. La fécondité des femelles prélevées sur le terrain est plus élevée ($82 \pm 16,2$ œufs) que celle des femelles issues de larves élevées au laboratoire ($54 \pm 16,50$ œufs). La ponte, échelonnée sur plusieurs jours, intervient moins de trois jours après les premiers accouplements.

L'estimation de la densité des populations larvaires sur le terrain a permis d'élaborer des cartes annuelles de densité du ravageur dans toute la Mamora (cartes de risques de dégâts). Ces densités sont corrélées avec la profondeur du plancher argileux. Les densités maximales (> 2000 larves /hectare) sont observées dans l'extrême nord des cantons A et B où les sols sont les plus profonds (plus de 3 mètres). Dans les zones sud caractérisées par un sol moins profond, les densités larvaires sont faibles. La densité larvaire dépend aussi du degré de xéricité des cantons.

Des essais d'identification de la phéromone sexuelle de *S. maroccana* ont mis en évidence l'émission de molécules analogues à celles retrouvées parmi les phéromones d'autres Melolonthides, mais sans que ces molécules soient réellement les composants de la phéromone recherchée. Des études complémentaires s'avèrent nécessaires.

Sur le terrain, l'utilisation de pesticides conventionnels comme le carbosulfan a été jusqu'à présent la principale stratégie de lutte mise en place dans les secteurs où les densités des larves sont les plus importantes, mais cet emploi de pesticides peut entraîner des risques secondaires importants pour des organismes non-cibles. Des tests écotoxicologiques menés au laboratoire sur les larves de *S. maroccana* et sur deux espèces de Ténébrionides (*Pimelia platynota* et *Pachychila obtusecostata*) démontrent clairement la toxicité du carbofuran. Le calcul des DL50, NOAEL et LOEC après traitement par le carbosulfan (voie orale et par contact ; mesures effectuées à 96h et 168h) confirment ceux obtenus par d'autres auteurs sur les effets négatifs du carbosulfan. A 96h, les valeurs calculées de DL50 sont respectivement de 1,246 et 5,844 µg pour les petites et les grosses larves de *S. maroccana*. Dans le cas de *Pachychila* et de *Pimelia*, la DL50 est respectivement de 3,301 et 4,527 µg. Une étude comparative de la toxicité entre le carbosulfan et le chlorpyrifos a montré le caractère non spécifique de ces deux pesticides. Les Ténébrionides en particulier, abondants en forêt de la Mamora, courent un réel danger lorsqu'ils sont mis en contact avec ces molécules.

Mots clés : chêne-liège, forêt Mamora, vers blancs, *Sphodroxia maroccana*, Melolonthidae, bio écologie, mobilité des larves, dégâts, phéromone, organismes non-cibles, Ténébrionides, écotoxicologie, carbosulfan, risques environnementaux.

SUMMARY

The program of restoration of the Mamora forest faced at the problem of cork oak mortality due to massive attacks seedlings by white grubs, *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera, Melolonthidae), an endemic species in that area, was responsible for most of the damage in cork oak regeneration plots. The duration of life cycle is three years on average for males and five years for females. An experimental study showed that larvae were moving mainly due to the moisture content of the soil, moving over distances of about 6 cm per day when the soil is moderately wet (40-60% relative humidity and only 0,5 cm per day when the soil is dry (<10% RH). The roots of seedlings exert an attractive effect on larvae, also controlling their orientation and mobility. These factors explain the field seasonality of damages that are important during wet periods.

The first emergences of adults occur in early June and are ongoing all along summer until mid-September. Females do not fly and they stay half buried in the sandy soil of parcels, emitting a sex pheromone. Fecundity of females in the field is higher ($82 \pm 16,2$ eggs on average) than fecundity of females issued from larvae reared in the laboratory ($54 \pm 16,5$ eggs on average). Oviposition lasts several days, and occurs less than three days after the first mating.

The estimation of the density of larval populations in the field helped to develop maps of annual density of this pest for the whole Mamora forest (risk of damage). The densities varied in correlation with the depth of the clay floor. The highest densities (> 2000 larvae / hectare) were observed in the far north of the cantons A and B where soils were deeper (more than 3 meters). In the southern areas with less deep soils, larval densities were low.

Identification tests of the sex pheromone of *S. maroccana* showed the emission of volatiles close to those observed in other Melolonthids. There is no doubt in *S. maroccana* that these chemical compounds are part of a complex of molecules that should be determined. Further studies are needed.

In the field, the use of conventional pesticides as carbosulfan has been so far the main strategy implemented in areas where the densities of larvae were the most important. However, this use of pesticides can cause significant side risks to non-target organisms. Ecotoxicological tests conducted in the laboratory on larvae of *S. maroccana* and of two species of Tenebrionidae (*Pimelia platynota* and *Pachychila obtusecostata*) clearly demonstrated the toxicity of carbofuran. The results of LD50, NOAEL and LOEC after treatment with carbosulfan (oral and contact; measurements after 96 hours and 168 hours post-ingestion) confirm the results obtained by other authors on the adverse effects of carbosulfan. At 96h, the calculated LD50 values are respectively 1,246 and 5,844 μg carbosulfan for small and large larvae of *S. maroccana*. In the case of *Pachychila* and *Pimelia*, the LD50 is 3,301 and 4,527 μg carbosulfan, respectively. A comparative study of the toxicity between carbosulfan and chlorpyrifos showed non-specific effect of the two pesticides. Tenebrionid beetles in particular face a real risk when they are in contact with such pesticides widely used by foresters.

Key-words: cork-oak, Mamora, white grubs, *Sphodroxia maroccana*, Melolonthidae, bio-ecology, mobility of larvae, damage, pheromone, non-target organisms, Tenebrionidae, ecotoxicology, carbosulfan, environmental risk.

PUBLICATIONS

Rachida Fegrouche, Nassera Kadiri, Driss Ghailoule, Zineb Atay Kadiri, Jean-Pierre Lumaret- Environmental risk assessment of carbosulfan on non-target beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) when used as a white grub larvicide in the cork oak forest of Mamora (Morocco)/*International Journal of Pest Management (accept, in press)*.

GHAILOULE D., FEGROUCHE R. & LUMARET J.P., 2013- Bioécologie des vers blancs dans la subéraie de la Mamora (Maroc). Détermination de la principale espèce et essais de lutte chimique. *Annales de la Recherche Forestière, Maroc, Tome 42*, pp. 83-93.

Fegrouche R., Ghaïoule D., Lumaret J.P. & Atay-Kadiri Z., 2012. Densités larvaires, comportement et cycle biologique de *Sphodroxia maroccana*, un ravageur endémique de la subéraie de la Mamora au Maroc (Coleoptera, Melolonthidae). “*Integrated Protection in Quercus spp. Forests*”. *IOBC/wprs Bull Vol. 76, 2012*. pp. 205-212.

Fegrouche R., Ghaïoule D., Lumaret J.P., Bertrand M. & Atay-Kadiri Z., 2012. Etude de la mobilité souterraine des larves de *Sphodroxia maroccana* (Coleoptera, Melolonthidae), un ravageur des jeunes plants de chênes-lièges dans la forêt de la Mamora (Maroc). “*Integrated Protection in Quercus spp. Forests*” *IOBC/wprs Bull Vol. 76, 2012*. pp. 213-220.

COMMUNICATIONS OERALES INTERNATIONALES

Fegrouche R., Ghaïoule D., Lumaret J.P. & Atay-Kadiri Z., 2010. Larval densities, behavior and life cycle of *Sphodroxia maroccana* (Coleoptera, Melolonthidae), an endemic pest of cork oak in the Mamora forest, Morocco). Proceedings of the 6th meeting “*Integrated Protection in Quercus spp. Forests*”, **Tempio Pausania (ITALY), 4-8 October, 2010**. *IOBC/wprs Bull Vol. 76, 2012*. pp. 205-212.

Fegrouche R., Ghaïoule D., Lumaret J.P., Bertrand M. & Atay-Kadiri Z., 2010. Subterranean mobility of *Sphodroxia maroccana* larvae (Coleoptera, Melolonthidae), a pest the young cork oaks plantations in the Mamora forest, Morocco. Proceedings of the 6th Meeting “*Integrated Protection in Quercus spp. Forests*”, **Tempio Pausania (ITALY), 4-8 October, 2010**. *IOBC/wprs Bull Vol. 76, 2012*. pp. 213-220.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Composition des peuplements de la Mamora (DREFNO/SEAFBV, Juillet 2006).....	2
Figure 2. Pâturage en forêt de la Mamora (parcelle AII5) (Prise de vue : 30/04/2011).....	12
Figure 3. (A) Cycle de développement du chêne-liège; (B) Commercialisation des glands du chêne-liège (Prise de vue en septembre 2011)	13
Figure 4. Adulte de <i>Platypus cylindrus</i> sur le bois du chêne-liège en plus de la présence d'une nymphe blanche située à l'intérieur d'une chambre de nymphose (Source : El Antry <i>et al.</i> , 2008).....	15
Figure 5. A gauche, larves se nourrissant des racines à 15 cm de la surface du sol ; à droite Vers blanc au voisinage d'un plant de chêne-liège dépérit	26
Figure 6. Elevage des vers blancs au laboratoire.....	28
Figure 7. Logettes construites par des larves au fond des pots d'élevage	28
Figure 8. Emergence d'un adulte mâle.....	28
Figure 9. Schéma d'une larve avec l'emplacement du raster	30
Figure 10. Raster d'une larve et fente anale transverse (x 50)	30
Figure 11. Larve de <i>Phyllognathus excavatus</i> Forster	32
Figure 12. Nymphe de <i>Phyllognathus excavatus</i> Forster.....	32
Figure 13. Adulte de <i>Phyllognathus excavatus</i> Forster.....	32
Figure 14. Schéma de la partie ventrale du dernier segment abdominal de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley, montrant le raster	33
Figure 15. Schéma de la partie ventrale du dernier segment abdominal de <i>Phyllognathus excavatus</i> Forster, montrant le raster	34
Figure 16. Larve adulte de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley	35
Figure 17. Larves de différents âges de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley	35
Figure 18. Pattes de longueur croissante (P1 à P3) de <i>S. maroccana</i>	36
Figure 19. Face dorsale de la tête d'une larve de <i>S. maroccana</i>	36
Figure 20. Nymphe (femelle) de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley	37
Figure 21. Nymphe femelle de <i>S. maroccana</i> Ley (x 20)	37

Figure 22. Adulte femelle de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley	39
Figure 23. Pygidium de <i>S. maroccana</i> femelle en position d'appel sur le terrain	39
Figure 24. Adulte mâle de <i>Sphodroxia maroccana</i>	39
Figure 25. Incubation des oeufs de <i>S. maroccana</i> (température 27°-28°C)	44
Figure 26. Œufs de <i>S. maroccana</i> dans une boîte de Pétri.....	45
Figure 27. Éclosion des œufs après 21ème jour d'incubation et sortie des larves L1	48
Figure 28. Mesure de la capsule céphalique des larves.....	50
Figure 29. Élevage des couples de <i>S. maroccana</i> au laboratoire.....	51
Figure 30. Boîte d'élevage	51
Figure 31. Larve de <i>S. maroccana</i> à proximité des racines secondaires d'un arbre adulte (parcelle AII5)	53
Figure 32. Distribution des valeurs de longueur et largeur de la capsule céphalique des larves de <i>S. maroccana</i> . Les rosaces montrent qu'il y a en mélange des larves des deux sexes à des âges différents (utilisation du logiciel Sunflower Plots)	54
Figure 33. Mâle de <i>S. maroccana</i> sur une feuille de doum (Source : J.P. Lumaret).....	56
Figure 34. Reproduction de <i>Sphodroxia</i> au laboratoire : émission d'une phéromone d'appel ; accouplement (avec parfois mort du mâle ; remplacé dans les conditions de laboratoire ; ponte et poursuite des accouplements pendant la ponte.....	57
Figure 35. A gauche femelle disséquée avec présence d'œufs dans la cavité abdominale ; à droite ponte en surface et mortalité de la femelle ;.....	59
Figure 36. Cycle de vie de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley	Erreur ! Signet non défini.
Figure 37. Parcelle de régénération du chêne-liège (AII5, sol systématiquement nettoyé) (a) ; racine sectionnée d'un jeune plant de chêne-liège (b) ; parcelle de régénération du chêne liège (AI7) dans la forêt de la Mamora (Plantation par bandes) (c).....	66
Figure 38. Densité larvaire dans les cantons A à E au cours de la campagne 2007-2008.....	73
Figure 39. Densité larvaire dans les cantons A à E au cours de la campagne 2008-2009.....	73
Figure 40. Epaisseur du sol au-dessus du niveau du plancher argileux (en mètres).	74
Figure 41. Caisse (sans les séparateurs verticaux) montrant le dispositif d'arrosage	76

Figure 42. Compartiment H++ montrant l'emplacement des deux larves et les deux plants de chêne-liège	77
Figure 43. Localisation des larves selon les axes x,y dans le compartiment H++	78
Figure 44. localisation des larves selon les axes x,y dans les compartiment H+	79
Figure 45. localisation des larves selon les axes x,y dans les compartiment S.....	79
Figure 46. Piège utilisé pour la capture des mâles de <i>S. maroccana</i> utilisant une femelle comme attractif (a) ; exemple de piège installé dans la parcelle BV10 de la forêt de la Mamora (b)	89
Figure 47. Nombre de captures de mâles de <i>S. maroccana</i> dans les pièges (P1 à P4) en fonction de l'heure (16h30 à 20h) et de la température de l'air (T°AIR) et du sol (T°SOL)	90
Figure 48. Période d'appel des femelles de <i>S. maroccana</i> (marqué en rouge) en fonction de l'heure. 90	
Figure 49. Organes génitaux femelles de <i>Sphodroxia maroccana</i> , en vue latérale	92
Figure 50. Schéma de la fibre SPME avec son support	92
Figure 51. Structure du carbofuran (a) ; structure du chlorpyrifos éthyl (b).....	97
Figure 52. Structure moléculaire du carbosulfan (Source : Raghavendra & Kaliwal, 2008)	101
Figure 53. Test de normalité de Anderson-Darling des lots expérimentaux pour les GL (grosses larves).....	104
Figure 54. Test de normalité de Anderson-Darling pour les lots expérimentaux "témoin" et "solvant" pour les GL.....	105
Figure 55. Test de normalité de Anderson-Darling des lots expérimentaux pour les PL (petites larves)	105
Figure 56. A gauche larves témoins ; à droite larves de <i>S. maroccana</i> (GL) après ingestion de carbosulfan	108
Figure 57. Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves après 96 heures pour : (a) les PL ; (b) les GL de <i>Sphodroxia</i>	111
Figure 58. Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves après 168 heures pour : (a) les PL ; (b) les GL de <i>Sphodroxia</i>	111
Figure 59. Ténébrionides morts à proximité d'un plant du chêne-liège après traitement en surface..	122
Figure 60. Piège (pitfall trap) en place pour la capture des Ténébrionides	123

Figure 61. Schéma du dispositif expérimental : disposition des 10 pièges Barber dans chacune des stations	124
Figure 62. Effectifs des Ténébrionidés capturés en 2008 dans les différentes parcelles.....	127
Figure 63. Effectifs des Ténébrionidés capturés en 2009 dans les différentes parcelles.....	128
Figure 64. <i>Pimelia platynota</i> Fairmaire (a) ; <i>Pachychila obtusecostata</i> Antoine (b)	132
Figure 65. Test de normalité d'Anderson-Darling pour les lots expérimentaux de <i>Pimelia platynota</i>	133
Figure 66. Test de normalité d'Anderson-Darling pour les lots expérimentaux de <i>Pachychila obtusecostata</i>	133
Figure 67. Effets du carbosulfan sur <i>Pimelia platynota</i> : paralysie, suivie de mort	138
Figure 68. Dose-réponse avec limites de confiance à 95% basée sur la mortalité après 96 heures de <i>Pachychila obtusecostata</i> (c) et <i>Pimelia platynota</i> (d)	140
Figure 69. Dose-réponse avec limites de confiance à 95% basée sur la mortalité après 168 heures de <i>Pachychila obtusecostata</i> (c) et <i>Pimelia platynota</i> (d)	140

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Délimitation et superficies par canton (M.A.T.E.U.H, 1998)	3
Tableau 2. Superficie des essences forestières de la Mamora (HCEFLCD, 2004)	10
Tableau 3. Plan d'aménagement de la Mamora (HCEFLCD, 2004)	18
Tableau 4. Taille des œufs de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley	46
Tableau 5. Durée moyenne du développement embryonnaire des oeufs chez <i>Sphodroxia maroccana</i> à température constante (28°C) (année 2009) ; données pour 7 séries correspondant chacune à la ponte d'une femelle ; 5 oeufs par réplicat	46
Tableau 6. Durée moyenne du développement embryonnaire des oeufs chez <i>Sphodroxia maroccana</i> (femelles issues de larves élevées au laboratoire (année 2010)).....	47
Tableau 7. Période d'accouplement de <i>Sphodroxia maroccana</i> dans les conditions du laboratoire	56
Tableau 8. Fécondité de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley (Adultes prélevés sur le terrain en 2009)	58
Tableau 9. Fécondité de <i>Sphodroxia maroccana</i> Ley (adultes issus d'élevage en 2010).....	59
Tableau 10. Longévité des mâles de <i>S. maroccana</i> Ley en laboratoire (les numéros des mâles correspondent au même numéro que celui des couples).....	60
Tableau 11. Longévité des femelles de <i>S. maroccana</i> Ley en laboratoire (les numéros des femelles correspondent au même numéro que celui des couples).....	60
Tableau 12. Taux de mortalité embryonnaire et post-embryonnaire chez <i>S. maroccana</i>	61
Tableau 13. Parcelles échantillonnées par canton et distribution du nombre de sillons effectués par parcelle dans la Mamora	71
Tableau 14. Comparaison 2 à 2 de la moyenne des positions occupées par les larves dans les trois zones différant par leur humidité et la présence ou non de racines (cumul des données pour les trois mésocosmes H++ et H+) (test de Fisher).....	78
Tableau 15. Distance moyenne parcourue (en cm) par les larves de <i>S. maroccana</i> selon l'humidité du substrat (les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 %)	80
Tableau 16. Cumul des distances moyennes parcourues en 88 jours par les larves dans les différents plans et comparaison 2 à 2 entre les compartiments H++, H+ et S	81

Tableau 17. Cumul des distances parcourues en 88 jours par les larves selon l'axe y (déplacements latéraux) et comparaison 2 à 2 entre les compartiments H++, H+ et S.....	81
Tableau 18. Cumul des distances parcourues en 88 jours par les larves selon l'axe x (déplacements longitudinaux) et comparaison 2 à 2 des valeurs entre les compartiments H++, H+ et S.....	82
Tableau 19. Taux de mortalité (%) des PL, 96 heures après ingestion de carbosulfan (µg)	108
Tableau 20. Taux de mortalité (%) des GL, 96 heures après ingestion de carbosulfan (µg)	109
Tableau 21. Valeurs de DL50, NOAEL et LOEC (en µg) après ingestion de carbosulfan avec la nourriture (96 heures après ingestion) par des larves de <i>Sphodroxia maroccana</i> (valeurs exprimées en µg).....	109
Tableau 22. Valeurs de DL50, NOAEL et LOEC (en µg) après ingestion de carbosulfan avec la nourriture (168 heures après ingestion) par des larves de <i>Sphodroxia maroccana</i> (valeurs exprimées en µg).....	110
Tableau 23. Résumé du dispositif expérimental pour l'étude de la toxicité comparée des granulés de carbosulfan à 10% et de chlorpyrifos-éthyl à 2%, en fonction du substrat (profondeur et humidité).	116
Tableau 24. Taux de mortalité (%) des larves de <i>Sphodroxia maroccana</i> après 192 heures d'exposition au carbosulfan à 10% et au chlorpyrifos éthyl à 2% selon la quantité de sable dans les boîtes (contact obligatoire ou non avec les pesticides utilisés) et le degré d'humidité du sable (modalité 0 ou 1)	118
Tableau 25. Superficie des parcelles étudiées dans le canton A, période de traitement (la campagne d'hiver de plantation est toujours à cheval sur deux années civiles) et modalités de plantation.	124
Tableau 26. Capture des <i>Tenebrionidae</i> dans les différentes parcelles du canton A entre août 2008 et mai 2009. Les données manquantes (pièges détruits) ont été identifiées par un tiret (-).	126
Tableau 27. Mortalité (%) à 96 heures de <i>Pimelia platynota</i> en fonction de la quantité de carbosulfan ingérée (µg).	136
Tableau 28. Mortalité (%) à 96 heures de <i>Pachychila obtusecostata</i> en fonction de la quantité de carbosulfan ingérée (µg)	137
Tableau 29. Doses létales DL50 à 96 heures post-ingestion de carbosulfan (PESTANAL 94,4%) et valeurs de la NOEC et de la LOEC pour <i>Pachychila obtusecostata</i> et <i>Pimelia platynota</i> en comparaison avec les valeurs calculées pour les larves de <i>Sphodroxia maroccana</i>	138

Tableau 30. Doses létales DL50 à 168 heures post-ingestion de carbosulfan (PESTANAL 94,4%) et valeurs de la NOEC et de la LOEC pour *Pachychila obtusecostata* et *Pimelia platynota* en comparaison avec les valeurs calculées pour les larves de *Sphodroxia maroccana*.....139

ABREVIATIONS UTILISEES

ACTA : Action de Coordination des Techniques Agricoles.

CEB : Commission des Essais Biologiques.

DEFCS : Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation du sol.

DREFNO : Direction Régionale des Eaux et Forêts du Nord Ouest.

EPPO : European Plant Protection Organisation.

MATEUH : Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat.

ONSSA : Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires.

UF : Unité Fourragère.

UPB : Unité Petit Bétail.

USDA : U.S Department of Agriculture.

US, EPA: United States, Environmental Protection Agency.

WWF : World Wildlife Fund (« Fonds mondial pour la vie sauvage »), rebaptisé en 1986 World Wild Fund for Nature (« Fonds mondial pour la nature »).

TABLE DES MATIÈRES

<i>TABLE DES MATIÈRES.....</i>	<i>xvii</i>
<i>LISTE DES FIGURES.....</i>	<i>ix</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX.....</i>	<i>xiii</i>
<i>ABREVIATIONS UTILISEES.....</i>	<i>xvi</i>
<i>AVANT-PROPOS</i>	<i>ii</i>
<i>INTRODUCTION GÉNÉRALE</i>	<i>1</i>

PREMIÈRE PARTIE

<i>ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PROBLÈMES PHYTOSANITAIRES DU CHÊNE-LIÈGE DANS LA FORÊT DE LA MAMORA.....</i>	<i>8</i>
<i>Chapitre I. ÉVOLUTION PHYTOSANITAIRE DE LA SUBERAIE DE LA MAMORA.....</i>	<i>9</i>
<i>Chapitre II. IMPACT DES VERS BLANCS SUR LA REGENERATION DU CHENE – LIEG.....</i>	<i>18</i>
<i>II.1 Régénération naturelle.....</i>	<i>19</i>
<i>II.2 Régénération assistée</i>	<i>20</i>
<i>II.3 Réhabilitation de la forêt de la Mamora.....</i>	<i>21</i>
<i>II.4 Conclusion de la première partie.....</i>	<i>22</i>

DEUXIÈME PARTIE

<i>IDENTIFICATION ET ÉTUDE BIO-ÉCOLOGIQUE DES ESPÈCES DE VERS BLANCS DANS LA FORÊT DE LA MAMORA.....</i>	<i>24</i>
<i>INTRODUCTION.....</i>	<i>25</i>
<i>Chapitre I. IDENTIFICATION DES ESPECES DE VERS BLANCS.....</i>	<i>26</i>

I.1 Matériels et méthodes	26
I.1.1 Collecte des larves	26
I.1.2 Élevage au laboratoire	27
I.1.3 Critères d'identification.....	29
I.2 Résultats.....	29
I.2.1 Les espèces de vers blancs dans la Mamora	29
I.3 Discussion et Conclusion	40
<i>Chapitre II. ETUDE BIO-ECOLOGIQUE DE S. maroccana</i>	43
II.1 Introduction.....	43
II.2 Développement embryonnaire de <i>S. maroccana</i>.....	44
II.2.1 Matériels et méthodes	44
II.2.2 Résultats	45
II.2.3 Discussion	48
II.3 Etude de quelques paramètres biologique de <i>Sphodroxia maroccana</i>	49
II.3.1 Matériels et méthodes	49
II.3.2 Résultats	52
II.3.3 Discussion	63
II.4 Période de dégâts	64
II.4.1 Matériels et méthodes	64
II.4.2 Résultats	64
II.4.3 Discussion	66
II.5 Conclusion.....	67

TROISIÈME PARTIE

<i>DISTRIBUTION SPATIALE ET MOBILITÉ DES LARVES DE <i>Sphodroxia maroccana</i> DANS LA SUBERAIE DE LA MAMORA.....</i>	69
<i>Chapitre I. ECOLOGIE ET DENSITE LARVAIRE SUR LE TERRAIN.....</i>	70
I.1 Introduction	70
I.2 Matériel et méthodes.....	70

I.3 Résultats.....	71
I.4 Discussion et conclusion	74
<i>Chapitre II. MOBILITE DES LARVES DANS LE SOL</i>	75
II.1 Introduction.....	75
II.2 Matériels et méthodes	75
II.3 Résultats	77
II.4 Discussion et Conclusion.....	82

QUATRIÈME PARTIE

<i>MÉTHODES DE LUTTE BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE CONTRE SPHODROXIA MAROCCANA ET CONSEQUENCES ENVIRONNEMENTALES.....</i>	83
---	-----------

<i>INTRODUCTION.....</i>	84
---------------------------------	-----------

<i>Chapitre I. ESSAIS D'IDENTIFICATION DE LA PHEROMONE SEXUELLE DE Sphodroxia maroccana.....</i>	84
---	-----------

I.1 Introduction	84
-------------------------------	-----------

I.2 Le comportement d'attraction des mâles de <i>S. maroccana</i> par la femelle	87
---	-----------

I.3 Piégeage des mâles par les femelles encagées.....	88
--	-----------

I.3.1 Matériels et méthodes.....	88
----------------------------------	----

I.3.2 Résultats et discussion.....	89
------------------------------------	----

I.4 Essais d'isolement de la phéromone sexuelle de <i>S. maroccana</i>	91
---	-----------

I.4.1 Matériels et méthodes.....	91
----------------------------------	----

I.4.2 Résultats et discussion.....	93
------------------------------------	----

I.4.3 Conclusion.....	94
-----------------------	----

<i>Chapitre II. ESSAIS DE LUTTE CHIMIQUE CONTRE Sphodroxia maroccana.....</i>	96
--	-----------

II.1 Introduction.....	96
-------------------------------	-----------

<i>II.2 Constats sur les pratiques habituelles des forestiers en matière de lutte.....</i>	96
---	-----------

<i>II.3 Etude de la toxicité aiguë par le Carbosulfan Chez Sphodroxia maroccana.....</i>	98
II.3.1 Introduction.....	98
II.3.2 Généralités sur les pesticides	98
II.3.2.1 Caractéristiques des deux principales familles de pesticides	100
II.3.3 Etude de la toxicité aiguë chez <i>Sphodroxia maroccana</i> après absorption de carbosulfan.....	102
II.3.3.1 Introduction	102
II.3.3.2 Matériels et méthodes	102
II.3.3.3 Résultats.....	107
III.3.3.4 Discussion	112
<i>II.4 Evaluation de la toxicité du Chlorpyrifos-éthyl sur les larves de Sphodroxia maroccana.....</i>	114
II.4.1 Matériels et méthodes	114
II.4.1.1 Origine des larves	114
II.4.1.2 Caractéristiques du chlorpyrifos éthyl	114
II.4.1.3 Dispositif expérimental.....	115
II.4.2 Résultats	117
II.4.3 Discussion.....	119
<i>II.5 Impacts de la lutte chimique sur la faune non cible.....</i>	120
II.5.1 Biologie et importance écologique des espèces-identification des ténébrionides..	120
II.5.2 Fréquence des Ténébrionides capturés en 2008-2009 dans différentes parcelles de la Mamora	122
II.5.2.1 Matériels et méthodes	123
II.5.2.2 Résultats.....	125
II.5.2.3 Conclusion	130
<i>II.6 Evaluation de l'effet du Carbosulfan sur deux espèces de Ténébrionides.....</i>	131
II.6.1 Introduction.....	131
II.6.2 Matériels et méthodes	131
II.6.2.1 Dispositif expérimental.....	132

II.6.2.2 Analyses statistiques	134
II.6.3 Résultats	135
II.6.3.1 Taux de mortalité à 96 heures	135
II.6.3.2 Calcul de la dose létale DL50 à 96 heures et 168 heures	137
II.6.4 Discussion et conclusion.....	141
<i>CONCLUSION GENERALE.....</i>	<i>143</i>
<i>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</i>	<i>149</i>
<i>ANNEXES</i>	<i>177</i>

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les forêts méditerranéennes couvrent environ 81 millions d'hectares (9,4% de la superficie forestière mondiale) et sont constituées d'une mosaïque d'essences forestières, principalement des feuillus (environ 60%) (Mugnossa *et al.*, 2000). Certaines ont une importance écologique fondamentale. C'est le cas des subéraies qui produisent une grande quantité de liège (environ 300 millions de kg par an) dont 87% vient d'Europe (55% du Portugal, 28% d'Espagne, 1% de France et 3% d'Italie) et le reste d'Afrique du Nord (4% du Maroc, 6% d'Algérie, 3% de Tunisie (Lopes, 1996).

A partir d'une analyse réalisée par le WWF (2001), on peut estimer que la couverture forestière originelle représentait environ 82% de la surface totale des pays méditerranéens. Actuellement il ne reste que 17% de ce patrimoine forestier et celui-ci est souvent considéré comme profondément dégradé dans les pays du Sud de la Méditerranée (Sousa & Atay-Kadiri, 2005). La situation actuelle est qualifiée de dramatique pour les divers pays d'Afrique du Nord et seuls des programmes ambitieux de gestion écologique intégrée permettront de sauver les lambeaux de forêts qui subsistent, ou de préserver quelques zones qui sont encore restées miraculeusement à l'abri de ces destructions (Quézel & Médail, 2003).

Le chêne-liège est présent en Méditerranée Occidentale depuis plus de 60 millions d'années. C'est une essence endémique du domaine méditerranéo-atlantique, mais son aire de répartition s'est fortement réduite suite à des fortes variations climatiques et surtout à l'action anthropique durant une longue période (Benabid, 1989).

Au Maroc, le chêne liège s'étend sur une superficie de près de 300.000 ha, principalement dans les régions de la Mamora, du Plateau Central et du Rif (Hammoudi, 2002).

La subéraie de la Mamora est considérée comme l'écosystème le plus dégradé. Elle est située au nord-ouest du pays, en bordure de l'Océan Atlantique entre les méridiens 6°0' et 6°45' ouest, et les parallèles 34°0' et 34°20' nord. Elle s'inscrit ainsi dans un rectangle de 60 km de long d'ouest en est, et 30 km de large du nord au sud (Aafi, 2006). Les forestiers l'ont

découpée en cinq parties bien distinctes (appelés cantons), séparées les unes des autres par des cours d'eau. D'ouest en est, ces cantons sont dénommés par les lettres A, B, C, D et E (DEFCS, 1973), (figure 1).

Le massif forestier de la Mamora est à cheval sur deux régions économiques : la région du Gharb-Chrarda-Bni Hssen qui relève des provinces de Kénitra et de Sidi Kacem et celle de Rabat-Salé-Zemmour-Zaër qui fait partie de la préfecture de Salé et de la province de Khémisset. Cette forêt a été délimitée entre 1917 et 1919 (M.A.T.E.U.H, 1998) (tableau 1). Sa gestion est assurée par les services forestiers provinciaux de Kénitra pour sa moitié Nord, et ceux de Khémisset et Salé pour sa moitié Sud.

Cette forêt constitue un espace environnemental et récréatif. C'est un espace de protection des villes contre l'ensablement, un espace de jeux et de repos et un poumon pour les villes les plus proches (Rabat, Salé, Khémisset et Kenitra) et les communes environnantes (30.000 visiteurs par semaine). C'est aussi un milieu de la plus grande importance en ce qui concerne la biodiversité (M.A.T.E.U.H, 2002).

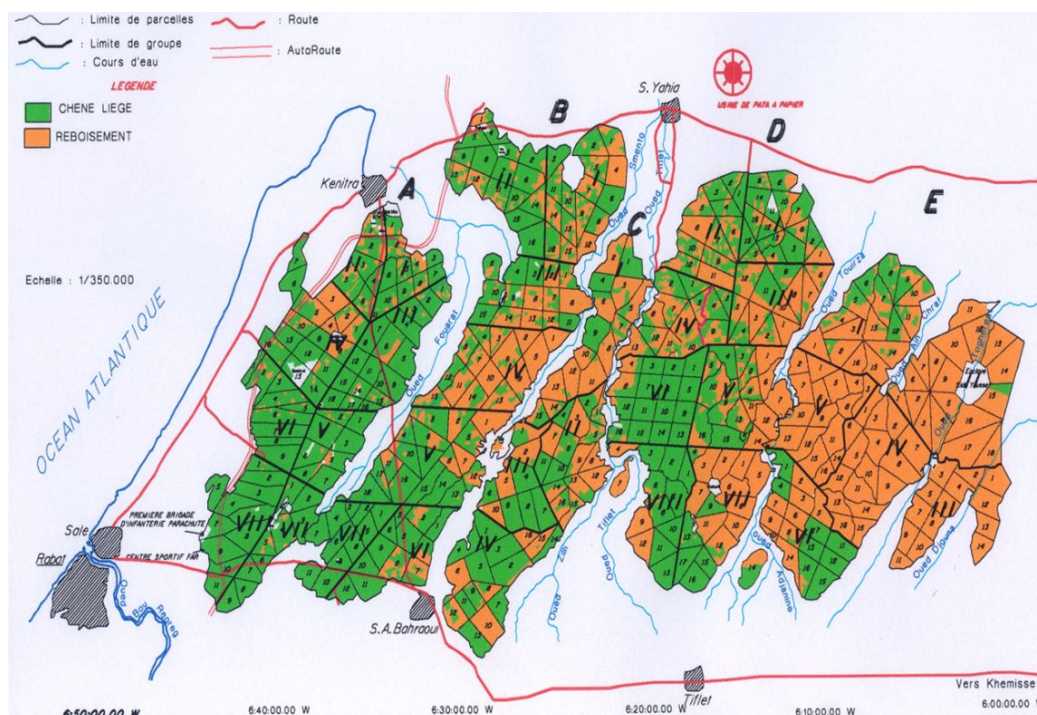


Figure 1. Composition des peuplements de la Mamora (DREFNO/SEAFBV, Juillet 2006)

Tableau 1. Délimitation et superficies par canton (M.A.T.E.U.H, 1998)

Cantons	Délimitation d'ouest en est	Superficie en ha toutes essences confondues
Canton A	Océan Atlantique - Fouarat	23 868
Canton B	Fouarat - Smento	28 460
Canton C	Smento - Tiflet	17 220
Canton D	Tiflet - Tourizat	32 446
Canton E	Tourizat - Tarehrest	30 059
Total	-	132 053

En plus de la forte pression démographique exercée par les 300.000 habitants répartis entre 300 douars, la Mamora supporte un cheptel de 230.000 têtes (ovins et bovins) et génère 300.000 journées de travail par an. L'ensemble de ses productions est évalué de 80 à 100 millions de dh/an (Aafi, 2004a).

Cette vaste forêt s'étendait au XIX^e siècle sur près de 300.000 hectares (Boudy, 1950). En 1918, la forêt ne faisait déjà plus que 134.000 hectares (Vidal, 1951 ; Métro & Sauvage, 1955 ; Omar, 1985) et à la fin du XX^e siècle, le chêne-liège dans cette forêt n'occupait plus que 60 à 70.000 hectares (Bendaanoun, 1998 ; Benzyane, 1998), soit une réduction d'environ 75% en un peu plus d'un siècle. Parallèlement, les chênes cèdent leur place à de nouvelles essences exotiques, comme les acacias et les eucalyptus qui ont ainsi fait une apparition remarquable, faisant perdre à la Mamora son titre de plus grande forêt de chêne-liège d'un seul tenant au monde.

La forte pression exercée par l'homme et son bétail compte parmi les principaux facteurs qui ont conduit à la régression de la forêt de la Mamora, sans oublier l'effet des techniques et méthodes d'exploitation programmées dans le cadre des projets d'aménagement, le ramassage du bois de feu et de quelques plantes comme le doum, le myrte et quelques espèces de plantes aromatiques, médicinales et mellifères, le gaulage des glands et les coupes de bois illégales, les opérations de défrichement, les incendies et le surpâturage. L'exploitation irrationnelle et abusive de ce patrimoine a contribué d'une façon nette à la dégradation et à la régression de la forêt, ce qui se traduit par une perturbation dans la composition spécifique, une régression des

superficiés couvertes par le chêne-liège et une réduction du nombre d'espèces floristiques. Cette régression se décline non seulement en termes de superficie mais aussi de densité.

A ces facteurs de dégradation et de destruction d'origine anthropique, il convient d'ajouter les effets des longues années de sécheresse, les incendies et les attaques causées par les insectes ravageurs. Parmi les défoliateurs, il faut citer *Lymantria dispar*, tandis que les xylophages comme *Cerambyx cerdo* et *Platypus cylindrus* seraient à l'origine de la mort de nombreux chênes-lièges (Harrachi, 2000). Il faut également citer le rôle important des attaques du champignon *Hypoxylon mediterraneum* qui prédisposent les arbres au dépérissement.

Cet écosystème à prédominance de chêne-liège est fragilisé par la perte de sa structure et son architecture (Benabid, 2000). La régénération naturelle, qui joue un rôle important dans la conservation et la pérennité de l'espèce, est très compromise, voire inexistante, du fait de la très forte pression anthropique (collecte des glands associée à une très forte pression pastorale en sous-bois). Les semis naturels de chêne-liège sont de fait de plus en plus rares.

Face à cette réalité, le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification a opté pour des techniques de régénération assistée (par semis ou par plants de chêne-liège) afin de remplir le vide existant entre les arbres ou les parcelles. L'objectif a été également de remplacer les essences secondaires plantées précédemment (acacias, eucalyptus et pins) par l'essence d'origine, le chêne-liège. Mais ce programme de régénération assistée s'est heurté rapidement à un important problème de dépérissement et de mortalité des jeunes plants, le taux d'échec à la plantation pouvant parfois atteindre 100 % dans certaines parcelles (Ghaïoule *et al.*, 2007). Les deux principales raisons avancées pour expliquer cette très forte mortalité étaient la forte sécheresse estivale à laquelle succédaient des attaques des racines par des vers blancs pendant les périodes humides de l'année.

Une lutte chimique a dès lors été engagée par les forestiers pour combattre les vers blancs, mais avec des succès divers, du fait parfois d'un manque de maîtrise des techniques de lutte par les ouvriers agricoles recrutés pour effectuer les plantations. Ainsi il a été constaté (observations personnelles ; D. Ghaïoule, com. pers.) à plusieurs reprises que des agents forestiers chargés des plantations de chênes-lièges répandaient des insecticides en granulés (comme par exemple du carbofuran) à la surface autour des plants au lieu de les verser dans le trou de plantation avant de disposer les jeunes plants. Dans de nombreux cas, les quantités

répandues dépassaient largement les doses préconisées, avec des risques environnementaux et des risques d'intoxication vis-à-vis de multiples organismes vivant à la surface du sol (insectes, petits vertébrés ...) et des oiseaux granivores qui confondraient ces granulés avec des graines. En effet, l'ingestion d'un seul granulé de carbofuran est suffisante pour tuer un petit oiseau (US EPA, 1991; 2006).

On évalue la toxicité des insecticides par leurs effets létaux et sublétaux occasionnés aux organismes étudiés. Une Directive Européenne de 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytosanitaires (91/414/CEE du 15 juillet 1991 amendée par la Directive 96/12-CEE : EEC/CEE, 1996) recommande des tests sur les insectes pour chaque homologation.

Il existe depuis cette Directive un schéma d'estimation du risque envers les arthropodes auxiliaires établi par l'EPPO (European Plant Protection Organisation), commun à tous les membres de la Communauté européenne (EPPO, 1994). Il est fondé sur une approche à trois niveaux : essais en laboratoire, essais en conditions semi-naturelles et essais en plein champ. Les méthodes développées pour ces essais sont laissées à l'appréciation de chaque pays.

Les risques éco-toxicologiques sont pris en compte en Europe occidentale pour la protection de l'environnement et la santé humaine. Des méthodes de lutte intégrée, qui reposent en partie sur la protection des insectes auxiliaires sont utilisées et une standardisation des méthodes d'évaluation de la mortalité des insectes auxiliaires causée par des produits phytosanitaires fait l'objet d'études en France par la Commission des Essais Biologiques méthode n°95 (C.E.B, 1996), ainsi que par l'ACTA (Action de Coordination des Techniques Agricoles) (ACTA, 1998 ; Reboulet, 1994), ailleurs aussi en Europe (Barrett *et al.*, 1994 ; Candolfi *et al.*, 2000 a,b).

Jusqu'à présent, les risques phytosanitaires envers les insectes non cibles sont évalués par la mortalité mesurée après exposition des insectes au laboratoire. Or il peut exister un décalage important par rapport aux risques d'exposition lorsqu'on se place en conditions naturelles où il existe des zones refuges et où le produit peut évoluer rapidement. On ne dispose pas dans la pratique de tests écotoxicologiques adaptés à l'évaluation d'effets sub-létaux, notamment sur le comportement. La connaissance de tels effets fait défaut dans certaines décisions d'homologation. Les traitements chimiques, qui constituent jusqu'à maintenant la base de la lutte contre les ravageurs, sont loin d'être maîtrisés par la majorité des utilisateurs. Lorsque la

formation technique de ces derniers est trop sommaire ou inadaptée, les produits qu'ils utilisent sont fréquemment appliqués à des moments inopportuns, car certains agriculteurs n'appliquent pas correctement la technique de traitement sur seuil (Ramananarivo, 1998). C'est le cas pour certains des agents forestiers qui ont été observés dans la Mamora, qui dépassent dans la majorité des cas les doses préconisées pour lutter contre les vers blancs.

Par ailleurs la lutte chimique contre ces larves ne peut être envisagée sans expérimentation préalable. La possibilité de recourir aux insecticides du sol qui sont des puissants biocides doit être très sérieusement évaluée quant aux dangers qu'ils présentent pour les utilisateurs et l'environnement. En tout état de cause, une éventuelle lutte chimique doit s'inscrire dans une stratégie globale de lutte intégrée au niveau des systèmes de culture et de production. Il importe donc d'avancer dans la connaissance de la biologie et l'écologie du ravageur et de suivre la dynamique de ses populations.

Le présent travail vise à développer les connaissances bio-écologiques afin de mieux appréhender le ravageur dans la perspective d'élaborer une technique de lutte adéquate. Nos résultats sont présentés en quatre axes représentant les quatre parties suivantes :

Dans la première partie, nous présentons l'état des connaissances actuelles sur les problèmes phytosanitaires du chêne-liège dans la forêt de la Mamora, lesquels peuvent avoir une influence sur la régénération artificielle du chêne-liège.

En deuxième partie nous présentons les différentes espèces de vers blancs identifiées, ainsi qu'une étude bio-écologique du principal ravageur : *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera : Melolonthidae).

La troisième partie est consacrée aux résultats d'études sur l'écologie et densité larvaire sur le terrain ainsi qu'une étude de la mobilité des larves dans le sol au laboratoire.

Dans la quatrième partie, nous regroupons l'ensemble des résultats ayant pour objectifs l'amélioration des techniques de lutte contre *S. maroccana* ; à savoir des tests d'écotoxicologie sur les larves et d'extraction de la phéromone sexuelle du ravageur. Nous avons aussi étudié les effets collatéraux dans le cas de la lutte chimique, sur les insectes détritivores non-cibles (Coleoptera : Tenebrionidae) dans la subéraie de la Mamora.

En conclusion nous fournirons des propositions de gestion raisonnée de ce ravageur dans le cadre des reboisements à venir en forêt de la Mamora.

PREMIÈRE PARTIE
ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PROBLÈMES
PHYTOSANITAIRES DU CHÊNE-LIÈGE DANS LA
FORÊT DE LA MAMORA

Chapitre I. ÉVOLUTION PHYTOSANITAIRE DE LA SUBERAIE DE LA MAMORA

La forêt de la Mamora se situe à la limite sud-ouest de l'aire naturelle de répartition du chêne-liège. Cette situation géographique en marge de l'aire de distribution de cette espèce rend cette forêt plus particulièrement sensible. Les facteurs qui menacent d'enrayer cet écosystème fragile sont, en plus de la sécheresse, le surpâturage, l'écimage, le ramassage des glands, le manque d'encadrement des usagers, le prélèvement du bois, l'absence de régénération naturelle du chêne-liège et les attaques parasitaires.

Cette situation qui prend de l'ampleur au fil du temps est devenue très préoccupante car elle accélère le processus de dégradation du cortège floristique et faunistique qui pourrait mener à un dysfonctionnement majeur de l'écosystème et la perte définitive de cette forêt.

La superficie occupée par le chêne-liège dans la Mamora est réduite à moins du tiers de sa surface potentielle (HCEFLCD, 2004). Actuellement la subéraie proprement dite ne couvre plus que 60 000 ha (Bendaanoun, 1998 ; Benzyane, 1998), avec une régression très rapide entre les années 1955 et 2000 (soit une perte annuelle de plus de 1 600 ha/an) puisque les zones dégradées de chênes-lièges ont été tout simplement défrichées par l'Administration des Eaux et Forêts au profit de plantations d'espèces exotiques, en particulier Pins, Eucalyptus, *Acacia australiensis* (Benabid, 2000).

Les statistiques du Haut Commissariat aux Eaux et Forêt et à la lutte contre la Désertification montrent que le chêne-liège représente en 2004 un pourcentage de 45 %, à comparer avec celui de l'eucalyptus (40 %) et les autres essences (tableau 2).

Une étude cartographique de la forêt de la Mamora, conduite par Aafi (2007), a permis d'établir une carte des différents types de peuplements. On constate en particulier que le chêne-liège n'occupe que 58 396 ha, soit 44,3 % de la superficie totale de la forêt.

Ces résultats combinent des données issues de la classification automatique (zones à chêne-liège et terrains vides) et d'autres issues de la numérisation directe à l'écran (zones des reboisements nouvellement créées). On note une baisse de la superficie occupée par le chêne-

liège (baisse de 1604 ha) par rapport aux données de 2004, mais il est possible que la différence soit due principalement à la meilleure précision des données d'Aafi (2007).

Selon cet auteur, les formations à chêne-liège dense, moyennement dense et clair occupent respectivement 4110 ha, 16.665 ha et 37.621 ha, soit 7%, 29% et 64% de la superficie totale occupée par le chêne-liège.

Tableau 2. Superficie des essences forestières de la Mamora (HCEFLCD, 2004)

Essence Forestière	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
Chêne-liège	60.000	45
Eucalyptus	54.000	40
Résineux	10.000	7
Acacias	7.000	5
Autres essences	2.000	3
Total	133.000	100

Le problème de la dégradation sanitaire des écosystèmes forestiers (feuillus et conifères) est connu depuis la fin du 19ème siècle. Il s'est accru dans de nombreux pays au début du siècle dernier, en Europe notamment, mais aussi en Amérique du Nord. L'apparition de phénomènes plus spectaculaires connus sous le nom «déclin» ou «dépérissement» n'a pris de caractère inquiétant qu'au début des années 1980 (Delatour, 1983; Bonneau & Landmann, 1988). Cette dégradation, caractérisée par des anomalies diverses, a été signalée pour la première fois par Falck (1924 in : Delatour, 1983) puis, plus tard, par de nombreux autres chercheurs comme Chararas (1980) ou Lohéle (1988 in : Sousa, 1996) et (Sousa & Atay-Kadiri, 2005). Plusieurs facteurs défavorables ont été impliqués dans ce processus qui présente souvent deux phases : une phase d'affaiblissement suivie d'une phase de dépérissement proprement dit. Dans la région méditerranéenne occidentale, les forêts de chênes-lièges en particulier ne font pas exception à la règle mais sont affectées avec une intensité variable selon les pays.

Depuis quelques années, des efforts de coopération sont menés dans le secteur forestier. Cependant on n'a pas encore constaté d'amélioration et les mécanismes de dépérissement des subéraies ne sont pas encore bien élucidés. Les symptômes et agents responsables du dépérissement du chêne-liège sont au contraire bien connus. Leur description a fait l'objet de

nombreux travaux, notamment ceux de Nageleisen *et al.* (1990) en France, Sousa (1995) au Portugal, Chadigan (1990), El Antry (1994), Bakry & Abourouh (1995) au Maroc et Franceschini *et al.* (1999) en Sardaigne.

Le dépérissement du Chêne-liège est considéré comme un phénomène général et préoccupant, non seulement au Maroc mais aussi dans tous les pays méditerranéens, comme le confirment les travaux du groupe de travail «Protection intégrée des forêts de chênes-lièges» créé en 1993. Le groupe tente d'évaluer l'importance du dépérissement et d'éclaircir son étiologie dans l'ensemble de l'aire géographique du chêne-liège (Luciano, 1995; Villemant, 1999; Villemant & Sousa, 2002).

Des évaluations quantitatives du déclin du chêne-liège ont été réalisées un peu partout dans la région méditerranéenne. La réduction graduelle de l'aire de *Quercus suber* L., de la densité des peuplements et de la production du liège ont été constatés au Portugal (Mendes A.M.S.C., 1996), en Espagne (Gottaredona, 1992), en France (Mirault, 1996), en Italie (Franceschini *et al.*, 1999) et dans les pays du Maghreb (El Yousfi, 1995 ; Ben Jamaa & Hasnaoui, 1996). Au Portugal, Mendes (1996) a signalé une réduction qui varie de 69% à 89% de la production au cours des années 1961 à 1969. En Italie, Luciano & Prota (1995) ont signalé une diminution de 40 à 60% de la production de liège dans les peuplements ayant subi une défoliation sévère (supérieure à 50%). La situation est aussi alarmante au Maroc où les subéraies du nord-ouest ont été réduite de 30% en superficie de 1987 à 1992 (Graf *et al.*, 1992).

Diverses contraintes ont été relevées, qui rendent difficile la gestion de cette forêt. Parmi ces contraintes on peut citer :

Le surpâturage

Quézel & Barbero (1990) décrivent les forêts méditerranéennes comme des milieux naturels fragiles qui ont toujours été utilisées par l'homme à des fins de survie. Les agressions que ces forêts subissent de la part de l'homme remontent au début du Néolithique. Les forêts marocaines ne font pas exception, elles constituent les principaux terrains de parcours. Les effectifs des troupeaux qui pâturent dans les subéraies sont très importants. Ceux-ci sont composés de bovins et ovins en forêt de plaine (Mamora) et essentiellement de caprins en forêt de montagne.

La population riveraine de la Mamora s'élève à 300.000 habitants, soit en moyenne 4,5 habitants par hectare de subéraie (HCEFLCD, 2004). Concernant l'effectif du cheptel pâurant en forêt, celui-ci s'élève à 173 000 têtes d'ovins et 52.000 têtes de bovins, soit une charge pastorale moyenne de 6,4 UPB/ha (figure 2), jugée très élevée par rapport aux possibilités herbagères de la forêt qui ne dépasse pas 400 UF/ha dans le meilleur des cas.



Figure 2. Pâturage en forêt de la Mamora (parcelle AII5) (Prise de vue : 30/04/2011)

Le surpâturage entraîne également une banalisation du cortège floristique de la subéraie, avec disparition des espèces qui est le résultat des perturbations profondes qui touchent leurs biotopes.

Benabid (2000) estime que la charge pastorale excessive et incontrôlée est très nuisible aux subéraies. Les animaux prélèvent une quantité très importante de la biomasse. Ils empêchent aussi, par le broutage et le piétinement, toute régénération naturelle des peuplements de chêne-liège et entraînent la disparition ou réduction considérable d'un grand nombre d'espèces végétales, favorisant au contraire la multiplication d'espèces envahissantes et toxiques. Le piétinement contribue aussi au tassement des sols qui deviennent non favorables au développement des jeunes semis. Le gland quand il tombe et qu'il n'est pas ramassé pourrit sur place au lieu de germer. Le troupeau broute les semis du chêne-liège ; la taille de ceux-ci ne peut donc pas dépasser la hauteur du sous-bois environnant.

Il est important de signaler aussi les dégâts par l'émondage des chênes-lièges. Cette pratique a lieu en période de disette, afin d'alimenter le bétail qui vient se réfugier dans les subéraies.

Le gaulage des arbres

Les glands du chêne-liège en Mamora sont doux et sont utilisés pour la consommation humaine. Cette habitude alimentaire de la population marocaine a permis de développer des réseaux de commerce importants autour de ce produit (figure 3), ce qui a fait du gaulage une pratique très courante durant les mois d'octobre à décembre, d'autant plus que le prix au kilogramme de glands est élevé (environ 10 dirhams).



Figure 3. (A) Cycle de développement du chêne-liège; (B) Commercialisation des glands du chêne-liège (Prise de vue en septembre 2011).

Le ramassage des glands constitue une pratique très dégradante pour les écosystèmes à chêne-liège. En effet, cette récolte, qui se fait dans la plupart des cas par gaulage, blesse les arbres et entrave toute possibilité de régénération. La forêt de la Mamora est particulièrement concernée, en raison de sa situation à proximité des très grands centres urbains (Kénitra, Salé, Rabat et Khémisset) et de ses glands doux. Les glands de la Mamora sont vendus dans presque toutes les villes du Maroc (Benabid, 2000).

Par ailleurs, la pression exercée sur les glands par les ravageurs est grande, avec un degré d'infestation qui peut varier de 13 à 70%. Les agents en cause sont principalement le Carpocapse des glands (*Cydia fagiglandana*), un insecte lépidoptère de la famille des Tortricidae (Villemant & Fraval, 1991, 1993) qui s'attaque aussi aux glands du chêne vert, de même que des Curculionidae comme *Curculio glandium* Marsham (Arahou, 1994, 2008) et de nombreux champignons, comme *Alternaria* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Diplodia mutila* (El-Badri & Abadie, 2000), *Trichoderma* sp., *Mucor* sp., *Ciboria* sp. (El Antry *et al.*, 2001). Ces parasites sont source de pourriture et entravent par leur développement endophytique la conservation des glands (Branco *et al.*, 2002 ; Merouani, 2001a; 2003). Le climat, surtout l'humidité atmosphérique, semble jouer un rôle prépondérant sur l'état sanitaire des glands. En bioclimat sub-humide (Larache et Mamora occidentale), les pourcentages d'attaques sont plus faibles de ceux enregistrés dans les régions à bioclimat semi-aride (Mamora Centrale et Orientale, Rommani et Ben Slimane) (El Antry *et al.*, 2001).

Le dépérissement des arbres

Les premiers constats du phénomène du dépérissement dans les subéraies datent des années 1960, mais le phénomène est apparu plus nettement dans les années 1980 et semble s'accélérer depuis l'année 2000. Les subéraies marocaines, comme celles de la plupart de la région méditerranéenne, sont fragiles et grandement perturbées par une multitude d'utilisations par l'homme. Cet impact d'origine anthropique, de plus en plus croissant (pâturage excessif, écimage des arbres, coupes et cueillette), qui s'est traduit dans la plupart des cas par une dégradation très avancée des structures des groupements végétaux et des sols, a rendu les arbres très exposés aux processus de dépérissement (Benabid, 2000). Les symptômes sont identiques à ceux décrits en Europe (Brasier, 1996 ; Brasier & Scott, 1994), soit une perte de feuillage progressive associée à une dégradation de l'état sanitaire (figures 4), pouvant aller jusqu'à la mort des arbres. Les conséquences sont une baisse de la qualité et de la quantité du liège produit, voire la raréfaction ou la disparition des peuplements et de son cortège floristique.



Figure 4. Adulte de *Platypus cylindrus* sur le bois du chêne-liège en plus de la présence d'une nymphe blanche située à l'intérieur d'une chambre de nymphose (Source : El Antry *et al.*, 2008)

Des facteurs multiples de prédisposition, de déclenchement et d'aggravation du dépérissement sont en cause.

- Les facteurs prédisposants mènent à l'affaiblissement de l'arbre et regroupent des facteurs à caractère permanent causant des stress de faible intensité et agissent à long terme, comme la pollution atmosphérique, la gestion forestière, le climat, le sol, le potentiel génétique....
- Les facteurs déclenchants regroupent les facteurs qui provoquent des stress de forte intensité, mais agissant à court terme comme le stress hydrique, les insectes défoliateurs, les xylophages primaires en épidémie....
- Les facteurs aggravants regroupent les faits agissant d'une manière additive et antagoniste. Leur installation conduit les arbres progressivement à une mort certaine du fait du développement de champignons racinaires, d'insectes sous-corticaux et de xylophages secondaires.

Les changements climatiques, les démasclages et déliègeages mal conduits, les attaques d'insectes et de champignons et les incendies de forêt en sont les principaux facteurs (Veuille, 1995)

Les sécheresses récurrentes de ces dernières décennies ont entraîné un déficit hydrique, facteur important de stress pour les peuplements forestiers. Les semis de chêne-liège sont détruits par la sécheresse estivale surtout quand leurs racines n'arrivent pas encore à atteindre le plancher argileux avant l'été (Dahmani, 2005). Les conditions climatiques sévères (déficit de précipitations et températures estivales excessives) de ces dernières années ont conduit à des mortalités importantes par dessèchement de plants de chêne-liège au niveau des parcelles de régénération, en particulier dans les cantons B, C et D (Dahmani, 2005).

En général, le chêne-liège résiste assez bien à la sécheresse, mais lorsque les conditions stationnelles et sylvicoles sont défavorables (exposition à des vents excessifs et fort ensoleillement, terrains superficiels et peu perméables, peuplement serrés, sol appauvri par les activités agricoles, élimination totale du sous-bois, pâturage excessif), il est plus facilement exposé à un stress hydrique. Les arbres soumis à de telles conditions sont rabougris et sont plus souvent attaqués par des insectes et des champignons primaires. L'état sanitaire des arbres est ensuite définitivement compromis par les attaques successives des insectes xylophages secondaires et surtout des champignons pathogènes qui provoquent leur mort à plus ou moins longue échéance. Par ailleurs, parmi les insectes que l'on trouve s'attaquent aux feuilles, aux branches, à l'écorce et aux racines. Les insectes les plus fréquemment associés au dépérissement des chênes-lièges on peut citer (*Lymantria dispar* (L.) (Bombyx disparate) qui est un insecte défoliateur présentant des pullulations cycliques de 10 à 12 ans en Mamora (Questienne & Fraval, 1977 ; Fraval & Lhaloui, 1980 ; Villemant & Andrei-Ruiz, 1999 ; El Antry *et al.*, 2006). Ses attaques suppriment la glandée et une défoliation totale fait perdre à l'arbre entre 40 à 100% d'accroissement en bois de l'année, avec une perte de 25% en moyenne d'accroissement de liège. Ces défoliations affaiblissent les arbres et les prédisposent ainsi aux attaques des insectes xylophages et des champignons. Parmi les lépidoptères défoliateurs, on trouve aussi *Tortris viridana* L. (Tordeuse verte du chêne-liège).

Platypus cylindrus L. (Coleoptera : Curculionidae : Platypodinae) est un insecte xylophage considéré comme le ravageur le plus associé au dépérissement des subéraies. Ses attaques sont liées à la faiblesse des arbres (état physiologique) souvent suite à la récolte du liège (Sousa & Debouzie, 1993, El Antry *et al.*, 2003, Sousa *et al.*, 2005). Des travaux récents ont permis de conclure que la probabilité d'attaque par cet insecte est multipliée par 4 quand l'arbre est déliégé (Amandier *et al.*, 2003). L'évolution démographique de ses populations

varie nettement au cours du temps. Elle dépend fortement des séquences d'attaques subi par l'arbre, de l'ancienneté de sa mortalité et de la saison (Belhoucine *et al.*, 2011).

Dans le cas des champignons pathogènes, on trouve parmi les plus communs *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze (= *Hypoxyton mediterraneum* (De Not.) Kuntze) ("le Charbon de la mère") (Defrance & Marion, 1951) ; *Diplodia corticola* (Fr.) Mont., un parasite secondaire des arbres physiologiquement affaiblis ; *Phytophthora cinnamomi* Rands., un champignon racinaire responsable de la maladie de l'Encre ; depuis les années 80, des dépérissements de chênes-lièges dus à ce pathogène sont observés dans plusieurs pays méditerranéens (Brasier, 1992 ; Brasier *et al.*, 1993) ; et enfin *Armillaria mellea*, le Pourridié des racines qui provoque la pourriture des parties vivantes du bois et entraîne le dépérissement plus ou moins rapide de l'arbre en altérant le système racinaire, puis le collet et la base du tronc (Bakry *et al.*, 1999 ; Luque *et al.*, 2000). D'une manière générale, une levée mal effectuée, se traduisant par des blessures et l'arrachage de la couche mère, augmente le stress de l'arbre, favorise les attaques d'insectes xylophages et des champignons et entraîne la déformation du tronc et l'apparition de chancres.

Chapitre II. IMPACT DES VERS BLANCS SUR LA REGENERATION DU CHENE-LIEGE

Des programmes d'aménagement et traitements sylvicoles ont été appliqués à l'écosystème chêne-liège depuis les premiers travaux d'aménagement de 1954. Dans certains périmètres, les techniques sylvicoles mal adaptées ont entraîné la dégradation de la forêt et modifié les conditions écologiques dans lesquelles se développent et se régénèrent les peuplements de Chêne-liège.

L'introduction d'espèces exotiques n'a pas été sans conséquences en inhibant le développement du sous-bois autochtone (Benabid, 1989). Actuellement, on s'oriente plus vers des reboisements par le Chêne-liège, avec des actions de développement visant à régénérer 2.000 ha/an (Hammoudi, 2002). Le tableau 3 retrace l'historique des plans d'aménagement de la Mamora depuis le début du siècle dernier. Le dernier plan date de 1992 et couvre une vingtaine d'années ; il concerne une superficie totale de 59 057 ha répartis comme suit :

- Kénitra : 24 096 ha (41%)
- Khémisset : 21 831 ha (37%)
- Rabat : 13 130 ha (22%)

Tableau 3. Plan d'aménagement de la Mamora (HCEFLCD, 2004)

Périodes	Objectifs
1918-1950	Rajeunissement de la forêt par coupes de recépage (60 000 ha).
1951-1972	Maintien du Chêne-liège, subériculture et remplacement des vides par plantation d'eucalyptus
1972-1992	Substitution des formations claires de Chêne-liège (densité < 100 souches/ha), par des plantations industrielles «rentables»
1992-2011	Dynamique de régénération et reconstitution des formations à Chêne-liège.

La Mamora est sans aucun doute l'un des écosystèmes du Maroc les plus étudiés, avec une succession d'études et de projets d'aménagement (1954, 1972 et 1992), de nombreux travaux du Centre de Recherche Forestière publiés dans les Annales de la Recherche Forestière et de multiples mémoires de 3^{ème} cycle en coopération avec l'IAV, l'ENFI, les Universités marocaines et l'Institut Scientifique.

II.1 Régénération naturelle

Dans la forêt de la Mamora, les processus de régénération naturelle sont sérieusement entravés par une forte pression anthropozoogène associée à des facteurs écologiques limitants liés au sol et au climat. Les semis de chêne-liège sont très affectés par la sécheresse estivale, surtout quand leurs racines n'arrivent pas à atteindre le plancher argileux avant l'été. Les formations à chêne-liège les mieux conservées se trouvent à Bab Azhar ; leur renouvellement se fait sans encombre et de façon naturelle même s'il est parfois nécessaire d'enfouir les glands dans le sol pour faciliter leur germination (Dahmani, 2005).

Le sous-bois peut procurer un abri incontestable aux semis de chêne-liège contre la sécheresse estivale et contre le bétail. Son élimination est une réelle entrave à la régénération naturelle (Benabid & Dahmani, 1989). Dahmani (2005) a observé une faible réussite des semis de chêne-liège dans les parcelles privées de sous-bois par rapport aux parcelles où le couvert arbustif a été préservé, ce qui pose le problème de la régénération et de la survie des jeunes plants dans de très grandes parcelles entièrement nettoyées au préalable de toute végétation avant plantation.

Les avis des auteurs sur l'avenir de la forêt sont parfois divergents. Benabid (2000) pense que ce qui reste de la forêt de la Mamora est « fossilisé », avec une dynamique figée ou très faible puisque la régénération qui garantit la pérennité n'a pas lieu dans cette ambiance trop anthropisée. Néanmoins, Dahmani (2005) note la présence de jeunes tiges de chênes-lièges de 10 ans et plus, qui proviennent tous de rejets de souches et qui témoignent selon ce même auteur, des potentialités que peuvent offrir certaines zones de la Mamora. Dans les parcelles AVII, un nombre important de rejets arrivent à se développer malgré les nombreuses contraintes (aléas climatiques, surpâturage, action de l'homme....) auxquelles ils doivent faire face (Dahmani, 2005).

Au cours du vingtième siècle, le moyen qui a été le plus utilisé pour régénérer la subéraie a été le recépage. Boudy (1952) avance que c'est le moyen le plus sûr pour perpétuer les peuplements même s'il est toujours préférable d'avoir une régénération par semis. En effet, le semis quand il réussit, donne des chênes-lièges plus vigoureux.

Actuellement, il s'est avéré que la régénération assistée est le moyen le moins coûteux pour renouveler les peuplements forestiers. Assister la régénération du chêne-liège consiste à ameublir le sol par un scarificateur (charrue à dent) qui permet la préservation du sous bois, contrairement aux charrues à disques, qui éliminent la végétation.

II.2 Régénération assistée

Un vaste programme de régénération artificielle du chêne-liège a été mis en place dans la forêt de la Mamora. Mais il est important de connaître les conditions écologiques propres à la Mamora avant toute tentative de repeuplement artificiel en chênes-lièges. Les expériences réalisées par Marion (1955) ont permis de conclure que la réinstallation de *Quercus suber* dans les nappes de Doum ne présente pas de grandes difficultés au début. Son avenir est cependant sous la menace d'un parcour exagéré ou de la concurrence du maquis. Il met en cause les chênes-lièges âgés susceptibles de nuire aux repeuplements artificiels par la concurrence qu'ils exercent autour d'eux et par l'abondance des vers blancs dans le sol sous leurs frondaisons. Les meilleurs résultats de son expérimentation sont obtenus avec des glands frais, mis en terre le jour même du ramassage en Mamora. Cet auteur conseille des entretiens pour garantir la réussite des repeuplements artificiels.

Cependant des résultats récents de Belghazi *et al.* (2001) sur les travaux de reboisement en chêne-liège, réalisés pendant 35 ans ; ont fait sortir les facteurs responsables de la réussite et des échecs de la régénération. Ces auteurs avaient conclu que la régénération artificielle du chêne-liège est partout possible à l'intérieur de la forêt ; relativement bonne en Mamora occidentale, sur sable beiges/rouges, dans les vides et sous peuplements clairs, là où le recouvrement arbustif est faible ou nul. Et elle est médiocre : en Mamora orientale et centrale, sous des peuplements denses, là où la surface terrière est supérieure à 3 m² à l'ha et là où le recouvrement herbacé est supérieur à 50 %.

Depuis les premières tentatives de 1960, les résultats restaient médiocres, les techniques adoptées, l'impact social et le suivi des travaux en sont les principales causes. En particulier,

le contrôle de la qualité des glands, les mises en défens, les entretiens n'ont pas toujours été stricts.

Les techniques de reboisement de chêne-liège se font soit par gland ou par plant. Actuellement, l'opération consiste tout d'abord à ramasser les glands, les trier et les conserver dans des centres de semences forestières. La méthode de reboisement de chêne-liège par semis de glands utilisée jusqu'à présent au Maroc se fait comme suit : un tracé géométrique en quadrillage carré (3x3 m) ; ouverture et rebouchage de potets cubiques de 20 à 30 cm de profondeur ; semis d'un potet de 4 glands par potet à une profondeur d'environ 3 à 4 cm ; aménagement d'un impluvium autour du potet (Belghazi *et al.*, 2001). La mise en défens de la parcelle de régénération est nécessaire pour protéger les jeunes semis du bétail, au moins pendant les deux premières années. Mais l'expérience montre que cette clôture est vite détruite par les riverains qui considèrent que la forêt est leur seul moyen pour vivre.

Le gardiennage de la clôture devient une nécessité absolue. La régénération du chêne-liège nécessite donc la plupart du temps une mise en défens effectuée par les services forestiers locaux.

II.3 Réhabilitation de la forêt de la Mamora

Des travaux de restauration du couvert forestier de la Mamora ont été mis en œuvre dans les années 1950, en faisant principalement appel à des essences exotiques à croissance rapide (Eucalyptus, Pins et Acacias), notamment dans les secteurs où la densité du chêne-liège était inférieure à 100 arbres par hectare (DEFCS, 1973). Cette introduction d'espèces à croissance rapide et la dégradation ininterrompue de la subéraie, dans un milieu naturel pauvre, ont déclenché dans la Mamora une profonde modification de l'écosystème (Benjelloun *et al.*, 1997). Cette perturbation du milieu a conduit à un changement des conditions d'évolution des sols et de leur fertilité.

Dans une perspective de réhabilitation de cette forêt et afin de préserver à la fois l'espèce d'origine et son écosystème, un grand programme de régénération du chêne-liège a été établi, prévoyant la plantation d'environ 1500 ha par an à partir des années 1988-1989 (Rachdi & Haddan, 1998). Ce programme s'est très vite heurté à un problème de dépérissement et de mortalité des jeunes plants, les taux d'échec pouvant parfois atteindre 100% dans certaines parcelles, dus à la conjonction de la sécheresse prononcée de l'été et de l'attaque des racines

pendant les intersaisons douces et pluvieuses par des insectes rhizophages (vers blancs) (Ghaïoule *et al.*, 2007). Ces larves d'*Anoxia*, *Sphodroxia* et *Rhizotrogus* (Col. Melolonthidae) et d'*Oryctes* et *Phyllognathus* (Col. Dynastidae) s'attaquent aux racines et sont responsables de la mort de jeunes pieds sectionnés à leur pivot. Les larves de très nombreux Coléoptères Scarabaeoidea sont des ravageurs dans le monde entier. Il s'agit par exemple de celles d'*Heteronychus licas* en Afrique (Nigeria, Swaziland, Zambie, Tanzanie, île Maurice) ; d'*Heteronychus arator* en Nouvelle-Zélande, au Zimbabwe, à Madagascar, aux Comores et en Australie ; de *Melolontha* spp à l'île de La Réunion et à Madagascar ; de *Rhizotrogus majalis* au Canada ; de *Popilia japonica* au Japon, en Chine et en Amérique du Nord (Randriamanantsoa, 2010). Au Maroc, les attaques par les vers blancs détruisent entre 24 et 43% des jeunes plants de chênes-lièges (Ghaïoule *et al.*, 2007), mais le taux de ces destructions est variable selon les années et les localités.

D'autres résultats de recherches réalisées dans des parcelles de régénération soumises à un gradient de continentalité ont montré que le taux moyen de mortalité des jeunes plants lié aux vers blancs était respectivement de 14% dans le canton A, 20% dans le canton B et 13% dans le canton D (Rachdi & Haddan, 1998). Les différences dans l'estimation des dégâts entre ces différentes études pourraient être liées à la pluviométrie enregistrée lors des années de mesure et à la densité des larves présentes dans les parcelles (Ghaïoule *et al.*, 2007). Les mois d'avril et mai, lorsque les pluies sont abondantes, sont les plus dangereuses pour les plantations, avec 49 à 61% de la mortalité annuelle totale enregistrée (Ghaïoule *et al.*, 2007). Les plants de chênes-lièges restent sensibles aux attaques de ces insectes durant au moins les deux premières années de leur vie, tant que le diamètre de la tige du jeune pied est trop faible (moins de 1 cm de diamètre) (Lumaret *et al.*, 2005).

II.4 Conclusion de la première partie

L'analyse des problèmes phytosanitaires de la subéraie de la Mamora a permis de mettre en évidence un ensemble de facteurs qui menacent l'avenir de l'écosystème à chênes-lièges. La forêt de la Mamora a connu une régression en superficie et densité, avec une perte annuelle de 1600 ha par an. Actuellement le chêne-liège ne couvre plus qu'une superficie de 60.000 ha.

Cette analyse montre l'importance du dépérissement du chêne-liège, qui est considéré comme un phénomène général et préoccupant non seulement au Maroc mais aussi dans tous les pays

méditerranéens. Les subéraies marocaines, comme celles de la plupart de la région méditerranéenne, sont fragiles et grandement perturbées par une multitude d'utilisations par l'homme. Dans presque toutes les formations de chêne-liège visitées, l'absence de traitement sylvicole pouvant favoriser la vigueur des sujets a été remarqué.

Par ailleurs, les auteurs s'accordent sur le fait que la réhabilitation de la forêt de la Mamora est une priorité. En absence de régénération spontanée, la régénération artificielle du chêne-liège revêt une importance considérable pour maintenir ce patrimoine forestier qui est d'un grand intérêt socio-économique au Maroc. Une partie des échecs de la régénération assistée (sécheresse estivale ; attaque des racines par les vers blancs) ne pourra être maîtrisée qu'avec une meilleure connaissance de la biologie et l'écologie des principaux ravageurs qui attaquent les racines des jeunes arbres.

DEUXIÈME PARTIE
***IDENTIFICATION ET ÉTUDE BIO-ÉCOLOGIQUE DES
ESPÈCES DE VERS BLANCS DANS LA FORÊT DE LA
MAMORA***

INTRODUCTION

Pour connaître l'importance des dégâts des vers blancs dans les parcelles de régénération du chêne-liège en forêt de la Mamora, et déterminer la part de chacune des espèces impliquées dans la mortalité des jeunes plants, l'identification à l'espèce de ces ravageurs est indispensable. Chaque année, de nombreuses espèces d'insectes attaquent des peuplements partout dans le monde, et représentent une des préoccupations majeures des chercheurs forestiers ainsi que des agriculteurs. Les dommages peuvent être importants, avec une répartition à la fois dans le temps et dans l'espace. Les insectes ravageurs des forêts ont été classés selon l'organe attaqué. Ainsi, on distingue généralement des espèces xylophages, saproxylophages, phytophages, séminiphages et rhizophages.

1. Les xylophages : insectes vivant aux dépens de la partie lignifiée des arbres, causant leur dépérissement (exemples : *Platypus cylindrus*, *Cerambyx cerdo*) ;
2. Les saproxylophages : par opposition aux xylophages, ces insectes consomment le bois mort des arbres et participent à sa décomposition (exemple : Le Lucane ; *Lucanus cervus*) ;
3. Les phytophages : les larves et les adultes de ces insectes consomment le feuillage des végétaux, réduisant leur croissance et causant parfois leur mort (exemple : *Lymantria dispar* (le bombyx disparate)) ;
4. Les séminiphages : insectes se nourrissent des graines des arbres forestiers (exemple : *Cydia fagiglandana*) ;
5. Les rhizophages : ces insectes se nourrissent des racines des végétaux, pouvant entraîner leur mort (exemple : *Melolontha melolontha*). Il s'agit d'un groupe de ravageurs dont les larves sont communément appelées vers blancs et qui constituent l'objet de cette thèse.

Ces insectes rhizophages attaquant les racines du chêne-liège posent de sérieux problèmes de mortalité des jeunes plants dans les parcelles de régénération, et par conséquent aux rajeunissements de la subéraie de la Mamora. Afin de combattre ces ravageurs il est fondamental de connaître le ou les espèces impliquées dans ces dégâts et d'étudier leur bio-écologie.

Chapitre I. IDENTIFICATION DES ESPECES DE VERS BLANCS

I.1 Matériels et méthodes

I.1.1 Collecte des larves

Les vers blancs ont été collectés sur le terrain et ramenés au laboratoire pour conduire un élevage de masse et suivre leur développement jusqu'à l'obtention des adultes. La collecte des larves a été effectuée dans différentes parcelles de régénérations du chêne-liège appartenant aux cantons A et B de la Mamora. Ces deux cantons sont connus pour l'abondance des vers blancs et l'importance de leurs dégâts (figures 5). Les prospections ont été effectuées juste après les premières pluies d'automne et se sont poursuivies durant l'hiver et le printemps des années 2006 à 2010 (d'octobre-novembre à avril-mai). Les vers blancs ont été recherchés et collectés dans le sable à proximité de plants dépérissants ou morts et aussi aux alentours des chênes-lièges âgés.



Figure 5. A gauche, larves se nourrissant des racines à 15 cm de la surface du sol ; à droite Vers blanc au voisinage d'un plant de chêne-liège dépérit

I.1.2 Élevage au laboratoire

Toutes les larves collectées dans les différentes parcelles de régénération ont été élevées au laboratoire à la température ambiante (entre 20 et 23°C). Un numéro de référence a été attribué à chaque larve, permettant de connaître la traçabilité, sa taille et la date de sa récolte. Deux à trois larves par groupe de taille et de forme ont été séparées et conservées à l'alcool 70% après un traitement préalable à l'eau bouillante pendant une dizaine de secondes ; un autre mode de conservation a consisté à plonger les larves dans une solution de KAAD pendant 30 minutes à 4 heures selon la taille des individus. Il s'agit d'un mélange de kérosène, d'acide acétique, d'alcool éthylique 95% et de dioxane, dans les proportions respectivement de 8%, 70%, 14% et 8% (Carne, 1951). Le kérosène peut être remplacé par du toluène. Ces techniques permettent de conserver les larves en bon état et les empêchent de noircir (Randriamanantsoa, 2010). Elles sont ensuite conservées dans l'alcool 70%.

I.1.2.1 Élevage des larves

Pour permettre un suivi régulier des vers blancs, chaque larve a été placée individuellement dans des pots en plastique transparent (18 cm×12 cm) (figures 6 et 7) perforés avec trous de 5 mm de diamètre sur les côtés et à la base. Remplis de sable à 4/5 de leur hauteur, ils ont été arrosés régulièrement en surface pour assurer une humidité favorable au développement des larves. Le sable utilisé provient des différentes parcelles de la Mamora où les larves ont été ramassées. Les larves ont été nourries de morceaux de pomme de terre et de morceaux de carottes placés dans le sable au fond des pots d'élevage. La durée du développement a été notée pour tous les individus. Les larves en fin de développement ont été contrôlées très régulièrement afin de noter leur comportement prénymphal, la date d'obtention des nymphes et la date de sortie des adultes.

I.1.2.2 Suivi des nymphes et des adultes

Au-delà du développement larvaire, les individus ont été maintenus dans les mêmes pots et le même milieu d'élevage que celui de la larve du départ, jusqu'à l'émergence des adultes (figure 8). La date d'obtention des nymphes a été notée et un suivi régulier a été effectué jusqu'à l'émergence des adultes. Quelques nymphes ont été conservées dans de l'alcool éthylique à 70% en vue de constituer une collection des différents stades de développement.



Figure 6. Elevage des vers blancs au laboratoire



Figure 7. Logettes construites par des larves au fond des pots d'élevage

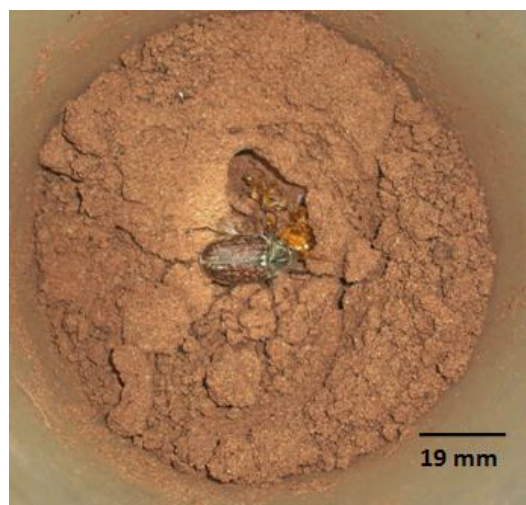


Figure 8. Emergence d'un adulte mâle

I.1.3 Critères d'identification

Les larves des différentes espèces diffèrent les unes des autres par des critères morphologiques très nets. De très nombreux travaux traitent de la morphologie et la systématique des larves de Scarabéides (Crowson, 1954 ; Hurpin, 1961 ; Ritcher, 1966; Robert, 1984 ; Endrodi, 1985 ; Dechambre & Lumaret, 1985, 1986 ; Rice, 1994 ; Randriamanantsoa *et al.*, 2010). Ces études ont montré que l'étude de la face ventrale du dernier segment abdominal (pygidium) apportait de très importants critères discriminants pour l'identification des vers blancs, tout au moins au niveau des familles et même des genres. Les larves peuvent être distinguées aussi d'après la forme de leur raster (arrangement d'épines et de soies) et la forme de la fente anale. Cependant, l'étude morphologique d'autres organes, tels que l'épipharynx, le labre, l'hypopharynx, les maxilles, les antennes et les mandibules sont indispensables si l'on veut discriminer des espèces proches (Paulian & Baraud, 1982 ; Booth *et al.*, 1990).

Dans notre travail, nous avons procédé à l'identification des vers blancs en utilisant un stéréomicroscope pour comparer les différents critères mentionnés ci-dessus. Comme le nombre d'espèces en présence était faible (mais représentées par de très nombreux individus pour certaines), il a été aisé de distinguer les espèces entre elles, en les conservant vivantes. La manipulation a consisté à nettoyer les larves à l'aide d'un petit pinceau en les conservant dans une boîte de Pétri pour l'examen externe.

I.2 Résultats

I.2.1 Les espèces de vers blancs dans la Mamora

Les larves ont un corps de couleur blanche avec une capsule céphalique qui varie du brun jaunâtre à rougeâtre selon les espèces. Certaines d'entre elles peuvent avoir une capsule céphalique orange.

L'examen du raster sur la face ventrale du dernier segment abdominal (figures 9 et 10) a permis de discriminer les deux espèces principales dont les larves détruisent les jeunes plants de chêne-liège en sectionnant leurs racines.

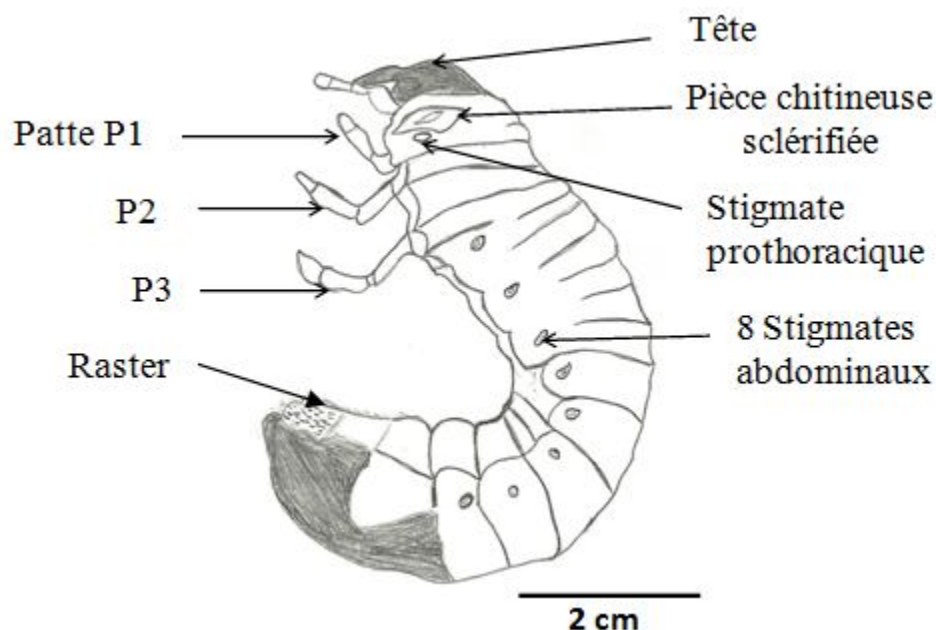


Figure 9. Schéma d'une larve avec l'emplacement du raster

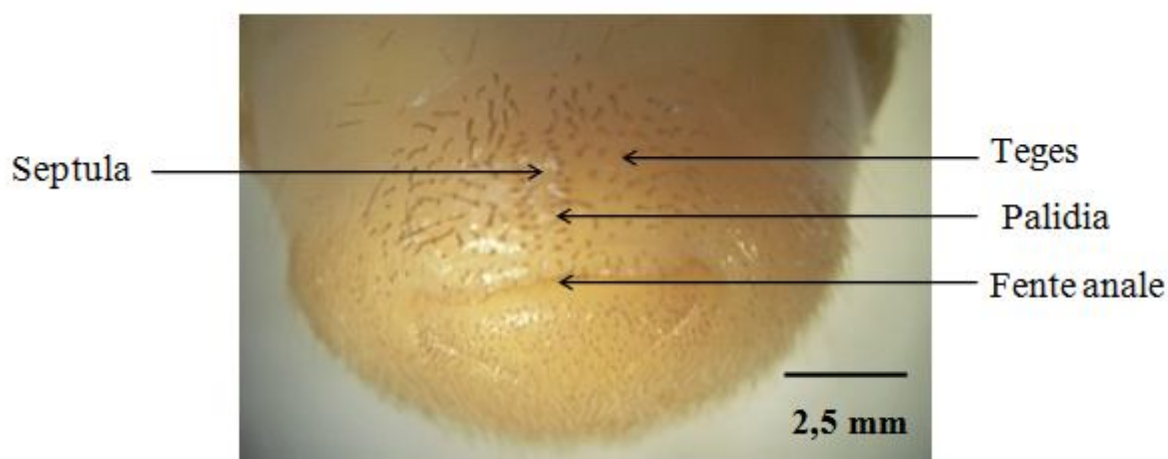


Figure 10. Raster d'une larve et fente anale transverse (x 50)

1.2.1.1 *Phyllognathus excavatus* (Coleoptera: Dynastidae)

a. Description des larves

Les larves de *Phyllognathus excavatus* sont caractérisées par un corps mou arqué en C, mesurant au troisième (et dernier stade) entre 2 et 4 cm selon l'âge des individus (figure 11). La tête est brunâtre. Les pattes sont longues avec une longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure identique : coxa, trochanter, fémur très allongé, tibiotarse, griffe forte, longue,

aigüe, incurvée et sclérifiée à l'apex. Fente anale transverse. Les soies du côté ventral de la fente anale sont longues, denses et fortes. Les teges sont constituées par de fortes soies aplaties avec l'apex incurvé. Une description détaillée de cette espèce a été faite par Paulian en 1941.

b. Description des nymphes

La nymphe est de couleur jaunâtre (figure 12), avec un pronotum convexe et anguleux latéralement. Il est deux fois plus large que long. Les bords latéraux de l'abdomen sont légèrement convexes. On distingue la présence de huit paires de stigmates abdominaux saillants de taille décroissante de la base vers l'apex.

c. Description des adultes

Les adultes mesurent de 18 à 20 mm de longueur (figure 13), avec un corps court convexe, luisant, de couleur brun-noir, glabre en dessus. Les individus des deux sexes sont ailés. Tête petite, à joues très développées, avec une petite corne courbée en arrière, plane en avant ; thorax avec une large excavation, arrondie en arrière, sur les 2/3 antérieurs du disque ; les côtés de l'excavation relevés en bourrelets peu marqués. Ponctuation formant de longues rides transverses ; clypéus en triangle un peu obtus ; ponctuation simple et éparse sur le disque, dense et formant des rides parallèles en avant et sur les côtés. Écusson large, à ponctuation double, limitée à la moitié basilaire. Elytres à ponctuation double, fine et éparse ; stries presque effacées à l'extrémité des élytres. Propygidium sans lignes stridulantes. Pygidium à très dense ponctuation double dans la région basilaire, plus éparse vers l'apex. Tibias antérieurs tridentés. Métatarse postérieur triangulaire, aplati, élargi à l'apex. Tête avec une petite corne courbée en arrière, plane en avant ; thorax avec une large excavation.

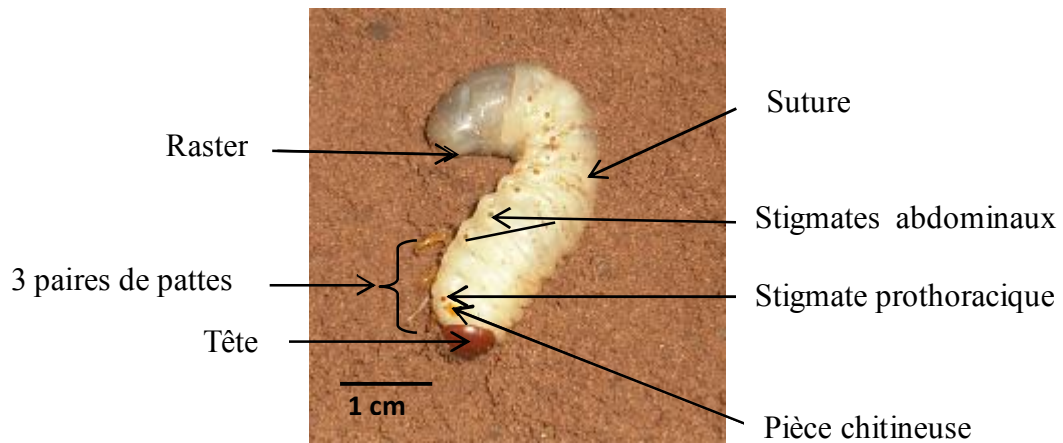


Figure 11. Larve de *Phyllognathus excavatus* Forster

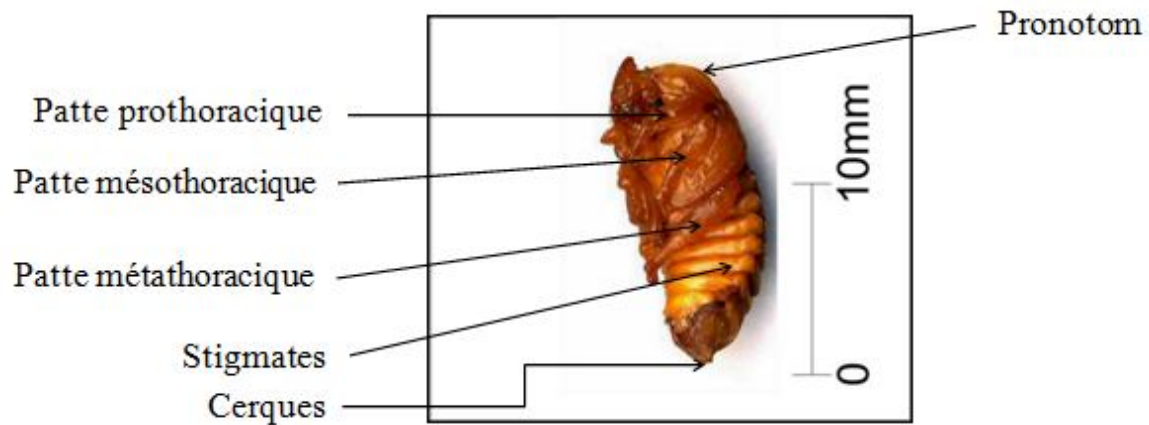


Figure 12. Nymphe de *Phyllognathus excavatus* Forster

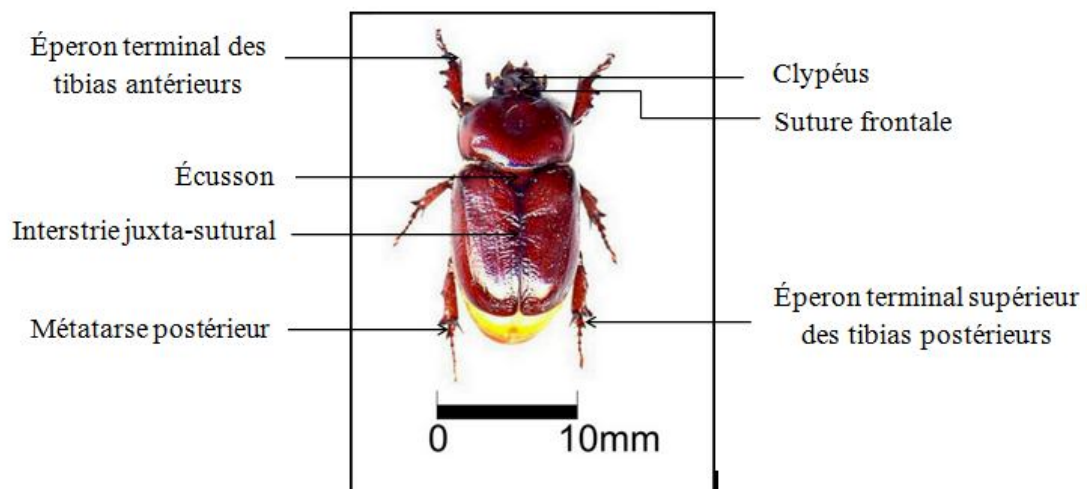


Figure 13. Adulte de *Phyllognathus excavatus* Forster

I.2.1.2 *Sphodroxia maroccana* (Coleoptera : Melolonthidae)

Les larves de *S. maroccana* (Coleoptera : Melolonthidae) ressemblent aux larves de l'espèce décrite précédemment. Cependant elles sont aisément distinguables à l'aide de stéréomicroscope en examinant la structure du raster sur le dernier segment abdominal. Chez *S. maroccana*, les palidias forment deux rangées subparallèles de 18 à 20 épines inclinées vers le septula ; ce dernier est glabre. La zone des teges est constituée de soies courtes inclinées vers l'arrière. La fente anale est transverse, faiblement arquée, proche de l'apex abdominal (figure 14), contrairement à *Phyllognathus* chez qui la fente anale est éloignée de l'apex abdominal, avec la zone des teges avec de fortes soies aplaties à l'apex et de longues et fines soies dispersées (barbula) (figure 15).

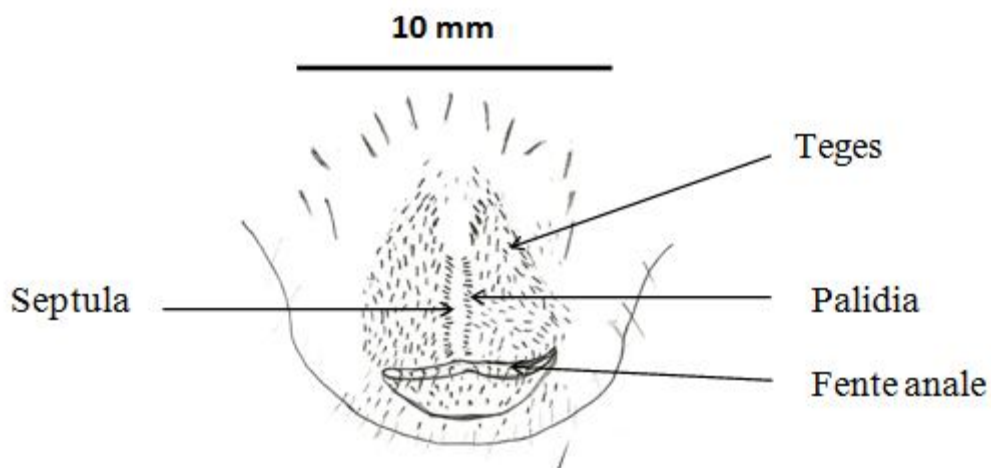


Figure 14. Schéma de la partie ventrale du dernier segment abdominal de *Sphodroxia maroccana* Ley, montrant le raster

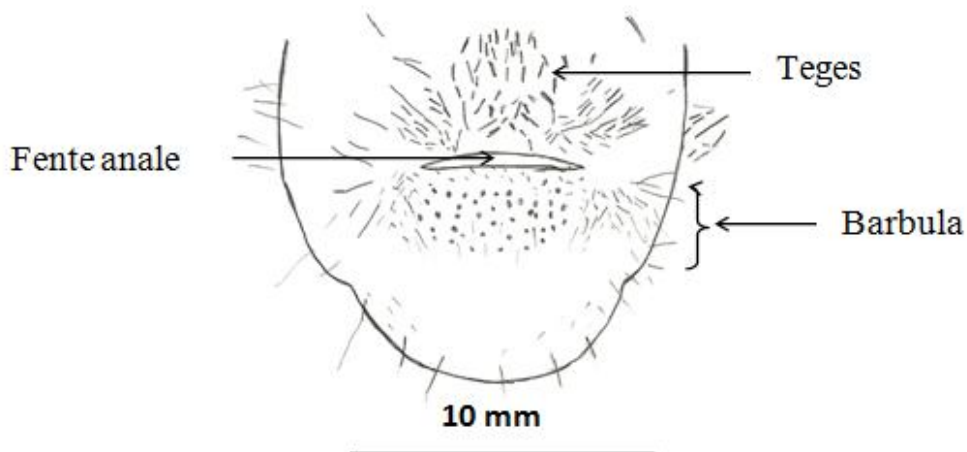


Figure 15. Schéma de la partie ventrale du dernier segment abdominal de *Phyllognathus excavatus* Forster, montrant le raster

a. Description des larves de *S. maroccana*

Les larves de *S. maroccana* sont de couleur blanchâtre, avec une taille très variable (1 à 6 cm) (figure 16) selon le sexe et l'âge des individus (figure 17). Leur poids moyen (tous stades confondus) est de $3,78 \text{ g} \pm 1,86$ avec un maximum de 10,02 g (larves adultes L3 d'individus femelles) et un minimum de 0,32 g (larves de stade L1). Leur corps est mou et en forme de "C". Comme chez les Melolonthidae, leurs pattes sont longues, de longueur croissante entre P1 (patte prothoracique) à P3 (patte métathoracique) (figure 18), avec une structure identique : coxa, trochanter, fémur très allongé, tibiotarse terminé par une griffe forte, longue, aigüe, incurvée et sclérifiée à l'apex. La tête est de couleur jaunâtre sombre (figure 19). Le dernier segment de l'abdomen est plus sombre en raison du contenu du tube digestif visible par transparence. Le raster est constitué de deux palidia constitué par deux rangées longitudinales de 18 à 20 épines, séparées par une septula glabre.

Les mandibules sont très fortes et sclérifiées, en particulier celles des larves L3, ce qui explique les dégâts occasionnés aux racines par les larves adultes.

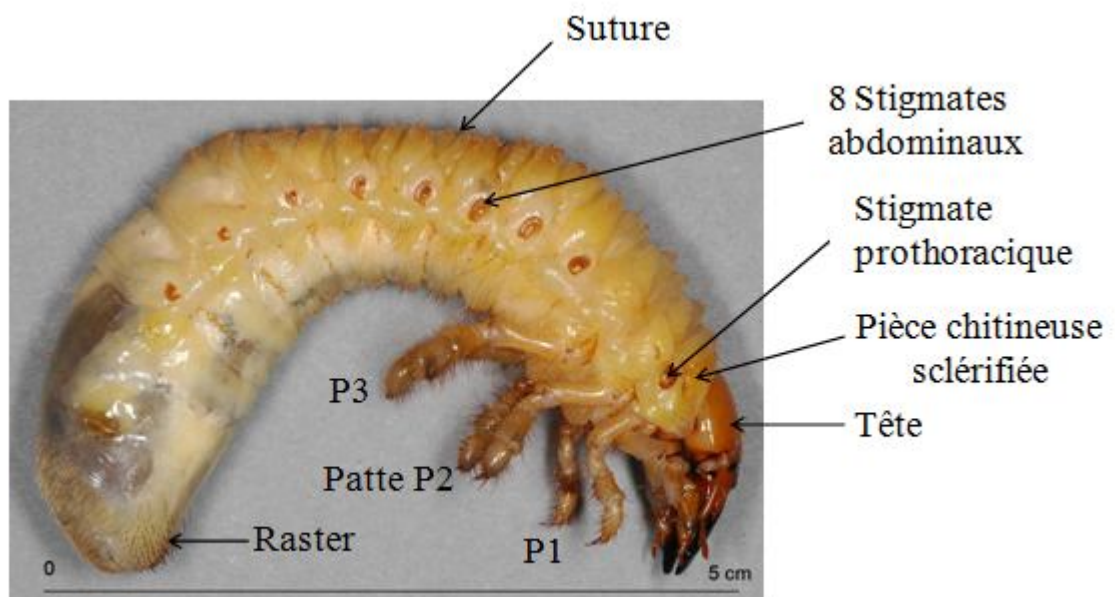


Figure 16. Larve adulte de *Sphodroxia maroccana* Ley



Figure 17. Larves de différents âges de *Sphodroxia maroccana* Ley

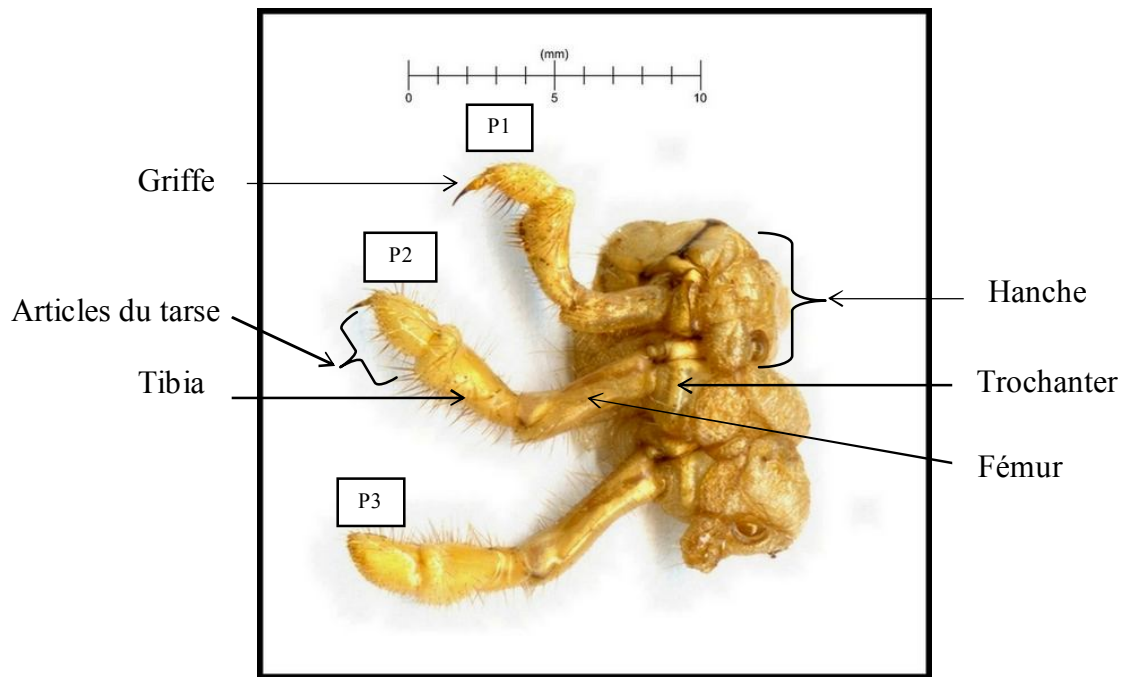


Figure 18. Pattes de longueur croissante (P1 à P3) de *S. maroccana*

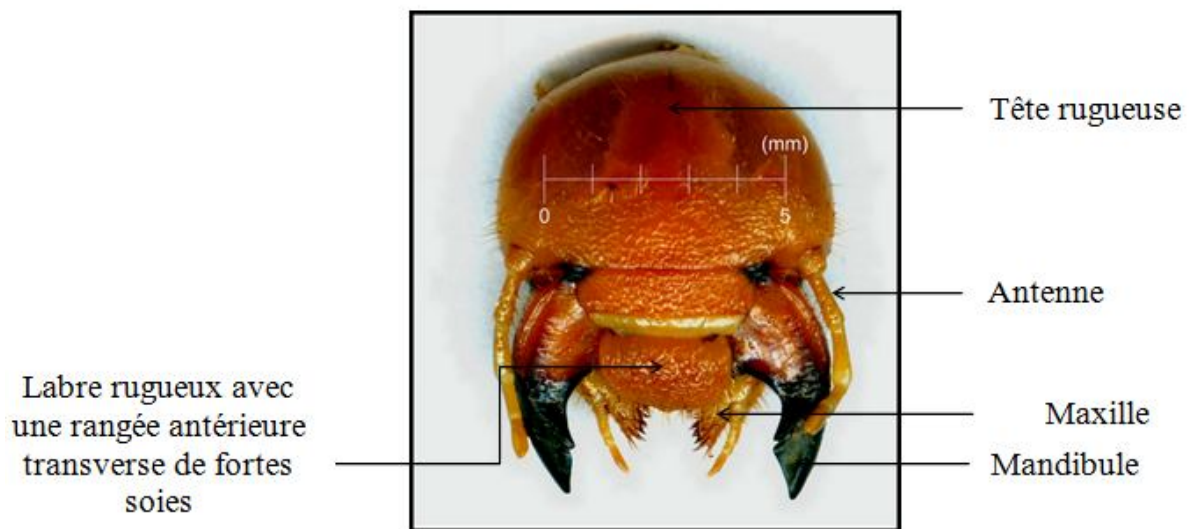


Figure 19. Face dorsale de la tête d'une larve de *S. maroccana*

b. Description des nymphes

Les nymphes sont de couleur jaunâtre, avec un pronotum convexe et anguleux latéralement. Il est deux fois plus large que long (figures 20 et 21). Les bords latéraux de l'abdomen sont légèrement convexes. On distingue la présence de huit paires de stigmates abdominaux

saillantes de taille décroissante de la base vers l'apex. La nymphe femelle est de taille plus grande que la nymphe mâle.

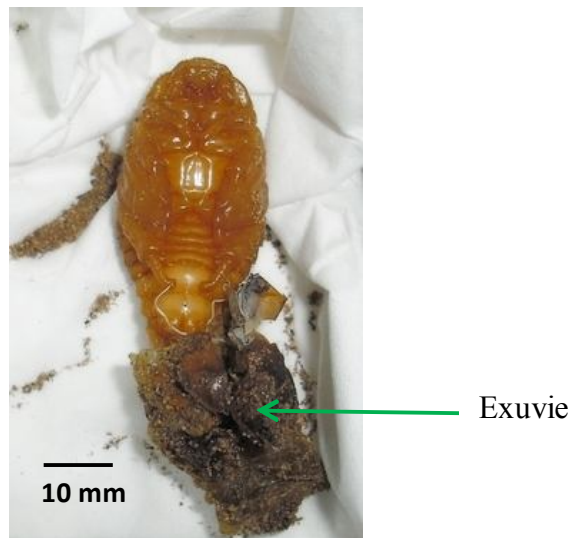


Figure 20. Nymphe (femelle) de *Sphodroxia maroccana* Ley

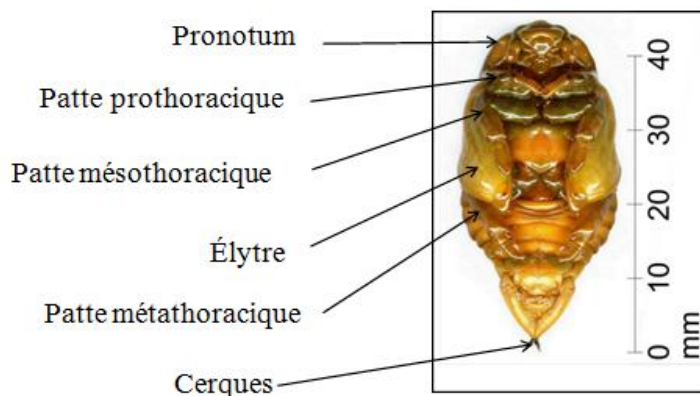


Figure 21. Nymphe femelle de *S. maroccana* Ley (x 20)

c. Description des adultes

Nous reprenons ici une partie des éléments descriptifs provenant de travaux de Baraud (1985) et de Montreuil *et al.* (2004). La femelle adulte de *Sphodroxia maroccana* a une longueur comprise entre 31,6 et 35,0 mm (figure 22), pour une largeur (mesure effectuée en arrière du milieu des élytres) de 17 à 19 mm. Tégument entièrement brun-rouge sombre (parfois presque noir), la capsule céphalique plus foncée.

Tête sans relief particulier ; le front est avec la présence d'une ponctuation irrégulière dense, avec en avant et sur les côtés des soies écailleuses blanches et sur toute la surface de longues soies jaunâtres inclinées. Le clypéus est transverse, avec les angles antérieurs arrondis. Une ponctuation fine et dense sur la moitié postérieure. Massue antennaire de 5 articles dont deux latéraux légèrement plus courts et écartés, et trois au niveau du centre ; tous sont très fortement accolés.

Pronotum avec de longues soies jaunâtres. Ponctuation du pronotum forte, plus fine et plus dense sur la ligne médiane et au niveau de dépressions faiblement marquées sur les côtés du disque. Scutellum caractérisé par une ponctuation irrégulière, avec des soies écailleuse blanches et quelques longues soies de couleur blanchâtre qui sont inclinées.

Élytres caractérisés par une surface ridée, irrégulière, portant de fines soies écailleuses blanches, peu denses mais régulièrement réparties. Interstries élytrale impaires 1, 3, 5, 7 et 9 relevés en côtes atténuées avant l'apex. Au dessous de l'abdomen, une longue pilosité jaunâtre. Ponctuation du pygidium (figure 23) fine et dense, caractérisée par une pilosité blanchâtre inclinée et quelques soies plus longues sur les côtés. Protibias tridentés sur le bord externe, la dent médiane plus rapprochée de l'apicale. Eperon apical interne inséré au niveau du bord postérieur de la dent médiane. Ongle des tarses antérieurs plus long que l'externe.

La femelle diffère du mâle par sa taille bien plus grande (♂ : 19-25 mm) (figure 24) et sa forme très massive. Par ailleurs, les soies écailleuses du dessus et des sternites sont plus petites et moins nombreuses, laissant le tégument bien visible, alors qu'il est largement recouvert sur les deux faces chez le mâle.

I.2.2 Détermination du principal ravageur des jeunes chênes-lièges

Au cours de la collecte des larves dans l'ensemble des parcelles expérimentales, on a pu constater que la fréquence de *Phyllognathus excavatus* était négligeable dans les parcelles de régénération de chêne-liège. Les larves de *Phyllognathus* ont été toujours localisées au niveau des surfaces qui ont été utilisées pour la fabrication des meules à charbon de bois et autour des arbres âgés de chênes-lièges où le sol sablonneux est beaucoup plus compact. Très rarement nous en avons retrouvé dans les jeunes reboisements de chêne-liège.

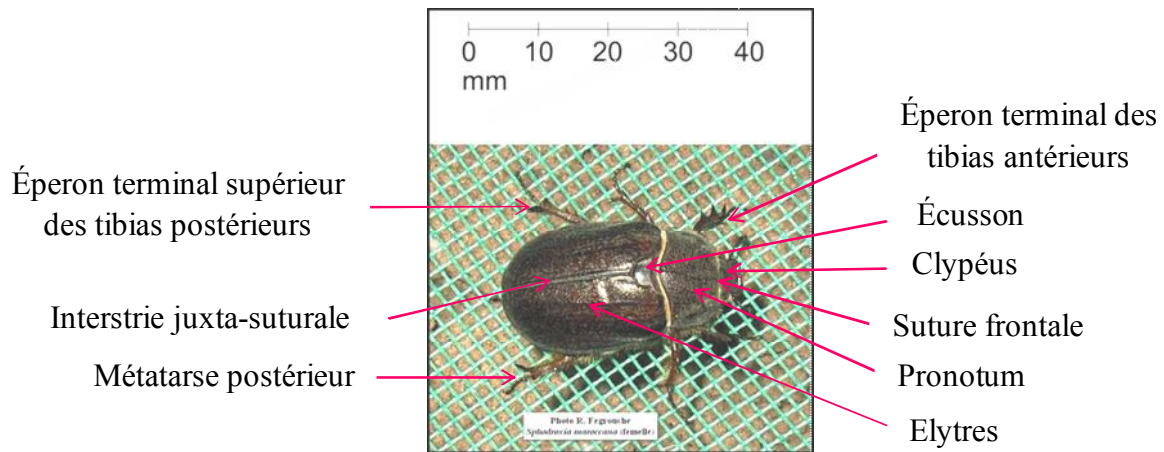


Figure 22. Adulte femelle de *Sphodroxia maroccana* Ley

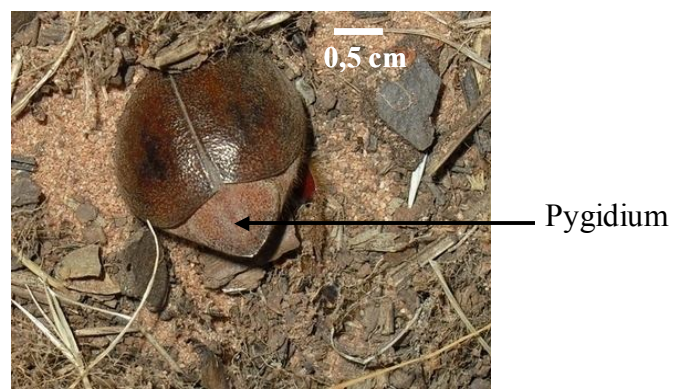


Figure 23. Pygidium de *S. maroccana* femelle en position d'appel sur le terrain



Figure 24. Adulte mâle de *Sphodroxia maroccana*

Sphodroxia maroccana montre un comportement contraire car presque toutes les larves ayant fait l'objet de cette étude ont été trouvées dans les parcelles de régénération du chêne-liège. Cette espèce, endémique de la Mamora, est celle qui cause l'essentiel des dégâts dans les parcelles de régénération.

Les larves de *S. maroccana* sont polyphages. Elles se développent très bien au laboratoire en absence de racines de chênes-lièges, avec comme seule source de nourriture des tubercules de pomme de terre et des carottes. Sur le terrain, on les trouve aussi bien dans les parcelles de régénération du chêne-liège que dans les clairières ou dans les reboisements de pins ou d'eucalyptus, comportant diverses graminées et dicotylédones en sous-bois.

C'est pour ces raisons que nous avons focalisé notre étude sur cette espèce qui, du fait de la taille de ces mandibules, cause les dégâts les plus importants.

I.3 Discussion et Conclusion

La superfamille des Scarabaeoidea compte plus de 30.000 espèces décrites dans le monde (Mittal, 2000 ; Ratcliffe & Jameson, 2004). Des représentants de certaines familles (Melolonthidae, Rutelidae, Dynastidae, Cetoniidae) sont plus particulièrement considérés comme des ravageurs importants des cultures et des jeunes plantations, des arbres fruitiers, des cultures légumières, des plantes ornementales et des zones enherbées (herbes des champs, pelouses, parcours de golf) (Guppy & Harcourt, 1970 ; Potter *et al.*, 1992). Au Maroc, beaucoup d'espèces de ce groupe sont phytophages ou saproxylophages.

Les vers blancs ont été définis par Girault (1914), Comstok (1925) et Wolcott (1933) comme étant les larves d'espèces appartenant à la sous-famille des Melolonthinae, mais ce terme a un usage plus large, incluant aussi les larves de Rutelinae, Dynastinae et d'autres familles de Scarabaeoidea (Ritcher, 1966).

Les Melolonthinae en particulier ont des représentants partout dans le monde et les espèces les plus nuisibles aux cultures et plantations appartiennent à cette sous-famille (Ritcher, 1966). Les Dynastidae localement peuvent aussi causer des dégâts significatifs, mais surtout occasionnées par leurs adultes sur les plantations ; des moyens chimiques mais surtout biologiques ont été développés ces dernières années pour tenter de les contrôler (Beaudoin-Ollivier *et al.*, 2000; Jackson & Klein 2006 ; Soltani *et al.*, 2008 ; Ramle *et al.*, 2009, 2011).

En Mamora, de nombreux vers blancs ont été signalés depuis longtemps sous les litières et autour des souches des vieux chênes-lièges morts (Marion, 1955). Il s'agit de larves de Dynastidae inféodées aux vieux arbres et à la matière humique du sol. Parmi celles-ci, les plus nombreuses sont à rapporter à *Phyllognathus excavatus* (Forster) (Coleoptera, Dynastidae) dont les adultes sont actifs après la nuit tombée et sont attirés par la lumière (Ghaïoule *et al.* 2007). Cette espèce est rencontrée dans les îles Canaries et tout le nord de l'Afrique. Sa présence est attestée du Maroc jusqu'à l'Égypte, y compris dans les régions désertiques (oasis), atteignant l'Iran et la Crimée vers l'est (Baraud, 1985). La présence de cette espèce dans la forêt de la Mamora est discrète, avec des larves très localisées. Comme nous l'avons expliqué précédemment, leurs larves se concentrent principalement dans les zones où avaient été édifiées quelques années auparavant des meules pour la fabrication du charbon de bois. Faciles à séparer de celles de *S. maroccana* et de taille moindre, nous les avons systématiquement laissées sur le terrain, avec un risque d'erreur faible du fait de leur taille moindre et des critères discriminatifs du raster, faciles à utiliser (seulement 2 à 5 % de confusion constatée lors de l'émergence des adultes dans nos élevages selon les années sur l'ensemble des larves récoltées et mises en élevage (417 larves). Compte tenu de leur taille, elles ont pu dans ce cas être confondues avec des larves de mâles de *S. maroccana*.

Dans la plupart des parcelles de régénération de la Mamora, les vers blancs recensés sont à rattacher à des espèces appartenant à la famille des Melolonthidae, dont les larves s'alimentent principalement des racines vivantes des graminées, des arbres et des arbustes. Rachdi & Haddan (1998) ont inventorié les espèces trouvées à proximité des plants de chêne-liège en pépinière et sur les parcelles de plantation de la Mamora. Parmi les espèces citées, on trouve *Phyllognathus excavatus* (Forster) et *Polyphylla maroccana* (Peyerimhoff) auxquels ces auteurs ont attribué l'essentiel des dégâts dans les parcelles de régénération. En fait nous n'avons jamais rencontré *P. maroccana* sur le terrain, mais seulement *Sphodroxia maroccana* qui apparaît comme le ravageur principal des jeunes plantations de chêne-liège.

Sphodroxia maroccana (Ley) 1923, (Coleoptera, Melolonthidae) est une espèce endémique de la Mamora, signalée uniquement dans cette région, jusqu'à Kénitra, Salé et les environs de Rabat (Ghaïoule *et al.*, 2007 ; 2010). C'est l'espèce qui cause l'essentiel des dégâts dans les parcelles de régénération. Elle est considérée localement comme un nouveau ravageur. Dans la littérature, le genre *Sphodroxia* Kraatz, 1890, comprend cinq espèces (*maroccana* (Ley), *quendenfeldti* (Brenske), *mauritanica* (Lucas), *algerica* (Ley) et *attripennis* (Pic)), toutes

d'Afrique du Nord et assez étroitement localisées (Baraud, 1985). *Sphodroxia quedenfeldti* a été citée de la forêt de la Mamora, mais sa présence est très discrète et nous n'en avons jamais obtenu à partir des larves mises en élevage. Les mâles de cette espèce sont en général un peu plus gros et plus foncés que ceux de *S. maroccana*, à l'inverse des femelles de *S. quedenfeldti* qui ont une taille nettement inférieure (Ghaioule *et al.*, 2007).

Les femelles des espèces du genre *Sphodroxia* sont rares en collection. Seuls quelques exemplaires de *Sphodroxia quedenfeldti* (Brenske), *mauritana* (Lucas) et *algirica* (Ley) sont connus ; la femelle de *S. atripennis* Pic semble encore inconnue à ce jour. Elles présentent des habitus similaires, avec toutefois un système de coloration différent chez *S. algirica*, nettement bicolore, avec ses élytres brun-rouge clairs et l'avant-corps brun-rouge foncé, alors que les autres espèces sont entièrement brun-rouge sombre (Montreuil *et al.*, 2004). Avant que l'équipe du service de Recherche Forestière de Rabat ne s'intéresse à cette espèce, la femelle de *S. maroccana* était inconnue, ce qui a nécessité de la décrire (Montreuil *et al.*, 2004). La femelle de cette espèce est d'une taille beaucoup plus grande que les autres, dépassant largement 30 mm, les autres espèces étant de taille plus modeste. Par ailleurs, selon Montreuil *et al.* (2004), elle semble être la seule à posséder des soies écailleuses sur les fémurs, les hanches postérieures et le métasternum, ce qui permet de la distinguer facilement de *S. quedenfeldti*.

Chapitre II. ETUDE BIO-ECOLOGIQUE DE *S. maroccana*

II.1 Introduction

Toutes les espèces de Coléoptères ont un développement de type holométabole, avec métamorphose complète. Chez les Melolonthidae, la durée du développement larvaire peut varier de moins d'un an à 3 ans (Martin, 1999), mais avec de nombreuses variantes. Par exemple, chez *Amphimallon solstitiale* (hanneton de la Saint-Jean) ou chez le hanneton commun (*Melolontha melolontha*), la durée de développement est respectivement de 2 et 4 ans. Les larves sont généralement polyphages. Elles peuvent aussi se nourrir de matières organiques décomposées (compost, fumiers), mais aussi de la matière végétale vivante (racines). L'alimentation est un facteur important, et le système buccal et digestif des larves et des adultes est en général bien adapté au mode d'alimentation (Randriamanantsoa, 2010).

Selon leur régime alimentaire, on peut les classer en plusieurs catégories. Par exemple certaines espèces consomment uniquement les tissus de plantes vivantes. C'est le cas des adultes de Melolonthidae et Rutelidae qui se nourrissent de feuilles, de fleurs ou de jeunes fruits (Richter, 1958). Leurs larves peuvent être rhizophages, consommant les racines de plantes comme les graminées et les fabacées (Gretia, 2009). Par contre, les Dynastidae s'attaquent spécifiquement aux tiges ou aux racines et sucent la sève. D'autres espèces ont un régime saprophage, vivant dans le bois mort comme les larves de Lucanidae, ou dans des accumulations de feuilles pourries ou de fumier (cas des larves Cétoines). Le développement de leurs larves est généralement assez long (deux ans chez les cétoines) (Gretia, 2009 ; Paulian, 1990).

L'étude de la biologie de *S. maroccana* a été réalisée sur des larves collectées sur le terrain et mises en élevage au laboratoire. Pour les adultes, nos observations ont porté sur des individus obtenus en élevage ainsi que d'autres observés sur le terrain. Deux aspects seront abordés précisément dans cette étude : le comportement des larves, et celui des adultes en élevage.

Avant de développer ces aspects, nous avons déterminé la durée du développement embryonnaire chez ce ravageur.

II.2 Développement embryonnaire de *S. maroccana*

A notre connaissance il n'existe pas des travaux spécifiquement consacrés au développement embryonnaire des Melolonthidae. Ceux-ci portent plutôt sur le cycle biologique des insectes, ou sur les facteurs modifiant la vitesse du développement (température, par exemple) (Oliveira & Garcia 1993 ; Oliveira *et al.* 1996 ; Silva & Loeck 1996 ; Santos & Ávila 2009 ; Johnson *et al.*, 2007). On se propose d'étudier le développement embryonnaire de l'espèce et de vérifier si des différences dans les conditions d'élevage pourraient modifier, de manière notable, la durée du développement embryonnaire de *Sphodroxia maroccana*.

II.2.1 Matériels et méthodes

La durée du développement embryonnaire a été calculée à partir d'œufs obtenus de femelles capturées sur le terrain (année 2009) et de femelles issues de larves élevées au laboratoire (2010).

Immédiatement après la ponte, les œufs ont été numérotés et placés dans des boîtes de Pétri (figures 25 et 26) sur une fine couche de sable humide, à raison de 5 œufs par boîte provenant de la même ponte du même jour. Les boîtes ont été maintenues à 23 et à 28°C. Un suivi journalier a été réalisé afin de mesurer la durée du développement embryonnaire. Après éclosion, les jeunes larves ont été placées dans des boîtes d'élevage plus grandes pour le suivi de leur développement.



Figure 25. Incubation des œufs de *S. maroccana* (température 27°-28°C)

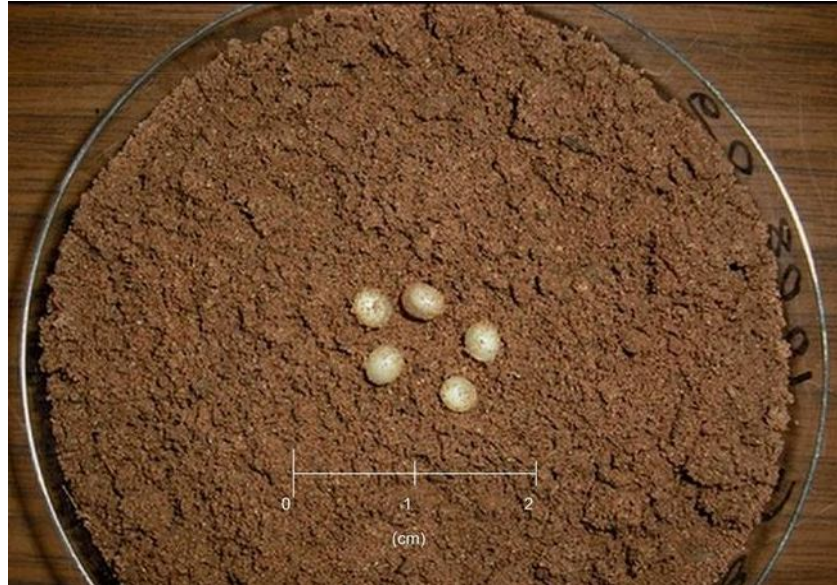


Figure 26. Œufs de *S. maroccana* dans une boîte de Pétri

II.2.2 Résultats

Durée du Développement embryonnaire

Le tableau 4, montre que la taille des œufs de *S. maroccana* varie entre 5 à 6 mm (longueur moyenne = 5,6 mm) ; et entre 3 à 4 mm de largeur (largeur moyenne = 3,6 mm).

Les tableaux 5 et 6 donnent la durée d'incubation des œufs issus de plusieurs femelles prélevées sur le terrain (année 2009) ou élevées au laboratoire (2010). Dans les deux cas la durée d'incubation des œufs de *S. maroccana* est de l'ordre de 3 semaines et elle dépend de la température. À 28°C, la durée du développement embryonnaire est de $22 \pm 0,45$ jours (tableau 5), tandis qu'à $23,1^\circ\text{C} \pm 0,75^\circ\text{C}$ elle est de $23 \pm 1,6$ jours (tableau 6).

Tableau 4. Taille des œufs de *Sphodroxia maroccana* Ley

Groupe d'œufs	Longueur moyenne (mm)	Largeur moyenne (mm)
Groupe 1 (n=6)	5	3
Groupe 2 (n=12)	6	4
Groupe 3 (n=15)	5,8	3,8
Groupe 4 (n=8)	5,8	3,8
Groupe 5 (n=14)	5,8	3,8
Groupe 6 (n=7)	6	4
Groupe 7 (n=3)	6	4
Groupe 8 (n=9)	5	3
Groupe 9 (n=3)	5	3
Moyenne± Ecart type	5,6±0,46	3,6±0,46

n : nombre d'œufs

Tableau 5. Durée moyenne du développement embryonnaire des oeufs chez *Sphodroxia maroccana* à température constante (28°C) (année 2009) ; données pour 7 séries correspondant chacune à la ponte d'une femelle ; 5 oeufs par réplicat

Series	Durée moyenne de développement (jours)
Série 1 (3 réplicats)	23
Série 2 (7 réplicats)	22
Série 3 (4 réplicats)	22,5
Série 4 (3 réplicats)	22,3
Série 5 (7 réplicats)	22
Série 6 (7 réplicats)	22
Série 7 (2 réplicats)	23
Moyenne± Ecart type	22,2±0,45

Tableau 6. Durée moyenne du développement embryonnaire des oeufs chez *Sphodroxia maroccana* (femelles issues de larves élevées au laboratoire (année 2010))

n°femelles	Nb d'œufs	Date de ponte	Date d'éclosion	Durée (jours) du développement embryonnaire	T°C moyennes
1	14	09/07/2010	02/08/2010	24	23,13
	7	10/07/2010	02/08/2010	23	23,09
	8	11/07/2010	03/08/2010	23	23,07
2	5	14/07/2010	07/08/2010	24	23,12
	16	14/07/2010	05/08/2010	22	23,03
3	38	14/07/2010	05/08/2010	22	23,03
	30	08/07/2010	05/08/2010	28	22,84
	12	15/07/2010	08/08/2010	24	23,15
	3	15/07/2010	07/08/2010	23	23,17
6	16	12/07/2010	05/08/2010	24	23,07
	10	14/07/2010	05/08/2010	22	23,03
	6	14/07/2010	11/08/2010	28	22,77
7	16	12/07/2010	05/08/2010	24	23,07
	5	14/07/2010	08/08/2010	25	23,1
9	7	14/07/2010	06/08/2010	23	23,17
	7	15/07/2010	08/08/2010	24	23,15
	13	16/07/2010	08/08/2010	23	23,15
	12	19/07/2010	10/08/2010	22	22,93
10	1	14/07/2010	07/08/2010	24	23,12
	5	15/07/2010	10/08/2010	26	22,94
	14	16/07/2010	08/08/2010	23	23,15
	2	19/07/2010	11/08/2010	23	22,7
	1	20/07/2010	14/08/2010	25	23,06
	7	22/07/2010	13/08/2010	22	22,94
	21	22/07/2010	12/08/2010	21	22,78
11	7	14/07/2010	07/08/2010	24	23,12
	14	15/07/2010	08/08/2010	24	23,15
	26	16/07/2010	08/08/2010	23	23,15
	6	19/07/2010	10/08/2010	22	22,93
	1	19/07/2010	11/08/2010	23	22,7
12	6	19/07/2010	11/08/2010	23	22,7
	21	20/07/2010	11/08/2010	22	22,7
	15	20/07/2010	12/08/2010	23	22,75
	6	21/07/2010	13/08/2010	23	22,94
	21	22/07/2010	13/08/2010	22	22,94
	5	23/07/2010	16/08/2010	24	23,34
	5	23/07/2010	14/08/2010	22	23,03
	2	23/07/2010	15/08/2010	23	23,15
13	1	14/07/2010	07/08/2010	24	23,12
	5	15/07/2010	08/08/2010	24	23,15
	15	18/07/2010	13/08/2010	27	22,99
14	15	20/07/2010	11/08/2010	22	22,7
	15	20/07/2010	12/08/2010	23	22,75
	2	21/07/2010	12/08/2010	22	22,79
	4	21/07/2010	13/08/2010	23	28,2
	6	22/07/2010	13/08/2010	22	22,94
	7	28/07/2010	18/08/2010	21	23,83
15	11	17/07/2010	06/08/2010	20	23,23
	11	18/07/2010	08/08/2010	21	23,2
	8	19/07/2010	10/08/2010	22	22,93
Moyenne ± Ecart type				23,22 ±1,60	23,12 ±0,75

L'humidité du substrat est un facteur-clé, un substrat trop sec ou au contraire trop humide compromettant l'éclosion des œufs. Lorsque l'humidité du substrat est favorable (elle correspond à celle de la zone d'interface entre le sol sec et le sol humide, lorsque l'on se place dans les conditions naturelles), le développement des œufs de *S. maroccana* passe par plusieurs phases de forme et de couleur. D'abord les œufs de forme elliptique et de couleurs blanche au moment de la ponte, on constate que pendant l'incubation les œufs grossissent régulièrement jusqu'à prendre une forme ronde et une teinte jaune en fin de développement, jusqu'à l'éclosion (figure 27).

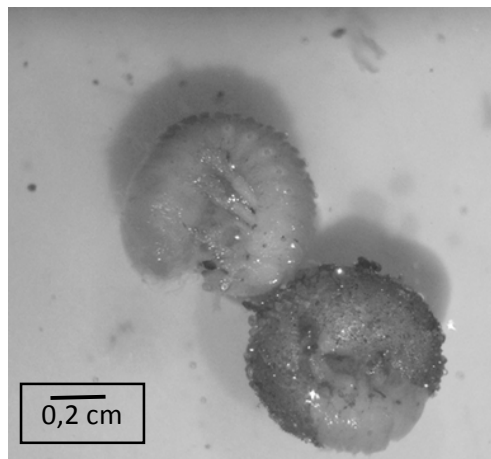


Figure 27. Éclosion des œufs après 21ème jour d'incubation et sortie des larves L1

II.2.3 Discussion

La température a un effet sur la durée de développement embryonnaire. Cette durée diminue avec l'accroissement de la température. Le taux d'éclosion des œufs est également influencé par la température, il est de 80% à 28°C et diminue quand la température baisse.

La durée de développement embryonnaire chez *S.maroccana* à $23,12 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$ est de $23 \pm 1,6$ jours, tandis qu'à 28°C, elle de $22 \pm 0,45$ jours, un peu plus longue que celle de *Popillia japonica* Leach (Scarabaeoidea : Rutelidae) chez qui la durée de développement embryonnaire est de 14 jours à 21°C (USDA, 2007).

Les œufs sont sensibles aux conditions hydriques du substrat, une hygrométrie trop faible paraissant défavorable au développement embryonnaire.

II.3 Etude de quelques paramètres biologique de *Sphodroxia maroccana*

II.3.1 Matériels et méthodes

a. Comportement des larves

Le suivi du développement a été noté pour tous les individus mis en élevage au laboratoire. Les larves de dernier stade ont été contrôlées régulièrement afin de noter leur comportement jusqu'à l'émergence des adultes. Sur le terrain le comportement des larves, leur mode de vie et leur comportement dans le sol ont été notés.

b. Détermination du nombre de stade larvaires

Le nombre de stades larvaires d'un insecte est généralement constant. Chez les Scarabaeoidea, le développement larvaire se fait en trois stades successifs et il est marqué par trois mues, en comprenant la mue nymphale. Il apparaît parfois des exceptions, à caractère accidentel ou normal (Paulian, 1988). Ainsi dans la petite famille des Pleocomidae (très proche des Geotrupidae), on a un cycle normal de 12 mues. D'après Paulian (1988), on peut y voir un caractère primitif, à moins qu'il ne s'agisse d'une adaptation au régime alimentaire de la famille (consommation de mycorhizes de conifères). De même, mais de façon accidentelle, une mue supplémentaire s'ajoute parfois aux trois mues normales (cas de *Ptinus fur* (L.) (Famille des Anobiidae) en réponse à des conditions d'élevage anormales) (Paulian, 1988).

Dans le cas de cette étude, il s'agit de vérifier si à partir de caractères biométriques il est possible de discriminer les larves mâles et femelles de *S. maroccana*, dans la mesure où l'on a une différence de taille très significative entre les imagos des deux sexes de cette espèce. En utilisant la taille de la capsule céphalique, il est souvent aisé de distinguer un stade larvaire, en particulier chez les Mélolonthides (Teetes *et al.* 1976 ; Oliveira *et al.* 1996 ; Silva & Grützmacher 1996).

417 larves de différentes tailles ont été pesées et mesurées. Compte tenu de leur corps mou qui peut être distendu facilement (imprécisions de la mesure), nous avons mesuré la longueur et la largeur de la capsule céphalique, extrêmement sclérifiée (figure 28).

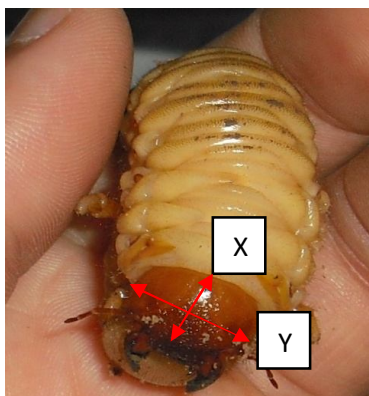


Figure 28. Mesure de la capsule céphalique des larves

Les tableaux de l'annexe 1 (page 178) rassemblent les différentes mesures de capsules céphaliques et le poids des larves de *S. maroccana*. L'analyse des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel Sunflower Plots, version 2003. Ce logiciel permet, en cas de superposition des données, d'afficher la haute densité des données bidimensionnelles en traçant autant de rayons qu'il y a de superpositions, d'où son nom de « tournesol » (Dupont & Plummer, 2003 ; 2005). Dans une représentation graphique classique, plusieurs mesures peuvent être situées sur un même emplacement. La fonction Sunflowerplot permet de visualiser ces superpositions. De multiples points sont alors tracés, à la manière de pétales multiples d'une même fleur (Schilling & Watking, 1994).

c. Biologie de reproduction et dispersion estivale des adultes

- Elevage en couple

Des couples d'adultes prélevés sur le terrain durant l'année 2009 et d'autres couples issus de l'élevage des larves au laboratoire en 2010, ont été constitués afin de préciser le comportement de reproduction (accouplement, ponte) (figure 29). Les couples ont été installés à température ambiante (27 à 28°C) dans des boîtes en plastiques de dimensions 6x10x15 cm remplies de 5 cm de sable (dont 2,5 cm de sable humide en profondeur) (figure 30). Pour chaque couple de *S. maroccana*, le comportement des deux partenaires a été noté, avec l'heure et la date de l'accouplement.

En cas de mort du mâle, celui-ci a été remplacé par un autre mâle afin de vérifier si les femelles restaient attractives plusieurs jours de suite et si des partenaires nouveaux pouvaient être acceptés.

Au cours de la ponte, un décompte des œufs pondus a été effectué quotidiennement. Le comportement de ponte a été noté aussi chaque jour, jusqu'à la mort de la femelle. Toutes les femelles ont été disséquées après leur mort pour noter le nombre d'œufs non pondus.



Figure 29. Élevage des couples de *S. maroccana* au laboratoire



Figure 30. Boîte d'élevage

- Dispersion estivale des adultes

Afin de comprendre le comportement des adultes, de nombreuses prospections sur le terrain ont été effectuées pendant l'été dans différentes parcelles de la Mamora. Nos observations ont porté sur :

Le comportement des adultes sur le terrain : nous avons noté les périodes d'activité de vol des mâles de *S. maroccana* dans les différentes placettes, et observé le détail de leur comportement de recherche des femelles.

Le moment d'activité maximale des adultes sur le terrain : c'est la période où l'on observe le pic d'activité des adultes, qui se traduit par le maximum d'accouplements ; pour chaque accouplement nous avons noté le temps ainsi que différents paramètres, comme la position de la femelle ou le nombre de mâles attirés.

II.3.2 Résultats

a. Comportement des larves

Le suivi régulier du comportement des larves en élevage montre que celles-ci préfèrent séjourner au niveau de la zone humide, effectuant des déplacements horizontaux et verticaux pour atteindre la source de nourriture mise à leur disposition (tubercule de pomme de terre). A partir du mois de mai les larves âgées cessent de se nourrir et se préparent pour la nymphose. En élevage, les premières émergences des adultes débutent à partir du début juin et la sortie des imagos se poursuit tout le long de l'été, jusqu'au mois de septembre.

Sur le terrain les larves de *S. maroccana* regagnent les horizons proches de la surface à l'arrivée des premières pluies en automne. Elles se maintiennent souvent au dessous de l'interface sable sec-sable humide. Cela explique pourquoi on observe surtout les dégâts pendant les périodes humides de l'année ou pendant l'été après un arrosage excessif des plants sur le terrain qui peut faire remonter les larves vers la surface. Leurs déplacements dans le sol s'effectuent dans le sens horizontal et vertical en fonction de l'humidité, à la recherche de la nourriture. Les larves de *S. maroccana* sont polyphages, ce qui explique leur présence non seulement dans les parcelles de régénération du chêne-liège mais aussi dans les plantations de pins et d'eucalyptus, et également dans les formations végétales herbacées où

les larves se nourrissent de racines faciles à sectionner ou au niveau du chevelu racinaire des chênes-lièges adultes (figure 31). Dans les sols peu profonds, on trouve souvent les larves de *Sphodroxia* au niveau du contact avec l'horizon argileux, de couleur rouge.



Figure 31. Larve de *S. maroccana* à proximité des racines secondaires d'un arbre adulte (parcelle AII5)

A partir du mois d'avril, les horizons superficiels du sol deviennent de plus en plus secs. Les larves suivent ce gradient de dessiccation pour rester à l'interface sable sec - sable humide, de plus en plus profond au fur et à mesure que la saison s'avance.

b. Détermination du nombre de stade larvaires

La figure 32 présente la distribution de la largeur et de la longueur de la capsule céphalique. Le sunflowerplot montre que beaucoup de mesures sont identiques. A la place d'un point qui correspondrait pour une mesure si elle était seule à ses coordonnées « longueur de la capsule céphalique » sur « largeur de la capsule », on a une rosace, chaque « pétale » correspondant à une mesure rattachée aux mêmes coordonnées en XY. Au total on distingue 8 rosaces, qui correspondent à 8 ensembles de mesures. Les mesures sur les jeunes larves (stade L1) ont été effectuées d'une part avec des larves très jeunes, âgées de seulement 21 à 22 jours, et des larves L1 plus âgées (6 mois), avant le passage au stade L2. Des larves beaucoup plus âgées (2^{ème} et troisième stades) ont été mesurées. On constate que celles de taille moyenne se distribuent en 3 corolles, tandis que les plus grosses forment également 3 corolles. Cette dispersion des mesures peut être interprétée de la manière suivante :

- Les deux premières rosaces correspondent au stade L1, à deux âges différents (3 semaines et 6 mois) ;
- Les trois rosaces suivantes permettent de faire la distinction entre les larves L2 qui donneront les unes des adultes mâles (deux rosaces) et les larves (plus grosses) qui donneront des adultes femelles ;
- Les trois dernières rosaces discriminent les larves L3, avec les mâles (une rosace) et les femelles d'âges différents (2 rosaces, correspondant aux dimensions les plus fortes).

Lorsqu'on prélève des larves sur le terrain ou qu'on les élève en laboratoire, on a ainsi un mélange de larves de tailles diverses, qu'il est parfois difficile de rattacher à l'un ou l'autre sexe. Si les plus grosses larves correspondent toutes à des femelles, la distinction entre les sexes est plus délicate pour les larves de taille moyenne, une larve femelle jeune pouvant avoir les mêmes dimensions corporelles qu'une larve mâle âgée.

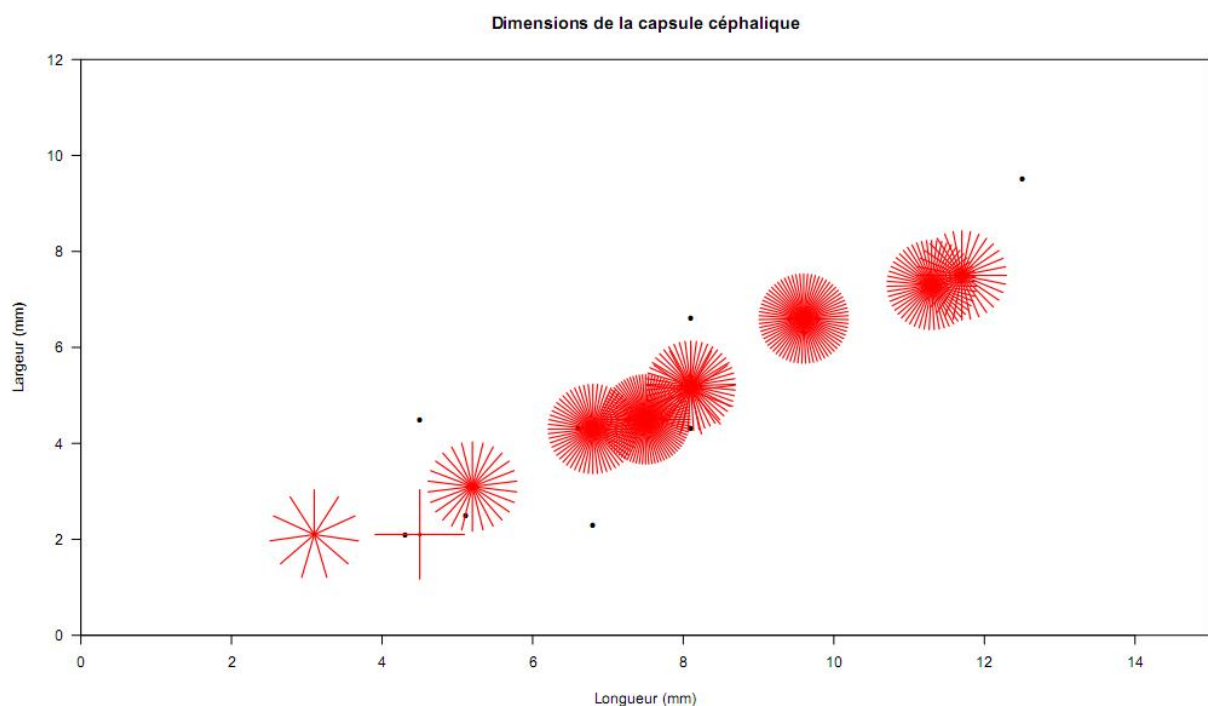


Figure 32. Distribution des valeurs de longueur et largeur de la capsule céphalique des larves de *S. maroccana*. Les rosaces montrent qu'il y a en mélange des larves des deux sexes à des âges différents (utilisation du logiciel Sunflower Plots)

c. Biologie de reproduction et dispersion estivale des adultes

Le suivi de nos élevages au laboratoire montre que le cycle biologique de *Sphodroxia maroccana* dure en moyenne trois ans pour les mâles et 5 ans pour les femelles. La durée du développement des nymphes est de $20 \pm 6,11$ jours chez les femelles et de $19 \pm 3,53$ jours chez les mâles avec vie imaginale de 15 jours en moyenne pour les femelles et de 14 jours pour les mâles. Presque la totalité du cycle de *Sphodroxia* se déroule dans le sol sous forme larvaire. La durée du développement larvaire chez les femelles est plus longue que pour les mâles.

Sur le terrain, Les premières émergences des adultes de *S. maroccana* ont lieu début juin et se poursuivent tout le long de l'été, jusqu'à début septembre. Généralement les premiers vols des mâles commencent vers 16 heures locales aussi bien dans les parcelles de régénération du chêne-liège que dans celles plantées en pin ou en eucalyptus. Dans certains cas, nous avons observé les premiers vols des mâles à partir de 15 heures avec un pic d'activité vers 18h30-19h. Après le crépuscule (20 heures), l'activité diminue très nettement, avec encore quelques mâles qui volent à quelques décimètres du sol. La femelle ne vole pas et reste toujours au niveau du sol, attirant les mâles depuis l'entrée d'une courte galerie verticale d'environ 1,5 cm de diamètre avec, soit la tête et le thorax visibles de la galerie, soit le corps sortis en entier.

Le mâle effectue un vol en zigzagant, avec des changements de direction afin d'explorer les lieux, à la recherche d'une femelle pour l'accouplement. Celle-ci émet une phéromone d'appel sexuel. Dans la plupart des cas, les mâles se posent sur la strate herbacée, souvent sur les Doum. Leurs massues antennaire écartées à la manière d'un éventail, correspondant à un comportement de recherche de femelles (figure 33). Après détection de la phéromone émise par la femelle, les mâles se posent brusquement sur le sol à quelques centimètres de la femelle. Le mâle finit par rejoindre la femelle au bout de quelques secondes. Dans certains cas, une seule femelle peut attirer plusieurs mâles en même temps. Nous avons observé jusqu'à trois à cinq mâles à proximité d'une seule femelle.

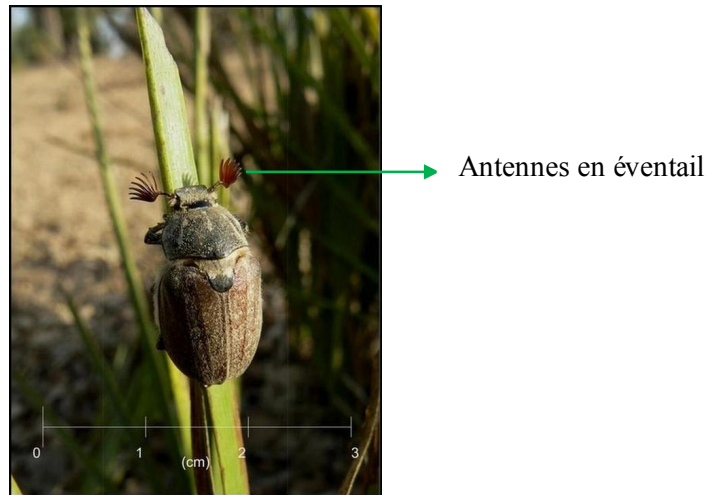


Figure 33. Mâle de *S. maroccana* sur une feuille de doum (Source : J.P. Lumaret)

Les accouplements débutent à partir de 17h30, avec des accouplements successifs, une femelle pouvant être entourée par une grappe de 4 à 6 mâles attirés par celle-ci.

Dans les conditions du laboratoire, l'accouplement peut avoir lieu tout au long de la journée, en fonction de l'activité des femelles (tableau 7). Au laboratoire, les femelles en présence d'un mâle restent attractives même après le début de la ponte (figure 34).

Tableau 7. Période d'accouplement de *Sphodroxia maroccana* dans les conditions du laboratoire

N° Couples	date de capture des mâles	date de capture des femelles	Date d'accouplement	Heure d'accouplement
1	04/08/2009	04/08/2009	06/08/2009	matin
2 et 3	05/08/2009	05/08/2009	06/08/2009	matin
4 à 11	06/08/2009	06/08/2009	06/08/2009	matin et soir
12 et 13	07/08/2009	07/08/2009	08/08/2009	matin et soir
14	07/08/2009	07/08/2009	07/08/2009	soir
15 à 18	09/08/2009	09/08/2009	10/08/2009	matin

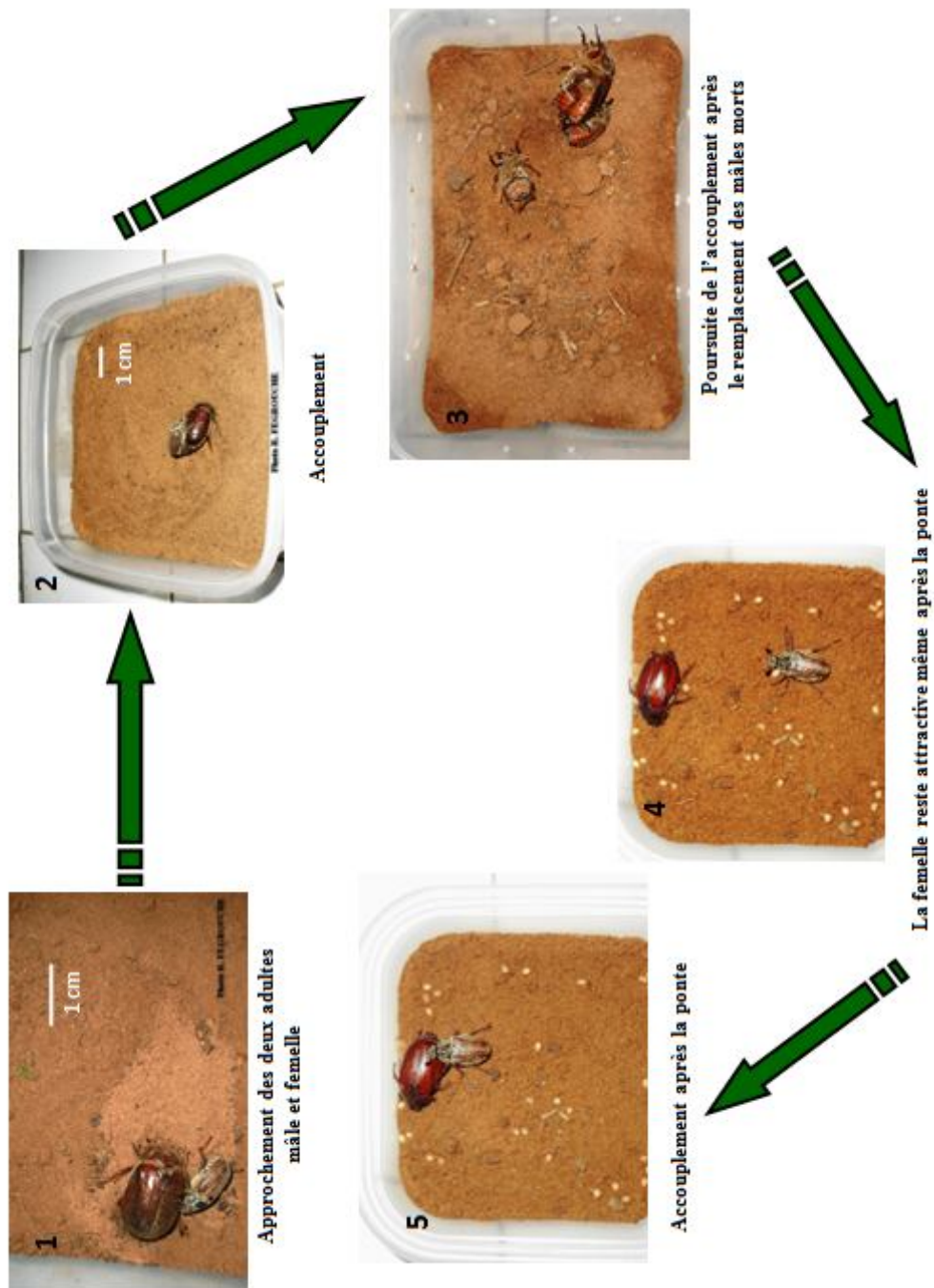


Figure 34. Reproduction de *Sphodroxia au laboratoire* : émission d'une phéromone d'appel ; accouplement (avec parfois mort du mâle ; remplacé dans les conditions de laboratoire ; ponte et poursuite des accouplements pendant la ponte.

Les femelles issues directement du terrain pondent entre 60 et 122 œufs, avec en moyenne $82 \pm 16,2$ œufs par femelle (tableau 8). Celles issues des larves élevées au laboratoire ont une fécondité moindre, entre 10 et 72 œufs par femelle pour une moyenne de $54 \pm 16,5$ œufs (tableau 9). Ceux-ci, occupent la totalité de la cavité abdominale et compriment le tube digestif ainsi que les muscles thoraciques (figure 35), empêchant le vol. Cette différence de niveau de ponte pourrait être expliquée par la fécondité plus élevée chez les femelles du terrain dont les conditions d'alimentation ont pu être meilleures lorsqu'elles étaient à l'état larvaire. La ponte s'échelonne sur plusieurs jours et se produit généralement au cours des trois jours qui suivent les premiers accouplements. Au laboratoire, les œufs sont déposés à la surface du substrat si la profondeur du sable est insuffisante et si celui-ci est humide, ou bien en profondeur, à l'interface entre le sable sec de surface et le sable humide en profondeur.

Tableau 8. Fécondité de *Sphodroxia maroccana* Ley (Adultes prélevés sur le terrain en 2009)

N° couple	Nombre d'œufs pondu par jour et par couple											Nombre d'œufs observés après dissection	Total des œufs
	1er jour	2ème jour	3ème jour	4ème jour	5ème jour	6ème jour	7ème jour	8ème jour	9ème jour	10ème jour	11ème jour		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	82
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	90
3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	64
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	75
5	0	0	0	0	6	6	2	0	0	0	0	108	122
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	72
7	0	51	5	0	0	0	0	0	0	0	0	23	79
8	10	20	18	0	0	0	0	0	0	0	0	24	72
9	0	0	1	3	3	4	2	1	2	1	1	81	99
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	82
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	89	90
13	0	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	85	95
14	34	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	70
15	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	67	75
16	0	0	0	1	5	19	15	0	0	0	0	69	109
17	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	67	79
18	0	0	0	26	17	0	0	0	0	0	0	23	66
Total :												1188	1481
Moyenne												66	82,28
Ecart type												25,01	16,16

Tableau 9. Fécondité de *Sphodroxia maroccana* Ley (adultes issus d'élevage en 2010)

N° Couples	Nb d'œufs pondus	Nb d'œufs non pondus trouvés après dissection	Total des œufs
1	43	10	53
2	28	27	55
3	63	9	72
4	0	10	10
5	0	62	62
6	27	3	30
7	25	40	65
8	0	50	50
9	33	26	59
10	36	33	69
11	68	0	68
12	68	0	68
13	7	36	43
14	49	7	56
15	51	0	51
Total	498	313	811
Moyenne	33,2	20,87	54,07
Ecart type	24,06	19,90	16,50

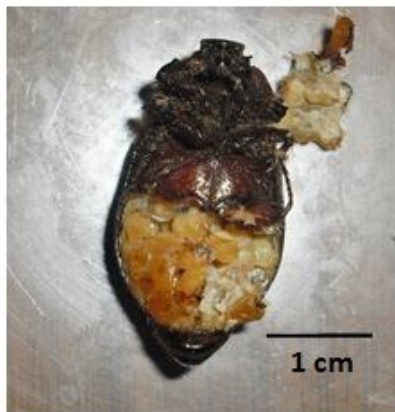


Figure 35. A gauche femelle disséquée avec présence d'œufs dans la cavité abdominale ; à droite ponte en surface et mortalité de la femelle ;

Dans les conditions du laboratoire (27-28°C), la longévité des adultes mâles est de 12 jours $\pm$ 2,9 avec des valeurs comprises entre 7 et 18 jours (tableau 10). Cette longévité des mâles est un peu plus courte que celle des femelles (15 jours $\pm$ 3,62), avec des valeurs comprises entre 10 et 21 jours (tableau 11).

Tableau 10. Longévité des mâles de *S. maroccana* Ley en laboratoire (les numéros des mâles correspondent au même numéro que celui des couples)

N° mâles	Date d'émergence des mâles	Date de la mort	Longévité (jours)
1	04/07/2010	15/07/2010	11
2	05/07/210	20/07/2010	15
3	05/07/2010	16/07/2010	11
4	06/07/2010	21/07/2010	15
5	05/07/2010	16/07/2010	11
7	07/07/2010	19/07/2010	12
8	08/07/2010	22/07/2010	14
10	07/07/2010	23/07/2010	16
11	07/07/2010	25/07/2010	18
12	09/07/2010	23/07/2010	14
13	04/07/2010	15/07/2010	11
14	10/07/2010	21/07/2010	11
15	14/07/2010	21/07/2010	7
Total			166
Moyenne			12,77
Ecart type			2,9

Tableau 11. Longévité des femelles de *S. maroccana* Ley en laboratoire (les numéros des femelles correspondent au même numéro que celui des couples)

N° femelles	Date d'émergence des femelles	Date de la mort	Longévité (jours)
1	26/06/2010	14/07/2010	18
2	04/07/2010	15/07/2010	11
3	06/07/210	21/07/2010	15
4	28/06/2010	16/07/2010	18
5	28/06/2010	12/07/2010	14
6	09/07/2010	18/07/2010	10
7	28/06/2010	15/07/2010	19
8	03/07/2010	14/07/2010	12
9	09/07/2010	20/07/2010	12
10	06/07/2010	22/07/2010	17
11	06/07/2010	23/07/2010	18
12	06/07/2010	25/07/2010	20
13	05/07/2010	18/07/2010	14
14	08/07/2010	28/07/2010	21
15	09/07/2010	20/07/2010	11
Total			230
Moyenne			15,33
Ecart type			3,62

La mortalité embryonnaire est assez élevée en élevage (21,3 % en moyenne) si l'on prend en compte seulement les œufs pondus et non tous ceux que la femelle était susceptible de pondre et que nous avons retrouvés dans la cavité abdominale de la femelle après sa mort. Après l'éclosion, une partie des larves néonates meurent également, mais dans une proportion moindre (tableau 12).

Tableau 12. Taux de mortalité embryonnaire et post-embryonnaire chez *S. maroccana*

N° Couples	Nb d'œufs pondus	Nb d'œufs non éclos	Nb d'œufs éclos	Nb de larves mortes après éclosion	% mortalité embryonnaire
1	43	25	18	9	58,1
2	28	19	9	0	67,8
3	63	0	63	11	0
4	0	0	0	0	-
5	0	0	0	0	-
6	27	9	18	0	33,3
7	25	4	21	1	16,0
8	0	0	0	0	-
9	33	3	30	6	9,1
10	36	13	23	2	36,1
11	68	14	54	0	14,7
12	68	2	66	5	2,9
13	7	2	5	0	28,6
14	49	0	49	2	0
15	51	15	36	2	19,6
Total	498	106	392	38	21,3
Moyenne par femelle	33,2	7,07	26,14	2,54	
Ecart type	24,06	8,20	22,86	3,58	

La figure 36, résume le cycle de vie de *Sphodroxia maroccana*

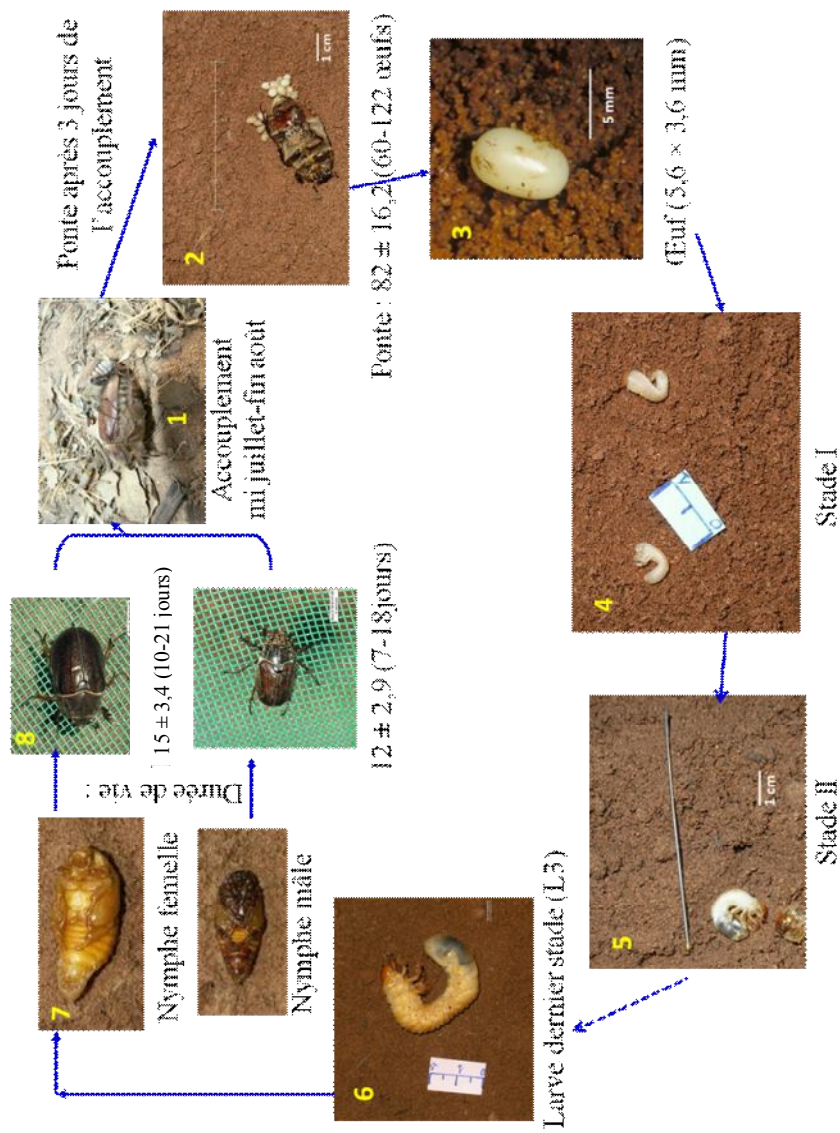


Figure 36. Cycle de vie de *Sphodroxia maroccana* Ley

II.3.3 Discussion

L'alimentation joue un rôle important dans le comportement et la biologie des Scarabaeidae. Selon Richter (1958), les vers blancs préfèrent des plantes hôtes bien déterminées mais sont capable de se nourrir de n'importe quelle autre plante en leur absence (les graminées essentiellement). Dans la nature, le régime alimentaire de *S. maroccana* paraît assez diversifié dans la mesure où les larves, qui vivent principalement aux dépens des racines de végétaux, ont été observées dans la Mamora dans toutes les formations végétales, y compris les reboisements de pins et d'eucalyptus (Montreuil *et al.*, 2004) mais aussi les surfaces gazonnées. La présence de chêne-liège n'apparaît pas indispensable. La polyphagie des larves a permis de les élever au laboratoire avec un régime alimentaire moins diversifié, consistant seulement en morceaux de pomme de terre et de carottes même si cela a pu influencer sur la fécondité des femelles.

L'étude des paramètres X et Y correspondant à la longueur et la largeur de la capsule céphalique des larves de *S. maroccana* a permis de mettre en évidence un mélange de larves de stades larvaires différents et des deux sexes. Les larves de taille moyenne sont les plus difficiles à classer. Parmi les larves de stade 2, il est difficile de discriminer entre celles qui donneront des mâles et les jeunes femelles, dont le développement est long. La distinction entre mâles et femelles pour le stade L3 est plus facile, les larves L3 les plus petites correspondant à des mâles, les larves les plus grosses étant des femelles. La difficulté pour discriminer les sexes parmi les larves L2 n'est pas nouvelle. Déjà en 1935 Gaines & Campbell, se référant aux travaux de Satterthwatt (1933) sur *Agrostis ypsilon* (Rottemberg) (Lepidoptera : Noctuidae), rapportaient la difficulté, voire l'impossibilité d'interpréter les distributions de fréquence de la capsule céphalique dans le cas d'une population d'individus ayant n et n + 1 stades larvaires.

L'émergence des adultes de *Sphodroxia* commence à partir du mois de juin. Les mâles volent, en se posant souvent au sol à la recherche des femelles. Celles-ci sont de plus grande taille que les mâles mais incapables de voler bien que pourvues d'ailes normalement développées (Montreuil *et al.*, 2004), du fait sans doute de leur charge en œufs qui remplit complètement la cavité générale de l'insecte. Dans les conditions naturelles, elles restent toujours au niveau du sol et émettant une phéromone "d'appel sexuel" en contractant leur abdomen à un rythme très

caractéristique (Ghaïoule *et al.*, 2007), attirant les mâles depuis l'entrée d'une galerie verticale d'environ 1,5 cm de diamètre creusée dans le sable. Plusieurs mâles peuvent être attirés en même temps, formant des grappes au sol. Le comportement observé chez *Sphodroxia maroccana* est analogue à celui décrit chez les femelles de lépidoptères nocturnes et certains coléoptères, comme les Dynastidae (Rochat *et al.*, 2002). L'appel sexuel se fait dans une posture particulière et dure au total pendant une à 2 heures, essentiellement en fin de journée. Cette posture est associée à l'émission d'une phéromone d'appel (sous forme de bouffées très brèves) (Rochat *et al.*, 2002).

La fécondité élevée des femelles de *Sphodroxia maroccana* (82 œufs en moyenne/femelle) et la taille atteinte par les larves adultes (6 à 8 cm) (en particulier celles des femelles) explique l'importance des dégâts sur les jeunes chênes-lièges.

II.4 Période de dégâts

II.4.1 Matériels et méthodes

Cette partie du travail concerne l'analyse des causes de mortalité des jeunes plants de chênes-lièges, en faisant la part des dégâts dus aux vers blancs et ceux liés à d'autres facteurs (sécheresse, facteurs humains ...).

Trois parcelles de régénération du chêne-liège (AII5, BV10 et BV11) dans la forêt de la Mamora ont été échantillonnées pour identifier les dégâts sur les jeunes plants au cours de l'année 2008. Nos observations et analyses ont porté principalement sur :

- La détermination des périodes où les dégâts sont maximums dans les différentes parcelles ;
- L'analyse des pratiques de plantation, avec possibilité ou non de les relier à la mortalité des jeunes plants ;

II.4.2 Résultats

Symptômes : les dommages causés par les larves de *S. maroccana* sont directement visibles au niveau des parcelles infestées. Les jeunes plants dépéris sont identifiables par le jaunissement de leurs feuilles. Les plants dépéris suite à la section de leurs racines par les vers blancs s'arrachent très facilement à la main et on observe des morsures au niveau du collet et

de la racine principale, souvent coupée, tandis que le chevelu des racines secondaires est réduit. En creusant le sable jusqu'au niveau des racines, on trouve effectivement à la base une larve de *S. maroccana*. Dans les parcelles fraîchement labourées, la présence d'oiseaux (pique-bœufs) est par ailleurs un autre indicateur de la présence massive souterraine des vers blancs.

Période de dégâts : les premières attaques de *S. maroccana* débutent au milieu ou en fin d'automne dès la tombée des premières pluies, pour se poursuivre jusqu'aux mois d'avril ou mai selon les années. Pendant toute cette période, le sol humide est favorable au déplacement des larves à la recherche des racines des végétaux. Les densités des larves près de la surface augmentent progressivement, devenant particulièrement importantes au printemps entre mars et fin avril. C'est la période où le maximum de dégâts a été enregistré.

Les pratiques de plantation par les forestiers jouent un rôle important dans les variations des dégâts. La mortalité des plants est faible dans les parcelles non systématiquement nettoyées par un labour profond. Dans ce cas, les vers blancs s'attaquent surtout aux racines des autres espèces végétales présentes dans la parcelle, le chêne-liège n'étant qu'une espèce parmi d'autres. La pratique de labourage de très grandes parcelles (parfois plusieurs hectares totalement mis à nu) (figure 37a) modifie les conditions microclimatiques, en particulier la température et l'humidité. Les conditions deviennent alors souvent arides, avec une température au sol pouvant dépasser 50°C et le déclenchement de tourbillons de sable qui déterrent les plants, ou au contraire les enfouissent à parfois une vingtaine de centimètres de profondeur (Ibekwe *et al.*, 2002 ; Peigné *et al.*, 2009 ; Nicou, 1977). Ce défrichement total élimine alors la majeure partie des végétaux d'origine dans la parcelle et déstructure les sols. Les vers blancs s'attaquent alors à la seule ressource disponible, les jeunes plants de chêne-liège (figure 37b). Les conditions d'aridité sont telles qu'un arrosage estival régulier et important s'impose, avec des mouvements verticaux des larves dans le sol en cas d'excès d'eau.

Les nouvelles pratiques consistant à labourer les parcelles par bandes alternées (une rangée labourée et replantée en chêne-liège, en alternance avec une rangée laissée avec sa végétation naturelle) ont permis de réduire la mortalité des jeunes chênes-lièges (conditions microclimatiques moins contraignantes ; larves restant en place au niveau des bandes engazonnées) (figure 37c).

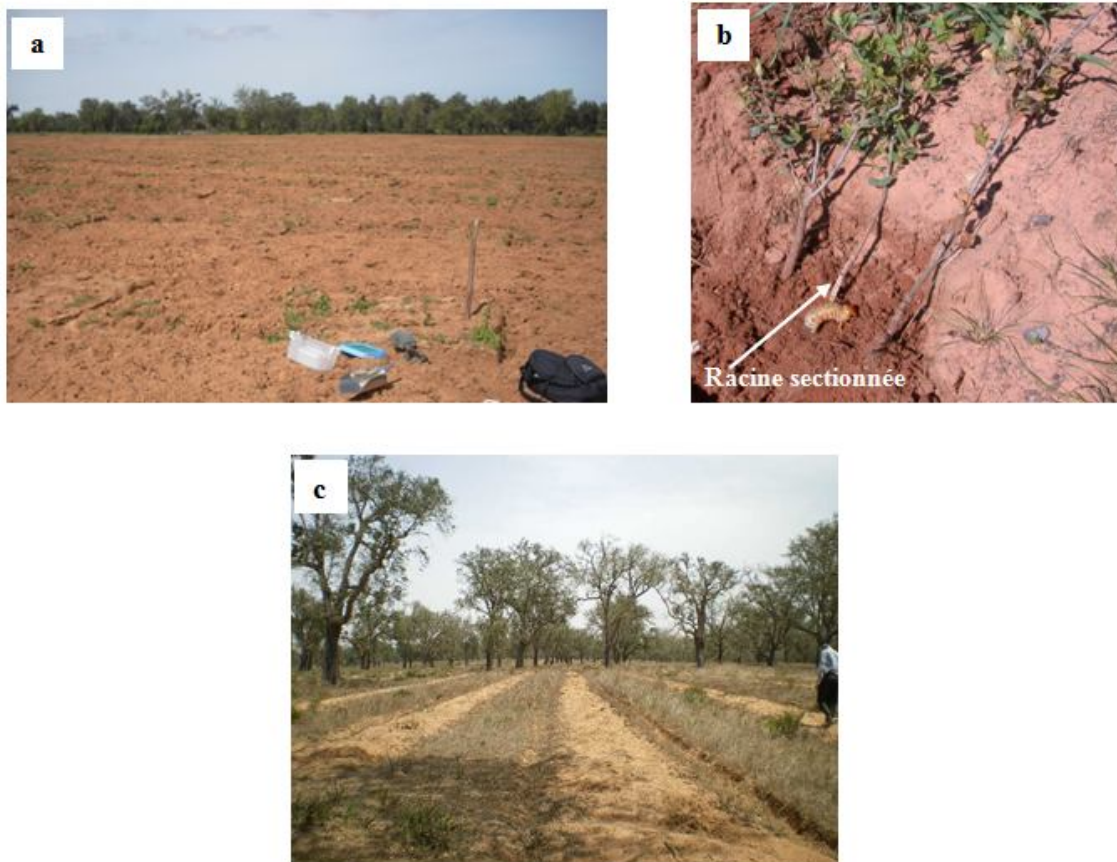


Figure 37. Parcelle de régénération du chêne-liège (AII5, sol systématiquement nettoyé) (a) ; racine sectionnée d'un jeune plant de chêne-liège (b) ; parcelle de régénération du chêne liège (AI7) dans la forêt de la Mamora (Plantation par bandes) (c)

II.4.3 Discussion

La mortalité des jeunes plants de chênes-lièges est due à la fois aux attaques des vers blancs, mais aussi au manque d'eau durant les périodes sèches de l'année. Les attaques sur le terrain se reconnaissent par le jaunissement des feuilles, la mortalité des plants pouvant toucher des surfaces importantes en l'absence de traitement spécifique.

Ghaioule *et al.* (2007, 2010) ont suivi individuellement de jeunes chênes-lièges depuis le moment de leur plantation. Les plants avaient été répartis en quatre blocs de 500 potets chacun, suivis mensuellement. La mortalité totale annuelle mesurée, due à la fois aux attaques

des vers blancs et à la sécheresse estivale combinée, était comprise entre 41 et 68% selon les blocs. La mortalité directement imputable aux attaques des larves de *S. maroccana* était comprise entre 24 et 43%, avec une répartition sur l'année différente selon les mois. Entre 49 et 61% de la mortalité annuelle liée aux vers blancs se concentre durant les mois d'avril ou mai selon les parcelles, période où le sol est humide et la température modérée (Ghaioule *et al.*, 2007).

Une étude antérieure réalisée en 1997 sur des parcelles de régénération dans les cantons A, B et D soumis à un gradient croissant de continentalité avait montré que le taux de mortalité des jeunes plants liée aux vers blancs était respectivement de 14, 20 et 13% en moyenne (Rachdi & Haddan, 1998). Les observations effectuées dans le canton B par Ghaioule *et al.* (2007) sont plus précises car les jeunes plants ont été suivis individuellement, en faisant la part des vers blancs par rapport à la mortalité globale. Cette différence par rapport aux travaux de Rachdi et Haddan peut être due à une pluviométrie différente lors de l'année d'observation et à une densité différente des larves présentes dans les parcelles. Les attaques larvaires répétées entraînent des dégâts importants (mortalité) durant au moins les 2 premières années de la vie des jeunes chênes-lièges (Rachdi & Haddan, 1998 ; Lumaret *et al.*, 2005).

Dans de nombreuses régions dans le monde, des dégâts liés aux vers blancs sur les systèmes racinaires ont été rapportés. En France, les pullulations spectaculaires de *Melolontha* sont anciennes ; à partir de 1935 elles avaient entraîné de gros dommages dans les prairies herbagères (Hurpin, 1957) et les cultures comme celle de la pomme de terre (Bedin, 1982). En milieu forestier, Abgral (1991) rapporte que les hannetons en général sont des ravageurs qui provoquent de nombreux dégâts dans les pépinières et les jeunes plantations de feuillus et de résineux. Une autre espèce, *Melolontha papposa* Illiger, cause des dégâts importants dans les plantations d'olivier en Espagne (Duran *et al.*, 1996). Plus récemment, Randriamanantsoa (2010) a signalé des dégâts sur les plants de riz dans l'Ouest de Madagascar, dus à *Apicencya waterloti* (Dewailly (Coleoptera : Melolonthidae).

II.5 Conclusion

On peut résumer les résultats exposés dans cette deuxième partie comme suit :

Deux espèces principales ont été déterminées dans les peuplements à chênes-lièges de la forêt de la Mamora, dont les larves peuvent potentiellement causer des dégâts sur les opérations de

reboisement : *Phyllognathus excavatus* (Forster) (Coleoptera, Dynastidae) et *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera, Melolonthidae). *S. maroccana* est une espèce endémique impliquée dans l'essentiel des dégâts enregistrés dans les parcelles de régénération du Chêne-liège. Elle est considérée localement comme un nouveau ravageur.

La taille des larves de *S. maroccana* est variable, de 1 à 6 cm selon l'âge et le sexe des individus. Leur poids moyen est de $3,78 \pm 1,86$ g, avec un maximum de 10,02 g et un minimum de 0,32 g. Les adultes femelles sont beaucoup plus grosses que les mâles, avec une longueur de 31,6 à 35,0 mm, contre 19 à 25 mm pour les mâles.

La durée de développement embryonnaire chez *S. maroccana* diminue avec l'accroissement de la température ; à $23,12 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$ elle est de $23 \pm 1,6$ jours, tandis qu'à 28°C , elle est de $22 \pm 0,45$ jours,

La totalité du développement larvaire se passe dans le sol, les larves sur le terrain effectuent des mouvements verticaux en fonction de l'humidité du sol. A partir des premières pluies automnales, les larves remontent vers la surface et attaquent les jeunes racines des chênes-lièges, passant toute la saison hivernale jusqu'à la fin du printemps à faible profondeur.

Les jeunes plants de chênes-lièges sont fortement attaqués par les larves de *S. maroccana*, avec le maximum de dégâts sur des plants de chênes-lièges est observé en fin de printemps. La mortalité des jeunes plants dépend des modes de culture, avec des dégâts plus faibles dans les parcelles non systématiquement nettoyées par labour profond, contrairement aux parcelles qui ont été mises à nu sur de grandes surfaces par labour profond.

Les premières émergences des adultes de *S. maroccana* ont lieu en été, depuis le début juin jusqu'à mi-septembre. Les premiers vols des mâles commencent au milieu de l'après midi jusqu'à la tombée de la nuit. Les femelles prélevées sur le terrain font preuve d'une fécondité plus élevée (entre 60 et 122 œufs ; $82 \pm 16,2$ œufs en moyenne) que les femelles issues de larves élevées au laboratoire (entre 10 et 72 œufs par femelle).

La longévité des adultes mâles est de $12 \text{ jours} \pm 2,9$, légèrement inférieure à celle des femelles qui est de l'ordre de $15 \text{ jours} \pm 3,4$.

TROISIÈME PARTIE
DISTRIBUTION SPATIALE ET MOBILITÉ DES
LARVES DE *Sphodroxia maroccana* DANS LA
SUBERAIE DE LA MAMORA

Chapitre I. ECOLOGIE ET DENSITE LARVAIRE SUR LE TERRAIN

I.1 Introduction

Dans le but de comprendre et d'analyser la structure et les variations de la distribution des larves de *S. marocana* dans le sol de la Mamora, un échantillonnage de la population a été effectué dans les cinq cantons au cours des campagnes de plantations 2007-2008 et 2008-2009. Les résultats ont permis de dresser des cartes de densités du ravageur durant les deux années et d'expliquer les variations de l'importance des dégâts d'une année à l'autre. En outre, ces cartes devraient permettre d'évaluer le risque de dégâts pour les programmes futurs de plantations, et de contribuer à la mise en place d'une technique de lutte standard pour toute la Mamora quelque soit les variations de la pluviosité, de la profondeur du plancher argileux et de la structure des peuplements.

I.2 Matériel et méthodes

L'étude de la distribution spatiale des larves de *S. maroccana* a été effectuée dans 19 parcelles réparties entre les cinq cantons de la Mamora. En raison de l'affinité du ravageur à l'humidité du sol de la Mamora qui diminue de l'ouest vers l'est (les vers blancs sont plus denses dans le canton A à l'ouest que dans le canton E à l'est), le nombre de placettes prises pour échantillonnage est plus important dans le canton A (sept parcelles) que dans le canton E (une parcelle). Dans les cantons B, C et D, le nombre de placettes étudiées est respectivement de 5, 4 et 2 (tableau 14).

L'échantillonnage a été réalisé durant deux années successives (2007-2008 et 2008-2009) en saison humide (fin d'automne à début du printemps), lorsque les larves sont proches de la surface. Dans chaque parcelle, le sol superficiel (sablonneux) a été retourné à la charrue sur des sillons parallèles de 100 m de longueur, 50 cm de largeur et 40 cm de profondeur chacun, avec un intervalle entre les sillons de 4 mètres environ. Au fur et à mesure de l'avancée du tracteur, toutes les larves de *S. maroccana* sont récoltées et dénombrées.

Au cours de la campagne d'échantillonnage 2007-2008 (période avec une pluviosité de 515 mm en 2007, la moyenne annuelle à Salé étant de 486 mm pour la période 1979 - 2009), entre 40 et 160 sillons ont été prospectés selon les parcelles (tableau 13). En 2008-2009 (période pluvieuse, plus particulièrement en 2008 avec 849 mm de pluie), le nombre de sillons a été réduit à 30 pour chacune des 19 parcelles échantillonnées.

Tableau 13. Parcelles échantillonnées par canton et distribution du nombre de sillons effectués par parcelle dans la Mamora

Parcelles étudiées	Superficie totale de la parcelle (ha)	Nombre de sillons/parcelle	
		2007/2008	2008/2009
AI8	80 ha	160	30
AI9	33 ha	66	30
AI7	45 ha	90	30
AIII4	90 ha	100	30
AIV10	210 ha	120	30
AV1	120 ha	60	30
AVII5	280 ha	50	30
BI11	190 ha	50	30
BIII11	184 ha	100	30
BV10	120 ha	40	30
BVI15	130 ha	60	30
BVI18	150 ha	50	30
CII1	82 ha	50	30
CVI6	120 ha	120	30
CI3	90 ha	64	30
CIII2	110 ha	140	30
DIII9	250 ha	160	30
DVIII3	120 ha	120	30
EVI17	228 ha	160	30

Les dénombrements ont permis de calculer la densité larvaire par hectare, avec extrapolation aux parcelles voisines de mêmes caractéristiques pédoclimatiques. Des classes de densités des larves à hauteur de 500 larves/ha ont été créées. C'est ainsi que, selon les variations du niveau de populations du ravageur, 5 classes ont été obtenues en 2007-2008, et 6 classes en 2008-2009.

La cartographie de densités des larves a été réalisée par la méthode de dessin par power point, en utilisant une carte vierge interactive de la Mamora, où les contours représentant les limites

des parcelles sont redessinées. Les parcelles ayant la même densité larvaire ont été affectées par le même contour, et ce quel que soit le canton et l'année d'échantillonnage.

La distribution des densités a été corrélée avec la profondeur du plancher argileux sur la base d'une carte de l'épaisseur du sol (figure 40). Cette carte a été reconstituée sur le même principe, par power point en utilisant les données fournies par la Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification de la région Nord-Ouest.

I.3 Résultats

Au cours de la première campagne d'échantillonnage (2007-2008), on a relevé les plus fortes densités larvaires à l'extrême nord des cantons B et D (supérieures à 2000 larves/ hectare). Ces cantons sont caractérisés par des sols profonds supérieurs à 3 mètres (figure 38). Dans ces mêmes cantons, les densités larvaires diminuent à mesure que la profondeur du plancher argileux diminue : au niveau des secteurs où la profondeur du plancher argileux est située entre 2 et 3 mètres, les densités sont de l'ordre de 1000 à 2000 larves/hectare ; dans les zones où la profondeur de l'argile est comprise entre 1 et 2 mètres, les densités larvaires sont inférieures à 1000 larves/hectare (figure 40).

Au cours de la campagne 2008-2009, les densités larvaires enregistrées étaient nettement plus élevées que l'année précédente (jusqu'à 3500 larves/hectare dans le nord des cantons B et D), notamment dans les secteurs où la profondeur du sol était supérieure à un mètre (figure 39). Cette plus grande abondance des larves est liée à des précipitations abondantes enregistrées durant cette période.

**Carte de densités des larves de *Sphodroxia maroccana*
dans la forêt de la Mamora 2007-2008**

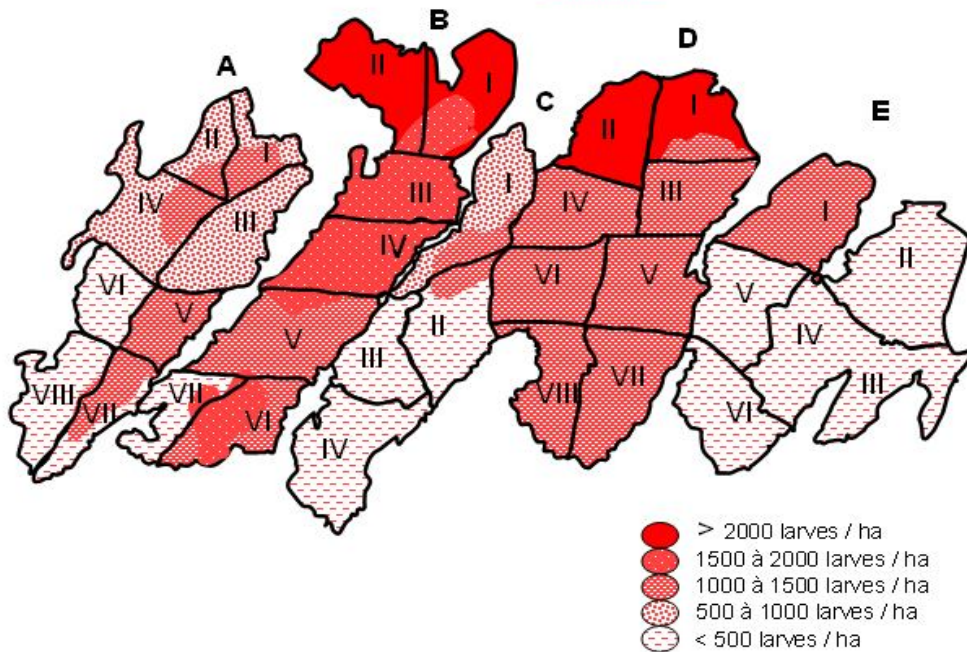


Figure 38. Densité larvaire dans les cantons A à E au cours de la campagne 2007-2008

**Carte de densités des larves de *Sphodroxia maroccana*
dans la forêt de la Mamora 2008-2009**

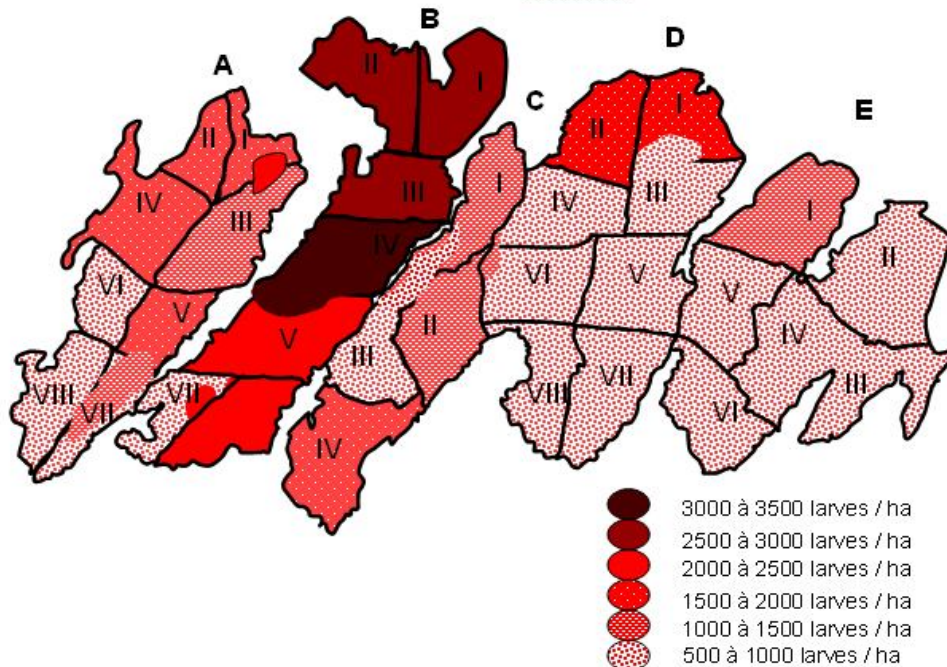


Figure 39. Densité larvaire dans les cantons A à E au cours de la campagne 2008-2009

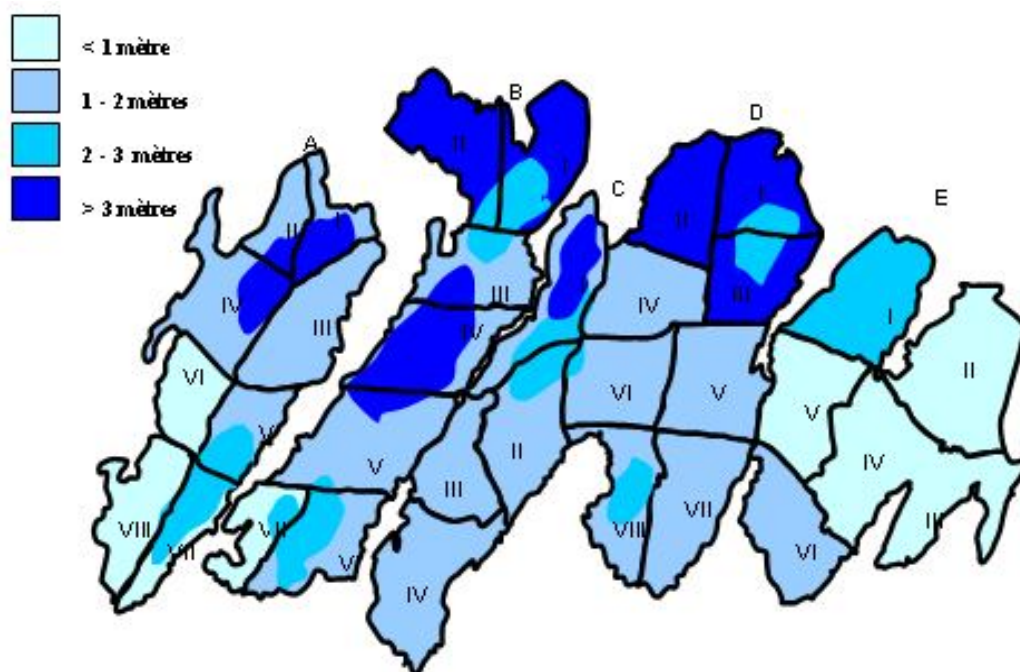


Figure 40. Epaisseur du sol au-dessus du niveau du plancher argileux (en mètres).

I.4 Discussion et conclusion

En comparant les deux cartes de distribution spatiale du ravageur, et au vu des données bioclimatique et pédologique de la subéraie de la Mamora, on constate que les distributions des densités des larves de *S. maroccana* dépendent de l'humidité du sol et de la profondeur de la couche argileuse. Quand l'humidité et la profondeur du sol sont élevées les densités larvaires sont généralement importantes. C'est ainsi que les densités larvaires relevées sont supérieures à 2000 larves/ha au nord des cantons A et B où l'humidité est élevée et la profondeur de la couche argileuse est généralement supérieur à 3 mètres. Au sud des cantons A, B et C où l'humidité est faible et la profondeur de l'argile est en moyenne de 2 mètres, les densités larvaires sont comprises entre 500 et 1500 larves/ha.

L'évaluation des densités de *S. maroccana* devrait être poursuivie sur quelques années afin de couvrir toutes les variations interannuelles possibles et leurs effets sur ces densités. Le but ultime est l'élaboration d'une carte de répartition spatiale du ravageur permettant de définir une technique de lutte efficace en fonction des régions.

Chapitre II. MOBILITE DES LARVES DANS LE SOL

II.1 Introduction

Les dégâts importants observés sur les jeunes plantations de chênes-lièges ont eu lieu au printemps, lorsque le sol est humide, mais aussi au cours de l'été quand un arrosage trop copieux est apporté aux plants pour contrebalancer la sécheresse estivale.

L'objectif de ce travail est de déterminer les capacités des larves de *S. maroccana* à se déplacer et évaluer les facteurs qui influencent ce déplacement, particulièrement l'effet des racines comme source de nourriture dans les mouvements et l'orientation des larves.

Nous présentons dans ce qui suit les principaux résultats de ce travail.

II.2 Matériels et méthodes

Trois caisses en bois de 100 x 100 cm de base et de 50 cm de hauteur contenant du sable et séparée chacun par des cloisons longitudinales en trois compartiments de 100 x 33 x 50 chacun. Les trois compartiments sont appelés différemment selon le taux d'humidité du sable : compartiment H++ (humidité forte) ; compartiment H+ (humidité moyenne) et compartiment S (sec). Avant la mise en place du sable, nous avons placé un tuyau en plastique, perforé à des distances variées, placé au fond de chaque compartiment, et fermé à son extrémité inférieure afin de vérifier l'hydratation du milieu. Un entonnoir a été placé à l'extrémité supérieure du tuyau pour permettre l'alimentation en eau, un gradient d'humidité décroissant est ainsi créé dans le sable (figure 41).

Tous les trois jours des quantités d'eau ont été ajoutées respectivement de 0,5 ; 0,25 et zéro litre d'eau pour les compartiments H++, H+ et S. En outre deux plants de Chêne-liège (plant P1, plant P2) âgés de six mois ont été ensuite plantés dans chaque compartiment, l'un juste au-dessus de l'axe du tuyau d'arrosage (plant P1), l'autre décalé de 10 cm (plant P2).

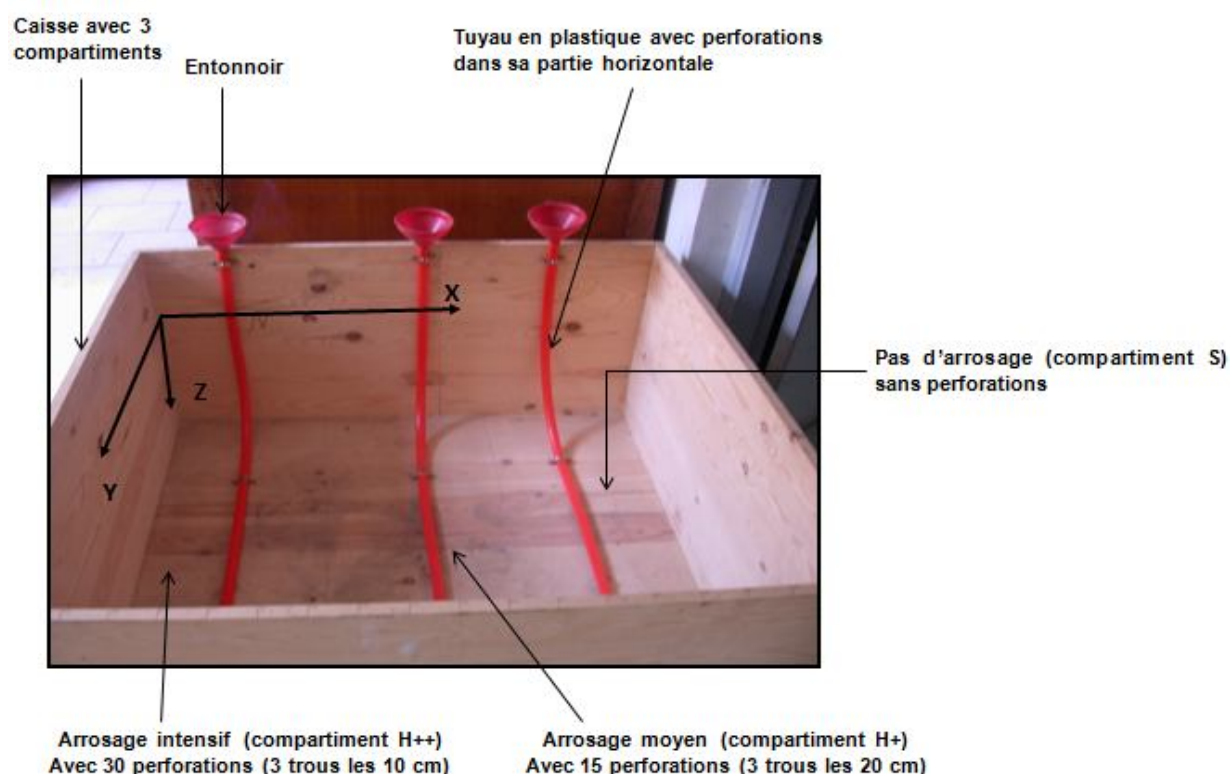


Figure 41. Caisse (sans les séparateurs verticaux) montrant le dispositif d'arrosage

Deux larves adultes, dont l'une marquée avec un marqueur blanc permanent, ont été introduites dans chaque compartiment deux jours après le premier arrosage. Elles ont été placées respectivement à 10 et 20 cm de profondeur (figure 42). Le positionnement de chaque larve a été relevé deux fois par semaine de manière à suivre ses déplacements selon un système de repérage x, y, z.

L'analyse statistique des résultats a été effectuée en utilisant un logiciel Statistica 6.0. (StatSoft Inc., 2001). Le test d'ANOVA, tests t, F et de Fischer (seuil de signification 5%), a permis d'évaluer les effets de l'humidité ainsi que la présence des plants sur le déplacement des larves.

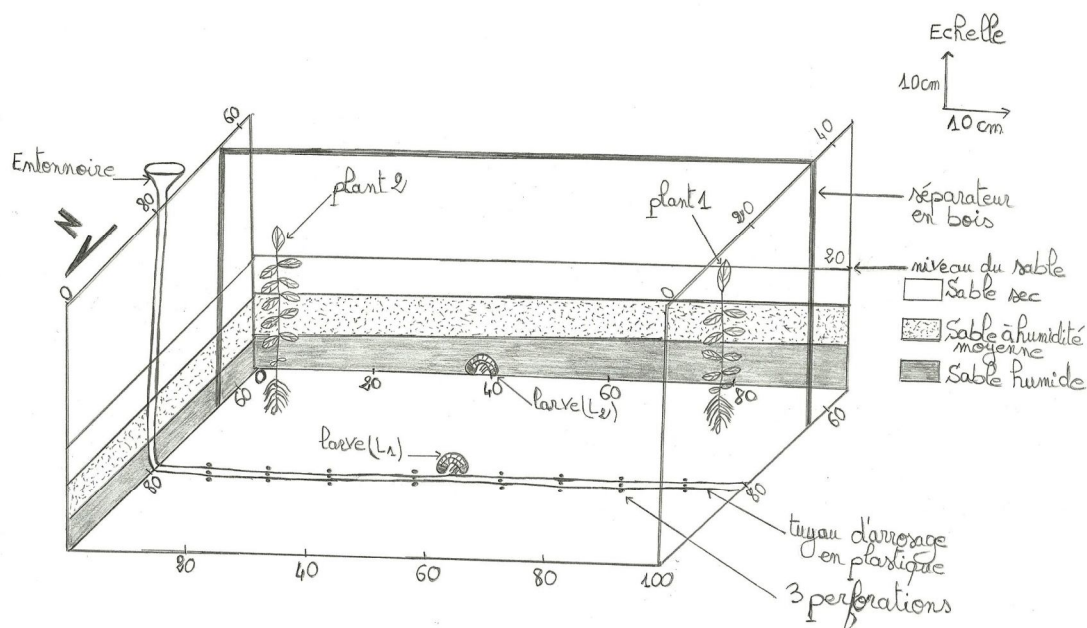


Figure 42. Compartiment H++ montrant l'emplacement des deux larves et les deux plants de chêne-liège

II.3 Résultats

- Déplacement des larves dans le compartiment H++ (humidité forte)

Nous avons constaté une dispersion horizontale assez large des larves à partir du point de départ selon les axes x et y avec une orientation vers la source de nourriture autour des plants 1 et 2 de chêne-liège (figure 43). Les larves, initialement déposées à -10 cm ont marqué un déplacement collectif en profondeur -20 cm, afin de se limiter à une mobilité plus ou moins rapide au niveau de la couche profonde. Cependant la fréquence des larves est significativement importante dans la zone 2 (proximité immédiate à la fois du dispositif d'arrosage et du plant de chêne-liège (P1)) et dans la zone 3 (éloignée du dispositif d'arrosage avec présence d'un plant de chêne-liège (P2)). Alors que dans la zone 1 (éloignée du dispositif d'arrosage et absence de plant de chêne-liège) la fréquence des larves est significativement différente des zones 2 et 3 (tableau 14).

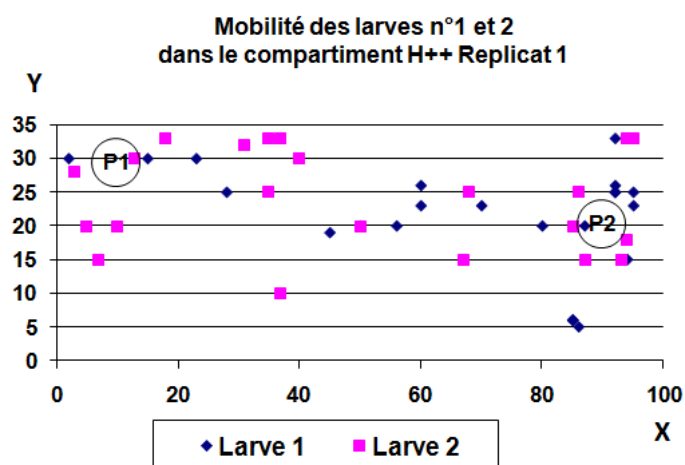


Figure 43. Localisation des larves selon les axes x,y dans le compartiment H++

Tableau 14. Comparaison 2 à 2 de la moyenne des positions occupées par les larves dans les trois zones différant par leur humidité et la présence ou non de racines (cumul des données pour les trois mésocosmes H++ et H+) (test de Fisher)

Comparaisons entre les zones	Différence des positions moyennes	Valeurs P
(H++) Zones [1, 2]	-5,167	0,0034
(H++) Zones [1, 3]	-6,333	0,0007
(H++) Zones [2, 3]	-1,167	0,4453
(H+) Zones [1, 2]	-9,500	0,0001
(H+) Zones [1, 3]	-4,000	0,0086
(H+) Zones [2, 3]	-5,500	0,0009

- Déplacement des larves dans le compartiment H+ (humidité moyenne)

Nous avons constaté une tendance d'agrégation des larves au niveau de la source d'arrosage (axe x) avec absence d'effet plants sur leur comportement de déplacement (figure 44). Comme dans le premier cas, les larves initialement déposées à la profondeur -10 cm ont marqué un déplacement collectif en profondeur (plus humide) dès les premiers jours d'expérimentation. Cependant les larves sont significativement plus abondantes dans la zone 2 (proximité immédiate à la fois du dispositif d'arrosage et du plant de chêne-liège (P1)) que dans la zone 3 (éloignée du dispositif d'arrosage et présence du plant de chêne-liège (P2)). Par

contre dans la zone 1 (éloignée du dispositif d'arrosage et absence de plant de chêne-liège) la fréquence des larves est restée faible. Les différences observées sont significatives au seuil de 5% (tableau 14).

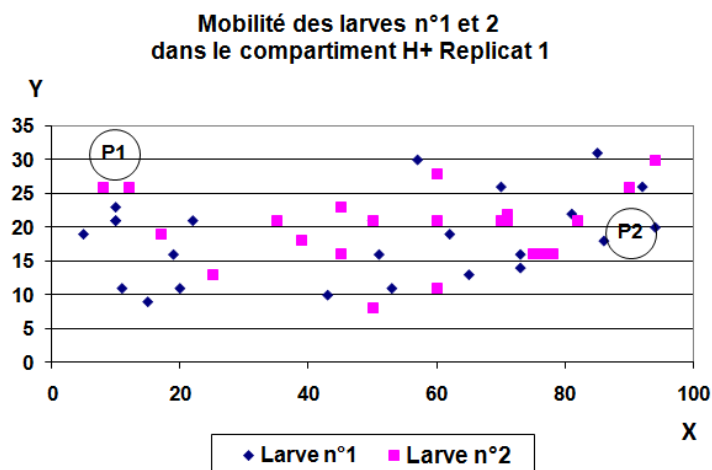


Figure 44. localisation des larves selon les axes x,y dans les compartiment H+

- Déplacement des larves dans le compartiment S (sec)

Le déplacement des larves est très faible en horizontal durant les premiers jours de l'expérience, ensuite elles remontent en surface du sable où elles s'immobilisent complètement sans aucune direction vers la zone des jeunes plants de chênes-lièges P1 et P2 (figure 45).

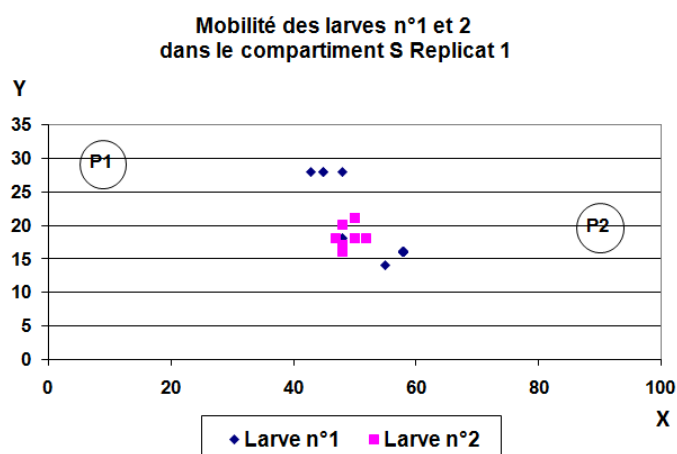


Figure 45. localisation des larves selon les axes x,y dans les compartiment S

- Vitesse de déplacement des larves

Le tableau 15 montre la vitesse moyenne de déplacement des larves de *S. maroccana*. Elle diffère selon l'humidité moyenne du substrat et varie de 5,68 à 5,93 cm par jour respectivement dans le compartiment H++ et le compartiment H+, sans différence significative. Alors que dans le sable sec (compartiment S), les larves avancent en moyenne de 0,49 cm par jour avec une différence significative par rapport aux deux autres compartiments (test de Fisher ; $P=0,0005$ et $0,0016$, respectivement avec H++ et H+).

Cependant, à plusieurs reprises une immobilité totale des larves pendant plusieurs jours a été enregistrée, et en conséquence une vitesse de déplacement de 0 cm par jour. Par contre, dans les périodes de forte activité, nous avons enregistré des déplacements pouvant atteindre 17 cm par jour dans le compartiment H++.

Tableau 15. Distance moyenne parcourue (en cm) par les larves de *S. maroccana* selon l'humidité du substrat (les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 %)

Compartiments	Distance moyenne journalière	Variance	Intervalle de confiance
H++	5,69 a	1,40	1,18
H+	5,93 a	2,30	1,52
S	0,49 b	0,04	0,21

Après 88 jours de suivi, l'analyse du cumul des déplacements des larves selon les trois directions : x (longueur de la caisse; distance aux plants), y (largeur ; distance par rapport à la source d'arrosage) et z (profondeur), a fait sortir des différences selon les traitements (arrosage). Les distances cumulées moyennes parcourues dans les compartiments H++ et H+ varient sans différence significative, entre 500 et 523 cm ; alors que dans le compartiment S, ces distances sont de l'ordre de 36,7 à 43,5 cm et varient significativement par rapport aux deux premiers compartiments (tableau 16). Cependant des valeurs identiques à celles-ci ont été trouvées dans le cas du cumul des déplacements latéraux (plan x, y).

Tableau 16. Cumul des distances moyennes parcourues en 88 jours par les larves dans les différents plans et comparaison 2 à 2 entre les compartiments H++, H+ et S

Plans	Compartiments	Distance parcourue (cm) (moyenne par larve)	Comparaison entre les compartiments	Valeurs P
(X, Y, Z)	H++	501,2	[H++] [H+]	0,6060
	H+	523,1	[H+] [S]	0,0005
	S	43,5	[S] [H++]	0,0016
(X, Y)	H++	500,2	[H++] [H+]	0,6655
	H+	522,0	[H+] [S]	0,0007
	S	36,7	[S] [H++]	0,0003

Dans le cas des déplacements latéraux des larves (axe y), les distances moyennes parcourues sont de 170,8 cm pour le compartiment H++ ; 126,8 cm pour le compartiment H+ ; et 17,3 cm pour le compartiment S (tableau 17), avec des différences significatives à chaque fois. Les déplacements latéraux, définissant clairement le rôle de l'humidité dans l'activité migratoire des larves, à mettre en liaison par l'interaction plus ou moins positive entre les racines et le ravageur en fonction du taux d'humidité dans le sable.

Tableau 17. Cumul des distances parcourues en 88 jours par les larves selon l'axe y (déplacements latéraux) et comparaison 2 à 2 entre les compartiments H++, H+ et S

Compartiments	Distance (cm) (moyenne par larve)	Comparaison entre les compartiments	Valeurs P
H++	170,8	[H++] [H+]	0,0408
H+	126,8	[H+] [S]	0,0031
S	17,3	[S] [H++]	0,2357

L'exploration longitudinale des larves selon l'axe x est également réalisée ; les larves ont parcouru en moyenne une distance allant de 444 à 481,5 cm respectivement dans les compartiments humides H++ et H+, sans différence significative. Cette distance longitudinale moyenne parcourue en 88 jours est significativement très basse dans le compartiment sec (26,8 cm) (tableau 18).

Tableau 18. Cumul des distances parcourues en 88 jours par les larves selon l'axe x (déplacements longitudinaux) et comparaison 2 à 2 des valeurs entre les compartiments H++, H+ et S.

Compartiments	Distance (cm) (moyenne par larve)	Comparaison entre les compartiments	Valeurs P
H++	444,1	[H++] [H+]	0,3933
H+	481,5	[H+] [S]	0,0002
S	26,8	[S] [H++]	0,0001

Dans le cas des déplacements verticaux des larves (axe z), il apparaît que les distances parcourues sont très faible entre les trois milieux ; elles varient entre 10,8 et 19 cm. Dans les deux compartiments humides, les larves initialement déposées à -10 cm, descendent rapidement au fond (-20 cm) au voisinage de la source d'arrosage, avec des remontés et descentes, de temps à l'autre, de 2 ou 3 cm au niveau du compartiment le plus humide (H++).

II.4 Discussion et Conclusion

On peut conclure que les larves de *Sphodroxia maroccana* semblent rechercher une humidité biologiquement adéquate leur favorisant une activité exploratoire importante pour découvrir les sources de nourritures (racines des plants). Ces résultats confirment d'autres travaux qui ont montré que la survie de nombreux insectes était considérablement réduite lorsque le sol est sec, les œufs et les premiers stades larvaires étant particulièrement sensibles à la dessiccation (Krysan 1976 ; Roy 2005).

D'autre part, nos résultats obtenus au laboratoire sont conformes aux observations réalisées sur le terrain stipulant que les larves se rencontrent préférentiellement à l'interface sol sec-sol humide, ce niveau étant d'autant plus profond que la sécheresse estivale est intense. Les dégâts les plus importants sont enregistrés en fin d'hiver et au printemps du fait d'une pluviosité importante. Des dégâts occasionnels pouvant également être observés en été en cas d'arrosage trop intensif des plants (remontée des larves) (Ghaioule *et al.* 2007, 2010). La profondeur du plancher argileux dans la Mamora est également un facteur-clé car la réserve en eau du sol sablonneux en dépend (densités larvaires et dégâts d'autant plus importants que l'épaisseur du sable est épaisse) (Fegrouche *et al.* 2012).

QUATRIÈME PARTIE
MÉTHODES DE LUTTE BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE
CONTRE SPHODROXIA MAROCCANA ET
CONSEQUENCES ENVIRONNEMENTALES

INTRODUCTION

La lutte contre *Sphodroxia maroccana* peut s'opérer de plusieurs manières : une lutte biologique contre les adultes, consistant à abaisser le niveau des populations du ravageur ; une lutte chimique contre les larves, de manière à protéger les jeunes plants de chênes-lièges ; une lutte culturale, en modifiant les modalités de plantation de manière à réduire l'impact des larves sur les jeunes plants de chênes lièges.

Il est apparu que la lutte contre les adultes en utilisant la phéromone sexuelle pour piéger les mâles, à la manière de ce qui se fait contre d'autres insectes ravageurs (lépidoptères, scolytes...) (Hegazi *et al.*, 2009 ; Tobin *et al.*, 2011 ; Jurc *et al.*, 2012 ; Romero-Lopez, 2012) n'avait que peu de chances d'aboutir, compte tenu des mœurs des femelles. Par contre, l'utilisation d'une telle phéromone peut s'avérer plus utile en nous renseignant sur les niveaux des populations du ravageur, en fonction de la densité des mâles actifs par exemple, valeurs à recouper avec les densités larvaires tel que cela a été décrit dans le chapitre précédent.

Chapitre I. ESSAIS D'IDENTIFICATION DE LA PHEROMONE SEXUELLE DE *Sphodroxia maroccana*

I.1 Introduction

Fabre (1900) a décrit l'attraction des mâles du Grand paon *Saturnia pyri* de nuit par une femelle, celle-ci pouvant attirer dans une soirée une quarantaine de papillons mâles venant de fort loin. Par contre, logée dans une boîte hermétique, elle n'attirait plus aucun mâle. Il conclut, dans ses "Souvenirs entomologiques", au rôle possible "d'effluves subtiles, peut-être même d'une odeur émise par la femelle", mais ne put préciser davantage son observation qui annonçait déjà la découverte des phéromones.

Plus tard, Bethe (1932) désigna sous le nom d'ectohormones, certaines "secrétions chimiques actives à l'extérieur d'un individu". Ce n'est qu'en 1959 que Karlson & Lüscher ont proposé

pour la première fois le terme de phéromone ; à partir de là son apparition dans la littérature scientifique a commencé (Pain, 1988). Karlson et Lüscher ont défini les phéromones comme étant «des substances chimiques sécrétées à l'extérieur par un individu et perçus par un autre individu de la même espèce, chez qui elles engendrent une réaction spécifique, par exemple un comportement défini ou une modification physiologique». Dans ce cas, on parle de substances "intraspécifiques". Cette définition exclut donc toutes les substances messagères dites "interspécifiques" dont l'action s'exerce entre individus d'espèces différentes, allomones ou kairomones (Pain, 1988). On regroupe sous le terme d'allomones, les substances bénéfiques pour l'individu qui émet, telles les sécrétions défensives, les sécrétions odorantes des fleurs qui attirent les insectes pollinisateurs. Quant aux kairomones, elles sont bénéfiques pour le récepteur ; ce sont par exemple les substances alimentaires attractives ou les substances assurant les relations plante-hôte.

Les phéromones sexuelles sont sécrétées par des glandes spécialisées situées le plus souvent dans la tête ou l'abdomen de l'insecte. Elles sont fréquemment émises par les femelles mais les mâles en produisent également (Pain, 1988). Véhiculées par l'air, elles sont perçues par les antennes de l'insecte sur lesquelles des organes sensoriels munis de neuro-récepteurs détectent la ou les substances messagères (Masson & Brossut, 1981 ; Dekeirsschieter *et al.*, 2012). Ces phéromones sont utilisées le plus souvent en lutte intégrée de manière à optimiser le contrôle des insectes ravageurs tout en ayant le moins d'effets négatifs sur l'environnement (Bjostad *et al.*, 1993). Elles se sont révélées efficaces tant dans les programmes de dépistage, que dans la capture de masse, ou encore, pour créer une confusion sexuelle chez des insectes ravageurs (Ridgway *et al.*, 1990 ; Minks & Gardé, 1997 ; Vickers, 2002).

Toutefois, malgré les nombreuses tentatives d'utilisation des phéromones sexuelles en lutte intégrée, celles-ci n'ont pas été utilisées à leur plein potentiel. Dans certains cas, une utilisation ayant réussi une première fois peut parfois échouer lorsqu'on la répète (Sanders, 1997). Parmi les causes pouvant expliquer ces insuccès, des lacunes ont été identifiées au niveau de la reconnaissance des principes biologiques fondamentaux et de leur incorporation dans les programmes appliqués (Lewis, 1981), l'identification chimique incomplète des substances chimiques impliquée dans le transfert d'informations lors d'une interaction entre deux individus (Tumlinson, 1988) et le manque d'information concernant les facteurs biotiques et abiotiques pouvant influencer la communication via les phéromones sexuelles (McNeil, 1991). Parmi les facteurs biotiques, on peut citer l'âge de l'individu et les plantes

hôtes. L'âge au moment du premier appel, le moment de la journée où débutent les appels, le temps passé à appeler et le titrage de la phéromone sont quelques-uns des aspects de la biologie phéromonale des femelles qui peuvent changer significativement avec l'âge (Ridgway *et al.*, 1990 ; McNeil, 1991 ; Spurgeon, 2003), le degré de réponse des individus augmentant au cours des premiers jours suivant leur émergence (Turgeon *et al.*, 1983). Parmi les facteurs abiotiques, les conditions de température peuvent influencer sur l'âge auquel les femelles débutent leurs appels pour la première fois. La température peut aussi modifier la réceptivité des mâles, le moment où elle débute, leur activité quotidienne et la vibration de leurs ailes en réponse aux phéromones (Turgeon *et al.*, 1983 ; Cardé & Hagaman, 1983 ; Song & Ridel, 1985). Le vent est également un facteur important pouvant influencer la communication chimique entre deux partenaires sexuels (McNeil, 1991).

Par conséquent, de meilleures connaissances sur la chimie, l'écologie et le comportement sont nécessaires pour mettre en œuvre des méthodes de contrôle efficaces des insectes ravageurs.

Il est important pour identifier une phéromone de déterminer avec exactitude sa composition lorsqu'elle est libérée dans l'atmosphère par l'insecte émetteur (Ridgway *et al.*, 1990). Il est en effet possible que la glande produisant la phéromone contienne plusieurs autres substances, comme des précurseurs, qui peuvent être des inhibiteurs (Teal *et al.*, 1984). Par exemple, les aldéhydes jouent un rôle de premier plan dans les systèmes phéromonaux sexuels chez toutes les espèces du genre *Heliothis* (Lepidoptera : Noctuidae). Toutefois, les extraits des glandes phéromonales femelles de *H. virescens* ont révélé la présence d'alcool correspondant, en termes de structure, aux molécules phéromonales aldéhydiques.

Les produits intervenant dans la composition chimique des phéromones sont très souvent issus d'éléments prélevés dans la nature lors de l'alimentation larvaire. Les composés produits par les mâles sont chimiquement très divers (Blum, 1987), ainsi que les structures spécialisées dans leur production (Birch & Hefetz, 1987). Une femelle peut refuser un mâle sur la base de la qualité de l'émission des phéromones par les mâles (Jacquin *et al.*, 1991).

L'objectif de notre étude a été d'apprécier l'efficacité des femelles de *S. maroccana* à attirer les mâles et de tâcher de prélever la phéromone d'appel sexuel de ces femelles, afin de pouvoir l'identifier ultérieurement, avec une éventuelle utilisation de celle-ci (phéromone de synthèse) dans une stratégie de contrôle des populations de l'espèce. En cas de réussite, l'idée

de base (par piégeage des mâles) était de pouvoir se servir de cette phéromone sexuelle comme un avertisseur de densité de *S. maroccana* dans les parcelles destinées, dans les mois qui suivent, à être replantées en jeunes chênes-lièges. Selon les résultats obtenus, la protection des jeunes pieds au moment de la plantation pourrait alors être chimique (utilisation d'un insecticide systémique en cas de risques élevés), culturale ou même nulle (en cas de risque faible).

Le principe du piégeage est d'analyser, dans les conditions naturelles, l'attractivité des mâles de *S. maroccana* par des femelles encagées. Les expérimentations ont été réalisées dans le canton B de la Mamora où les dégâts par les vers blancs sont très élevés comparativement avec les autres cantons.

I.2 Le comportement d'attraction des mâles de *S. maroccana* par la femelle

Le mâle de *S. maroccana* manifeste d'abord un comportement d'exploration (vol rapide à un ou deux mètres au-dessus du sol, avec de nombreux détours) jusqu'à ce qu'il perçoive la phéromone d'une femelle émettrice. Le vol rapide se transforme en un vol exploratoire lent, au ras du sol (casting flight), avec une recherche précise de la femelle aboutissant souvent au rapprochement des deux partenaires, avec un accouplement très rapide.

Le mâle qui atterrit présente parfois un comportement de lissage de ses antennes à l'aide de ses pattes antérieures. Ce comportement peut être interprété comme une aide à l'orientation, en «rafraichissant» les informations chimiques reçues au niveau des sensilles antennaires. De même, en cas de recherche infructueuse au sol, le mâle lisse souvent ses antennes avant de redécoller et effectuer un nouveau vol exploratoire en zigzag pour localiser une nouvelle femelle. Les femelles sont semi-enterrées, souvent cachées sous des feuilles mortes, et c'est de là qu'elles émettent des bouffées de phéromone d'appel. Lorsqu'un mâle découvre une femelle, il s'oriente très rapidement sur son corps en sortant immédiatement ses genitalias puis enlace celle-ci. Il n'y a pas de préliminaires et la copulation est immédiate. Parfois la femelle est déjà chevauchée par un ou deux partenaires. Dans ce cas les mâles cherchent à s'exclure les uns les autres, mais rapidement il ne reste qu'un seul partenaire.

I.3 Piégeage des mâles par les femelles encagées

Afin de tester l'attractivité des femelles, celles-ci ont été utilisées comme appâts et maintenues dans de petites cages grillagées au-dessus d'un piège d'interception. Les pièges ont été ensuite relevés à intervalles réguliers.

I.3.1 Matériels et méthodes

Nous avons installé dans chacune des parcelles BV9 et BV10 trois ou quatre pièges entonnoir en plastique, de 30 cm de hauteur et 8 cm de diamètre, destinés initialement à la capture des adultes du Bombyx disparate (*Lymantria dispar*) ou de ceux de la Processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) (figure 46a). Ces pièges d'interception sont munis chacun d'un entonnoir permettant l'entrée des adultes mâles de *S. maroccana* attirés par la femelle. Cette dernière est installée dans une petite cage grillagée placée sous le couvercle, au dessus de l'entonnoir, à l'emplacement où l'on dispose normalement la capsule de phéromone dans le cas de la lutte contre les lépidoptères. Les pièges ont été enterrés de manière à ce que les mâles arrivant au sol terminent leur course en marchant, attirés par la source odorante (figures 46b).

Les premières expérimentations ont débuté en juillet-août 2008. Les pièges ont été installés en ligne, distants d'environ 30 mètres les uns des autres. Les femelles utilisées comme source attractive (émission de phéromone sexuelle) étaient soit obtenues d'élevage au laboratoire (CRF, Rabat), soit récoltées sur le terrain au moment de l'expérimentation. Les températures du sol et de l'air ont été régulièrement mesurées à proximité des pièges au moment des piégeages. Chaque demi-heure, le contenu des pièges était contrôlé (collecte des mâles attirés) afin de quantifier le nombre de mâles attirés par une femelle.

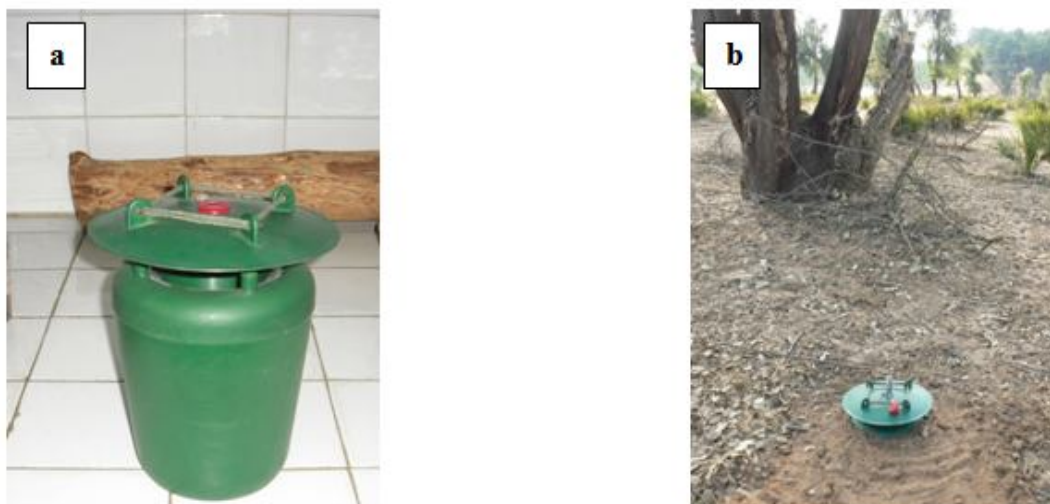


Figure 46. Piège utilisé pour la capture des mâles de *S. maroccana* utilisant une femelle comme attractif (a) ; exemple de piège installé dans la parcelle BV10 de la forêt de la Mamora (b)

I.3.2 Résultats et discussion

La figure 47 donne le nombre de mâles de *Sphodroxia maroccana* attirés par 4 femelles (pièges P1 à P4) en fonction de l'heure et de la température de l'air et du sol (parcelle BV9 et BV10). Le premier jour, 3 pièges (P1 à P3) ont été mis en place à 17h00 dans la parcelle BV9. Les mâles sur le terrain étaient surtout actifs durant les 3 à 4 heures qui précèdent le crépuscule. Les premiers vols soutenus ont réellement commencé vers 16 heures (1 seule observation de vol vers 14 heures), avec un pic d'activité vers 18h30-19h30. Les premières captures ont débuté dans l'intervalle de temps 17h-17h30 (2 mâles capturés dans le piège n° 2), avec à nouveau d'autres captures de mâles pour la période 17h30-18h (figure 47). On retrouve le même schéma de captures le lendemain pour la parcelle BV10, moins ventée que la parcelle de la veille (BV9). Le point intéressant à noter est que les femelles appelantes de la veille ne l'étaient plus le lendemain et qu'une femelle vierge récemment émergée et utilisée comme appât le jour même est particulièrement attractive (piège P4). Cette femelle a attiré 35 mâles dès la première demi-heure après son installation dans le piège, 27 autres mâles à 19h30 et encore 15 autres mâles entre 19h30 et 20 heures, avec un pic d'attraction entre 18h30 et 19 heures. A la nuit tombée (20 heures), l'activité globale des mâles dans la station était en très nette diminution, avec quelques rares mâles qui volaient encore. Il apparaît donc que potentiellement une femelle peut attirer un nombre considérable de mâles (plus de 70),

mais dans la réalité seuls quelques uns peuvent réellement s'accoupler avec elle, l'émission de phéromone cessant à ce moment là.

L'influence du vent au moment de l'appel est déterminante. Nous avons observé qu'un vent assez fort gênait le vol des mâles mais surtout dispersait très vite la phéromone sexuelle, empêchant les mâles de détecter la position de la femelle. Il n'est pas exclu non plus que les émissions de phéromone d'appel cessent également en cas de vitesse de vent élevée.

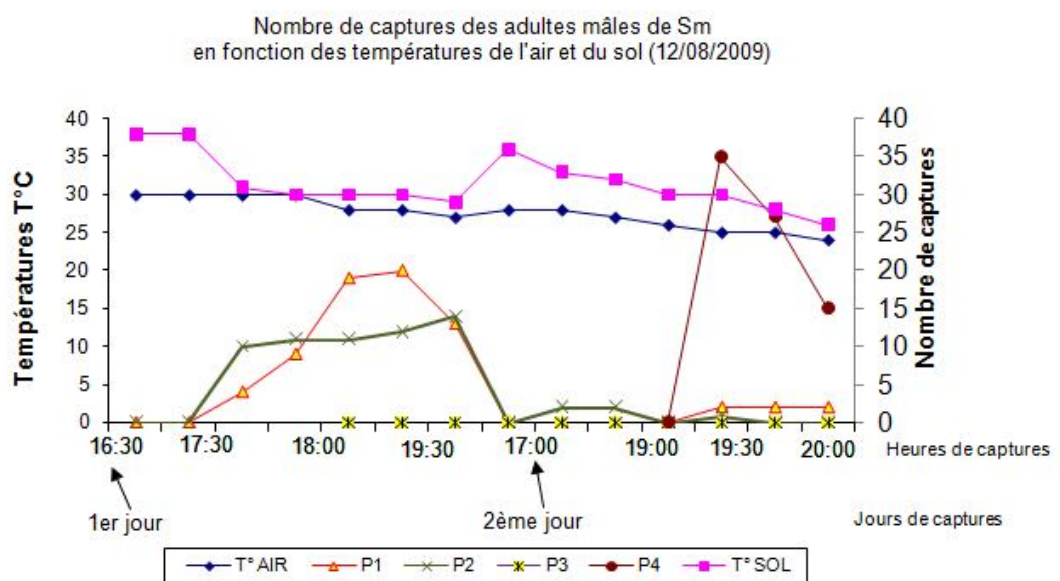


Figure 47. Nombre de captures de mâles de *S. maroccana* dans les pièges (P1 à P4) en fonction de l'heure (16h30 à 20h) et de la température de l'air (T°AIR) et du sol (T°SOL)



Figure 48. Période d'appel des femelles de *S. maroccana* (marqué en rouge) en fonction de l'heure

Nos observations confirment celles de McNeil (1991) qui a montré l'influence négative du vent sur les résultats des piégeages. Kaae & Shorey (1972) ont trouvé de la même manière que la proportion de femelles en appel de *Trichoplusia ni* (Insecta: Lepidoptera : Noctuidae) était plus faible lorsque la vitesse du vent était comprise entre 0 et 3m/s en comparaison avec des vitesses entre 0,3 et 1m/s, les appels cessant avec des vitesses supérieures à 4 m/s. Une relation négative significative a été trouvée entre le succès des captures et la vitesse du vent chez les mâles de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) et de *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) capturés à l'aide de pièges à phéromones sexuelles (Parajulee *et al.*, 1998). Webster & Cardé (1982) ont noté également une diminution de la proportion de femelles en appel chez la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) lorsque le vent est fort.

I.4 Essais d'isolement de la phéromone sexuelle de *S. maroccana*

I.4.1 Matériels et méthodes

Au cours du mois d'août 2009, nous avons collecté des femelles vierges pour l'extraction de la phéromone sexuelle utilisées pour attirer les mâles. Les 17 femelles utilisées étaient toutes en appel sexuel. Au moment de l'émission de la phéromone (déterminé par le fait que des mâles étaient attirés par les femelles), les organes génitaux de la femelle ont été dévaginés par une légère pression sur l'abdomen et maintenus dans cette position à l'aide d'une pince fine (figures 49). Nous avons essayé d'isoler la phéromone d'appel sexuel par micro-extraction en phase solide appelée SPME (Solid Phase Micro Extraction) décrite par Frérot *et al.*, (1997).

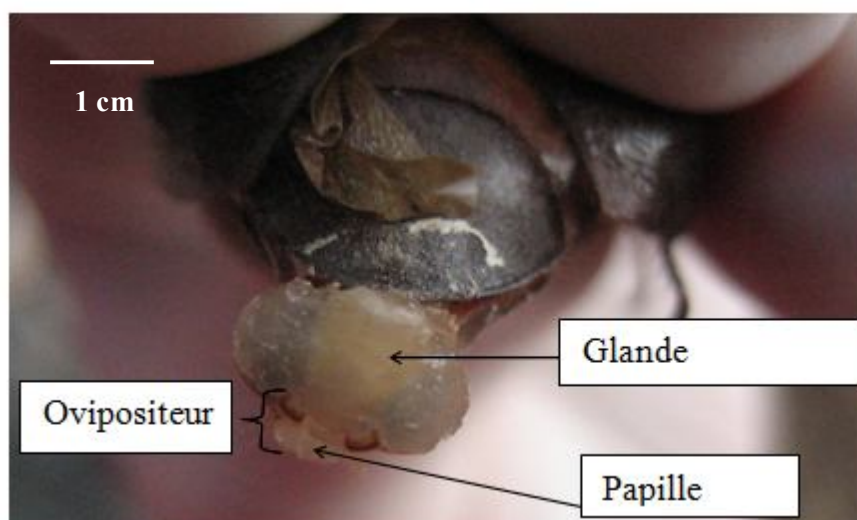


Figure 49. Organes génitaux femelles de *Sphodroxia maroccana*, en vue latérale

La surface d'une fibre de carbone (figure 50) (65 μ m CarbowaxTM-Divinylbenzène-CW/DVB- SUPELCO) est frottée délicatement sur le tégument de la glande pendant cinq minutes. Par la suite la fibre est rentrée dans sa gaine, elle-même enveloppée dans du papier aluminium et stockée au congélateur (-20°C) avant analyse.

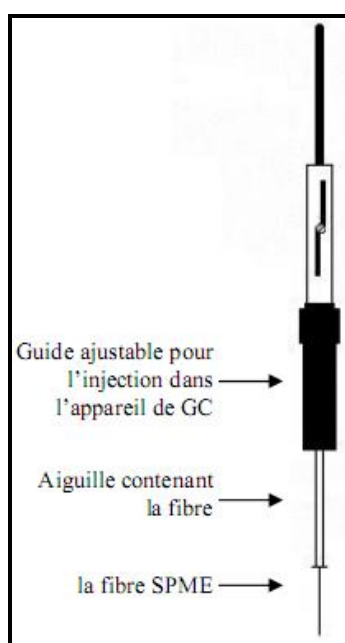


Figure 50. Schéma de la fibre SPME avec son support

L'analyse des composés absorbés sur les fibres a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse (GC) couplée à un spectromètre de masse (GC-MS). La GC-MS est pratiquée sur un chromatographe Varian 3400 CX couplé à un spectromètre de masse ion trap Saturn II (Varian). L'ionisation est obtenue par impact électronique (IE) avec une énergie de 70 eV et une gamme de masse de 40 à 330 μ ma. Les conditions du GC sont les suivantes : la température du four est programmée de 50°C à 300°C à raison de 8°C/min. Le chromatographe contient une colonne apolaire RTX-5 Sil-MS (Restek®, France) de 30m de longueur, 0.32mm de diamètre interne. L'injecteur split-splitless est chauffé à 250°C.

La GC est pratiquée sur un appareil Varian 3400 CX muni d'un injecteur split-splitless avec la méthode et les conditions suivantes. La température du four est programmée de 50 à 100°C. A raison de 15°C/min, puis de 100°C à 245°C à raison de 5°C/min. La colonne RTx®-Wax est de 30m de longueur, de 0,32mm de diamètre interne (Restek®, France).

En complément de cette méthode, nous avons tenté d'isoler la phéromone en la piégeant avec de l'hexane (utilisé comme solvant), en immergeant des femelles en appel sexuel dans de l'hexane. Le mélange hexane - produits cuticulaires - phéromone éventuelle est ensuite analysé en GC-MS.

I.4.2 Résultats et discussion

L'analyse par fibres SPME (Solid Phase Micro Extraction) a permis en particulier de mettre en évidence un aldéhyde, l'octanal (C₈H₁₆O ; poids moléculaire = 128, m/z : 43 (100%), 56 (90%), 84 (60%), 69 (50%), 100 (15%), 110 (5%)). L'octanal se retrouve aussi en quantité importante dans les extraits des organes génitaux des femelles. Cet aldéhyde a été décrit comme phéromone, allomone, kairomone ou attractif chez de nombreux insectes, en particulier chez des Coléoptères de la famille des Staphylinidae.

L'extraction à l'hexane a permis de mettre en évidence un alcène uniquement chez les femelles de *Sphodroxia maroccana*. Il s'agit du 3,7-diméthyl-1,3,6-octatriène (C₁₀H₁₆, poids moléculaire = 136, m/z : 93 (100%), 91 (50%), 79 (50%), 41 (25%), 105 (25%), 53 (20%), 67 (20%), 121 (20%)). Ce produit a été identifié chez de nombreux insectes en tant que phéromone, kairomone ou attractif, le site internet The Pherobase (www.pherobase.com)

répertoire de ces données. Parmi les Coléoptères, cette molécule est un attractif pour *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) et pour *Scolytus intricatus* (Coleoptera: Scolytidae). C'est aussi une phéromone de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) (www.pherobase.com). Chez *Sphodroxia maroccana*, nous avons trouvé ce produit uniquement dans les échantillons des femelles et en quantité variable selon la partie du corps extraite (des individus mâles ont été analysés de la même manière, pour servir de témoins).

Une étude antérieure réalisée en 2007 a permis d'identifier une autre molécule, le résorcinol (1,3 benzénediol), uniquement chez les femelles de *Sphodroxia maroccana*, en quantité très importante chez certaines femelles (Ghaioule *et al.*, 2007). D'après ces auteurs, le résorcinol pourrait n'être qu'une substance produite par les femelles et non la phéromone recherchée. Or des composés aromatiques, le plus souvent phénoliques et quinoniques, ont déjà été décrits comme phéromones sexuelles chez huit espèces de Mélolonthides appartenant aux genres *Costelytra*, *Holotrichia*, *Melolontha*, *Phyllophaga* et *Rhizotrogus* (El-Sayed, 2005). Ainsi la 1,4-benzoquinone et la toluquinone sont les constituants majeurs de la phéromone sexuelle femelle de *Melolontha hippocastani* Fabricius (Ruther *et al.*, 2001, 2002) et *Melolontha melolontha* L. respectivement (Reineke *et al.*, 2002). Le phénol est un autre constituant phéromonal chez ces deux espèces (Reineke *et al.*, 2002), mais aussi chez *Costelytra zealandica* White (Henzell *et al.*, 1970) et *Rhizotrogus vernus* Germar, espèce où il est émis en mélange avec la 1,4-benzoquinone (Imrei *et al.*, 2003). Enfin, l'anisole (méthoxybenzène) est la phéromone sexuelle de deux espèces de *Holotrichia* : *H. consanguinea* Blanchard et *H. reynaudi* Blanchard (Ward *et al.*, 2002).

I.4.3 Conclusion

Pour l'instant, on peut considérer que les résultats obtenus pour *S. maroccana* sont encore à une phase préliminaire. Il n'y a aucune certitude pour conclure que telle ou telle molécule peut être considérée comme un constituant de la phéromone sexuelle d'appel.

Pour l'avenir, un effort devra être fait afin de résoudre ce problème car l'utilisation d'une phéromone sexuelle pour piéger les males permettrait de connaître le risque potentiel lié aux vers blancs. L'hypothèse de travail est en effet qu'on pourrait sans doute corrélérer la densité de mâles actifs (piégeage à l'aide d'une phéromone) avec la densité de vers blancs présents dans

le sol. En cas d'un risque important, on pourrait recourir à la lutte conventionnelle contre les larves de *S. maroccana*, il s'agit d'une lutte avec des pesticides conventionnels. Ces derniers peuvent être définis comme étant des produits chimiques visant à détruire les ravageurs et autres organismes indésirables. Les pesticides ont pour principal but d'éradiquer complètement le ravageur visé. Dans le cas des jeunes plants de *Quercus suber*, une protection chimique au moment de la plantation peut s'avérer nécessaire pour minimiser les dégâts en cas de trop forte densité de larves de *S. maroccana* dans le sol. Cependant, il faut être conscient que l'usage de pesticides (en particulier les insecticides systémiques épandus sous forme de granulés au moment de la plantation) peut entraîner des risques secondaires importants pour des organismes non visés (insectes détritvires, oiseaux granivores qui confondent les granulés avec des graines ...). La prise en compte de ces risques s'avère nécessaire pour les limiter avec des préconisations précises. Selon les molécules en cause, les risques peuvent être importants sur l'environnement et la biodiversité, mais les effets peuvent être également importants pour l'homme, en particulier les utilisateurs, en affectant leur santé (stérilité, cancers ...) (U.S. Congress, 1995). Parmi les espèces non-cibles susceptibles d'être affectées par les épandages de granulés toxiques au moment de la plantation, notre choix s'est porté sur les coléoptères Tenebrionidae du fait de leur régime alimentaire. Ce sont des détritvires très nombreux en forêt de la Mamora ; ils sont susceptibles d'être attirés par les granulés eux-mêmes (répandus sur le sol), mais ils sont aussi des consommateurs de litière issue de végétaux ayant puisé par leurs racines l'insecticide systémique déposé dans le trou de plantation.

Notre étude a porté à la fois sur les effets de ces pesticides sur les larves de *Sphodroxia maroccana* (cibles du traitement) et sur plusieurs espèces de Tenebrionidae (espèces non-cibles). Parmi ces coléoptères, les espèces du genre *Pimelia* sont un bon modèle. Elles ont été étudiées au Niger lors de la lutte contre le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål, 1775) après épandage de chlorpyrifos ethyl et de fenitrothion (Mamadou *et al.*, 2005). Everts (1997) a quant à lui souligné le risque lié à l'usage de pesticides dans les zones arides, comme c'est le cas ici en Mamora.

Chapitre II. ESSAIS DE LUTTE CHIMIQUE CONTRE *Sphodroxia maroccana*

II.1 Introduction

Malgré les progrès enregistrés avec les méthodes de lutte non chimique contre les ravageurs, les pesticides demeurent souvent l'unique solution pour limiter les pullulations à grande échelle, comme c'est le cas des criquets (Lomer & Prior, 1991 ; Krall, 1994 ; Everts & Bâ, 1997). Au Maroc, *Sphodroxia maroccana* Ley n'avait jamais attiré l'attention avant que l'on envisage un programme à grande échelle de régénération de la subéraie de la forêt de la Mamora et que l'on se soit heurté à une mortalité importante des jeunes plants imputable en grande partie aux vers blancs.

Face à cette situation, les actions de lutte ont conduit à l'utilisation d'une gamme variée de pesticides, essentiellement des carbamates et des organophosphorés. La manipulation parfois inappropriée de ces produits (épandage des granulés au sol au lieu de les mettre dans les trous de plantation), avec des risques potentiels pour la santé des manipulateurs et des effets secondaires pour la chaîne alimentaire (en particulier insectes et oiseaux) nous a conduits à analyser leurs conséquences sur l'environnement.

II.2 Constats sur les pratiques habituelles des forestiers en matière de lutte

Les problèmes posés par les pesticides sont nombreux en milieu forestier. Au Maroc, au sein d'une exploitation forestière, les différents travaux se rapportant à la protection des plants sont conduits dans la majorité des cas par des agents forestiers non qualifiés, sans formation technique poussée et ne disposant que de très peu d'informations sur les dangers que peuvent présenter les pesticides sur l'environnement. Lors des traitements chimiques, les normes de sécurité sont peu appliquées, tant envers le personnel intervenant dans ce cadre qu'envers les composantes de l'environnement.

Jusqu'à très récemment, les forestiers travaillant en Mamora ont utilisé pour lutter contre les vers blancs des insecticides systémiques sous forme de granulés, à la fois des carbamates (carbofuran) (figure 51a) et des organophosphorés (chlorpyrifos éthyl 2%) (figure 51b).

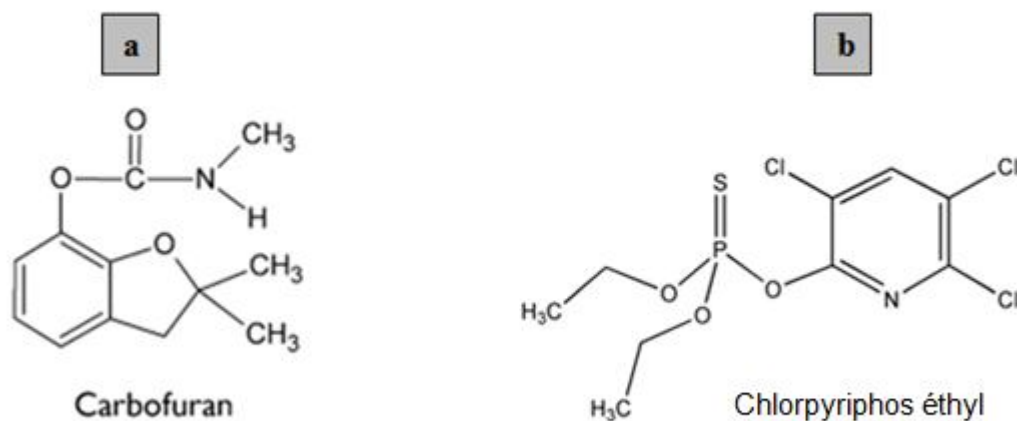


Figure 51. Structure du carbofuran (a) ; structure du chlorpyrifos éthyl (b)

Dans un certain nombre de cas les agents chargés de la plantation des jeunes plants de chênes-lièges déposaient les granulés à la surface autour des plants au lieu de les enfouir dans le trou de plantation pour permettre à cet insecticide systémique d'être absorbé au niveau des racines. Nous avons noté par ailleurs que les quantités dépassaient souvent les doses préconisées, la quantité utilisée par plant étant approximative. Selon les entreprises forestières chargées de la plantation que nous avons interrogées, les agents utilisaient par plant un flacon de 3 cm de diamètre et 5 cm de hauteur rempli de granulés. Un tel volume correspond à 42 g de granulés à 10% de substance active (soit 4,2 g de substance active), ce qui peut faire courir un risque grave aux oiseaux granivores qui picoreraient les granulés ou les autres organismes qui les consommeraient.

II.3 Etude de la toxicité aiguë par le Carbosulfan chez *Sphodroxia maroccana*

II.3.1 Introduction

Dans le but d'évaluer l'efficacité du carbosulfan sur *Sphodroxia maroccana*, nous avons mené une étude écotoxicologique au laboratoire. L'objectif de notre étude consistait à déterminer la dose létale pour laquelle 50% des individus testés étaient tués (DL50). Les valeurs de DL50 obtenues pour les larves de *Sphodroxia* ont été ultérieurement comparées aux valeurs de DL50 obtenues avec deux espèces de Tenebrionidae.

Cependant la toxicité aiguë est étroitement liée à la durée d'exposition et à la quantité de substance toxique ingérée. Nous avons donc fait ingérer des quantités différentes de carbosulfan à des lots homogènes d'individus puis nous avons effectué un suivi journalier de chaque individu et noté les effets à 24 heures, 48 h, 72h, 96h, 120h, 144h et 168h. Nous avons pris en compte pour les analyses des résultats, la mortalité des individus observée après 96h et 168h.

II.3.2 Généralités sur les pesticides

Les pesticides sont des produits chimiques de synthèse utilisés en agriculture mais aussi en milieu forestier. On s'en sert essentiellement pour lutter contre les ravageurs et maladies des plantes et aussi les herbes indésirables qui les concurrencent dans leur alimentation en eau et en matière fertilisantes. Les pesticides peuvent contribuer à la bonne santé des plantes et l'augmentation de leur productivité s'ils sont utilisés dans de bonnes conditions, mais ils peuvent aussi provoquer des effets indésirables pour la plante traitée elle-même, la qualité de notre environnement et la santé humaine.

Au Maroc, le secteur des pesticides est régi par un certain nombre de dispositions juridiques qui portent sur leur importation et leur commercialisation. L'ONSSA (l'Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires) est le principal acteur gouvernemental dans ce domaine. Indépendamment des efforts déployés par cet établissement et par la profession, l'ensemble des analyses faites convergent vers quatre grandes faiblesses dans la gestion du secteur. Elles concernent les conditions de l'utilisation, les revendeurs, les emballages et

l'encadrement des agriculteurs. Ces faiblesses sont sources de préoccupation et d'inquiétude de la part des écologistes et autres scientifiques qui se préoccupent autant de l'augmentation de la productivité de nos terres, que de l'état de notre environnement et de la santé des citoyens.

Les spécialistes ont classées les pesticides en utilisant divers critères : par groupe de parasites, par groupe chimique, par formulation et par toxicité.

- Classement par groupe de parasites visés : les pesticides se divisent en catégories selon les organismes qu'ils sont destinés à supprimer. On distingue de la sorte parmi les plus communs : les insecticides ; les acaricides ; les molluscicides ; les nématocides; les raticides ; les avicides; les fongicides ; les herbicides. Certains pesticides appartiennent à plus d'une catégorie du fait de leur large spectre d'action. Par exemple le carbofuran est tout à la fois un insecticide et un nématocide.
- Classement par groupe chimique : les pesticides organiques et inorganiques.
- Classement par formulation : les poudres, les granulés, les poudres mouillables, les appâts, les concentrés émulsifiables, les formulations huileuses concentrées et les formulations ultra bas volume (UBV).
- Classement par toxicité : les pesticides se divisent en deux catégories d'après le temps durant lequel un organisme est exposé au pesticide. Il s'agit de toxicité «aiguë» et toxicité «chronique». La toxicité d'une substance est sa capacité inhérente à provoquer des dommages lorsqu'elle est absorbée par un organisme.

La toxicité aiguë intervient après absorption en une seule fois d'une forte dose de substance toxique. Par contre la toxicité chronique est l'ensemble des manifestations consécutives à l'absorption répétée et régulière de faibles doses de substances. On distingue la matière active (m.a.) et les substances ajoutées (substances d'appoint), l'ensemble constituant la formulation. Les substances d'appoint peuvent améliorer les propriétés de la substance active ou lui ajouter des propriétés. Parmi ces substances, on peut citer les solvants, les émulsifiants, les substances coulantes, les substances portantes, les synergistes, les dispersants, les colorants. La dangerosité d'un pesticide dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels les propriétés de la substance active elle-même, ses modes d'application, la durée d'exposition.

II.3.2.1 Caractéristiques des deux principales familles de pesticides

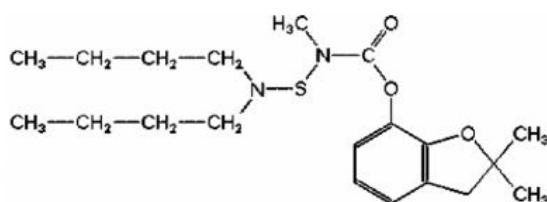
Il s'agit des carbamates (carbofuran) et des organophosphorés (chlorpyrifos éthyl 2%). Ces pesticides organiques sont parmi les plus utilisés dans le monde, avec les organochlorés et les pyréthrinoides. Les organophosphorés et les carbamates agissent principalement sur le système nerveux central et le métabolisme respiratoire. Il s'agit de neurotoxiques cholinergiques, GABA-ergiques et octopaminergiques (Riba & Silvy, 1989 ; Delorme *et al.*, 2002 ; Mizunami *et al.*, 2009).

▪ Les carbamates

Depuis l'introduction du carbaryl en 1956, plus de 50 matières actives appartenant à ce groupe ont été synthétisées. Ces substances sont des dérivés de l'acide carbamique, comprenant aussi un grand nombre de fongicides. Ils agissent en inhibant la cholinestérase. Si l'hydrolyse de l'acétylcholine après la transmission de l'information par ce neurotransmetteur n'a pas lieu, l'augmentation d'acétylcholine au niveau de la synapse induit une hyperactivité qui va altérer la physiologie et les comportements des individus, aboutissant dans la majorité des cas à la mort de l'insecte (Pennetier, 2008). Il s'agit des mêmes sortes de perturbations neuro-hormonales que pour les pesticides organo-phosphorés (O'Brien, 1976 ; Samaranayaka, 1977), mais le degré d'inhibition est atténué en proportion de la vitesse de régénération de l'enzyme. Ces effets dépendent de nombreux facteurs liés à l'insecticide, à l'environnement et à l'espèce. Les carbamates agissent le plus souvent par contact, bien que certains aient une action systémique (aldicarbe, benfuracarb, propoxur, carbofuran et carbosulfan). Leur formulation particulière permet de les appliquer au sol, où ils pénètrent et diffusent. Ils sont absorbés par les racines et véhiculés par la sève. C'est donc en se nourrissant des racines que certaines larves d'insectes les absorbent. La demi-vie du carbofuran est d'un an dans l'eau, quelques mois dans le sol. La toxicité des carbamates touche l'ensemble des organismes vivants (poissons, rongeurs, homme). Par exemple, pour le carbosulfan, la concentration létale 50 (CL50) sur les poissons est de 0,0015 mg/l et sur les Daphnies CL50 est égale à 0,0015 mg/l. Pour l'homme, la dose journalière acceptable (DJA) est de l'ordre de 0,1 mg/kg/j (décision de l'Union Européenne). Parmi les carbamates, le bendiocarbe, le carbaryl et le propoxur ont une toxicité que l'on situe entre « hautement toxique » à « relativement peu toxique ». La dose létale 50 (orale pour rat) des carbamates est comprise entre 0,93 mg/kg pour l'adicarbe et 300 mg/kg pour le carbaryl. Ils sont classés selon l'OMS entre

« extrêmement dangereux » pour l'adicarbe (Classe Ia), « modérément dangereux » (Classe II) pour le propoxur et le carbosulfan, et « légèrement dangereux » pour le pyrimicarb (Pirimor) et le carbaryl (Sevin) (Classe III) (World Health Organization, 2010).

Le carbosulfan est stable en milieu alcalin. Il agit par contact mais surtout par ingestion sur un grand nombre des ravageurs du sol et des parties aériennes des plantes. Pour un traitement du sol, il est surtout utilisé sous forme de granulés. La substance active est alors incorporée dans une matrice thermoplastique inerte qui assure la libération progressive de l'insecticide dans le sol. Absorbé par les racines des plantes traitées, il est doté de propriétés systémiques ascendantes, des racines vers la partie aérienne du végétal. La substance active se concentre principalement dans la partie inférieure de la plante, là où les morsures sont les plus sévères et les plus dangereuses pour les jeunes plants de chênes-lièges.



Structural formula $C_{20}H_{32}N_2O_3S$
2,3-dihydro-2, 2-dimethyl-7-benzofuranyl [(dibutylamino)
thio] methyl carbamate

Figure 52. Structure moléculaire du carbosulfan (Source : Raghavendra & Kaliwal, 2008)

▪ Les organophosphorés

Ils représentent le groupe d'insecticides les plus fréquemment utilisés et ils sont à l'origine de la plupart des intoxications aiguës par pesticides (IOCU, 1984). Les insecticides organophosphorés ont pour cible principale l'acétylcholinestérase (Bounias, 1999). Cet enzyme, qui est responsable de l'hydrolyse de l'acétylcholine, est bloqué sous une forme inactive. L'acétylcholine s'accumule au niveau de la synapse, empêchant la transmission de l'influx nerveux et entraînant la mort de l'insecte (Pennetier, 2008). On utilise ces insecticides pour contrôler de très nombreux insectes, aussi bien dans les habitations que dans les champs cultivés (Worthing, 1979 ; Cluzeau & Paternelle, 2000). La plupart des organophosphorés en traitement du sol pénètrent plus ou moins dans le tissu des plantes (qualifiés de semi-

systemiques), ou sont transportés par le système vasculaire de la plante : ils sont alors qualifiés de systémiques. Ils se situent à l'opposé des organochlorés, avec une toxicité aiguë élevée mais une faible rémanence. Leur faible rémanence nécessite souvent la répétition des traitements pour assurer une longue protection. Ils pénètrent facilement dans l'organisme des insectes du fait de leur liposolubilité élevée. Leur neurotoxicité explique à la fois leur efficacité sur les insectes ravageurs et leurs effets toxiques sur les organismes non-cibles (dont l'applicateur (l'homme) et l'environnement).

II.3.3 Etude de la toxicité aiguë chez *Sphodroxia maroccana* après absorption de carbosulfan

II.3.3.1 Introduction

Il s'agit d'évaluer le taux de mortalité des larves de *Sphodroxia maroccana* au bout de 96 heures et 168 heures après l'ingestion de carbosulfan. L'effet dose s'évalue en exposant différents lots homogènes de larves à des doses croissantes de carbosulfan. Des tests préliminaires ont été menés à l'Université Paul-Valéry Montpellier III (laboratoire de Zoogéographie, UMR 5175 CEFE) afin de mettre au point le protocole opératoire et déterminer la fourchette de doses efficaces. Le test définitif a été mené au laboratoire d'Entomologie du Centre de Recherche Forestière (Rabat).

II.3.3.2 Matériels et méthodes

A. Origine des larves de *Sphodroxia maroccana* utilisées

Les larves de *Sphodroxia maroccana* utilisées proviennent toutes du canton A, ce canton est caractérisé par une forte densité de vers blancs qui occasionnent de gros dégâts. Avec un bioclimat de type sub-humide (influences océaniques), le canton A abrite de très nombreux chênes-lièges (environ 32 % du total de la subéraie de la forêt de la Mamora) (DREFNO, 2007). Les vers blancs sont collectés plus précisément dans la parcelle AII5, à proximité des racines des plants dépérissants ou morts, et parfois aussi au voisinage des arbres âgés (Ghaioule *et al.*, 2007, 2010; Fegrouche *et al.*, 2012a; 2012b). Les prospections ont été effectuées en automne après les premières pluies ainsi qu'en hiver jusqu'au début du printemps. Les différentes cohortes de larves de *S. maroccana* ont été maintenues en élevage au laboratoire à une température moyenne de $21,3 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$. Des lots homogènes de larves sont

constitués en fonction de leur taille et leur poids. Les larves ont été ensuite mises à jeûner pendant une semaine complète de manière à ce qu'elles consomment ensuite rapidement l'intégralité de la nourriture mise à leur disposition et contenant une quantité connue de carbosulfan.

B. Dispositif expérimental au laboratoire : préparation des lots de larves de *S. marroccana*

Les larves de *Sphodroxia* ont été testées individuellement dans des pots en plastique de 400 ml (7 cm de diamètre) fermés par un couvercle percé d'un orifice de 3 cm de diamètre recouvert de gaze. Les larves n'ont été introduites dans les boîtes que 12 heures après la contamination de leur nourriture. A cet effet, un fragment de 0,10 g de pulpe de pomme de terre écrasée a été au préalable déposé au fond de chaque pot et à l'aide d'une micropipette de 10 µl différentes doses de carbosulfan dissous dans l'acétone (C₃H₆O, M 58.08) ont été ajoutées à la nourriture. Les pots ont été ensuite laissés sans couvercle toute la nuit (12 heures) pour permettre l'évaporation de la totalité du solvant (acétone). Avant d'introduire les larves, 20 µl d'eau ont été rajoutés à la nourriture de manière à la réhydrater.

Les effets d'un toxique sur un individu dépendent le plus souvent de son poids corporel, les gros individus étant moins sensibles que les petits pour une même quantité ingérée. De nombreux travaux ont en effet montré depuis longtemps qu'il y avait une relation directe entre la taille des individus (qu'ils soient vertébrés ou invertébrés) et leur résistance à un pesticide (Bliss, 1936 ; Way, 1954 ; Yu, 1983 ; Lavadinho, 1975 ; Bridges & Semlitsch, 2001 ; Timchalk *et al.*, 2006 ; Oliveira *et al.*, 2007 ; Yarahmadi *et al.*, 2009 ; Maggi *et al.*, 2012). Cependant d'après Robertson & Preisler (1992), l'augmentation de la taille des individus ne va pas forcément de pair avec leur résistance à un insecticide. La tolérance à un insecticide dépend de l'âge de l'individu et dépend de sa capacité à détoxifier les xénobiotiques (Timchalk *et al.*, 2006).

En conséquence, nous avons séparé les larves de *S. marroccana* en deux groupes distincts, en fonction de leur taille : les grosses larves (GL) d'un poids moyen de $5,67 \pm 1,13$ grammes pour chaque dose utilisée (8 doses testées, auxquelles il faut rajouter le lot témoin et le lot témoin solvant), soit 10 sous-groupes d'au moins 22 grosses larves); les petites larves (PL) d'un poids moyen de $2,68 \pm 0,46$ grammes pour chaque dose utilisée (8 doses testées,

auxquelles il faut rajouter le lot témoin et le lot témoin solvant), soit 10 sous-groupes d'au moins 10 petites larves).

Les groupes et sous-groupes ont été constitués avant l'introduction des larves dans les pots. Les pesées ont été réalisées en utilisant une balance Sartorius type CPA 124, précision $d = 0,1$ mg. Afin de s'assurer que tous les échantillons étaient comparables entre eux (homogénéité des individus entre les groupes et sous-groupes, les données des différents poids mesurés ont été analysées à l'aide du logiciel Minitab® Version 13. La normalité au sein de chaque sous-groupe a été testée (15 sous-groupes de 22 et 10 individus chacun, chacun correspondant à une dose de carbosulfan évaluée) en utilisant le test statistique de Anderson & Darling. Tous les sous-groupes d'une même classe de taille (GL et PL) ont été ensuite comparés en utilisant un test t. Pour une même classe de taille, les tests ont montré que les échantillons étaient uniformes dans la distribution de poids, sans différence significative entre les sous-groupes d'une même classe de tailles (GL et PL) (figures 53, 54 et 55).

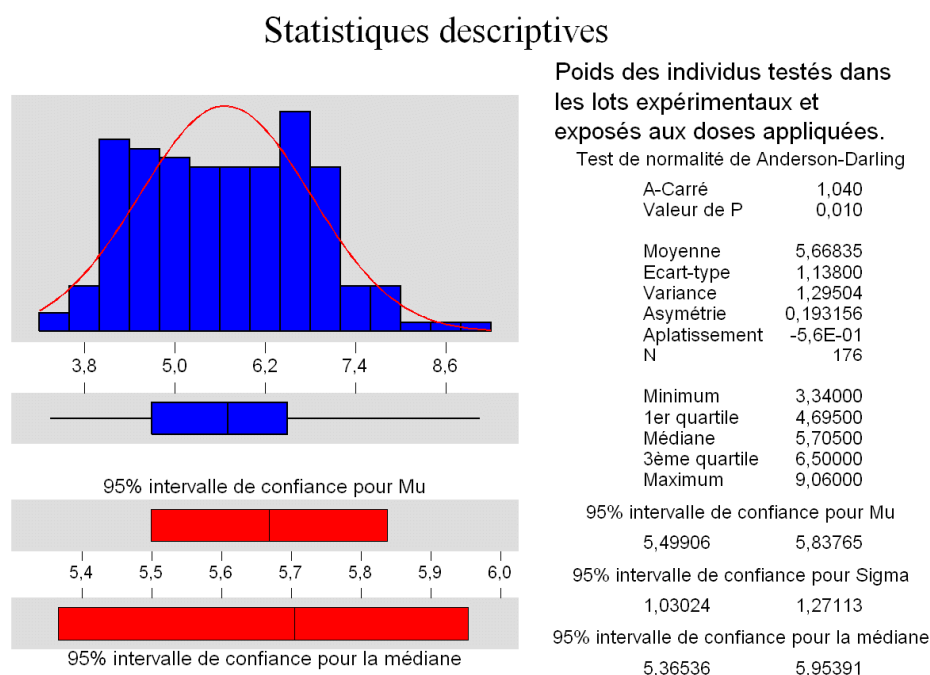
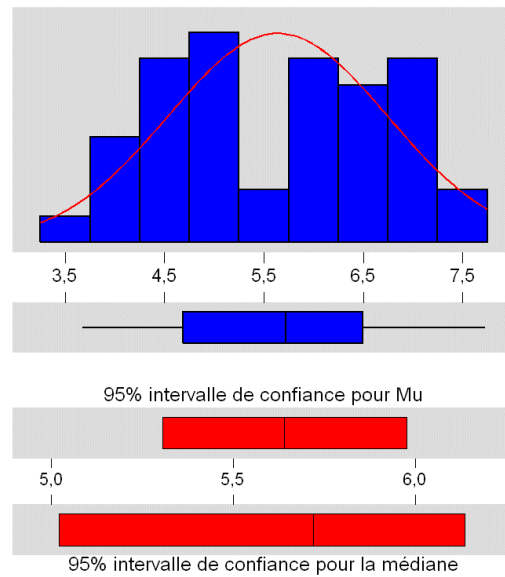


Figure 53. Test de normalité de Anderson-Darling des lots expérimentaux pour les GL (grosses larves)

Statistiques descriptives



Poids des larves (en grammes)
des lots "témoin" et "solvant seul".

Test de normalité de Anderson-Darling

A-Carré 0,582
Valeur de P 0,122

Moyenne 5,64045
Ecart-type 1,10260
Variance 1,21573
Asymétrie 1,82E-02
Aplatissement -1,11653
N 44

Minimum 3,67000
1er quartile 4,68750
Médiane 5,72000
3ème quartile 6,49500
Maximum 7,73000

95% intervalle de confiance pour Mu

5,30523 5,97568

95% intervalle de confiance pour Sigma

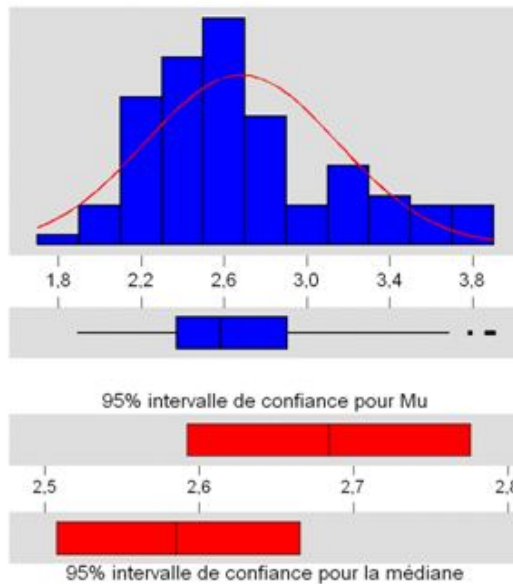
0,91099 1,39702

95% intervalle de confiance pour la médiane

5,02045 6,13687

Figure 54. Test de normalité de Anderson-Darling pour les lots expérimentaux "témoin" et "solvant" pour les GL

Statistiques descriptives GRUBS



Poids (g) de la totalité des larves (lots
expérimentaux, solvant et témoin

Test de normalité de Anderson-Darling

A-Carré 2,175
Valeur de P 0,000

Moyenne 2,68400
Ecart-type 0,46331
Variance 0,214655
Asymétrie 0,884041
Aplatissement 0,237165
N 100

Minimum 1,89000
1er quartile 2,37000
Médiane 2,58500
3ème quartile 2,90500
Maximum 3,90000

95% intervalle de confiance pour Mu

2,59207 2,77593

95% intervalle de confiance pour Sigma

0,40679 0,53821

95% intervalle de confiance pour la médiane

2,50742 2,66515

Figure 55. Test de normalité de Anderson-Darling des lots expérimentaux pour les PL (petites larves)

C. Préparation des solutions de carbosulfan

Le carbosulfan utilisé (Carbosulfan PESTANAL® ($C_{20}H_{32}N_2O_3S$, $M=380,54$ g/Mol)) est commercialisé par la société Sigma-Aldrich Chemie GmbH (lot 5137X ; pureté = 94,4 %). La molécule se présente sous forme d'une poudre peu insoluble dans l'eau mais soluble dans des solvants organiques comme l'acétone, le méthanol, le toluène ou l'acétate d'éthyle (à 20°C).

•PRE-TEST

On a déterminé la gamme de doses à utiliser (en particulier valeurs extrêmes) en effectuant une expérience préliminaire avec 5 concentrations de carbosulfan : 0,047 µg ; 0,95 µg ; 1,89 µg ; 4,72 µg et 9,44 µg dissous dans 10 µl d'acétone.

Un à deux individus seulement par dose ont été utilisés dans le pré-test afin de noter leur réaction (mort, choc ou pas d'effet) et cibler ensuite les doses de carbosulfan à faire absorber par les larves. Deux tests témoins ont été également effectués : un témoin, où on remplace le solvant par de l'eau (10 µl d'eau ; 'test control') et un 'test solvant' où le solvant est utilisé seul, sans carbosulfan (10 µl d'acétone).

Selon la dose de carbosulfan souhaitée, ce sont 10 µl (ou éventuellement 20 µl) de solution qui ont été mélangés à la nourriture (0,10 g de pomme de terre écrasée). Les vérifications des effets du carbosulfan (choc, paralysie, mort) sur chaque individu ont été effectuées après 96 heures (4 jours) et 168 heures (7 jours).

•TEST DEFINITIF

A partir des résultats du pré-test, une gamme de huit doses de carbosulfan ont été retenues : 47,2 µg ; 14,16 µg ; 9,44 µg ; 3,77 µg ; 2,36 µg ; 1,42 µg ; 0,095 µg ; 0,047 µg pour 0,10 g de nourriture.

Pour les tests statistiques, seulement les larves qui avaient consommé toute la nourriture fournie contenant une dose connue de carbosulfan ont été retenues. Les larves qui avaient refusé de manger (ou qui avaient seulement partiellement consommé la nourriture fournie), ont été exclues de l'analyse. Ces ajustements d'effectifs nous ont conduits en définitive à ne

retenir respectivement que 10 et 22 PL et GL pour chacun des 8 sous-groupes de chaque catégorie, de manière à ce que le nombre d'individus testés soit le même partout.

•ANALYSES STATISTIQUES

Les résultats ont été analysés en utilisant un logiciel spécialement conçu et développé pour les études écotoxicologiques (ToxRat ® Professional, version 2.10.05). Nous avons ainsi calculé les doses létales DL10, DL20 et DL50 (doses létales qui entraînent respectivement 10, 20 et 50% de mortalité). La mortalité est calculée en fonction de la dose de pesticide absorbée. Les résultats sont également représentés graphiquement en utilisant une échelle logarithmique pour les abscisses et une échelle probit pour les ordonnées (Finney, 1971). Nous avons également calculé deux autres valeurs, la LOEC (Lowest Observed Effect Concentration) et la NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), apparentée à la notion de NOEC (No Observed Effect Concentration).

La LOEC correspond à la concentration la plus faible pour laquelle une substance provoque une altération de la morphologie, d'une fonction, du développement ou de la durée de vie d'un organisme par rapport à d'autres organismes non soumis à cette exposition. La NOAEL correspond à la dose pour laquelle il n'y a aucun effet nocif observé. C'est le niveau d'exposition d'un organisme pour lequel il n'est pas possible, biologiquement ou de manière statistique, d'observer une altération de la morphologie, du comportement, d'une fonction, ou de la vie. A des doses plus élevées, on observe un effet négatif.

II.3.3.3 Résultats

Les premiers symptômes apparaissent rapidement, entre une heure et une demi-journée après l'ingestion de la nourriture contaminée. Les larves de *Sphodroxia maroccana* trouvent des difficultés pour se déplacer tandis qu'apparaissent les premières contractions musculaires (phénomène de courbure de l'abdomen). Elles ont de plus en plus de mal à se mouvoir au fond de leur boîte (effet subléthal). L'évolution des symptômes se traduit aussi par une hyperexcitation et des crises convulsives, jusqu'à une paralysie finale et la mort de la larve (figure 56).



Figure 56. A gauche larves témoins ; à droite larves de *S. maroccana* (GL) après ingestion de carbosulfan

A. Taux de mortalité des larves de *Sphodroxia maroccana* au bout de 96 heures

Après avoir consommé du carbosulfan, les PL et GL de *S.maroccana* affichent un taux de mortalité qui varie selon les doses absorbées (tableau 19 et 20). Au bout de 96 heures, la mortalité des PL atteint 80 % des individus avec l'ingestion de 3,77 µg de carbosulfan. Ce taux de mortalité est le même pour les larves qui ont absorbé 4,72 µg et 14,16 µg de carbosulfan (tableau 19).

Dans le cas des GL, le taux de mortalité n'est que de 22,73 % à 3,77 µg de carbosulfan, pour atteindre 77,2 % de mortalité à 14,16 µg de carbosulfan (tableau 20). Dans les deux cas, la mortalité est totale avec l'absorption de 47,2 µg de carbosulfan. Aucune mortalité n'a été enregistrée pour les témoins (solvant et eau).

Tableau 19. Taux de mortalité (%) des PL, 96 heures après ingestion de carbosulfan (µg)

		Nombre de larves testées	Nombre de larves vivantes après 96 heures	Taux de mortalité (%)
DOSES ABSORBÉES (µg)	Témoin eau	10	10	0
	Témoin solvant	10	10	0
	0,047	10	10	0
	0,095	10	8	20
	1,42	10	6	40
	2,36	10	4	60
	3,77	10	2	80
	4,72	10	2	80
	14,16	10	2	80
	47,2	10	0	100

Tableau 20. Taux de mortalité (%) des GL, 96 heures après ingestion de carbosulfan (µg)

		Nombre de larves testées	Nombre de larves vivantes après 96 heures	Taux de mortalité (%)
DOSES ABSORBÉES (µg)	Témoin eau	22	22	0
	Témoin solvant	22	22	0
	0,047	22	22	0
	0,095	22	21	4,55
	1,42	22	21	4,55
	2,36	22	20	9,09
	3,77	22	17	22,73
	4,72	22	8	63,64
	14,16	22	5	77,27
	47,2	22	0	100

B. Evaluation de la DL50 à 96 et 168 heures après ingestion

Pour l'évaluation des effets du carbosulfan sur les larves, nous avons pris en compte la mortalité enregistrée à 96 heures et à 168 heures post-ingestion, en séparant les résultats obtenus pour les deux lots de larves, l'effet dose dépendant de la taille (et donc du poids) des larves, les petites étant plus sensibles que les grosses.

A 96 heures post-ingestion, les valeurs de DL50 pour les PL et les GL sont respectivement de 1,246 et 5.844 µg de carbosulfan, alors que les valeurs de NOAEL sont respectivement de 0,095 et 2,360 µg de carbosulfan (tableau 21).

Tableau 21. Valeurs de DL50, NOAEL et LOEC (en µg) après ingestion de carbosulfan avec la nourriture (96 heures après ingestion) par des larves de *Sphodroxia maroccana* (valeurs exprimées en µg)

<i>Sphodroxia maroccana</i>	DL50 (µg)	I.C. 95 %	NOAEL (µg) (95 %)	LOEC (µg) (95 %)
PL	1,246	0,532 - 2,440	0,095	1,420
GL	5,844	n.d.	2,360	3,770

I.C. 95 % : Intervalle de confiance à 95 % (valeurs supérieures et inférieures) ; n.d. = non déterminé.

A 168 heures post-ingestion, les valeurs de DL50 pour les deux groupes de larves ont diminué (tableau 22) pour atteindre 0,784 et 2,876 µg de carbosulfan pour respectivement les PL et les GL. Les valeurs de NOAEL (ou NOEC) sont restées inchangées par rapport à celles calculées après 96 heures (0,095 µg pour les PL et 2,360 µg pour les GL).

Tableau 22. Valeurs de DL50, NOAEL et LOEC (en µg) après ingestion de carbosulfan avec la nourriture (168 heures après ingestion) par des larves de *Sphodroxia maroccana* (valeurs exprimées en µg)

<i>Sphodroxia maroccana</i>	DL50 (µg)	I.C. 95 %	NOAEL (µg) (95 %)	LOEC (µg) (95 %)
PL	0,784	0,354 - 1,392	0,095	1,420
GL	2,876	n.d.	2,360	3,770

I.C. 95 % : Intervalle de confiance à 95 % (valeurs supérieures et inférieures) ; n.d. = non déterminé.

Les petites larves (PL) sont donc plus sensibles que les grosses (GL) pour une même dose ingérée, ce qui va dans le sens des données de la littérature. Par ailleurs, nos résultats montrent qu'après 96 heures la situation n'est pas définitivement figée. Les larves peuvent mettre plusieurs jours à mourir et celles qui apparaissaient peu ou pas atteintes à 96 heures peuvent en définitive mourir un peu plus tard (effet retard). Par contre les valeurs de NOEC et LOEC sont restées inchangées après 168 heures par rapport aux résultats obtenus à 96 heures.

Les figures 57 et 58 donnent les doses-réponses avec les limites de confiance à 95% basées sur des larves après 96 heures et 168 heures, respectivement pour les PL et les GL. On voit très bien l'effet-dose, d'une part, et l'effet taille d'autre part sur la mortalité des larves ayant absorbé du carbosulfan. La comparaison des valeurs de DL50 entre 96 et 168 heures montre également qu'il peut y avoir un effet retard, plus important pour les grosses larves.

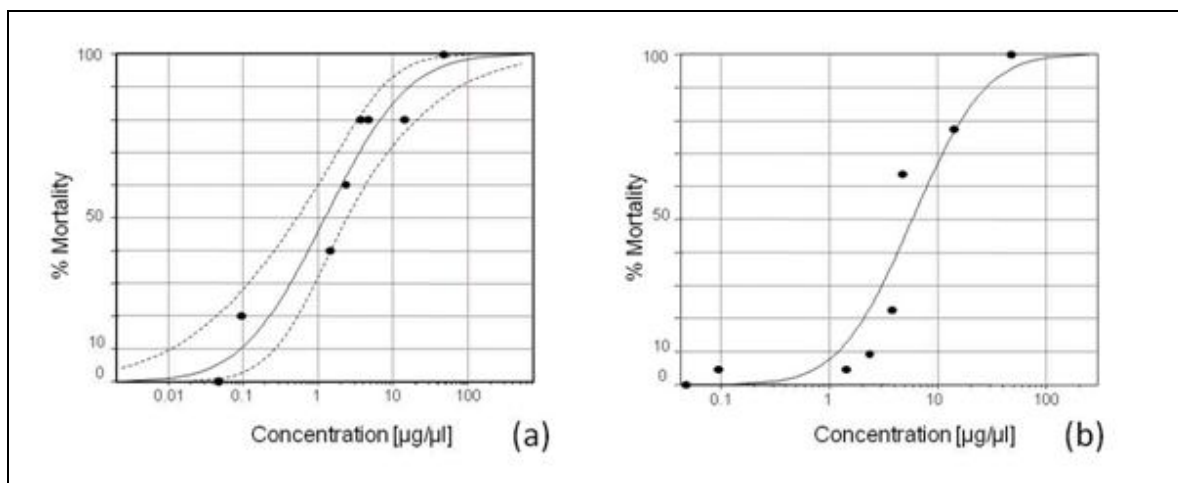


Figure 57. Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves après 96 heures pour : (a) les PL ; (b) les GL de *Sphodroxia*.

- Données
- Fonction
- limites de l'intervalle de confiance à 95%

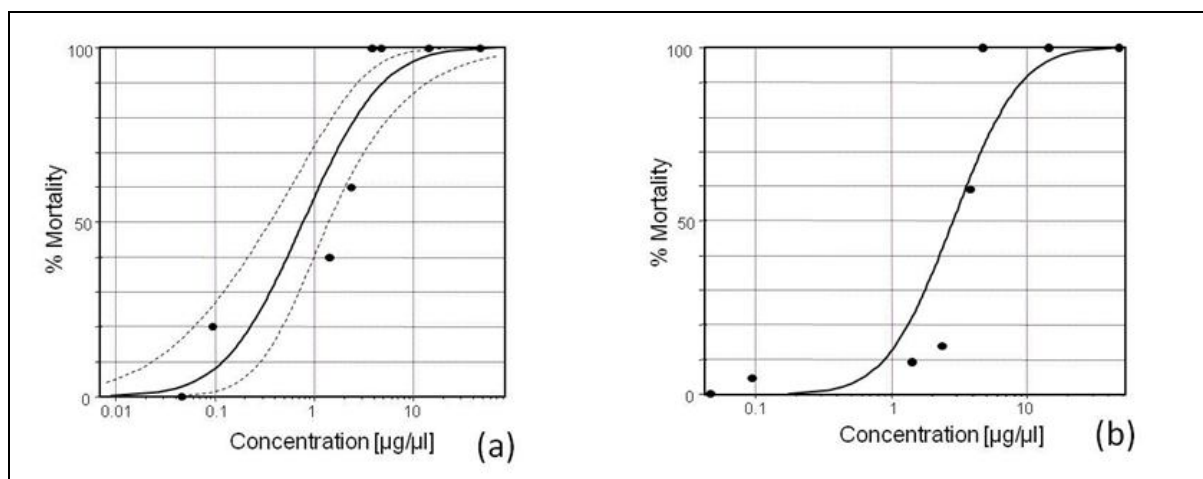


Figure 58. Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves après 168 heures pour : (a) les PL ; (b) les GL de *Sphodroxia*

- Données
- Fonction
- limites de l'intervalle de confiance à 95%

II.3.3.4 Discussion

Le carbosulfan est un insecticide qui a été largement utilisé en agriculture et dans les milieux forestiers (reboisement). Sous sa formulation en granulés, on l'a préconisé contre de nombreux ravageurs s'attaquant aux racines des plantes. C'est le cas par exemple contre *Hylaster ater* (Col. Curculionidae: Scolytinae) qui compromettait la régénération des forêts de *Pinus radiata* en Nouvelle-Zélande (Reay & Walsh, 2002a ; Reay *et al.*, 2012) mais l'usage de ce carbamate a depuis été abandonné (Reay & Walsh, 2002b). D'autres études ont prouvé l'efficacité du carbosulfan contre *Hylaster ater* qui s'attaque aux jeunes semis de *P.radiata* (Lempérière & Julien, 1989 ; Mrlina *et al.*, 1994 ; Ward *et al.*, 1994 ; Sachaïble & Ridge, 1994 ; Glowacka & Malinowski, 1994 ; Cisek, 1994 ; Heritage *et al.*, 1997). Ce carbamate a été également préconisé contre les taupins dans les cultures de maïs (Arvalis, 2008) et contre les larves du Hanneton commun *Melolontha melolontha* (Col. Scarabeidae) (Bednarek *et al.*, 2004). D'autres études ont confirmé l'efficacité du carbosulfan, par exemple contre les moustiques résistants aux pyréthrinoïdes (Guillet *et al.*, 2001).

L'utilisation du carbosulfan dans les différentes parcelles de régénération du chêne-liège en forêt de la Mamora réduit considérablement la mortalité des jeunes plants et les dégâts dûs aux larves de *Sphodroxia marocana*. Lors d'un test réalisé sur le terrain, le taux de mortalité des plants protégés par le carbosulfan (granulés mis dans le trou au moment de la plantation) était de 08,26 % contre 73,45 % pour les plants témoins non traités (Ghaïoule *et al.*, 2010).

La dose recommandée pour le traitement du sol au moment de la plantation est de 10 g de granulés de carbosulfan par plantule (Reay & Walsh, 2002b ; Ghaïoule *et al.*, 2010). Cette dose recommandée est 4 fois moindre que celle qui est souvent utilisée par les forestiers en forêt de la Mamora (42 g de granulés de carbosulfan 10% par plant, soit 4,2 g de substance active par plant), ce qui peut entraîner des risques environnementaux importants (FAO, 1998) et des coûts potentiels liés à la santé humaine (Maumbe & Swinton, 2003). D'après nos résultats, la DL50 à 96 heures est comprise entre 1,246 et 5,844 µg de carbosulfan, respectivement pour les petites (PL) et grosses larves (GL) de *S. maroccana*, et entre 0,784 et 2,876 µg à 168 heures. Les doses utilisées sur le terrain sont d'une magnitude sans commune mesure avec ces doses efficaces pour éliminer les larves, beaucoup plus faibles. Si l'on reporte les valeurs de DL50 au poids des larves, on constate que la sensibilité des PL reste très

supérieure à celle des GL. Après 96 heures post ingestion, la DL50 pour les PL est égale à 464,9 µg de carbosulfan/kg, contre 1030,7 µg de carbosulfan/kg dans le cas des GL (deux fois moins sensibles pour un poids équivalent). De même, à 168 heures, DL50 = 292,5 µg de carbosulfan/kg pour les PL, contre 507, 2 µg de carbosulfan/kg pour les GL. Ces valeurs peuvent être comparées avec celles trouvées dans la littérature. Pour les oiseaux la valeur de DL50 est de 3,99 mg/kg de poid corporel /jour.

II.4 Evaluation de la Toxicité du Chlorpyriphos-éthyl sur les larves de *Sphodroxia maroccana*

II.4.1 Matériels et méthodes

II.4.1.1 Origine des larves

Les larves utilisées dans les tests comparatifs de toxicité carbosulfan - chlorpyriphos éthyl proviennent du canton A de la forêt de la Mamora, parcelle AII5. Avant leur utilisation, elles ont été maintenues en élevage au laboratoire à une température de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Nous avons choisi de travailler avec des petites larves, d'un poids moyen de 2,68 g (minimum : 2,55 g ; maximum : 2,85 g).

II.4.1.2 Caractéristiques du chlorpyriphos éthyl

Le chlorpyriphos éthyl est un insecticide de la famille chimique des organophosphorés (N° CAS : 2921-88-2). Cette substance est peu soluble dans l'eau (2 mg/l). Le chlorpyriphos-éthyl est un neurotoxique, inhibiteur de l'acétylcholinestérase. Toxique pour la faune aquatique, les concentrations létales 50 (CL50) sur les poissons sont de l'ordre de 0,0033 mg l⁻¹ et sur les daphnies de l'ordre de 0,0017 mg l⁻¹. Pour l'Homme, la dose journalière acceptable (DJA) est de l'ordre de 0,001 mg kg⁻¹ j⁻¹. Des anomalies importantes causées par le chlorpyriphos éthyl ont été signalées sur le développement du cerveau d'enfants dont les mères ont été exposées pendant leur grossesse à ce pesticide (Rauh *et al.*, 2012).

Au Maroc, le chlorpyriphos éthyl (2%) est homologué sous forme de granulés pour le traitement du sol, sous le nom de DURSBAN Appât (autorisation du vente N° A02-8-008) (ONSSA, 2012). Il est utilisé dans les cultures légumières, le tabac, la betterave à sucre, contre les larves de noctuelles, à raison de 10 à 25 kg/ha.

II.4.1.3 Dispositif expérimental

Les larves de *Sphodroxia* ont été testées individuellement dans des pots en plastique de 400 ml (7 cm de diamètre) fermés par un couvercle percé d'un orifice de 3 cm de diamètre recouvert de gaze. Les boîtes étaient remplies de sable provenant de la Mamora. Trois séries de 30 larves ont été préparées, subdivisées chacune en 3 lots de 10 larves :

- lot n°1 : traitement avec carbosulfan à 10% ;
- lot n°2 : traitement avec chlorpyriphos à 2% ;
- lot n°3 : témoin.

Les trois séries (tableau 23) diffèrent les unes des autres par l'épaisseur du sable et son humidité, et la manière dont était utilisé l'insecticide (contact avec granulés, ou matière active contenue dans l'alimentation des larves).

i. Série 1

- Lot n° 1 : 5 cm de sable sec dans chaque pot, 0,5 g de carbosulfan (10%) en granulés placés au fond avec une larve de *S. maroccana*. Les larves sont disposées au fond de chaque pot avant la mise en place du sable.
- Lot n° 2 : 5 cm de sable sec, 0,5 g de chlorpyriphos éthyl (2%) en granulés placés au fond avec une larve.
- Lot n° 3 : 5 cm de sable sec, 0,5 g de pomme de terre écrasée non traitée placée au fond avec une larve (Témoin).

ii. Série 2

- Lot n° 1 : 0,5 cm de sable humide dans chaque pot, 0,5 g de carbosulfan (10%) en granulés placés au fond avec une larve.
- Lot n° 2 : 0,5 cm de sable humide, 0,5 g de chlorpyriphos éthyl (2%) en granulés placés au fond avec une larve.
- Lot n° 3 : 0,5 cm de sable humide, 0,5 g de pomme de terre écrasée non traitée placée au fond avec une larve (Témoin).

iii. Série 3

- Lot n° 1 : 5 cm de sable humide dans chaque pot, 0,5 g de pomme de terre écrasée traitée avec du carbosulfan (10%) placée en surface.
- Lot n° 2 : 5 cm de sable humide, 0,5 g de pomme de terre écrasée traitée avec du chlorpyriphos éthyl (2%) placée en surface. Les larves sont disposées au fond de chaque pot avant la mise en place du sable.
- Lot n° 3 : 5 cm de sable humide, 0,5 g de pomme de terre écrasée non traitée placée en surface. Les larves sont disposées au fond de chaque pot avant la mise en place du sable.

Tableau 23. Résumé du dispositif expérimental pour l'étude de la toxicité comparée des granulés de carbosulfan à 10% et de chlorpyriphos-éthyl à 2%, en fonction du substrat (profondeur et humidité).

Expériences	Lots	Niveau du Sable (cm)	Humidité	Dose (g)	Insecticide (Gr ou Ptt) et Ptn (Témoin)	Type de Produits	Nombre d'individus
Série 1 (30 larves placées au fond)	Lot n°1	5 cm	0	0,5 g	Gr placé au fond	Carbosulfan (10%)	10
	Lot n°2	5 cm	0	0,5 g	Gr placé au fond	Chlorpyriphos Ethyl (2%)	10
	Lot n°3	5 cm	0	0,5 g	Ptn placée au fond	Témoin	10
Série 2 (30 larves placées au fond)	Lot n°1	0,5 cm	1	0,5 g	Gr placé au fond	Carbosulfan (10%)	10
	Lot n°2	0,5 cm	1	0,5 g	Gr placé au fond	Chlorpyriphos Ethyl (2%)	10
	Lot n°3	0,5 cm	1	0,5 g	Ptn placée au fond	Témoin	10
Série 3 (30 larves placées en surface)	Lot n°1	5 cm	1	0,5 g	Ptt placée en surface	Carbosulfan (10%)	10
	Lot n°2	5 cm	1	0,5 g	Ptt placée en surface	Chlorpyriphos Ethyl (2%)	10
	Lot n°3	5 cm	1	0,5 g	Ptn placée en surface	Témoin	10

Gr : Granulés ; Ptt : Pomme de terre traitée ; Ptn : Pomme de terre non traitée.

Sable sec : modalité 0 ; sable humide : modalité 1

Pour la série 3, les deux insecticides ont été extraits à l'hexane à partir des granulés, à raison de 0,5 g de granulés pour 25 ml d'hexane. Les deux solutions ont été concentrées par évaporation pendant 2 heures sous une hotte aspirante. Des fragments de 0,5 g de la pomme de terre écrasée ont été ensuite mis à tremper dans les solutions jusqu'à évaporation complète du solvant.

Un suivi journalier de la mortalité des larves de *S. maroccana* après le traitement a été effectué pendant 192 heures (8 jours).

II.4.2 Résultats

Après 192 heures, on observe une différence des taux de mortalité des larves de *S. maroccana* selon les conditions d'exposition au chlorpyrifos éthyl et au carbosulfan. En particulier, des différences de mortalité ont été enregistrées selon que les larves étaient ou non en contact direct avec l'insecticide et que le substrat était sec ou humide.

Pour la série 1 (5 cm de sable sec), on a enregistré 80 % de mortalité à 192 heures avec le chlorpyrifos, à comparer avec 40 % de mortalité avec le carbosulfan. Aucune mortalité dans le cas du témoin (Tableau 24).

Dans la série 2 (0,5 cm du sable humide), les larves ont été en contact direct avec les granulés lors de leurs déplacements au fond des boîtes. On a pu observer dès les premières heures que celles qui touchaient les granulés commençaient à montrer des signes d'empoisonnement (difficultés pour se déplacer), sans absorption par la bouche de l'insecticide. Après 192 heures, la mortalité était totale (100 %) avec le carbosulfan ou le chlorpyrifos. Aucune mortalité des larves n'était enregistrée dans le lot témoin.

Tableau 24. Taux de mortalité (%) des larves de *Sphodroxia maroccana* après 192 heures d'exposition au carbosulfan à 10% et au chlorpyriphos éthyl à 2% selon la quantité de sable dans les boîtes (contact obligatoire ou non avec les pesticides utilisés) et le degré d'humidité du sable (modalité 0 ou 1)

Expériences	Lots	Niveau du Sable (cm)	Humidité	Dose (g)	Insecticide (Gr ou Ptt) et Ptn (Témoin)	Type de Produits	Nombre d'individus	Mortalité %
Série 1 (30 larves placées au fond)	Lot n°1	5 cm	0	0,5 g	Gr placé au fond	Carbosulfan (10%)	10	40
	Lot n°2	5 cm	0	0,5 g	Gr placé au fond	Chlorpyriphos Ethyl (2%)	10	80
	Lot n°3	5 cm	0	0,5 g	Ptn placée au fond	Témoin	10	0
Série 2 (30 larves placées au fond)	Lot n°1	0,5 cm	1	0,5 g	Gr placé au fond	Carbosulfan (10%)	10	100
	Lot n°2	0,5 cm	1	0,5 g	Gr placé au fond	Chlorpyriphos Ethyl (2%)	10	100
	Lot n°3	0,5 cm	1	0,5 g	Ptn placée au fond	Témoin	10	0
Série 3 (30 larves placées en surface)	Lot n°1	5 cm	1	0,5 g	Ptt placée en surface	Carbosulfan (10%)	10	0
	Lot n°2	5 cm	1	0,5 g	Ptt placée en surface	Chlorpyriphos Ethyl (2%)	10	20
	Lot n°3	5 cm	1	0,5 g	Ptn placée en surface	Témoin	10	0

Gr : Granulés ; Ptt : Pomme de terre traité ; Ptn : Pomme de terre non traité.

Sable sec : modalité 0 ; sable humide : modalité 1

Dans la série 3, la nourriture contaminée a été disposée en surface de pots remplis de sable humide (5 cm de profondeur). Le taux de mortalité n'a pas dépassé 20 % dans le cas du chlorpyriphos et aucune mortalité n'a été enregistrée dans les cas du carbosulfan et du témoin. Les différences ne sont pas significatives. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les conditions de vie des larves (sable humide et d'épaisseur suffisante) n'ont pas incité celles-ci à se déplacer vers la surface où elles auraient trouvé la nourriture contaminée. Les observations montrent que dans la majorité des cas (sauf 2) la nourriture n'a pas été consommée. Les seuls deux cas où la nourriture avait été consommée se sont soldés par la mort des larves.

II.4.3 Discussion

Le chlorpyrifos s'avère plus toxique que le carbosulfan lorsqu'il est en contact direct avec les larves de *S. maroccana*. Les différences observées du taux de mortalité entre les séries peuvent être expliquées par le fait que les larves sur sable humide (série 2) sans possibilité de s'enfouir (épaisseur du sable : 0,5 cm) ont été obligatoirement en contact avec les granulés contenant du chlorpyrifos ou du carbosulfan. Dans les autres cas (sable épais), les larves sont soit remontées à la surface (série 1 ; sable sec) avec consommation ou non de nourriture, soit sont pour la plupart restées enfouies (série 3 ; sable humide), avec mortalité des seules larves étant remontées et ayant consommé de la nourriture contaminée.

De l'ensemble de ces résultats, on peut voir l'intérêt du contact direct de l'insecticide avec le ravageur pour un meilleur résultat et une bonne protection des jeunes plants des chênes-lièges. Le contact direct des larves *S. maroccana* avec les deux insecticides entraîne un pourcentage élevé de mortalité des individus. Des résultats de même nature ont été enregistrés en Israël avec le chlorpyrifos pour contrôler les larves de *Maladera matrida* Argaman (Coleoptera : Scarabaeidae), avec une efficacité de 72 à 97% de larves mortes (Ben-Yakir *et al.*, 1995). Cette espèce cause en effet des dommages importants dans les jardins, aussi bien en Israël qu'en Arabie Saoudite (Anon, 1991).

Le chlorpyrifos a été largement utilisé aussi bien en agriculture qu'en milieu forestier pour contrôler les ravageurs associés aux gazons et plantes ornementales (PMRA, 2003). Au cours des années 1970, les applications agricoles de chlorpyrifos ont été nombreuses, y compris son utilisation sur céréales, maïs, tabac, fruits et légumes écorés. Les préparations se présentent sous forme de concentré émulsionnable, liquide pour application à très bas volume, en granulés ou poudre mouillable (Cluzeau & Paternelle, 2000). Pour le traitement du sol, on utilise des granulés qui libèrent lentement la molécule, dont la demi-vie dans le sol est estimée à 35 jours (Gouzy *et al.*, 2005 ; EPA, 2000). La molécule est classée comme toxique pour les abeilles (Rafalimanana, 2003), elle perturbe la communication sexuelle chez le Trichogramme (Delpuech *et al.*, 1998 a,b) et le comportement de recherche d'hôtes (Rafalimanana *et al.*, 2002).

Au Niger, des études ont montré une réduction importante du nombre d'individus des deux Coléoptères Tenebrionidae (*Pimelia tschadensis* et *Pimelia grandis mixta*) après l'utilisation du chlorpyrifos éthyl (Mamadou *et al.*, 2005).

Dans l'Union Européenne, le chlorpyrifos éthyl est en révision en vue de son inscription à l'annexe I de la directive 91/414/CEE. Au Maroc, selon l'ONSSA (l'Office Nationale de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires), cette substance active est autorisée dans la composition de préparations bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché. Nos résultats montrent que le chlorpyrifos éthyl est efficace sur les larves de *Sphodroxia maroccana*.

Cependant il n'est pas sans risques pour l'environnement, en particulier dans la Mamora, un milieu fragile soumis à des contraintes multiples où la faune entomologique non-cible pourrait souffrir de mauvaises pratiques (Felsot & Lew, 1989 ; Harris, 1972). Parmi les groupes taxonomiques susceptibles d'être atteints, on compte les Coléoptères Tenebrionidae, particulièrement nombreux dans les parcelles de régénération du chêne-liège. Or après un traitement chimique au moment de la plantation, nous avons observé que dans un certain nombre de cas les agents forestiers pouvaient répandre les granulés d'insecticide en surface autour des plants au lieu de les mettre dans le trou de plantation. Or, d'après de Visscher *et al.* (1988), la diminution ou la disparition de certaines espèces de l'entomofaune non-cible (fourmis, coléoptères, termites, etc.) peut affecter les mécanismes de fertilisation des sols ou favoriser l'émergence de nouvelles espèces nuisibles aux cultures qui ne seraient plus contrôlées par leurs ennemis naturels.

II.5 Impacts de la lutte chimique sur la faune non cible

II.5.1 Biologie et importance écologique des espèces-identification des ténébrionides

Les Tenebrionidae ou «darkling beetles» sont des Coléoptères de forme et de taille variables. Ayant colonisé tous les milieux (Faucheux M.J., 2009), on les rencontre sous toutes les latitudes mais c'est sans doute dans les régions désertiques et subdésertiques qu'ils atteignent leur plus grande diversité (Pierre, 1958). Leur diversité, leurs adaptations morphologiques et physiologiques ainsi que leur biologie très variée leur confèrent une place privilégiée parmi

les Coléoptères. Cette famille, qui comprenait environ 15.000 espèces décrites dans les années 1940 (Gebien, 1937-1944), compte actuellement plus de 19.000 espèces décrites actuellement (Aalbu *et al.*, 2002). De nombreux travaux concernent actuellement ce groupe, aussi bien en France (Soldati, 2007) qu'au Maroc où un échantillonnage intensif est mené depuis quelques années (Labrique & Janati-Idrissi, 2011 ; Chenfour *et al.*, 2011).

La famille des Tenebrionidae se divise en trois grandes sous-familles : Tentyriinae, Asidinae, Tenebrioninae. Les deux premières et une grande partie de la troisième (au total près de 7.000 espèces) sont généralement propres aux régions arides, dont elles constituent toujours un élément important du peuplement (Franklin, 1958).

La systématique de ce vaste groupe est très complexe. La classification de Gebien (1937-1944) et des anciens auteurs, utilisée jusque dans les années 80, a été remise en question par des études faisant intervenir non seulement la morphologie des adultes, mais aussi celle de leur larves et de nombreux caractères anatomiques (Watt, 1974 ; Doyen & Tschinkel, 1982 ; Aalbu & Triplehorn, 1985 ; Doyen *et al.*, 1989 ; Labrique, 1999 ; Bouchard *et al.*, 2005 ; Soldati, 2007).

Les adultes, qui sont généralement de couleur noire, certains avec des reflets bleus, présentent une grande variété d'aspects, avec une taille pouvant mesurer de 1 mm jusqu'à 8 cm. Dans le cas des espèces que nous avons collectées en forêt de la Mamora, leur taille était comprise entre 3 mm à 3.5 cm (genre *Blaps*). Beaucoup de ces espèces sont aptères, avec les élytres soudés.

Ces insectes détritivores jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique, particulièrement la litière du sol dans les biotopes semi-arides. Le régime alimentaire des Tenebrionidae, bien qu'assez varié, est avant tout saprophage. Beaucoup d'espèces se nourrissent de débris végétaux au sol. Les régimes carnivores ou nécrophages sont également relativement courants au sein de la famille.

Une des particularités éthologiques la plus importante chez les Tenebrionidae est le fouissement. Les mécanismes de ce comportement sont excessivement complexes et encore mal connus. Les publications qui traitent de ce phénomène chez les coléoptères et leurs larves (Comignan, 1928 ; Chauvin, 1941 ; Paulian, 1942), font apparaître qu'une forme particulière de thigmotactisme semble être à la base de ce comportement. Nos prospections dans la forêt

de la Mamora nous ont permis d'observer ce comportement chez les Tenebrionidae dans de nombreuses situations.

Nous nous sommes intéressés dans ce travail aux espèces de Tenebrionidae en raison de leur abondance et de leur variété dans la forêt de la Mamora où ils constituent un élément prépondérant et caractéristique de l'entomofaune. Représentant le septième de la faune des coléoptères du Maroc (Kocher, 1958), les Tenebrionidae comprendraient d'après Labrique (2012) 865 taxons au Maroc, dont 66% d'endémiques (575 taxons), 99 d'entre eux appartiennent à des genres ou sous-genres strictement endémiques du Maroc, ce qui en fait toute la richesse sur le plan faunistique et scientifique. C'est cette faune qui est souvent affectée localement par des traitements chimiques non intentionnels, d'où notre étude pour essayer d'évaluer d'une manière plus précise sa sensibilité aux insecticides utilisés.

II.5.2 Fréquence des Ténébrionides capturés en 2008-2009 dans différentes parcelles de la Mamora

Pendant plusieurs mois après le traitement à la plantation des jeunes-plants de chênes-lièges, en particulier lorsque les granulés contenant de l'insecticide étaient disposés à tort en surface de manière à constituer une barrière de protection autour des plants (alors que le risque étant souterrain), on a pu constater une mortalité accrue des ténébrionides dans les parcelles traitées, les granulés agissant par simple contact (figure 59).

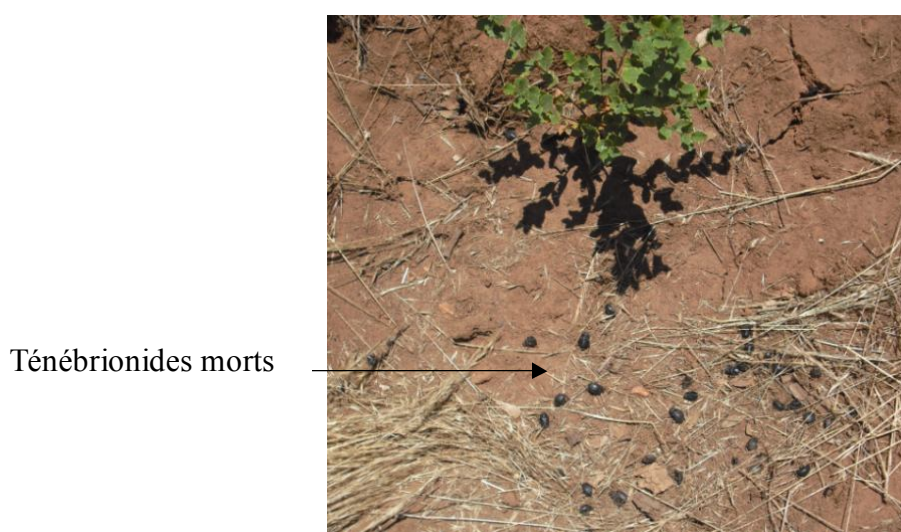


Figure 59. Ténébrionides morts à proximité d'un plant du chêne-liège après traitement en surface

L'objectif de notre étude est d'évaluer les effets non intentionnels du traitement chimique contre *Sphodroxia maroccana*, en particulier sur les Tenebrionidae dans les différentes parcelles de régénération du chêne-liège.

II.5.2.1 Matériels et méthodes

La densité relative des Ténébrionidés a été évaluée en disposant, dans des parcelles différant par l'ancienneté du traitement chimique et les modalités de plantation, des pièges d'interception enterrés au niveau du sol (pièges sans appât de type Barber, appelés aussi pièges à fosse ou pitfall traps) (figure 60).

Les pièges ont été laissés en place entre août 2008 et mai 2009 et relevés chaque 20 jours environ en pleine saison d'activité (mais après 7 à 10 jours au début de l'expérimentation et un rythme moindre en hiver).



Figure 60. Piège (pitfall trap) en place pour la capture des Ténébrionides

Dans chaque parcelle, 10 pièges distants de 10 mètres l'un de l'autre ont été installés et contrôlés régulièrement (figure 61). Les cas de déplacement ou de la destruction des pièges sont malheureusement assez fréquents dans la forêt de la Mamora et dans deux parcelles nos résultats sont partiels du fait d'une destruction partielle du dispositif mis en place (parcelles AI-6 et AIII-6).

Les pièges ont été installés dans 10 parcelles situées au nord du canton A où les risques d'attaque par les vers blancs étaient les plus élevés et les traitements par insecticides les plus fréquents (tableau 25).

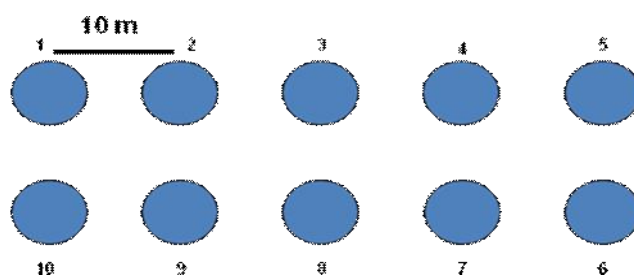


Figure 61. Schéma du dispositif expérimental : disposition des 10 pièges Barber dans chacune des stations

Tableau 25. Superficie des parcelles étudiées dans le canton A, période de traitement (la campagne d’hiver de plantation est toujours à cheval sur deux années civiles) et modalités de plantation.

Numéro des parcelles	Modalités de plantation	Superficie (ha)	Année de traitement
AI-4	Plantation sous chênes-lièges âgés ; non labourée	30	2000-2001
AI-5	labourée complètement ; aucun arbre âgé	50	2005-2006
AI-6	labourée complètement ; aucun arbre âgé (destruction des pièges en janvier 2009)	73	2003-2004
AI-7	Plantation sous chênes-lièges âgés, alternance avec bandes non labourées	53	2007-2008
AI-8	labourée complètement ; aucun arbre âgé	80	2007-2008
AII-3	labourée complètement ; aucun arbre âgé	135	2004-2005
AII-4	Plantation sous chênes-lièges âgés, labourée	50	2006-2007
AII-5	labourée complètement ; aucun arbre âgé	73	2003-2004
AIII-4	Plantation sous chênes-lièges âgés, alternance avec bandes non labourées	137	2007-2008
AIII-6	Plantation sous chênes-lièges âgés, labourée (destruction des pièges en octobre 2008 et février 2009)	83	2005-2006

Après collecte des insectes, ceux-ci sont triés, identifiés et décomptés. Toutes les identifications des insectes collectés ont été réalisées ou vérifiées par le Dr. Harold Labrique (Muséum d'Histoire Naturelle de Lyon), spécialiste des Ténébrionidés marocains.

Le piégeage des Tenebrionidae permet d'étudier leur abondance au niveau de chaque station, suivre l'évolution mensuelle de leurs effectifs, comparer les stations entre elles, collecter du matériel vivant pour des expérimentations ultérieures au laboratoire. Dans ce cas les individus conservés ont été immédiatement mis en élevage au laboratoire, nourris de pain et de pomme de terre.

II.5.2.2 Résultats

A. Liste des espèces de Tenebrionidae

Notre échantillonnage a permis d'identifier 18 espèces de Tenebrionidae actives au sol dans la forêt de la Mamora. Il s'agit de :

- *Pachychila (Hegeteromorpha) obtusecostata trisulcata* Antoine.
- *Pachychila (Pachychila) foveipennis* Kraatz (s.str)
- *Pachychila (Pachychila) plasoni* Haag (s.str)
- *Pachychila (Pachychila) punctata mamorensis* Antoine.
- *Pimelia (Pimelia) crenata* Fabricius
- *Pimelia (Amblyptera) fornicata subris* Koch
- *Pimelia (Pimelia) platynota* Fairmaire
- *Pimelia (s.str) oblonga* Sénac
- *Pimelia (s.str) crenata gracilenta* Fairmaire
- *Zophosis (Septentriophosis) minuta* Fabricius
- *Arthrodeis (Arthrodeis) glomeratus* Fairmaire
- *Blaps pinguis* Allard
- *Blaps inflata ovipennis* Seidlitz
- *Erodius (Dirosis) granipennis* Fairmaire (sensu lato)
- *Akis tingitana tingitana* Lucas
- *Scaurus gigas* Waltl
- *Morica favieri* Lucas
- *Ecphoroma hemisphaerica* Solier

B. Fréquence des *Tenebrionidae* capturés dans les différentes parcelles

Après neuf mois de piégeage, 5512 individus appartenant à ces 18 espèces ont été capturés dans les 10 parcelles inventoriées (tableau 26). En août, moment où nous avons commencé nos piégeages, l'abondance des *Tenebrionidae* était élevée, et le nombre d'individus capturés n'a pas faibli jusqu'à mi-octobre. A partir de là le nombre d'individus actifs chute considérablement et aucun individu n'est actif jusqu'au début de l'année suivante. Cette période correspond à la saison hivernale. Ce n'est qu'à partir de mars que les ténébrionides reprennent leur activité, qui se poursuit pendant l'été et l'automne.

Tableau 26. Capture des *Tenebrionidae* dans les différentes parcelles du canton A entre août 2008 et mai 2009. Les données manquantes (pièges détruits) ont été identifiées par un tiret (-).

Parcelles	Année 2008							Année 2009					Total
	12/08	22/08	29/08	19/09	10/10	31/10	19/11	31/12	28/01	04/03	25/03	28/04	effectifs
AI-4	45	4	13	20	2	0	0	0	8	32	41	96	261
AI-5	109	119	128	244	23	0	0	0	50	96	0	0	769
AI-6	75	17	91	48	43	0	0	-	-	-	-	-	274
AI-7	60	11	54	21	4	0	0	0	25	94	0	0	269
AI-8	22	21	28	48	1	0	0	0	0	1	0	0	121
AII-3	90	55	323	457	2	0	0	0	30	56	98	310	1421
AII-4	64	49	48	99	2	0	0	0	30	154	156	263	865
AII-5	67	49	149	193	3	0	0	0	92	191	433	0	1177
AIII-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	42	64
AIII-6	0	0	24	7	-	-	-	-	-	163	97	0	291
Total	532	325	858	1137	80	0	0	0	235	787	847	711	5512

0 : tous les pièges en place, mais pas d'individus capturés

- : tous les pièges détruits

La comparaison des captures entre les différentes parcelles a été faite en scindant les données par année civile (2008 et 2009) de manière à ce que les données manquantes à la suite de la destruction des pièges n'interfèrent pas dans l'interprétation des résultats (figures 62 et 63).

L'analyse des résultats montre des différences importantes entre les parcelles, dues à plusieurs paramètres, en particulier les modalités de replantation des jeunes chênes lièges et la date du traitement initial par les insecticides. Le labour complet de grandes parcelles, conduisant à éliminer la végétation en place afin de replanter des jeunes arbres, en rendant le sol meuble et mobile (sable), avec des conditions microclimatiques de type semi-aride à aride, paraît le plus favorable aux Ténébrionidés (cas en particulier des parcelles AI-5, AII-3, AII-5).

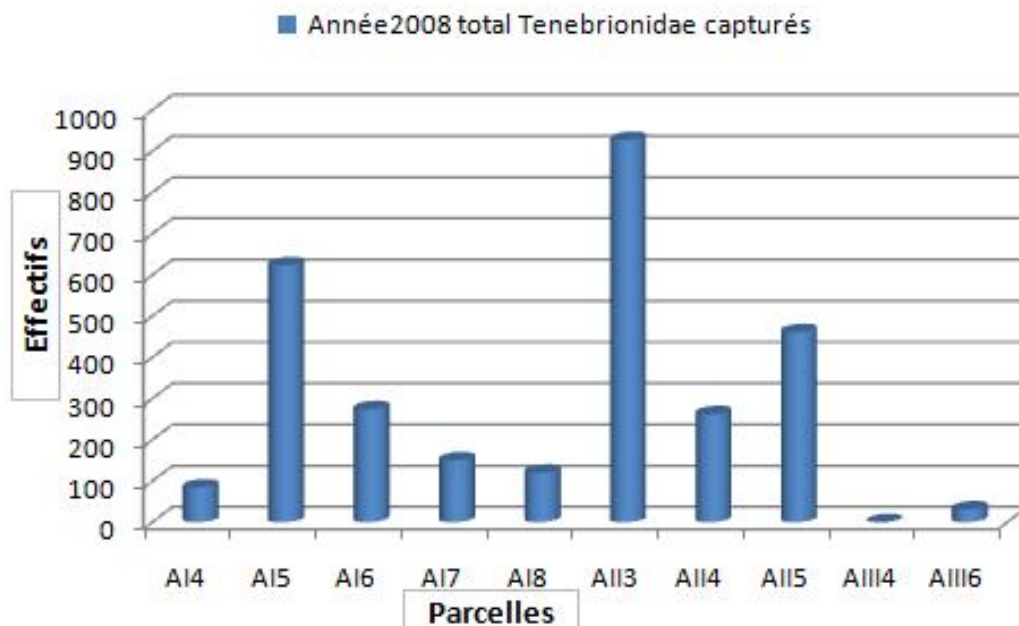


Figure 62. Effectifs des Ténébrionidés capturés en 2008 dans les différentes parcelles

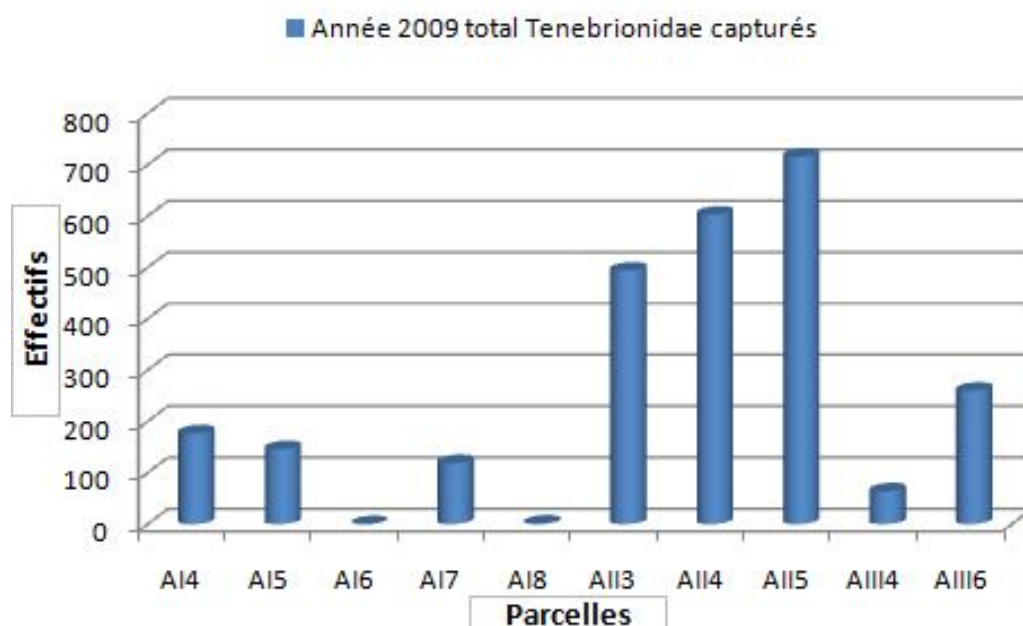


Figure 63. Effectifs des Ténébrionidés capturés en 2009 dans les différentes parcelles

Cependant, un épandage récent d'insecticide sous forme de granulés (quelques mois avant la période d'échantillonnage) dans une parcelle aux conditions potentiellement très favorables (labour total) peut conduire à une baisse importante des populations de Ténébrionides (cas de la parcelle AI-8). Dans le cas particulier de la parcelle AI-6, l'absence de captures en 2009 est due à la destruction du dispositif de piégeage.

Les parcelles replantées en jeunes chênes-lièges sous (ou à proximité) des chênes-lièges adultes, sont moins favorables aux Ténébrionides, sans doute parce que les conditions microclimatiques et édaphiques sont moins favorables. Il s'agit essentiellement d'opérations de regarnissage destinées à augmenter à terme la densité en chênes-lièges de la parcelle. Plusieurs cas se présentent : pas de labour lors du regarnissage (parcelle AI-4) ; regarnissage selon une alternance de bandes plantées et de bandes laissées en place avec la végétation d'origine (parcelles AI-7 et AIII-4) ; regarnissage avec labour total entre les arbres âgés (parcelles AII-4 et AIII-6). Les parcelles regarnies avec labour total sont intéressantes car

leurs effectifs en Ténébrionides se rapprochent de ceux observés dans les parcelles totalement labourées, et sans arbres âgés. C'est le cas en particulier de la parcelle AII-4, regarnie pendant l'hiver 2007-2008, dont les effectifs montent en puissance entre l'été 2008 et le printemps 2009, du fait des travaux du sol lors des plantations qui ont rendu le sol meuble, avec le sable localement plus mobile.

Les parcelles avec regarni selon des bandes alternées pourraient paraître peu favorables aux Ténébrionides, mais en fait c'est le traitement par insecticides au cours des semaines précédentes qui a affecté leurs populations, avec de très nombreux individus morts observés au sol (figure 59). L'absence totale d'insectes dans les pièges de la parcelle AIII-4 n'est pas due à la destruction des pièges, mais à une absence de Ténébrionides actifs au cours du premier printemps qui a suivi le traitement (tableau 26 et figure 62).

Enfin, dans le cas d'un regarnissage avec labour total entre les arbres âgés (parcelles AII-4 et AIII-6), on retrouve des conditions d'autant plus favorables que le traitement contre les vers blancs est ancien. Le petit nombre d'insectes collectés dans AIII-6 en été 2008 est dû à la destruction des pièges (figure 62). D'ailleurs au cours du printemps 2009, les effectifs dans les deux parcelles concernées redeviennent importants, proches des conditions les plus favorables (labour total, sol nu).

Les parcelles traitées le plus récemment (hiver 2007-2008) présentent toutes les mêmes caractéristiques : effectifs faibles, alors que les modalités de plantation sont différentes. La parcelle AI8, où les conditions écologiques sont optimales, a un peuplement en Ténébrionides pauvre en individus.

Lorsque le traitement des parcelles est plus ancien, l'effet du pesticide s'atténue et ce sont plus les conditions écologiques de la parcelle qui prévalent, celles au sable vif et totalement ensoleillées (pas d'arbres âgés) étant plus favorables. On retrouve là les conditions analogues à celles décrites par Pierre (1958) pour les Ténébrionides des sables vifs du Sahara nord-occidental.

II.5.2.3 Conclusion

Notre étude sur la distribution des Ténébrionides en forêt de la Mamora a montré le caractère non spécifique des pesticides (carbosulfan et chlorpyrifos-éthyl) utilisés contre les larves de *Sphodroxia maroccana*. L'utilisation hazardeuse de ces produits (pulvérisation autour des plants) risque de tuer d'autres organismes, comme les Ténébrionides qui sont l'une des composantes fondamentales de l'entomofaune de cette forêt. Leur diversité, leur nombre, en font l'un des groupes-clés pour le recyclage de la litière dans ces milieux sablonneux au microclimat très contraignant.

Ces effets environnementaux importants nous ont amenés à nous interroger sur les effets-doses de ces molécules, en menant une étude écotoxicologique sur les deux espèces de Ténébrionides les plus abondantes en Mamora.

II.6 Evaluation de l'effet du Carbosulfan sur deux espèces de Ténébrionides

II.6.1 Introduction

Il s'agit d'évaluer le taux de mortalité des insectes au bout de 96 heures et 168 heures après l'ingestion de la molécule. L'analyse de l'effet-dose sur le taux de mortalité de différents lots de Ténébrionides permet de déterminer la DL50 (dose létale qui induit 50 % de mortalité). Cette expérimentation a été conduite dans la même logique que pour l'étude de la toxicité du carbosulfan sur les larves de *Sphodroxia*. Les résultats obtenus viennent en appui des résultats de l'échantillonnage que nous avons effectué sur le terrain après traitement des parcelles lors de la plantation des jeunes chênes-lièges (voir précédemment).

II.6.2 Matériels et méthodes

Les insectes ont été collectés selon deux modalités complémentaires : chasse à vue au sol et sous différents abris susceptibles de les abriter (végétation, écorces, etc.) ; piégeage à l'aide de pièges (pitfalls traps) disposés dans des parcelles où les traitements étaient anciens, antérieurs à l'année 2005 (figure 60).

Compte tenu de la diversité des espèces présentes en Mamora, de leur abondance très variable (par exemple plusieurs centaines d'individus de *Pimelia platynota* Fairmaire) et (*Pachychila obtusecostata trisulcata* Antoine), contre quelques individus pour d'autres espèces comme *Blaps pinguis* Allard ou *Akis tingitana tingitana* Lucas), nous avons choisi de travailler sur des espèces abondantes (représentatives du fond du peuplement entomologique et de manière à disposer facilement de nombreux individus pour les tests écotoxicologiques qui nécessitent de nombreux réplicats) et de tailles différentes pour vérifier si on pouvait mettre en évidence un effet dose-taille.

Pour ces deux raisons, notre choix s'est porté sur *Pimelia platynota* Fairmaire et *Pachychila obtusecostata* Antoine (figures 64a,b). La capture de ces espèces sur le terrain a débuté dès le début de l'activité des insectes et les expérimentations au laboratoire ont été conduites en avril 2011.

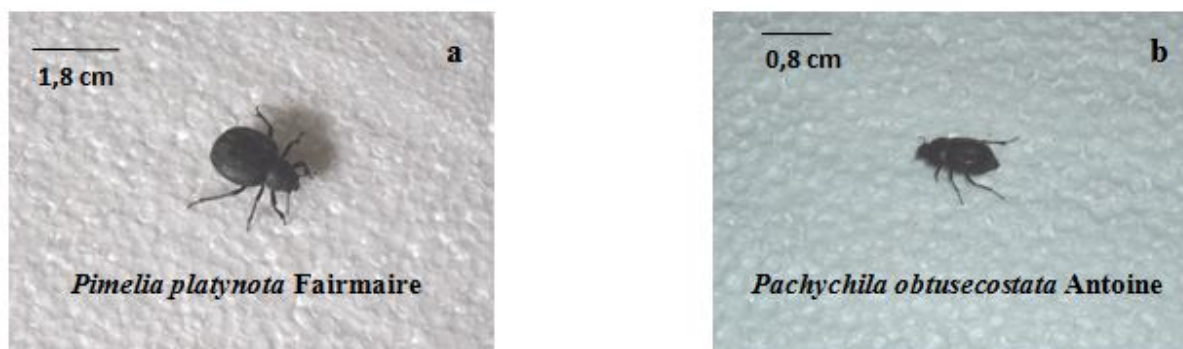


Figure 64. *Pimelia platynota* Fairmaire (a) ; *Pachychila obtusecostata* Antoine (b)

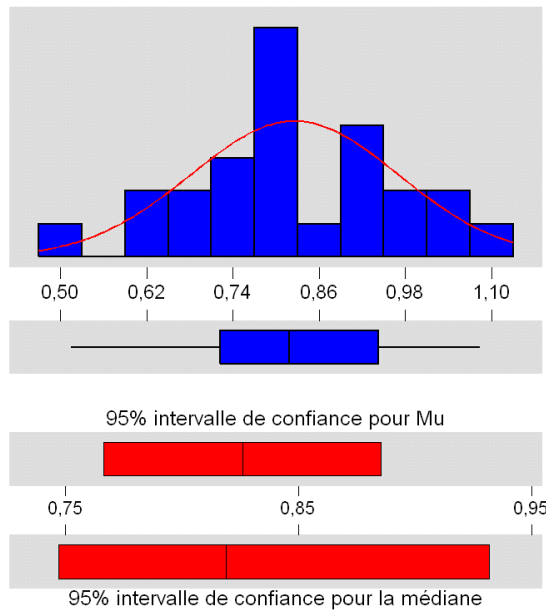
II.6.2.1 Dispositif expérimental

A. Mode opératoire

Les tests ont été effectués dans des boîtes de Pétri à usage unique de 90 mm de diamètre. Avant d'introduire individuellement les insectes, on a disposé au fond de chaque boîte 0,10 g de mie de pain comme source de nourriture, à laquelle a été ajoutée à l'aide d'une micropipette une quantité connue de carbosulfan en solution dans l'acétone (C_3H_6O). Les boîtes de Pétri ont été ensuite laissées sans couvercle pendant 12 heures afin que la totalité du solvant soit évaporée. A l'issue de ce délai, 20 μ l d'eau ont été ensuite rajoutés à la nourriture de manière à l'hydrater, avant l'introduction des insectes. Auparavant chaque individu (vivant) avait été pesé à l'aide d'une balance Sartorius type CPA 124 (précision $d=0,1$ mg) et, de manière à ce que les lots des individus testés soient homogènes, un test de normalité d'Anderson-Darling a été effectué sur le poids des individus de chaque lot constitué, en utilisant le logiciel statistique Minitab® Version 13. Pour une espèce donnée, tous les lots ont été ensuite comparés les uns avec les autres en utilisant un t-test. Les résultats de ces tests montrent que tous les lots étaient uniformes dans la distribution du poids des insectes, sans différence significative entre les lots pour une même espèce (Figures 65 et 66).

Le poids moyen de *Pimelia platynota* est de $0,824 \pm 0,143$ g. Nous avons utilisé 30 individus pour chaque dose de carbosulfan. Il s'agit de l'espèce que nous qualifierons de « grande ». Le poids moyen de *Pachychila obtusecostata* est de $0,089 \pm 0,014$ g. Nous avons utilisé 27 individus pour chaque dose de carbosulfan. Il s'agit de l'espèce que nous qualifierons de « petite ».

Statistiques descriptives



Variable : Poids (g)_2

Test de normalité de Anderson-Darling

A-Carré 0,201
Valeur de P 0,868

Moyenne 0,826000
Ecart-type 0,144232
Variance 0,020803
Asymétrie -1,5E-01
Aplatissement -4,7E-01
N 25

Minimum 0,51500
1er quartile 0,72250
Médiane 0,81900
3ème quartile 0,94250
Maximum 1,08400

95% intervalle de confiance pour Mu

0,76646 0,88554

95% intervalle de confiance pour Sigma

0,11262 0,20065

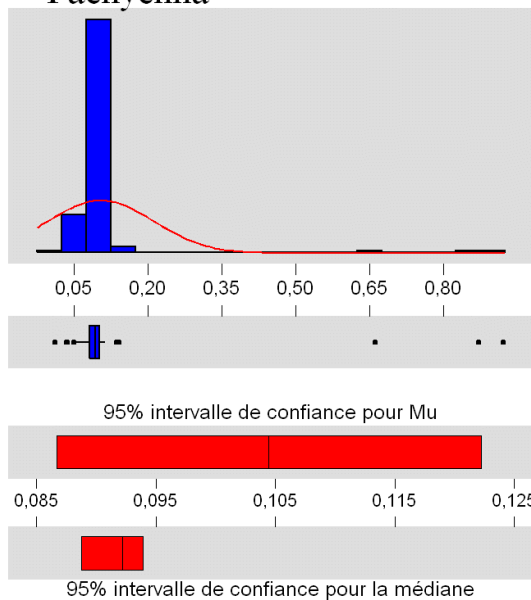
95% intervalle de confiance pour la médiane

0,74694 0,93202

Figure 65. Test de normalité d'Anderson-Darling pour les lots expérimentaux de *Pimelia platynota*

Statistiques descriptives

Pachychila



Poids (g)

Totalité des individus testés,
solvant et témoin

Test de normalité de Anderson-Darling

A-Carré 36,478
Valeur de P 0,000

Moyenne 0,104464
Ecart-type 0,107675
Variance 1,16E-02
Asymétrie 6,69759
Aplatissement 45,7270
N 143

Minimum 0,010400
1er quartile 0,080300
Médiane 0,092200
3ème quartile 0,100700
Maximum 0,923000

95% intervalle de confiance pour Mu

0,086664 0,122263

95% intervalle de confiance pour Sigma

0,096476 0,121840

95% intervalle de confiance pour la médiane

0,088731 0,093900

Figure 66. Test de normalité d'Anderson-Darling pour les lots expérimentaux de *Pachychila obtusecostata*

B. Préparation des solutions de carbosulfan

La solution mère (C_1) a été préparée à partir de 250 mg de Carbosulfan PESTANAL® ($C_{20}H_{32}N_2O_3S$, $M=380,54$ g/Mol, Lot 5137X) (94,4 % de pureté), dilué dans 50 ml d'acétone (Rectapur pour analyses).

Avant d'effectuer les tests définitifs avec des groupes d'une trentaine d'insectes pour chaque valeur de concentration de carbosulfan, nous avons auparavant déterminé la gamme de doses à tester grâce à une expérience préliminaire (pré-test) réalisée avec les 5 doses suivantes, les valeurs étant choisies en prenant en compte des résultats obtenus avec les larves de *Sphodroxia maroccana*) : 0,047 μ g ; 0,95 μ g ; 1,89 μ g ; 2,83 μ g et 4,72 μ g pour 10 μ l de solution d'acétone. Un à deux individus pour chacune des espèces de Ténébrionidés ont été utilisés dans ce pré-test, de manière à noter pour chaque concentration leur réaction (mort, choc physiologique ou pas d'effet), pour cibler ensuite une gamme de doses allant de "sans effet" à "mort".

Une gamme de 9 doses de carbosulfan a été retenue pour le test final (ou définitive-test) : 47,2 μ g ; 14,16 μ g ; 4,72 μ g ; 4,25 μ g ; 3,77 μ g ; 2,36 μ g ; 1,42 μ g, 0,47 μ g et 0,047 μ g, la dose étant rajoutée à 0,10 g de nourriture.

Deux séries témoins ont été également constituées, l'une où la nourriture fournie aux insectes était simplement hydratée avec de l'eau distillée (10 μ l d'eau), l'autre, appelée "control solvant", où 10 μ l d'acétone (sans carbosulfan) étaient simplement rajoutés à la nourriture, puis laissée évaporer 12 heures comme pour les autres séries du test définitif. Les vérifications des effets du carbosulfan (choc, paralysie, mort) sur chacun des individus des deux espèces ont été effectuées après 96h (4 jours) et 168h (7 jours) pour chaque dose.

II.6.2.2 Analyses statistiques

De manière à ce que l'on compare exactement entre eux les effets des quantités réellement absorbées, seuls les individus ayant intégralement consommé toute la nourriture fournie contenant une dose connue du carbosulfan ont été retenus. Les individus qui avaient refusé de manger (ou avaient seulement partiellement consommé la nourriture) ont été exclus des analyses statistiques.

Ces analyses ont été exécutées en utilisant un logiciel spécialement conçu et développé pour analyser les résultats des expérimentations écotoxicologiques (Lumaret *et al.*, 2007 ; Römcke *et al.*, 2007). Il s'agit du logiciel ToxRat ® Professional, version 2.10.05. Les résultats ont été exprimés avec un niveau de confiance de 95 %. La méthode utilisée utilise le modèle d'analyse proposé par (Finney, 1971). Le logiciel permet de calculer les doses létales à 10, 20 et 50 % (DL50 : dose létale qui induit 50% de mortalité), avec un calcul des courbes de régression linéaire. La mortalité obtenue en fonction de la dose du pesticide testé est représentée graphiquement avec une échelle logarithmique pour les abscisses et une échelle probit pour les ordonnées. La toxicité peut être quantifiée par deux autres valeurs, la LOEC, qui est la dose ou concentration la plus basse pour laquelle on observe un effet significatif, et la NOEC, qui est la dose ou concentration pour laquelle on n'observe pas encore d'effet significatif.

II.6.3 Résultats

II.6.3.1 Taux de mortalité à 96 heures

Les deux espèces de Ténébrionidés présentent des symptômes d'empoisonnement après ingestion de carbosulfan, le taux de mortalité des individus variant selon les doses absorbées (tableaux 27 et 28).

Chez *Pimelia platynota*, la dose la plus faible (0,047 µg) ne paraît pas avoir d'effet sensible (tableau 27). Les individus restent actifs, tout comme ceux des deux témoins. Les premiers symptômes se terminant par la mort de quelques individus apparaissent à une dose 10 fois plus élevée (0,47 µg). On dépasse 50% de mortalité avec l'absorption de 4,72 µg de carbosulfan, avec une mortalité de tous les individus à 14,16 µg.

Si l'on compare ces résultats à ceux obtenus précédemment avec les larves de *Sphodroxia*, on constate que la sensibilité de *Pimelia* envers le carbosulfan est du même ordre de grandeur que pour les grosses larves (GL) de *S. maroccana*, au moins pour les doses les plus faibles (tableau 20). Avec l'absorption de 3,77 µg de carbosulfan, la mortalité de *P. platynota* est de 30%, contre 22,7 % pour les grosses larves de *S.m.* ; avec 4,72 µg, la mortalité de *P. platynota* est de 53,3%, contre 63,6 % pour *S.m.* Par contre la mortalité est totale pour *P. platynota* avec seulement 14,16 µg de carbosulfan, alors que ce même résultat n'est atteint pour les grosses larves de *S.m.* qu'avec l'ingestion de 47,2 µg de carbosulfan.

Tableau 27. Mortalité (%) à 96 heures de *Pimelia platynota* en fonction de la quantité de carbosulfan ingérée (µg).

Carbosulfan absorbé (µg)		Nombre d'individus testés	Nombre de survivants	Nombre individus morts	Taux de mortalité (%)
TEST CONCENTRATION	Témoin eau	30	30	0	0
	Témoin solvant	30	30	0	0
	0,047	30	30	0	0
	0,47	30	28	2	6,67
	1,42	30	27	3	10
	2,36	30	27	3	10
	3,77	30	21	9	30
	4,25	30	16	14	46,67
	4,72	30	14	16	53,34
	14,16	30	0	30	100
	47,2	30	0	30	100

Tout comme pour *Pimelia platynota*, la dose la plus faible (0,047 µg) ne paraît pas avoir d'effet sensible sur *Pachychila obtusecostata*. Le taux de mortalité à 96 heures dépasse 50% avec l'absorption de 4,25 µg de carbosulfan, pour atteindre 100% avec l'ingestion de 14,16 µg de carbosulfan (tableau 28).

Pachychila obtusecostata est moins sensible que les petites larves (PL) de *S. maroccana* aux plus faibles doses ingérées. Ainsi, avec 3,77 µg de carbosulfan, la mortalité de *P. obtusecostata* n'est que de 44,45 % de mortalité, contre 80 % pour *S.m.* Par contre aux doses plus élevées, *P. obtusecostata* paraît moins résistant, avec une mortalité de tous les individus avec l'absorption de 14,16 µg de carbosulfan, la mortalité totale des petites larves n'intervenant qu'avec 47,2 µg de carbosulfan (tableau 19).

Tableau 28. Mortalité (%) à 96 heures de *Pachychila obtusecostata* en fonction de la quantité de carbosulfan ingérée (µg)

Carbosulfan absorbé (µg)		Nombre d'individus testés	Nombre de survivants	Nombre individus morts	Taux de mortalité (%)
TEST CONCENTRATION	Témoin eau	27	27	0	0
	Témoin solvant	27	27	0	0
	0,047	27	27	0	0
	0,47	27	25	2	7,41
	1,42	27	23	4	14,81
	2,36	27	21	6	22,23
	3,77	27	15	12	44,45
	4,25	27	12	15	55,56
	4,72	27	5	22	81,48
	14,16	27	0	27	100
	47,2	27	0	27	100

II.6.3.2 Calcul de la dose létale DL50 à 96 heures et 168 heures

Le suivi de la mortalité des deux espèces de Ténébrionidés s'est poursuivi jusqu'à 168 heures. Chez les deux espèces, les premiers symptômes apparaissent immédiatement après la consommation de la nourriture toxique. Les insectes trouvent des difficultés à se déplacer, observation des troubles de la locomotion, avec des phases d'hyperexcitation et des crises convulsives, jusqu'à la paralysie complète des individus et leur mort. Cette séquence comportementale observée chez *Pimelia* et *Pachychila* correspond à celle que nous avons déjà observée pour les larves de *S. maroccana* (figure 67).

Les valeurs de DL50 après 96 heures sont significativement différentes entre les deux Ténébrionides. Le tableau 29 rassemble ces valeurs, comparées avec celles calculées pour les GL et les PL de *S. maroccana*.

Pimelia platynota a les mêmes valeurs de NOEC que les grosses larves de *S.maroccana*, tandis que la DL50 est plus forte pour ces larves par rapport à *P. platynota*. C'est l'inverse

que l'on constate pour *Pachychila obtusecostata* par rapport aux petites larves (PL) de *S.maroccana*, mais avec une même valeur de LOEC (1,420 µg de carbosulfan ingéré ; réaction après 96 heures).

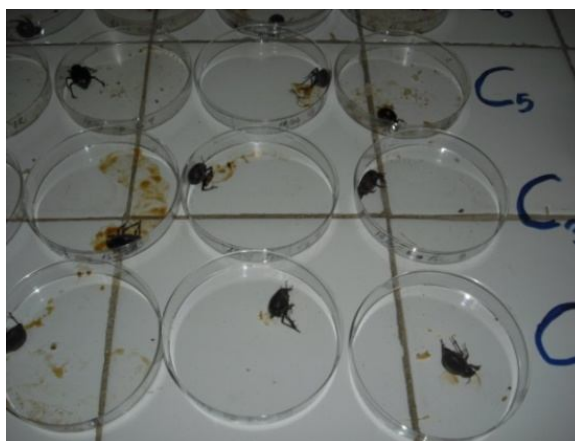


Figure 67. Effets du carbosulfan sur *Pimelia platynota* : paralysie, suivie de mort

Tableau 29. Doses létales DL50 à 96 heures post-ingestion de carbosulfan (PESTANAL 94,4%) et valeurs de la NOEC et de la LOEC pour *Pachychila obtusecostata* et *Pimelia platynota* en comparaison avec les valeurs calculées pour les larves de *Sphodroxia maroccana*

Espèces	DL50 (µg)	I.C 95 % valeurs inférieures	I.C. 95 % valeurs supérieures	NOEC (µg) (95 %)	LOEC (µg) (95 %)
<i>Pachychila obtusecostata</i>	3,301	2,222	4,847	0,470	1,420
<i>Pimelia platynota</i>	4,527	2,715	9,611	2,360	3,770
<i>Sphodroxia maroccana</i> (petites larves)	1,246	0,532	2,440	0,095	1,420
<i>Sphodroxia maroccana</i> (grosses larves)	5.844	n.d.	n.d.	2,360	3,770

I.C. 95 % : Intervalle de confiance à 95 % ; n.d: non déterminé.

Après 168 heures post-ingestion, les valeurs de ces paramètres ont été modifiées par rapport à ce qui a été calculé pour 96 heures, dues à une mortalité différée des Ténébrionides (Tableau 30). Ce phénomène avait déjà été relevé dans le cas des larves de *S. maroccana*. Pour les Ténébrionides, les valeurs de DL50 sont plus faibles qu'après 96 heures, tandis que les valeurs de NOEC et LOEC demeurent inchangées pour *Pachychila obtusecostata*, contrairement à *Pimelia platynota* où les valeurs de NOEC et LOEC ont diminué pour se stabiliser aux valeurs calculées pour *Pachychila*.

Tableau 30. Doses létales DL50 à 168 heures post-ingestion de carbosulfan (PESTANAL 94,4%) et valeurs de la NOEC et de la LOEC pour *Pachychila obtusecostata* et *Pimelia platynota* en comparaison avec les valeurs calculées pour les larves de *Sphodroxia maroccana*

Espèces	DL50 (µg)	I.C 95 % valeurs inférieures	I.C. 95 % valeurs supérieures	NOEC (µg) (95 %)	LOEC (µg) (95 %)
<i>Pachychila obtusecostata</i>	2,855	1,929	3,971	0,470	1,420
<i>Pimelia platynota</i> Fairmaire	3,967	2,480	6,815	0,470	1,420
<i>Sphodroxia maroccana</i> (petites larves)	0,784	0,354	1,392	0,095	1,420
<i>Sphodroxia maroccana</i> (grosses larves)	2,876	n.d.	n.d.	2,360	3,770

I.C. 95 % : Intervalle de confiance à 95 % ; n.d. : non déterminé.

Nos résultats montrent que les Ténébrionides testés sont sensibles au carbosulfan à des doses souvent inférieures à celles trouvées pour *S. m.* Les figures 68 et 69 donnent les courbes des résultats des doses-réponses de *Pachychila obtusecostata* et *Pimelia platynota* au carbosulfan au bout de 96 heures et 168 heures post-ingestion. La DL50 après 96 heures est respectivement de 3,301 et 4,527 µg de carbosulfan/ individu pour *P. obtusecostata* et *P. platynota*.

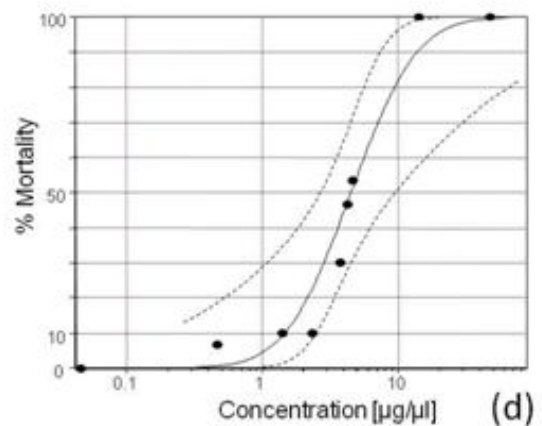
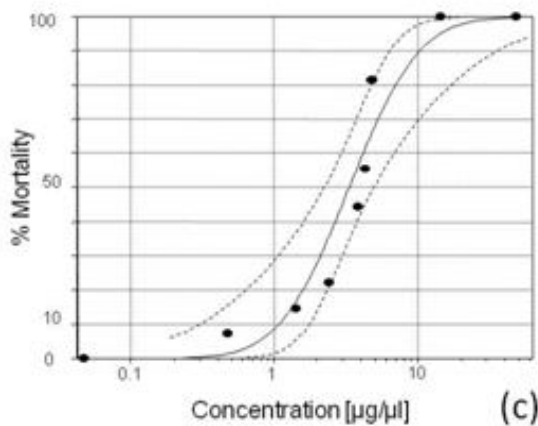


Figure 68. Dose-réponse avec limites de confiance à 95% basée sur la mortalité après 96 heures de *Pachychila obtusecostata* (c) et *Pimelia platynota* (d)

● Données; ——— Fonction; - - - - limites de confiance à 95%

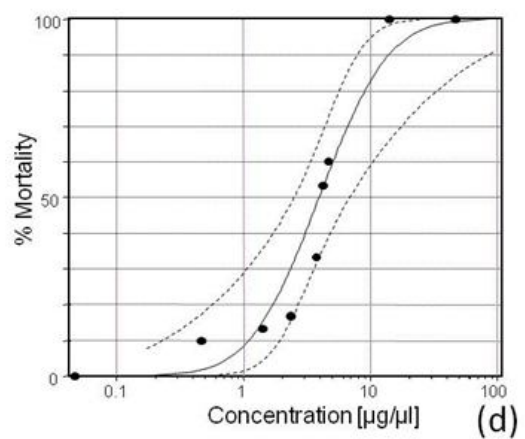
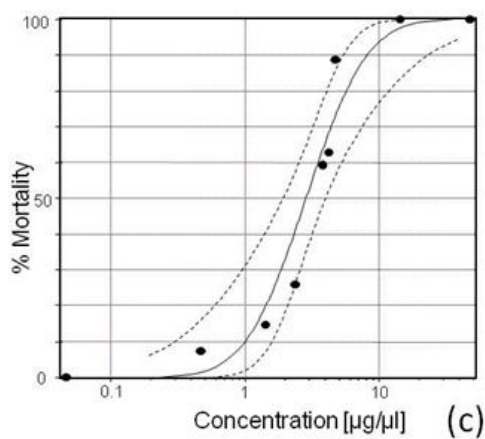


Figure 69. Dose-réponse avec limites de confiance à 95% basée sur la mortalité après 168 heures de *Pachychila obtusecostata* (c) et *Pimelia platynota* (d)

● Données; ——— Fonction; - - - - limites de confiance à 95%

II.6.4 Discussion et conclusion

Notre étude montre la toxicité importante du carbosulfan sur *Pimelia platynota* et *Pachychila obtusecostata*. Si l'on croise ces données chiffrées avec nos observations sur la mortalité des Ténébrionidés après les traitements des jeunes plants de chênes-lièges en forêt de la Mamora, on peut considérer qu'il peut y avoir des effets non intentionnels graves si les granulés de pesticides sont répandus sans précautions en surface sur le terrain. Nos résultats confirment ceux obtenus par d'autres auteurs sur les effets négatifs du carbosulfan sur l'abondance des espèces non-cibles. Le carbosulfan affecte par exemple les adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae), pour lesquels la DL50 à 95 % est de 8,1755 µg / cm² de substrat (Khalequzzamam *et al.*, 2001). Selon les organismes, la toxicité vis-à-vis du carbosulfan est variable. Par exemple, pour les oiseaux, la dose maximale admissible est de 3,99 mg/ kg de poids corporel/ jour. Le risque lié aux traitements avec carbosulfan n'est pas propre aux Ténébrionidés. Eriksson (2008) a montré en particulier qu'après un traitement antiacridien les populations de Scarabaeidae avaient tendance à diminuer.

L'utilisation des insecticides dans le cadre d'une lutte chimique est le plus souvent préconisée pour assurer la protection des cultures et plantations. Cependant, la façon de les utiliser n'est pas toujours compatible avec les communautés d'organismes qui jouent souvent un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre écologique des écosystèmes.

Le rôle important joué par les Ténébrionidés dans les milieux secs et arides est bien connu. Les risques potentiels pour ces coléoptères avec l'utilisation généralisée et surtout mal contrôlée d'insecticides sont importants. Certains auteurs estiment même que les écosystèmes seraient inopérants sans la présence des insectes (Wiggins *et al.*, 1991) qui peuvent être des indicateurs sensibles de l'intégrité écologique d'un écosystème, du maintien de sa productivité, de sa stabilité ou de sa résilience (New, 1999).

De ce point de vue, cette étude basée sur l'évaluation de l'effet du carbosulfan utilisé dans la forêt de la Mamora est révélateur d'un certain état de fait. Le changement de molécules actives ne pourra avoir des effets moindres que si les agents qui les utilisent sont vraiment conscients des risques qu'ils font courir à cette forêt, déjà très dégradée du fait de multiples agressions de nature anthropique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les subéraies marocaines, comme la plupart des autres forêts dans la région méditerranéenne, sont fragiles et connaissent des perturbations intenses d'ordre écologique et anthropique. Dans la forêt de la Mamora, on assiste à une régression en superficie et en densité avec une perte annuelle considérable en chênes lièges. Face à cette situation, le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification a mis en place un grand programme de réhabilitation de la Mamora prévoyant la plantation assistée de 1500 ha /an du chêne-liège. Des mortalités importantes de jeunes plants ont été cependant constatées dans les parcelles de régénération dues à la fois aux attaques des vers blancs durant les saisons humides et à la sécheresse prolongée de l'été. La mortalité directement imputable aux attaques des larves de *S. maroccana* est comprise entre 24 et 43%, avec une répartition différente selon les mois. Entre 49 et 61% de la mortalité annuelle liée aux vers blancs se concentre sur les mois d'avril et mai selon les parcelles, période où le sol est humide et la température est modérée (Ghaïoule *et al.*, 2007).

Ce travail a été consacré à l'identification des ravageurs, à l'étude bioécologique et des tests de lutte contre la principale espèce. L'élevage en masse des larves au laboratoire et le suivi sur le terrain ont montré que l'espèce *Sphodroxia maroccana* (Ley) 1923, (*Coleoptera*, *Melolonthidae*), est le ravageur qui cause l'essentiel des dégâts dans les parcelles de régénération du chêne-liège. C'est un ravageur endémique de la Mamora (Ghaïoule *et al.*, 2007 ; 2010). La durée de son cycle est en moyenne de trois ans chez les mâles, pouvant aller jusqu'à cinq ans chez les femelles dans les conditions du laboratoire. La totalité du développement larvaire se passe dans le sol où les larves effectuent des mouvements verticaux en fonction de l'humidité. En effet, les vers blancs recherchent une humidité assez élevée du sable, leur permettant une activité exploratoire importante pour la recherche de la nourriture (racines des plants de chênes lièges). Nous avons démontré que les larves se rencontrent préférentiellement à l'interface sol sec-sol humide, ce niveau étant d'autant plus profond que la sécheresse estivale est intense. Les dégâts les plus importants sont enregistrés en fin d'hiver et au printemps du fait d'une pluviosité importante, des dégâts occasionnels pouvant également s'observer en été en cas d'arrosage trop intense.

L'alimentation joue un rôle important dans le comportement et la biologie des Scarabaeidae. Selon Richter (1958), les vers blancs préfèrent des plantes hôtes bien déterminées mais sont capables de se nourrir de n'importe quelle autre plante en leur absence. La polyphagie des larves nous a permis de les élever au laboratoire en leur présentant comme nourriture des tubercules de pomme de terre.

La mesure de la longueur et de la largeur de la capsule céphalique de la population de larves élevées au laboratoire a permis de mettre en évidence un mélange de tailles et de sexes des individus. Les tailles correspondent aux stades de développement des larves, mais la distinction des individus selon leur sexe est difficile morphologiquement. Seules entre les larves du troisième stade on peut dire que les petites larves correspondant à des mâles, et les grosses larves sont des femelles.

Les études de distribution spatiale des vers blancs montrent que les densités larvaires dépendent du climat général dans la Mamora, du gradient ouest-est d'aridité et de la profondeur du plancher argileux des parcelles. Les sols les plus profonds sont situés au nord de la Mamora, c'est ainsi que de fortes densités larvaires ont été relevées dans le nord des cantons B et D, quelle que soit l'année considérée. Ces secteurs sont particulièrement exposés aux risques liés à la présence des vers blancs. Les parties sud de la Mamora pour lesquelles les réserves en eau du sol sont les plus faibles, présentent les densités larvaires les plus faibles même lors d'une année particulièrement pluvieuse.

Les adultes de *S. maroccana* ne s'alimentent pas et émergent à partir du mois de juin jusqu'à mi-septembre. Les mâles volent vers 16 heures locales, avec un pic d'activité au crépuscule. Les femelles sont incapables de voler et restent au sol à la sortie de leur terrier en émettant une phéromone sexuelle. Les femelles "appelantes" le premier jour de leur découverte sur le terrain ne le sont plus le lendemain, et qu'une femelle vierge récemment émergée est particulièrement attractive. Il a été constaté que potentiellement une femelle peut attirer plusieurs dizaines de mâles, mais en réalité seuls quelques-uns peuvent s'accoupler avec elle. L'émission de la phéromone cessant à ce moment-là. L'influence du vent au moment de l'appel est déterminante. Nous avons observé qu'un vent assez fort gênait le vol des mâles mais surtout dispersait très vite la phéromone sexuelle, empêchant les mâles de détecter la position de la femelle. Il n'est pas exclu non plus que les émissions de phéromone d'appel cessent également en cas de vitesse de vent élevée.

Les femelles prélevées sur le terrain ont une fécondité élevée (entre 60 et 122 œufs ; $82 \pm 16,2$ œufs en moyenne) par rapport aux femelles issues de larves élevées au laboratoire (entre 10 et 72 œufs par femelle, avec une moyenne de $54 \pm 16,50$ œufs). La ponte, échelonnée sur plusieurs jours, intervient moins de trois jours après les premiers accouplements. La longévité des adultes est de 12 à 14 jours chez les mâles et de 15 à 18 jours chez les femelles. Les variations de la température et de l'hygrométrie jouent un rôle prépondérant dans la détermination de la durée du développement embryonnaire et post embryonnaire chez *S.maroccana*.

En matière de lutte, les tentatives d'isolement de la phéromone par les fibres SPME (Solid Phase Micro Extraction) ont permis de mettre en évidence l'octanal. C'est un aldéhyde qu'on retrouve aussi dans les extraits des organes génitaux des femelles de *S. maroccana*, mais aussi chez plusieurs Coléoptères de la famille des *Staphylinidae*. L'extraction à l'hexane a permis de mettre en évidence un alcène (le 3,7-diméthyl-1,3,6-octatriène) uniquement chez les femelles de *Sphodroxia maroccana*. Cette molécule est connue comme un attractif pour *Coccinella septempunctata* (Coleoptera : Coccinellidae) et pour *Scolytus intricatus* (Coleoptera : Scolytidae). Ces résultats sont préliminaires et les recherches doivent continuer pour déterminer la composition exacte de la phéromone de ce ravageur. L'utilisation d'une phéromone sexuelle pour piéger les mâles sur le terrain permettrait de connaître le risque potentiel lié aux vers blancs, et permettrait de corréler la densité de mâles actifs avec la densité de vers blancs présents dans le sol.

La lutte conventionnelle contre les larves de *S. maroccana*, reste pour le moment la seule alternative en utilisant des pesticides. Une protection chimique au moment de la plantation est nécessaire pour minimiser les dégâts en cas de trop forte densité de larves de *S. maroccana* dans le sol. Cependant, l'usage hasardeux de pesticides peut entraîner des risques secondaires importants pour des organismes non visés, notamment les Tenebrionides (insectes détritivores).

L'utilisation du carbosulfan réduit considérablement la mortalité des jeunes plants. La dose recommandée pour le traitement du sol au moment de la plantation est de 10 g de granulés de carbosulfan par plant (Ghaioule *et al.*, 2010 ; Reay & Walsh, 2002b). Cette dose recommandée est 4 fois moindre que celle qui est souvent utilisée par les forestiers en forêt de la Mamora, ce qui peut entraîner des risques environnementaux importants. Nos résultats

montrent que la DL50 à 96 heures est comprise entre 1,246 et 5,844 µg de carbosulfan, respectivement pour les petites et les grosses larves de *S. maroccana*, et entre 0,784 et 2,876 µg à 128 heures. La sensibilité des petites larves reste supérieure à celle des grosses larves. Nous avons constatés que l'autre granulé, le chlorpyrifos, est plus toxique que le carbosulfan lorsqu'il est en contact direct avec les larves. Le contact direct de l'insecticide avec le ravageur est d'un grand intérêt pour une bonne protection des jeunes plants des chênes lièges. Le contact direct des larves avec les deux insecticides entraîne un pourcentage élevé de mortalité des individus.

Nos expérimentations sur la distribution des insectes détritvires (Ténébrionides) ont montré le caractère non spécifique des pesticides utilisés contre les larves de *S.maroccana*. Si les granulés de pesticides sont répandus sans précautions en surface sur le terrain, les effets non intentionnels seront graves sur les communautés d'organismes non cibles qui jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre écologique des écosystèmes.

Nous proposons dans ce qui suit quelques pistes d'amélioration des pratiques culturelles afin de réduire les risques de dégâts par les vers blancs :

Tout d'abord, des actions de sensibilisation et de formation des agents forestiers est nécessaire, en vue d'une utilisation plus rationnelle des pesticides, en réduisant les risques environnementaux. Une lutte intégrée efficace suppose la bonne maîtrise de la lutte chimique qui reste jusqu'à présent le moyen le plus efficace pour contrôler les larves de *S. maroccana*. La lutte intégrée repose sur l'utilisation rationnelle des différentes méthodes de lutte, parmi lesquelles le traitement chimique doit être réalisé au dernier ressort des interventions ; il doit être le plus respectueux possible de l'environnement et également plus économique. Par conséquent, nous jugeons qu'il est primordial de renforcer les connaissances des agents et ouvriers agricoles sur les ravageurs, les insecticides, les modes de traitement, ce qui devrait améliorer les techniques de traitement et assurer une gestion durable du peuplement de chênes lièges dans la forêt de la Mamora.

Une autre préconisation est la lutte culturale. Les larves de *S. maroccana* sont des généralistes, qui n'attaquent les racines des jeunes chênes-lièges que par défaut. Au lieu de labourer totalement de très grandes parcelles, ce qui conduit à créer un microclimat de type aride défavorable aux jeunes chênes-lièges (formation de nombreux tourbillons de chaleur, le

sable en retombant ensevelissant souvent les jeunes plants), il serait préférable de ne labourer que des bandes alternées, en laissant intacte la végétation initiale sur la bande suivante. Le sol (localement très sablonneux) serait stabilisé, le microclimat moins contraignant, mais surtout les larves de *S. maroccana* seraient elles aussi stabilisées, en restant à consommer les racines de la végétation laissée sur place et en migrant moins vers les jeunes plants. Une protection chimique peut compléter le dispositif dans les secteurs les plus exposés aux dégâts, à condition que l'insecticide soit répandu dans le trou de plantation au niveau des racines, et non répandu en surface.

Le problème des vers blancs en forêt de la Mamora est essentiellement un problème de déséquilibre anthropique. Le pâturage en sous-bois réduit la possibilité pour les larves de consommer essentiellement des racines de toutes sortes d'espèces végétales, en particulier des graminées. Aucune régénération spontanée du Chêne-liège ne semble alors possible; les glands sont ramassés ou consommés par les animaux, les jeunes chênes plantés sont broutés, les recépages ne réussissent souvent pas, à cause de l'âge des souches ou de phénomènes hydrologiques.

Il existe cependant en Mamora une situation où la régénération spontanée du Chêne-liège s'accomplit sans réel problème, avec des arbres répartis en plusieurs classes d'âge. Il s'agit de la réserve de chasse royale d'Aïn Johra, sévèrement protégée des intrusions (Daâli, 1987). Sous les chênes adultes, on trouve de nombreux jeunes arbres de toutes les tailles. *Sphodroxia maroccana*, espèce endémique de la Mamora, est présent mais avec des faibles densités et ne paraît causer aucun dégât.

BIBLIOGRAPHIE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aafi A., 2004.** Contribution des écosystèmes forestiers marocains à la sécurité alimentaire : cas de la forêt de la Mamora, célébration de la journée Mondiale de l'Alimentation du 16 Octobre 2004, MADRPM/FAO/IAV Hassan II, Maroc.
- Aafi A., 2006.** La Mamora. *Encyclopédie du Maroc*, N°21 : 7199-7200.
- Aafi A., 2007.** Diversité floristique de l'écosystème à chêne-liège de la Mâamora. Thèse IAV Hassan-II, Rabat, 2007. p148-151.
- Aalbu R.L., & Triplehorn C.A., 1985.** Redefinition of the opatrine tribes in North America with notes on some apterous genera (Coleoptera : Tenebrionidae : Tenebrioninae). *The Coleopterists Bulletin* 39: 272-280.
- Aalbu R.L., Triplehorn C.A., Campbell J.M., Brown K.W., Somerby R.E. & Thomas D.B., 2002.** Family 106. Tenebrionidae, The Darkling Beetles, pp. 463-509, *In*: Arnett R.H., Thomas M.C., Skelley P.E. & Frank J.H. (ed.), *American Beetles. Vol. 2 : Polyphaga, Scarabaeoidea through Curculionoidea*. CRC Press, Boca Raton-London-New York-Washington, XIV+ 861 p.
- Abgral J.F., 1991.** Observations biologiques et essais de lutte contre le hanneton commun dans les vergers à graines. *Revue Forstière Française*. 15 : 489-500.
- ACTA, 1998.** *Recueil des effets non intentionnels des produits phytosanitaires*. 221p.
- Alford D.V., 1991.** *A colour Atlas of Pests of ornamental Trees, Shrubs and Flowers*. Edité par Manson Publishing Ltd. Londres Angleterre. ISBN : 0-7234-1643-5.
- Amandier L., Normand S. & Nowals D., 2003.** Santé des subéraies varoises et étiologie des attaques de *Platypus cylindrus*. Fiches techniques du Département de la santé des forêts Sud-Est, Centre Régional de la Propriété Forestière (CRFPF), Observation de la Forêt Méditerranéenne (OFME).
- Anonyme, 1991.** Keep outdoor light off to discourage rust beetles. *The Arabian Sun* (Dharan, Saudi Arabia), 37: 5 (Sept. 25).
- Arahou M., 1994.** Biologie et dégâts de *Curculio glandium* Marsham, 1802 (Coleoptera, Curculionidae) et de *Cydia fagiglandana* Zeller, 1841 (Lepidoptera, Tortricidae), deux ravageurs des glands du Chêne vert dans le Moyen-Atlas marocain. *L'Entomologiste* 50.

- Arahou M., 2008.** Catalogue de l'entomofaune du Chêne vert du Moyen Atlas (Maroc). *Documents de l'Institut Scientifique*, Rabat, 22: 1-39.
- Aredson W., Brabser K., Halder I. & Valk H.V.D., 2001.** *Les pesticides : compositions, utilisation et risques*. AGROMISKA & CTA, Série-Agrodok n°29, Wageningen, Pays-Bas. 54 p.
- Artigues R. & Lepoutre B., 1967.** Influence du sol et de la densité du peuplement sur la faculté de rejeter du chêne-liège en forêt de la Mamora. *Annales de la Recherche Forestière, Maroc*, 10 : 3-23.
- Arvalis, 2008.** Une nouvelle solution pour lutter contre les taupins. Arvalis infos, janvier 2008, page 30.
- Atkinson P.R., 1980.** On the biology distribution and natural host-plants of *E.saccarina* wlk (Lep. Pyralidae) *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*. 43 : 171-194.
- Bakry B., El Antry S., Strani B. & Oubrou W., 1999.** Les facteurs de dépérissement des subéraies marocaine. In *Proceedings of the second meeting "Integrated Protection in Cork Oak Forest"*. IOBC wprs Bulletin. Salé (Maroc). 37-40.
- Bakry M. & Abourouh M., 1995.** Dépérissement du chêne-liège au Maroc : état des connaissances et perspectives d'intervention. –*IOBC/wprs Bull.* 18 : 50-55.
- Balachowsky A., 1962.** *Entomologie appliquée à l'agriculture, tome 1: Coléoptères*. Masson publ.Paris.
- Baraud J., 1985.** *Coléoptères Scarabaeoidea. Faune du Nord de l'Arique, du Maroc au Sinai*. Lechevalier, Paris, 652 p.
- Barrett K., Grandy N., Harrison E.G., Hassan S. & Oomen P., 1994.** *Guidance document on regulatory testing procedures for pesticides with non-target arthropods*. SETAC edit. 51p.
- Beaudoin-Ollivier L., Prior R.N.B. & Laup S., 2000.** Simplified field key to identify larvae of some rhinoceros beetles and associated scarabs (Coleoptera: scarabaeoidea) in Papua New Guinea coconut developments. *Annals of the Entomological Society of America*, 93 (1): 90-95.
- Bedin P., 1982.** Les ennemis souterrains de la pomme de terre. *Phytoma-Défense des cultures*, 2 : 20-44.
- Bednarek A., Popowska-Nowak E., Pezowicz E. & Kamionek M., 2004.** Integrated methods in pest control: effect of insecticides on entomopathogenic fungi (*Beauveria*

- bassiana* (Bals.) Vuill., *B. brongniartii* (Sacc.)) and nematodes (*Heterorhabditis megidis* Poinar, Jackson, Klein, *Steinernema feltiae* Filipjev, *S. glaseri* Steiner). *Polish Journal of Ecology*, 52(2): 223-228.
- Belghazi B., Ezzahiri M., Amhajar M. & Benziane M., 2001.** Régénération artificielle du chêne-liège dans la forêt de la Mâamora (Maroc). *Forêt méditerranéenne* t. XXII, n°3, novembre 2001: 253-260.
- Belhoucine L., Bouhraoua R.T. & Dahane B., 2011.** Aperçu biologique du *Platypus cylindrus* (Fabricius, 1792) (Coleoptera, Curculionidae : Platypodinae) dans les galeries du bois de chêne-liège (*Quercus suber* L.). *Orsis* 25.
- Ben Jamaa M.L.B. & Hasnaoui E., 1996.** Le dépérissement du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en Tunisie. In : Colloque national sur le dépérissement des forêts au Maroc, Rabat, Résumés des communications.
- Benabid A. & Dahmani J., 1991.** Le problème de la régénération des forêts marocaine : cas de la subéraie de la Mamora. *Revue forestière française*. Hors série n°4 : 236-243.
- Benabid A., 2000.** *Flore et écosystèmes du Maroc : Évaluation et préservation de la biodiversité*. Editions Ibis Presse, 359 p.
- Bendaanoun M., 1998.** Contribution à l'étude des facteurs écologiques, de l'impact de la dégradation et des aménagements sur la régénération des subéraies du Rif, du Moyen Atlas oriental et de la Mamora (Maroc septentrional). Actes séminaire méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne-liège, Tabarka (Tunisie), 22-24 octobre 1996. *Ann. INRGREF* (n° spécial): 176-197.
- Benjelloun H., Zine El Abidine A. & Laghlam A., 1997.** Impact des différentes espèces de reboisement du chêne-liège et de l'absence du couvert végétal sur les propriétés physico-chimiques des sols dans la Mamora occidentale. *Annales de la Recherche Forestière du Maroc* 30 : 17-31.
- Ben-Yakir D., Gol'berg Alla M. & Chen M., 1995.** Laboratory efficacy screening of insecticides for control of *Maladera matrida* larvae. *Phytoparasitica* 23(2): 119-125.
- Benzyane M., 1998.** La suberaie marocaine, produit économique et social à développer. Actes du séminaire méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne-liège, Tabarka 22-24 octobre 1996, *Ann. INRGREF* (Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts), Tunis, Numéro Spécial : 12-21.
- Betbeder-Matibet M., 1977.** *Eldunu succharinu* Walker : Technique d'élevage sur milieu artificiel et observation sur sa biologie. *Agro. Trop.* 32 : 174 - 179.

- Bethe A., 1932.** Neglected hormones. *Naturwissenschaften*, 20: 177-83.
- Birch M.C. & Hefetz A., 1987.** Extrusible organs in male moth and their role in courtship behavior. *Bulletin of Entomological Society of America* 33(4): 222-229.
- Bjostad L.B., Hibbard B.E. & Cranshaw W.S., 1993.** Application of semiochemicals in integrated pest management programs, pp. 199-218, *In*: S.O. Duke, J.J. Menn, & J.R. Plimmer (eds.), *Pest control with enhanced environmental safety*. American Chemical Society, San Francisco.
- Bliss C.I., 1936.** Size factor in the action of arsenic upon silkworm larvae. *The Journal of Experimental Biology*. 13: 95-110.
- Blossey B. & Hunt-Joshi T.R., 2003.** Belowground herbivory by insects. *Annual Review of Entomology*, 48: 521-547.
- Blum M.S., 1987.** Biosynthesis of arthropod exocrine compounds. *Annual Review of Entomology*, 32: 381-413.
- Bonneau M. & Landmann G., 1988.** Le dépérissement des forêts en Europe.- *La Recherche*, 205 (19) : 1542-1556.
- Booth R.G., Cox M.L. & Madge R.B., 1990.** Guides to insects of importance to man, 3. *Coleoptera. International Institute of Entomology. The Natural History Museum* pp 224-231.
- Bouchard P., Lawrence J.F., Davies A.E. & Newton A.F., 2005.** Synoptic classification of the world Tenebrionidae (Insecta: Coleoptera) with a review of family-group names. *Annales Zoologici*, 55 (4): 499-530.
- Boudy P., 1948.** *Milieu physique et milieu humain. Economie forestière Nord-Africaine.* Tome 1, édit. Larose, Paris.
- Boudy P., 1950.** *Economie forestière Nord-Africaine. Monographie et traitement des espèces forestières : le chêne-liège.* Tome II, Fasc. I., Larose, Paris, p. 29-249.
- Boudy P., 1952.** *Guide du forestier en Afrique du Nord.* La Maison Rustique, edit. Paris.
- Bounias M., 1999.** *Traité de toxicologie générale, du niveau moléculaire à l'échelle planétaire.* Springer édit., pp 327-334.
- Bouslihim A., 1996.** Contribution à l'étude socio-économique des composantes de la filière liège au Maroc. Doct. Sci. Econ., Univ. Mohammed V, Faculté Sciences Juridiques et Economiques, Rabat, Maroc, 302 p.

- Branco M., Branco C., Merouani H. & Almeida M.H., 2002.** Germination success, survival and seedling vigour of *Quercus suber* acorns in relation to insect damage. – *Forest Ecological Management*. 166: 159-164.
- Brasier C.M. & Scott J.K., 1994.** European oak declines and global warming: A theoretical assessment with special reference to the activity of *Phytophthora cinnamomi*. *Bulletin OEPP (Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des plantes)* 24 : 221-232.
- Brasier C.M., 1996.** *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe- Environmental constraints including climate change. *Annales des Sciences Forestières* 53 : 347-358.
- Bridges C.M. & Semlitsch R.D., 2001.** Genetic variation in insecticide tolerance in a population of southern leopard frogs (*Rana sphenoccephala*): implications for amphibian conservation. *Copeia*, 1: 7-13.
- Brown V.K. & Gange A.C., 1990.** Insect herbivory below ground. *ADVANCES IN ECOLOGICAL RESEARCH*. 20:1-57.
- Candolfi M.P., Barrett K.L., Campbell P., Forster, Grandy N., Huet M.C., Lewis G., Oomen P.A., Schmuck R. & Vogt H.(eds), 2000a.** Guidance document on regulatory testing and risk assessment procedures for plant protection products with non-target arthropods. SETAC (*Society Of Environmental Toxicology and Chemistry*) Europe, Brussels 24p.
- Candolfi M.P., Blümel S., Forster, Bakker F.M., Grimm C., Hassan S.A., Heimbach U., Mead-Briggs M.A., Reber B., Schmuck R. & Vogt H., 2000b.** Guidelines to evaluate side-effects of plant protection products to non-target arthropods. *OILB – (Organisation Internationale de Lutte Biologique et Intégrée/SROP. Gent.* 158p.
- Cardé R.T. & Hagaman T.E., 1983.** Influence of ambient and thoracic temperatures upon sexual behaviour of the gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Physiological of Entomologie*. 8: 7-14.
- Carne P.B., 1951.** Preservation techniques for scarabaeid and other insect larvae. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 76: 26-30.
- Carneige A.J.M., 1974.** A recrudescence of the borer *E. succarinu* Wlk. (Lep. Pyralidae). *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association*. 4p.

- Chadigan M., 1990.** Étude des facteurs du dépérissement du chêne-liège (*Quercus suber* L.) associés à l'installation des xylophages en forêt de la Mamora. Thèse 3^{ème} Cycle en Biologie, Fac. Sci., Univ. Mohammed V, Rabat, 146 p.
- Chararas C., 1980.** Etude écophysiological des scolytidae parasites des conifères. I : les Scolytidae spécifiques de *Cedrus atlantica*. *Annales de Recherches Forestières Maroc*, 20: 207-266.
- Charbonneau P. & Sears M.K., 2008.** Les vers blancs dans les pelouses. Fichetechnique. Commande N°08-024w/AGDEX 276/626. (En remplacement de la fiche n°97-024, qui porte le même titre imprimé en janvier 2010, 8p.
- Chaton P.F., Lempérière G., Tissut M. & Ravanel P., 2008.** Biological traits and feeding capacity of *Agriotes* larvae (Coleoptera: Elateridae): A trial to seed coating to control larval populations with the insecticide fipronil. *Pesticide Biochem. Physiol.*, 90(2): 97-105.
- Chauvin R., 1941.** Sur le fouissement chez les larves de Cétoines. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 46 : 126-128.
- Chenfour D., Hajjii Hour R., Haloti S. & Janati-Idrissi A., 2011.** Étude du peuplement en Tenebrionidae (Coleoptera) de trois stations du Moyen-Atlas (Maroc). *Bulletin de la Société entomologique de Mulhouse*, 67 (3): 39-53.
- Cisek H., 1994.** Results of the application of Carbosulfan against *Hylobius abietis* in forests in the Czech Republic. – IUFRO Eur. Hylobius Meeting, Ste Eulalie, pp. 17-18.
- Cluzeau S. & Paternelle M.C., 2000.** *Index phytosanitaire*. 36^{ème} édition. ACTA (*Action de Coordination des Techniques Agricoles*). 73 (78-79) ; 117 pp.
- Comignan J., 1928.** Etude du fouissement des Scarabées en rapport avec leur activité générale. *Comptes rendu de la Société de Biologie*: 1410-1412.
- Commission des Essais Biologiques (C.E.B), 1996.** Méthodes de laboratoire d'évaluation de la toxicité aiguë orale et de contact des produits phytopharmaceutiques chez l'abeille domestique *Apis mellifera* L. Methode n°95. Association *Nationale de Protection des plantes*. 8p.
- Comstock J.H., 1925.** *An introduction to Entomology*- 2nd Ed. New York, 1044 pp.
- Crowson R.A., 1954.** *The natural classification of families of the Coleoptera*. E. W. Glassey Ltd., England, 214 pp.

- Daâli A., 1987.** Contribution à l'étude de la régénération naturelle par semis de chêne-liège dans la Mamora centrale (Maroc) : cas de la réserve royale de Aïn Johra. Mémoire de 3^{ème} cycle en Agronomie (Option : Eaux et Forêts), IAV Hassan II, Rabat, 139 pp.
- Dahmani J., 2005.** Etude de la régénération naturelle et artificielle du chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans les forêts de la Mamora et de Témara (Maroc). Thèse de Doctorat National En Sciences, spécialité Floristique-Ecologie végétale. Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences Kénitra. 39-43 p.
- De Beaucorps G., 1956.** Evolution de l'humidité des sols dans une futaie claire de chêne-liège. *Annales de Recherches Forestières Maroc*. 4 : 87-103.
- De Visscher M.N., Chiffaud Mestre J., Duranton J.F. & Launois M., 1988.** Effets directs et indirects, immédiats et différés de la lutte anti-acridienne sur l'environnement. Ministère de la Coopération, PRIFAS/CIRAD, Montpellier [FRA], D 308 : 1-39.
- Dechambre R.-P. & Lumaret J.-P., 1985.** Un *Ligyris* nouveau. Description de l'imago, de la larve et indications éthologiques. *Revue Française d'Entomologie* (Nouvelle-Série) 7(3): 107-110.
- Dechambre R.-P. & Lumaret J.-P., 1986.** Un *Actinobolus* nouveau (Coleoptera : Dynastidae) de Carajas (Para, Brésil). Description de l'imago, de la larve et données éthologiques. *Boletim do museu Paranense Emilio Goeldi*, 2(2) : 101-11.
- Dedryver C.A., (sous la direction de) 2009.** Lutte contre les taupins : état des recherches et des connaissances techniques en France et dans l'Union européenne, voies de recherche à privilégier. INRA, Rapport Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. 31 p.
- DEFCS, 1973.** Procès verbal d'aménagement de la forêt de la Mamora, 1973-1992. Rapport Mission Danoise, Rabat, 212p.
- Defrance P. & Marion J., 1951.** L'*Hypoxylon mediterraneum* au Maroc. *Annales de Recherches Forestières Maroc*. 1 : 137-139.
- Dekeirsschieter J., Verheggen F., Frederickx C., Marlet C., Lognay G. & Haubruge E., 2012.** Comment les insectes communiquent-ils au sein de l'"écosystème-cadavre"? L'écologie chimique des insectes nécrophages et nécrophiles. *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology* 65 : 3-13.
- Delatour C., 1983.** Les dépérissements de chênes en Europe. *Rev. For. Fr.- IOBC/Wprs Bull.* 35 (4) : 255-281.
- Delorme R., Leroux P. & Gaillardon P., 2002.** Evolution des produits phytosanitaires à usage agricole. Les insecticides-acaricides. *Phytoma*, 548: 7-13.

- Delpuech J.M. & Tekinel-Ozalp P., 1991.** Epigenetic influences of insecticide on host parasitoid relations. *Redia* LXXIV : 417-424.
- Delpuech J.M., Froment B., Fouillet P., Pompanon F., Janillon S. & Boulétreau M., 1998a.** Inhibition of sex pheromone communications of *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera) by the insecticide chlorpyrifos. *Environ. Toxicol. Chem.* 17: 1107-1113.
- Delpuech J.M., Gareau E., Terrier O. & Fouillet P., 1998b.** Sublethal effects of the insecticide chlorpyrifos on the sex pheromonal communication of *Trichogramma brassicae*. *Chemosphere* 36: 1775-1785.
- Doyen J.T. & Tschinkel W.R., 1982.** Phenetic and cladistic relationships among tenebrionid beetles (Coleoptera). *Systematic Entomology*, 7 (2): 127-183.
- Doyen J.T., Matthews E.G. & Lawrence J.F., 1989.** Classification and annotated checklist of the Australian genera of Tenebrionidae (Coleoptera). *Invertebrate Taxonomy*, 3: 229-260.
- Dupont W.D. & Plummer W.D., 2003.** Density Distribution Sunflower Plots. *Journal of Statistical Software*, 8 (3): 1–5.
- Dupont W.D. & Plummer W.D., 2005.** Using density-distribution sunflower plots to explore bivariate relationships in dense data. *The Stata Journal*, 5(3): 371–384.
- Dupont William D. & Dale Plummer W.Jr., 2003.** Density Distribution Sunflower Plots/Journal of Statistical Software 2003. Vanderbilt University School of Medicine, p 5.
- Duran J.M., Alvarado M., Serrano A. & De La Rosa A., 1996.** Contribution al conocimiento de *Melolontha paposa* III. (Coleoptera : Melolonthidae), plaga de los olivars de la provincia de Sevilla. *Boletin de Sanidad Vegetal Plagas* 5 : 309-318.
- El Antry S., 1994.** Le Grand Capricorne du chêne-liège. – In: Ravageurs et maladies des forêts au Maroc, eds El Hassani, Graf, Hamdaoui, Harrachi, Messaoudi, Mzibri and Stiki, D.P.V.C.T.R.F.: 119-121.
- El Antry S., Bakry M. & Abourouh M., 2001.** Insectes ravageurs et champignons des glands de chêne-liège au Maroc. In Les annales de L'INRGREF, Les Journées Scientifiques de L'INRGREF "La Recherche pour le Développement Forestier" Hammamet-Tunisie 24-26 Novembre 1999, Numéro spécial 2001. 212-220.

- El Antry S., Sousa E. & Bakry M., 2003.** Contribution à l'étude de l'insecte *Platypus cylindrus* Fabr. (Coléoptère, Platypodidae), associé au dépérissement du chêne-liège. Rapport Final du Projet de coopération Maroc/Portugal, rapport interne CRF. 22p.
- El Antry-Tazi S., Sousa E. & Atay-Kadiri Z., 2006.** Distribution Spatio-Temporelle des Pontes de *Lymantria dispar* L. (Lépidoptère, Lymantriidae) dans deux Placettes de la subéraie de la Maamora Occidentale-2002 à 2005-, CIFE VI du 02 au 06 juillet, Rabat Maroc. (ss presse).
- El Antry-Tazi S., Abourouh M., Sousa E. & Atay-Kadiri Z., 2008.** L'insecte *Platypus cylindrus* Fabr. (Coléoptère, Platypodidae) dans les suberaies Marocaines. *Annales de la recherche forestière au Maroc*. vol. 39, pp. 234-237
- El Yousfi M., 1995.** Les contraintes exercées sur le chêne-liège au Maroc. Exemple de la Mamora. – IOBC/wprs Bull. 18 : 43-49.
- El-Badri N., Abadie M., 2000.** Observations on the dynamic of *Diplodia mutila* Fr. apud Mont. development on the cork-oak, *Quercus suber* L., in Morocco. *Cryptogamie Mycologie*, 21 (4): 235–248.
- Endrödi S., 1966.** *Monographie der Dynastinae (Coleoptera: Lamellicornia) I. Teil.* Entomologische Abhandlungen – Staatliches Museum für Tierkunde Dresden 33: 1–457.
- Endrödi S., 1985.** The Dynastinae of the world. Dr. W. Junk, The Hague, 800 pp.
- EPA, US Environmental Protection Agency, 2000 (révision).** Reregistration eligibility science chapter for chlorpyrifos : Fate and environmental risk assessmen. 94 p.
- EPPO, 1994. EPPO.** Decision making scheme for the environmental risk assessment of plant products. EPPO. Bulletin 24, Ch, Soil Microflora 1994.
- Eriksson H., 2008.** Effects on Non-Target Organisms of insecticides Used to Control Desert Locust, *Schistocera gregaria*. Environmental Impact in Ecologically Sensitive Areas- Licentiate thesis Swedish University of Agriculture Sciences Uppsala, 38 pp 21-24.
- Everts J.W. & Bâ L., 1997.** Environmental effects of locust control: state of the art and perspectives. pp. 331-336. *In*: Krall S, Peveling R & Ba Diallo D (eds). *New strategies in locust control*. Birkhäuser Verlag, Basel, Switzerland.
- Everts J.W., 1997.** Ecotoxicology for Risk Assessment in Arid Zones: Some Key Issues. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 32: 1-10.
- Fabre J.H., 1900.** Souvenirs entomologiques (Septième série). Étude sur l'instinct et les mœurs des insectes. Delagrave édit., Paris pp. 339-360.

- Fabre J.P. & Carle P., 1975.** Contribution à l'étude biologique d'*Hylurgus ligniperda* F. (Coleoptera, Scolytidae) dans le sud-est de la France. *Annales des Sciences forestières* 32 : 55-71.
- Falck R., 1924.** Über das Eichensterben im Regierungsbezirk Stralsund nebst Beiträgen zur Biologie des *Hallimaschs* und *Eichenmehltaus*. – Allgemeine Forst-und Jagdzeitung, vol. 100, pp. 298-317.
- FAO, 1998.** *Codex Alimentarius : limites maximales codex pour les résidus de pesticides*. Rome, FAO édit., vol. 13.
- Faucheux M.J., 2009.** Coléoptères Ténébrionidés du Maroc atlantique : Prospections de 1996 à 2006. Considérations morphologiques et écologiques. *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France, nouvelle série*, tome 31(4): 24.
- Fegrouche R., Ghaïoule D., Lumaret J.-P. & Atay-Kadiri Z., 2012a.** Densités larvaires, comportement et cycle biologique de *Sphodroxia maroccana*, un ravageur endémique de la subéraie de la Mamora au Maroc (Coleoptera, Melolonthidae). In: Ruiu P.A. & Villemant C. (edit.), *Integrated Protection in Oak Forests*. Proceedings of the meeting at Tempio Pausania (Italy), 04-07 October, 2010. *IOBC/wprs Bulletin*, 76: 205-212.
- Fegrouche R., Ghaïoule D., Lumaret J.-P., Bertrand M. & Atay-Kadiri Z., 2012b.** Etude de la mobilité souterraine des larves de *Sphodroxia maroccana* (Coleoptera, Melolonthidae), un ravageur des jeunes plants de chênes-lièges dans la forêt de la Mamora (Maroc). In: Ruiu P.A. & Villemant C. (edit.), *Integrated Protection in Oak Forests*. Proceedings of the meeting at Tempio Pausania (Italy), 04-07 October, 2010. *IOBC/wprs Bulletin*, 76: 213-220.
- Felsot A.S. & Lew A., 1989.** Factors affecting bioactivity of soil insecticides: relationships among uptake, desorption, and toxicity of carbofuran and terbufos. *J. Econ. Entomol.* 82 : 389-395.
- Finney D.J., 1971.-** *Probit Analysis (3rd edition)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Franceschini A., Corda P., Maddau, Sechi C. & Ruiu P.A., 1999.** Manifestations de dépérissement du chêne-liège en Sardaigne (Italy). –IOBC/wprs Bull. 22 : 1-3.
- Fraval A. & Lhaloui S., 1980.** La surveillance des attaques de *Lymantria dispar* L. en forêt de Maâmora (canton A). *Ann. Rech. For. Maroc*. 20 :351-388.
- Fraval A. & Villemant C., 1997.** La Mamora et ses ennemis. Dossiers Environ. INRA, Forêts, 15: 133-146 (<http://www.inra.fr/dpenv/d15mamor.htm>).

- Frérot B., Malosse C. & Cain A.H., 1997.** Solid-phase Microextraction (SPME): A New Tool in Pheromone Identification in Lepidoptera. *Journal of High Resolution Chromatography* 20: 340-342.
- Gaines J.C. & Campbell F.L., 1935.** Dyar's rule as related to the number of instars of the corn ear worm, *Heliothis obsoleta* Fab., collected in the field. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 28: 445-461.
- Gebien H., 1937-1944.** Katalog der Tenebrioniden. 3 vol., 900 p., *Publicaz. Mus. Ent. Pictro Rossi*, 2 ; *Mitt. Münch. Ent. Ges.*, 28-34.
- Ghaïoule D., El Antry-Tazi S., Atay-Kadiri Z. & Lumaret J.-P. 2010.** Dégâts des vers blancs dans les jeunes plantations de chêne-liège en forêt de la Mamora: biologie de la principale espèce *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera; Melolonthidae) et proposition de méthode de lutte chimique. *Integrated Protection in Oak Forests*, IOBC/wprs Bull. 57: 115-122.
- Ghaïoule D., Lumaret J.-P., Rochat D., Maatouf N. & Niogret J., 2007.** Evaluation des dégâts par les vers blancs (Coleoptera: Scarabaeoidea) dans les parcelles de régénération du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en forêt de la Mamora (Maroc) et recherche de médiateurs chimiques pour une lutte biologique. *Ann. Soc. entomol. Fr. (n.s.)* 43(1): 1-8.
- Ghanem M., 1990.** Etude de la régénération par semis du chêne-liège dans les parcelles clôturées de la forêt de la Maâmora. Mémoire de 3^{ème} cycle I.A.V Hassan II, Rabat, Tome 1, 481p.
- Girault A.A., 1914.** The white grubs of sugar cane in Queensland. *Bull. Sug. Exp. Stns div. Ent.* 1, 11pp.
- Girling D.G., 1978.** The distribution and biology of *E. saccharina* Wlk. (Lep. Pyralidae) and relationship to other stem-borers in Uganda. *Bull. Ent. Res.* 68, 417-488.
- Glowacka B. & Malinowski H., 1994.** Response of the large pine weevil (*Hylobius abietis* L.) beetles to insecticides from different chemical groups.- IUFRO Eur. Hylobius Meeting, Ste Eulalie, pp. 15-16.
- Gotarredona C., 1992.** Estado fitosanitario de las masas forestales de Quercineas en los espacios naturales de Andalucía. – In: *Actas simposio mediterraneo sobre regeneracion del monte alcornocal*, Merida, Évora, Sevilha : 191-195.

- Gouzy A., Farret R. & Le Gall A.C., 2005.** Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation, Rapport INERIS n° DRC-05-45936-95-AGo.
- Graf A., Basri E. & Bakry., 1992.** Cork oak decline in Morocco. – In : Proceedings of an international congress ``Recent advances in studies on oak decline'', Selva di Fasano (Brindisi), Italy : 475.
- Gretia, 2009.** Coléoptères Scarabaeoidea «Pleurosticti» ; Invertébrés continentaux des pays de la Loire. 156p.
- Guillet P., N'Guessan R., Darriet F., Traore-Lamizana F., Chanre P. & Carnevale P., 2001.** Combined pyrethroid and carbamate 'two-in-one' treated mosquito nets: field efficacy against pyrethroid-resistant *Anopheles gambiae* and *Culex quinquefasciatus*. *Medical & Veterinary Entomology*, 15(1): 102-112.
- Guppy J.C. & Harcourt G.D., 1970.** Spatial pattern of the immature stages and teneral adults of *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae) in permanent meadow. *Canadian Entomologist*. 102 : 1345-1359.
- Hammoudi A., 2002.** *Subéraie et Biodiversité du paysage*. Colloque, Vivexpo, Institut Méditerranéen du liège. France.
- Harrachi K., 2000.** *Investigation sur les causes de dépérissement du chêne-liège dans la forêt de la Mamora*. Thèse Doct. Univ. George Auguste, Göttingen, Allemagne, 130 p.
- Harris C.R., 1972.** Factors influencing the effectiveness of soil insecticides. *Annu. Rev. Entomol.* 17: 177-198.
- HCEFLCD, 2004.** Rapport du Haut commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.
- Hegazi E., Khafagi W.E., Konstantopoulou M., Raptopoulos D., Tawfik H., El-Aziz G.M.A., El-Rahman S.M.A., Atwa A., Aggamy E. & Showeil S., 2009.** Efficient Mass-Trapping Method As an Alternative Tactic for Suppressing Populations of Leopard Moth (Lepidoptera: Cossidae). *Annals of the Entomological Society of America* 102(5): 809-818.
- Henzell R.F. & Lowe M.D., 1970.** Sex attractant of the grass grub beetle. *Science* 168: 1005-1006.
- Heritage S., Johnson D. & Jennings T., 1997.** The use of Marshal/suSCon granules to protect plants from *Hylobius* damage. Forestry Commission Technical Development Branch, Research Information Note 269, 1-4. ISSN 0267 2375.

- Hill D.S., 1983.** Agricultural insect pests of the tropics and their control. 2nd edit., Cambridge University Press, Cambridge. 516 pp.
- Hurpin B., 1957.** Sur la résistance des vers blancs aux conditions défavorables. *Revus des Sociétés savantes de Haute-Normandie (Sci)* 5 : 99-118.
- Hurpin B., 1961.** Sachons distinguer entre les nombreuses espèces de vers blancs. *Phytoma* 129: 11–16; 130: 23–27.
- Ibekwe A.M., Kennedy A.C., Frohne P.S., Papietnik S.K., Yang C.-H. & Crowley D.E., 2002.** Microbial diversity along a transect of agronomic zones. *FEMS Microbiology Ecology* 39, 183-191.
- Imrei Z., Tóth M., Tolasch T. & Francke W., 2003.** 1,4-benzoquinone attracts males of *Rhizotrogus vernus* Germ. (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae). *Növényvédelem* 39: 257-262.
- IOCU, 1984.** *The pesticide handbook. Profiles for action.* IOCU Penang, Malaisie ; 165p.
- Jackson T.A. & Klein M.G., 2006.** Scarabs as pests: A continuing problem. *Coleopterists Bulletin*, 60 (5) Supplement S: 102-119.
- Jacquin E., Nagnan P. & Frérot B., 1991.** Identification of hairpencil secretion from male *Mamestra brassicae* (L.) (Lepidoptera, Noctuidae) and electroantennogram studies. *Journal of Chemical Ecology* 17 (1): 239-246.
- Jäger-Mischke I., 1993.** Dangers de l'emploi des pesticides pour l'homme et la nature. Pp. 23-64, In : *Pesticides et Agriculture Tropicale : Dangers et Alternatives*, Dümmler C. (édit.). PAN publ. Ede (Pays-Bas) & PAN, Hambourg (RFA).
- Johnson S.N., Zhang X., Crawford J.W., Gregory P.J. & Young Y.M., 2007.** Egg hatching and survival time of soil-dwelling insect larvae: A partial differential equation model and experimental validation. *Ecological Modelling*, 202: 493–502
- Jurc M., Bojovic S., Fernandez M.F. & Jurc D., 2012.** The attraction of cerambycids and other xylophagous beetles, potential vectors of *Bursaphelenchus xylophilus*, to semiochemicals in Slovenia. *Phytoparasitica* 40 (4) : 337-349. DOI: 10.1007/s12600-012-0234-4.
- Kaae R.S. & Shorey H.H., 1972.** Sex pheromone of noctuid moths. XXVII. Influence of wind velocity on sex pheromone releasing behaviour of *Trichoplusia ni* females. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 65: 436-440.

- Karlson P. & Lüscher M., 1959.** “Pheromones”: a new term for a class of biologically active substances. *Nature*, 183 : 55-56.
- Kaufmann T., 1983.** Behavioral biology, feeding habits and ecology of three species of maize stem-borers : *Eldanu sacchurinu* (Lep. Pyralidae), *Sesumia calamistis* and *Busseola fusca* (Noctuidae) in Ibadan, Nigéria, West Africa. *J. Georgia. Entomol.Soc*, 18 : 259-272.
- Khalequzzaman M. & Nahar J., 2001.** Toxicity of nine insecticides to adult *Tribolium castaneum* (Herbst). *OnLine Journal of Biological Sciences* 1(11): 1043-1045.
- Kocher L., 1958.** Catalogue commenté des Coléoptères du Maroc. Fascicule VI : Ténébrionides. *Travaux de l'Institut Scientifique Chérifien, Série Zoologie*, 12: 1-185.
- Krall S., 1994.** Importance of locusts and grasshoppers for African agriculture and methods for determining crop losses. pp. 7-22. *In: New Trends in Locust Control* (eds. S. Krall, H. Wilps), GTZ, Eschborn, TZ-Verlagsgesellschaft Rossdorf.
- Krysan J.L., 1976.** Moisture relationships of the egg of the southern corn rootworm, *Diabrotica undecimpunctata howardi*. *Entomol. Exp. Appl.* 20: 154-162.
- Ksheerasagar R.L. & Kaliwal B.B., 2008.** Effects of Carbosulfan Administration Schedules on Estrous Cycle and Follicular Dynamics in Albino Mice. *Industrial Health*, 46: 210-216.
- Labrique H. & Janati-Idrissi A., 2011.** Contribution à la connaissance des Ténébrionides du Jbel Bani, Maroc (Coleoptera, Tenebrionidae). *Nouv. Revue Ent. (N.S.)*, 27 (3): 259-274.
- Labrique H., 1999.** Systématique, distribution, écologie et phylogénie des espèces appartenant au genre *Scaurus* Fabricius (Coleoptera Tenebrionidae). Thèse de Doctorat, Université Paul Valéry- Montpellier III, 378 pp.
- Labrique H., 2012.** 11 ans de missions entomologiques au Maroc, bilan et perspectives. *Club Entomologique Rosalia*, 69 : 4.
- Lakatos T. & Tóth T., 2006.** Biological Control of European Cockchafer Larvae (*Melolontha melolontha* L.). Preliminary results. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 14 (Suppl. 3): 73-78.
- Lavadinho L., 1975.** Variation of adult body weight in *Sitophilus granarius* (L.) from laboratory cultures. *J. Stored Prod. Res.*, 11: 33-39.

- Leal W.S., Oehlschlager A.C., Zarbin P.H.G., Hidalgo E., Shannon P.J., Murata Y., Gonzalez L., Andrade R. & Ono M.J., 2003.** Sex pheromone of the scarab beetle *Phyllophaga elenans* and some intriguing minor components. *Chem. Ecol.*, 29: 15–25.
- Lempérière G. & Julien J., 1989.** Premiers résultats de tests pour l'évaluation de l'efficacité d'un insecticide systémique contre l'*Hylobe*. – *Revue forestière française*, XL(5): 411-422.
- Lepoutre B. & Combes M., 1967.** La Mamora. In : Congrès de Pédologie méditerranéenne 1966, Madrid. Excursion au Maroc, T. I, 2^{ème} partie, Chap VII: Description des régions traversées, Cah. Rech. Agron. 24: 279-295.
- Lewis W.J., 1981.** Semiochemicals : Their role with changing approaches to pest control, pp. 3-12, *In*: Nordlund D. A., Jones R.L., Lewis W.J., (eds.). Semiochemicals : Their role in pest control. Wiley and Sons, New York.
- Lohele C., 1988.** Philosophical tools. Potential contributions to ecology. *Oikos*, 51, 97-104.
- Lomer C.J. & Prior C., (eds.) 1991.** *Biological Control of Locusts and Grasshoppers*. Proceedings of a workshop held at the International Institute of Tropical Agriculture, Cotonou, Republic of Benin, 26 April-1 May 1991. CAB International, Oxford, 394 pages.
- Lopes F., 1996.** O sobreiro e a cortiça. – *Revista Florestal* 9 : 2.
- Luciano P. & Prota R., 1995.** Insect pests in Sardinia *cork oak* forests.- IOBC/wprs Bull. 18 : 1-7.
- Luciano P., (ed) 1995.** Integrated Protection in *cork-oak* forests. – IOBC/wprs Bull. 18(6), 114 p.
- Lumaret J.-P., Ghaïoule D., Maatouf N. & Rochat D., 2005.** First data on the biology of *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera: Melolonthidae) and estimation of the damages of this new pest on cork oak seedlings in the Mamora forest (Morocco). In: Entomological Research in Mediterranean Forest Ecosystems, eds. Lieutier & Ghaïoule, INRA Editions, Versailles, France: p. 139-145.
- Lumaret J.-P., Alvinerie M., Hempel H., Schallnaß H.-J., Claret D. & Römbke J., 2007.** New screening test to predict the potential impact of ivermectin-contaminated cattle dung on dung beetles. *Veterinary Research*, 38: 15–24.
- Luque J., Parlade J. & Pera J., 2000.** Pathogenicity of fungi from *Quercus suber* in Catalonia (NE Spain). *Forest Pathology* 30 : 247-263.

- M.A.T.E.U.H., 2002.** *Etude Nationale sur la Biodiversité* (Rapport de synthèse), Maroc, 215 p.
- Maggi M., Peralta L., Ruffinengo S., Fuselli S. & Eguaras M., 2012.** Body size variability of *Varroa destructor* and its role in acaricide tolerance. *Parasitol. Res.*, 110: 2333–2340.
- Mamadou A., Mazih A. & Inezdane A., 2005.** L'impact des pesticides utilisés en lutte contre le Criquet Pelerin (*Schistocerca Gregaria* Forskal, 1775) (Orthoptera, Acrididae) sur deux espèces de *Pimelia* (Coleoptera, Tenebrionidae) au Niger. *VertigO*, 6 (3) : 8.
- Mariana A., Cherman, Guedes Jerson V.C., Miguel A., Morón, Dal Prá E., Clérison R., Perini. & Affonso H.J., 2011.** First record of species of *Liogenys* (Coleoptera, Melolonthidae) associated with winter grain crops in Rio Gande do Sul (Brazil). *Revista Brasileira de Entomologia* 55(4): 618–620.
- Marion J., 1951.** La régénération naturelle du chêne-liège en Mamora. *Ann. Rech. Forest.* Rabat, 1, 25-57.
- Marion J., 1955.** Observations sur la sylviculture du chêne-liège dans le massif forestier Zain-Zemmour ou plateau d'Oulmès (Maroc). *Annales de la Recherche Forestière du Maroc* 2 : 1-38.
- Marrone P.G. & Stinner R.E., 1984.** Influence of soil physical factors on survival and development on larvae and pupae of the bean leaf beetle *Cerotoma trifurcata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Can. Entomol.* 116: 1015-1023.
- Martin J., 1999.** Le point sur l'infestation des vers blancs en 1998 ; ISRA CNRA Bambey Phytotechnie Arachide-Cirad. pp 1-105.
- Masson C. & Brossut R., 1981.** La communication chimique chez les insectes. *La Recherche*, n°121, pp. 406-416.
- Maumbe B.M. & Swinton S.M., 2003.** Hidden health costs of pesticide use in Zimbabwe's smallholder cotton growers. *Social Science & Medicine*, 57(9): 1559-1571.
- McNeil J.N., 1991.** Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its impotence in the use of pheromone traps. *Annu. Rev. Entomol.* 36 : 407- 430.
- Mendes A.M.S.C., 1996.** Tendência da evolução da sector da cortiça em Portugal. – In : Cork oak and cork, ed. Pereira : 469-492. Instituto Superior de Agronomia. Oficinas gráficas. Lisboa.

- Merouani H., Apolinário L.M., Almeida M.H. & Pereira J.S., 2003.** Maturation and acquisition of desiccation tolerance in acorns of cork oak (*Quercus suber* L.). – Seed Sci. Techn. 31 : 111-124.
- Merouani H., Branco M., Almeida M.H. & Pereira J.S., 2001a.** Comportement physiologique des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité-inter-individus producteurs. – Ann. For. Sci. 58 : 143-153.
- Métro A. & Sauvage Ch., 1955.** *Flore des végétaux ligneux de la Mamora*. La nature au Maroc I. Société de Sciences Naturelles et Physiques du Maroc et Service de la Recherche Forestière, Rabat, 498 p.
- Minks A.K. & Cardé R.T., 1997.** Use of pheromones in direct control, pp. 433-459, *In*: R. T. Cardé & A.K. Minks (eds.) *Insect Pheromone Research, New Directions*, Chapman & Hall, New York.
- Mirault J., 1996.** État de santé des forêts méditerranéennes françaises : cas du chêne-liège, du pin d'alep et du cèdre de l'Atlas. – In : Colloque sur le dépérissement des forêts au Maroc, Rabat, Résumés des communications.
- Mittal I.C., 2000.** Survey of Scarabaeid (Coleoptera) fauna of Himanchal Pradesh (India). *Journrnal of Entomological Research* 24 : 133-141.
- Mizunami M., Unoki S., Mori Y., Hirashima D., Hatano A. & Matsumoto Y., 2009.** Roles of octopaminergic and dopaminergic neurons in appetitive and aversive memory recall in an insect. *BMC Biology*, 7 (46): 1-16 ; doi:10.1186/1741-7007-7-46.
- Montreuil O., Ghaïoule D., Maatouf N., Rochat D. & Lumaret J.-P., 2004.** Biologie de *Sphodroxia maroccana* Ley et description de la femelle de ce nouveau ravageur forestier (Coleoptera, Melolonthidae). *Bulletin de la Société entomologique de France* 109 : 317-321.
- Morón M. A., 1997b.** White grubs (Coleoptera: Melolonthidae: *Phyllophaga* Harris) in Mexico and Central America. A brief review. *Trends in Entomology* 1: 117–128.
- Morón M.A., 1997a.** Inventarios faunísticos de los Coleoptera Melolonthidae Neotropicales con potencial como bioindicadores. *Giornale Italiano di Entomologia* 8: 265–274.
- Morón M.A., 2010.** Diversidad y distribución del complejo “gallina ciega” (Coleoptera: Scarabaeoidea), p. 41-63. *In*: Rodríguez del Bosque L. A. & M. A. Morón (eds.). *Plagas del suelo*. Mundi Prensa México. xix+417 p.
- Morón M.A., Ratcliffe B.C. & Deloya C., 1997.** *Atlas de los escarabajos de México. Coleoptera Lamellicornia 1. Familia Melolonthidae*. Comisión Nacional para el

- conocimiento y uso de la Biodiversidad y Sociedad Mexicana de Entomología (publ.), México, xvi+280 p.
- Mrlina G., Lempérière G. & Calmon J.P., 1994.** Determination and uptake of carbosulfan and carbofuran in young Douglas firs *Pseudotsugae mensiezii* Mirb. – *J. of Food and Agr. Chem.*, 42: 1569-1571.
- Mugnossa G., Scarascia, Oswald H., Piussi P. & Radaglou K., 2000.** Forests of the Mediterranean region: Gaps in knowledge and research needs. – *For. Ecol. Manag.* 132 : 97-109.
- Nageleissen L.M., Maugard F., Mirault J. & De Villebonne D., 1990.** Les dépérissements d'essences feuillues. La Santé des forêts (France) en 1990.- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Paris : 22-25.
- Natividade J.V., 1956.** Subériculture ; Edition française de l'ouvrage portugais. Subericulture E.N.G.R.E.F. 303 p, Nancy (France).
- New T.R., 1999.** Limits to species focusing in insect conservation. *Annals of the Entomological Society of America*, 92 : 853-860.
- Nicou R., 1977.** *Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal. Motivations, contraintes.* Doc. mult ISRA CNRA, Bambey, Sénégal. 52.
- Nojima S., Robbins P.S., Salsbury G.A., Morris B.D., Roelofs W.L. & Villani M.G.J., 2003.** L-leucine methyl ester: the female-produced sex pheromone of the scarab beetle, *Phyllophaga lanceolata*. *Chem. Ecol.* 29: 2439-2446.
- O'Brien R.D., 1976.** Acetylcholinesterase and its inhibition, pp. 271-296. *In*: Wilkinson C.F. (ed.), *Insecticide Biochemistry and Physiology*, Plenum, New York.
- Oamar A., 1985.** Contribution à l'étude de l'économie des subéraies : cas de la Mamora. Mémoire 3^{ème} cycle Agronomie, option Eaux et Forêts, IAV Hassan II, Rabat, 154 p. + annexes.
- Oliveira E., Guedes R., Tótola M. & De Marco P., 2007.** Competition between insecticide-susceptible and -resistant populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Chemosphere*, 69(1): 17-24.
- Oliveira L.J. & Garcia M.A., 2003.** Flight, feeding and reproductive behavior of *Phyllophaga cuyabana* (Moser) (Coleoptera: Melolonthidae) adults (1). *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 38(2): 179-186.
- Oliveira L.J., Farias J.R.B., Hoffmann-Campo C.B., Do Amaral M.L.B. & Garcia M.A., 2009.** Seasonal and vertical distribution of *Phyllophaga cuyabana* (Moser)

- (Coleoptera: Melolonthidae) in the soil profile. *Neotrop. Entomol.* 38(5): 582-588.
- Oliveira L.J., Santos B., Parra J.R. & Hoffmann-Campo C.B., 2004.** Coró-da-soja, p. 167–190. *In*: J. R. Salvadori, C. J. Ávila & M. T. Silva (eds.). *Pragas de solo no Brasil*. Passo Fundo: Embrapa Trigo; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, 2004. 544 p.
- Oliveira L.J., Santos B., Parra J.R.P., Amaral M.L.B. & Magri D.C., 1996.** Ciclo biológico de *Phyllophaga cuyabana* Moser (Scarabaeidae: Melolonthinae). *An. Soc. Entomol. Brasil* 25: 431-437.
- Oudemans A.C., 1927.** Acari uit Ambon. *Zool. Meded. (Leiden)* 10(4): 185-237.
- Pain J., 1988.** Les phéromones d'insectes, 30 ans de recherches. *Insectes* 69(2) : 2-4.
- Parajulee M.N., Slosser J.E. & Boring E.P., 1998.** Seasonal activity of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) detected by pheromone traps in the Rolling Plains of Texas. *Environ. Entomol.* 27: 1203-1219.
- Paulian R. & Baraud J., 1982.** Faune des Coleoptères de France, Lucanoidea et Scarabaeoidea. *Encyclopédie entomologique XLII*, Paris, Lechevallier, 478 p.
- Paulian R., 1941.** Faune de France. 38. Coléoptères Scarabèdes. Paris, Lechevalier éd. 1941, 240 p., 445 figs.
- Paulian R., 1942.** Observations sur *Bledius spectabilis* Kraatz. *Bull. Lab. Dinard*, 24 : 62-72, 3 figs.
- Paulian R., 1988.** *Biologie des Coléoptères*. Editions Lechevalier, Paris. 720 pages
- Paulian R., 1990.** Atlas des larves d'insectes de France. Vers blancs, chenilles, asticots, Société nouvelle d'éditions Boubée. 222p.
- Peigné J., Védie H., Demeusy J., Gerber M., Vian J.F., Gautronneau Y., Cannavacciuolo M., Aveline A., Giteau L.L. & Berry D., 2009.** Techniques sans labour en agriculture biologique. *Innovations Agronomiques* (2009) 4, 23-32.
- Pennetier C., 2008.** Interactions entre insecticides non-pyréthrinoïdes et répulsifs pour la lutte contre *Anopheles gambiae* : Mécanismes, efficacité et impact sur l'évolution de la résistance. Thèse de doctorat de l'Université Montpellier 1, Ecole doctorale Sciences Chimiques et Biologiques de la Santé (CBS²), Biologie des Populations et Ecologie.
- Peterson A., 1960.** Larvae of Insects. An introduction to Nearctic Species. Part II. Coleoptera, Diptera, Neuroptera, Siphonoptera, Mecoptera, Trichoptera. Columbus, 416 p.

- Peterson A., 1962.** Larvae of Insects. An introduction to Nearctic Species. Part I. Lepidoptera and Plant Infesting Hymenoptera. Colombus, 315 p.
- Pierre F., 1958.** *Ecologie et peuplement entomologique des sables vifs du Sahara nord-occidental*. Publ. Centre recherches Sahariennes, Sér. Biologie n°1, CNRS édit., Paris. 334 p.
- PMRA (Pest Management Regulatory Agency), 2003.** Phase 2 of the Re-evaluation of Chlorpyrifos, Proposed Acceptability for Continuing Registration PACR2003-03, March 18, 2003. 56 p.
- Potter D.A., Patterson C.G. & Redmond C.T., 1992.** Influence of turf grass species and tall fescue endophyte on feeding ecology of Japanese beetle and southern masked chafer grubs (Coleoptera : Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology* 85 : 900-909.
- Questienne P. & Fraval A., 1977.** Etude des caractéristiques de la population de pontes de *Lymantria dispar* sur chêne-liège, en forêt de Mamora. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc* 17 : 125-144.
- Quézel P. & Barbéro M., 1990.** Les forêts méditerranéennes. Problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. Acta Botanica Malacitana, malaga ; n°15, p145-178.
- Quézel P. & Médail F., 2003.** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Paris, 592 p.
- Rachdi S. & Haddan M., 1998.** Importance des dégâts et identification des vers blancs ravageurs des jeunes plants de chêne-liège dans la forêt de la Mamora (Maroc). *Protection Intégrée des Forêts de chênes, IOBC/WPRS Bull.* 22 (3) : 41-45.
- Rafalimanana H.J., 2003.** Evaluation des effets d'insecticides sur deux types d'hyménoptères auxiliaires des cultures, l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.) et des parasitoïdes de puceron : études de terrain à Madagascar et de laboratoire en France. Thèse Doc., Inst. Nat. Agro., Paris –Grignon., 300 p.
- Rafalimanana H.J., Kaiser L., & Depuech J.M., 2002.** Stimulating effects of the insecticide chlorpyrifos on host searching and infestation efficacy of parasitoid wasp. *Manag. Sci.* 58: 321-328.
- Ramananarivo A.E., 1998.** Culture cotonnière dans le Sud-Ouest de Madagascar : Pratique paysanne en matière de lutte contre les ravageurs du cotonnier. Mémoire de fin d'études, ESSA. Madagascar. 122p.

- Ramle M., Norman K. & Mohd Basri W., 2011.** Trap for autodissemination of *Metarhizium anisopliae* in the management of Rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros*. *Journal of Oil Palm Research*, 23: 1011-1017.
- Ramle M., Norman K., Mohd Basri W., 2009.** Pathogenicity of granule formulations of *Metarhizium anisopliae* against the larvae of the oil palm Rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (L.). *Journal of Oil Palm Research*, 21: 602-612.
- Randriamanantsoa R., 2010.** Systématique des vers blancs (Coleoptera, Scarabaeoidea) En Riziculture pluviale des régions de Haute et Moyenne Altitudes du Centre-Ouest de Madagascar. Bioécologie du Ravageur *Heteronychus Arator Rugifrons* (Fairmaire, 1871)- Coleoptera, Scarabaeoidea, Dynastidae). (1-198), p 8.
- Randriamanantsoa R., Aberlenc H-P., Ralisoa O.B., Ratnadass A. & Vercambre B., 2010.** Les larves des Scarabaeoidea (Insecta, Coleoptera) en riziculture pluviale des régions de haute et moyenne altitudes du Centre de Madagascar. *Zoosystema*, **32** (1) : 19-72.
- Ratcliffe B.C. & Jameson M.L., 2004.** The revised classification for Scarabaeoidea : what the hell is going on? *Papers in Entomology*. University of Nebraska State : 3-10.
- Rauh V.A., Perera F.P., Horton M.K., Whyatt R.M., Bansal R., Hao X., Liu J., Barr D.B., Slotkin T.A. & Peterson B.S., 2012.** Brain anomalies in children exposed prenatally to a common organophosphate pesticide. *PNAS* 2012 ; *published ahead of print April 30, 2012*.
- Reay S. D. & Walsh P. J., 2002b.** A carbosulfan insecticide to protect pine seedlings from *Hylastes ater* (Coleoptera: Scolytidae) Damage. *New Zealand Plant Protection*, 55: 80-84.
- Reay S.D. & Walsh P.J., 2002a.** The incidence of seedling attack and mortality by *Hylaster ater* (Coleoptera: Scolytidae) in second rotation *Pinus radiata* forests in the Central North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry*, 47(2): 19-23.
- Reay S.D., Glare T.R. & Brownbridge M., 2012.** *Hylastes ater* (Curculionidae: Scolytinae) Affecting *Pinus radiata* Seedling Establishment in New Zealand. *Psyche*, Volume 2012, Article ID 590619, 9 pages. doi:10.1155/2012/590619.
- Reboulet J.N., 1994.** Impact des produits phytosanitaires sur la faune auxiliaire. Méthodologie d'expérimentation en vergers. ACTA. 45p.
- Régnière J., Rabb R.L. & Stinner R.E., 1981.** *Popilla japonica*: effect of moisture and texture on survival and development of eggs and first instar grubs. *Environ. Entomol.*

10: 654-660.

- Reinecke A., Ruther J. & Hilker M., 2002.** The scent of food and defense: green leaf volatiles and toluquinone as sex attractant mediate mate finding in the European cockchafer *Melolontha melolontha*. *Ecology Letters* 5: 257-263.
- Riba G. & Silvy C., 1989.** *Combattre les ravageurs des cultures. Enjeux et perspectives.* INRA édition, Paris. 230 pages.
- Rice M.E., 1994.** Damage Assessment of the Annual White Grub, *Cyclocephala lurida* (Coleoptera : Scarabaeidae), in corn and Soybean. *Journal of Economic entomology* 87 (1) : 220-222.
- Richter P.O., 1958.** Biology of Scarabaeidae. *Annual Review of Entomology*. Vol. 3, pp 311-334.
- Ridgway R.L., Silverstein R.M. & Insko M.N., 1990.** Behavior-modifying chemicals for insect management. applications of pheromones and other attractants. Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A., 761 p.
- Riis L. & Esbjerg P., 1998.** Season and soil moisture effect on movement, survival, and distribution of *Cyrtoneurus bergi* (Hemiptera: Cydnidae) within the soil profile. *Environ. Entomol.* 27: 1182-1189.
- Ritcher P.O., 1966.** *White Grubs and their Allies. A Study of North American Scarabaeoid Larvae.* Oregon State Monographs, Studies in Entomology 4, Oregon State University Press, 219 p.
- Robbins P.S., Crocker R.L., Nojima S., Morris B.D., Roelofs W.L. & Villani M.G., 2003.** Methyl 2-(methylthio) benzoate: the unique sulfur-containing sex pheromone of *Phyllophaga crinita*. *Naturwissenschaften*, 90: 517-520.
- Robertson J.L. & Preisler H.K., 1992.** *Pesticide bioassays with arthropods.* CRC Press, Boca Raton, Florida. 127 pp. (ISBN 0-8493-6463-9).
- Rochat D., Morin J.P., Kakult T., Beaudoin-Ollivier L., Prior R., Renou M., Malosse L., Stathers T., Emupas S. & laup S., 2002.** Activity of male pheromone of the Melanesian rhinoceros beetle *Scapanes australis*. *J. Chem. Ecol.* 28 : 479-500.
- Römbke J., Hempel H., Scheffczyk A., Schallnaß H.-J., Alvinerie M. & Lumaret J.-P., 2007.** Environmental risk assessment of veterinary pharmaceuticals: Development of a standard laboratory test with the dung beetle *Aphodius constans*. *Chemosphere* 70: 57–64.

- Romero-Lopez A.A., 2012.** The use of sex pheromones for the knowledge and management of “white grub guilds” in Mexico. *Interciencia* 37 (7): 559-564.
- Rosenzweig M., 1998.** *Les drogues dans l'histoire entre remède et poison. Archéologie d'un savoir oublié.* De Boeck éditeur, Bruxelles (Belgique).
- Roy M., 2005.** Les dommages d'insectes aux racines. *Phytoprotection* 86(1): 61-63.
- Ruther J., Reinecke A., Tolasch T. & Hilker M., 2001.** Arthropod defence compound as sex pheromone in the forest cockchafer *Melolontha hippocastani*. *Oecologia* 128:44-47
- Ruther J., Reinecke A., Tolasch T. & Hilker M., 2002.** Phenol-another cockchafer attractant shared by *Melolontha hippocastani* Fabr. and *M. melolontha* L. *Zeitschrift fur Naturforschung (C)* 57: 910-913.
- Salvadori J.R. & Silva M.T.B., 2004.** Coró-do-trigo, p. 211– 232. In: J. R. Salvadori; C. J. Ávila & M. T. Silva (eds.), *Pragas de solo no Brasil*. Passo Fundo: Embrapa Trigo; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, 2004. 544 p
- Samaranayaka M., 1977.** Role of acetylcholine in organophosphate-induced release of adipokinetic hormone in the locust *Schistocerca gregaria*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 7: 283- 288.
- Sanders C.J., 1997.** Mechanisms of mating disruption in moths, pp. 333-346, In: R. T. Cardé & A.K. Minks (eds.) *Insect Pheromone Research, New Directions*, Chapman & Hall, New York.
- Santos V. & Ávila C.J. 2009.** Aspectos Biológicos e Comportamentais de *Liogenys suturalis* Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae) no Mato Grosso do Sul. *Neotrop. entomol.*, 38 (6): 734-740.
- Satterthwatt A.F., 1933.** Larval instars and feeding of the black cutworm, *Agrostis ypsilon* Rott. *J.Agr.Res.* 46 : 517-530 (cité par Gaines and Campbell).
- Schaible R. & Ridge D., 1994.** Protecting young conifers against pine weevil damage.- Communication personnelle, 1994.
- Schilling M.F & Watking A.S, 1994.** A suggestion for sunflower plots. *The American Statistician*, 48, 303-305.
- Silva M.T.B. & Grützmacher A.D., 1996.** Biometria de *Diloboderus abderus* Sturm (Coleoptera: Melolonthidae) coletado em solo manejado no sistema de plantio direto. *An Soc Entomol Brasil* 25: 377-382.

- Silva M.T.B. & Loeck A.E., 1996.** Ciclo evolutivo e comportamento de *Diloboderus abderus* Sturm (Coleoptera: Melolonthidae) em condições de plantio direto. *An. Soc. Entomol. Brasil* 25: 329-337.
- Simard L., 2000.** Contrôle Biologique du *Hanneton Européen* de la pyrale de la Canneberge à l'aide de Nématodes Entomopathogènes. Mémoire présenté à la faculté des études supérieures de l'université Laval. Département de phytologie. 89pp.
- Simard L., Bélair G. & Dionne J., 2009.** Bien connaître les vers blancs : un pas vers un meilleur contrôle. Québec vert. pp 43-50.
- Soldati F., 2007.** Fauna of France and Corsica. Coleoptera Tenebrionidae (Alleculinae excluded) ; Systématique, Catalogue and Atlas. *Mémoires de la Société linnéenne de Bordeaux*, 6 : 1-184.
- Soltani R., Ikbel C. & Habib Ben Hamouda M., 2008.** Descriptive study of damage caused by the rhinoceros beetle, *Oryctes agamemnon*, and its influence on date palm oases of Rjim Maatoug, Tunisia. *Journal of Insect Science*, 8: 1-11.
- Song Y.H. & Ridel H., 1985.** Effects of temperature and photoperiod on male activity in *Laspeyresia pomonella* (L.) in New York. *Korean J. Plant Prot.* 24: 71-77.
- Sousa E. & Atay-Kadiri Z., 2005.** Le déclenchement des perturbations physiologiques des peuplements de chêne-liège : une synthèse des relations agent/hôte. *Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bull.* 28(8), 2005 pp. 9-16.
- Sousa E., El Antry S., De Lurdes M., Bakry M. & Atay-Kadiri Z., 2005.** Comparaison de la bio-écologie et du comportement de l'insecte *Platypus cylindrus* Fabr. (Coléoptère, Platypodidae) dans les subéraies Portugaises et Marocaines. 4^{ème} Meeting du Groupe de Travail "Integrated Protection in *Quercus* sp. Forests" 5 au 8 oct. 2004 Hammamet Tunisie. *IOBC/wprs Bull.* 28(8), 2005 pp. 163-168.
- Sousa E.M.R. 1995.** Les principaux ravageurs du chêne-liège au Portugal. Leurs relations avec le déclin des peuplements. – *IOBC/wprs Bull.* 18 : 18-23.
- Spurgeon D., 2003.** Age dependence of pheromone production by the boll weevil (Coleoptera : Curculionidae). *Environ. Entomol.* 32: 31-38.
- StatSoft Inc., 2001.** STATISTICA, version 6, Tulsa, OK, USA
- Teal P.E.A., Tumlinson J.H., McLaughlin J.R., Heath R.R. & Rush R.A., 1984.** (Z)-11-Hexadecen-1-ol : A behaviour modifying chemical present in the pheromone gland of female *Heliothis zea* (Lepidoptera : Noctuidae). *Can. Entomol.* 116: 777-779.

- Teetes G.L., Wade L.J., McIntyre R.C. & Shaefer C.A., (1976).** Distribution and seasonal biology of *Phyllophaga crinita* in the Texas High Plains. *J Econ Entomol* 69: 59-63.
- Timchalk C., Poet T.S. & Kousba A.A., 2006.** Age-dependent pharmacokinetic and pharmacodynamic response in preweanling rats following oral exposure to the organophosphorus insecticide chlorpyrifos. *Toxicology*, 220(1): 13–25.
- Tobin P.C., Zhang A.J., Onufrieva K. & Leonard D.S., 2011.** Field Evaluation of Effect of Temperature on Release of Disparlure From a Pheromone-Baited Trapping System Used to Monitor Gypsy Moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Journal of Economic Entomology* 104 (4): 1265-1271. DOI: 10.1603/EC11063.
- ToxRat® Professional, version 2.10.05 (released 20.02.10).** Software for the statistical analysis of biotests. Copyright © 2001-2010. Toxrat Solutions GmbH, Alsdorf, Germany.
- Tumlinson J.H., 1988.** Contemporary frontiers in insect semiochemical research. *J. Chem. Ecol.* 14 :2109-2130.
- Turgeon J.J. & McNeil J.N., 1983.** Modifications in the calling behaviour of *Pseudaletia unipuncta* (Lepidoptera : Noctuidae) induced by temperature conditions during pupal and adult development. *Can. Entomol.* 115: 1015-1022.
- Turgeon J.J., McNeil J.N. & Roelofs W.L., 1983.** Responsiveness of *Pseudaletia unipuncta* males to the female sex pheromone. *Physiol. Entomol.* 8 : 339-344.
- USDA (U.S Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection service Japanese Beetle (Popillia japonica Newman), 2007.** Japanese Beetle (*Popillia japonica* Newman). Program Aid N°. 1881. 2 pp.
- Velle L. & Binon M., 2004.** Les Coléoptères de la Réserve Naturelle Nationale du Val d'Allier (03), 36p.
- Veulle A., 1995.** Influence de la subéiculture et des conditions stationnelles sur les attaques de *Coroebus undatus*, Fabr. Vives : IML. Mémoire FIF-ENGREF. 64 p.
- Vickers R.A., 2002.** Control of *Ichneumonoptera chrysophanes* (Meyrick) (Lepidoptera: Sesiidae) by mating disruption in persimmons. *Australian J. Entomol.* 41: 316-321.
- Vidal P., 1951.** Procès-verbal d'aménagement de la forêt de la Mamora. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation du Sol, Rabat.
- Villani M.G. & Wright R.J., 1990.** Environmental Influences on soil macroarthropod behavior in agricultural systems. *Ann. Rev. Entomol.* 35: 249-269.
- Villani M.G. & Wright R.J., 1988a.** Entomogenous nematodes as biological control agents

- of European chafer and Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae infesting turfgrass. *J. Econ. Entomol.* 81: 484-48.
- Villani M.G. & Wright R.J., 1988b.** Use of radiography in behavioral studies of turfgrass-infesting Scarab grub species (Coleoptera: Scarabaeidae). *Bull. ESA* 34(3): 132-144.
- Villemant C. & Andrei-Ruiz M.C., 1999.** Life-cycles and biological features of eggs predators of *Lymantria dispar* (Lepidoptera : Lymantriidae) in the Mamora cork oak forest, Morocco. *European Journal of Entomology* 96 : 29-36.
- Villemant C. & Sousa E., (ed.) 2002.** Integrated Protection in oak Forests. – *IOBC/wprs Bull.* 25 (5) : 177 p.
- Villemant C., (ed.) 1999.** Integrated protection in oak forests. *IOBC Wprs, Bull.* 22(3), 198 p.
- Waiyaki J.N., 1974.** a-Laboratory observation on the biology of *Eldana saccharina* Wlk. a pest of sugarcane in the Northern region of Tanzania, *Proc.I.S.S.C.T.* xv : 439-443.
- Waiyaki J.N., 1974.** a-Laboratory observation on the biology of *Eldana saccharina* Wlk. a pest of sugarcane in the Northern region of Tanzania, *Proc.I.S.S.C.T.* xv : 439-443.
- Walker P.T., 1966.** An outbreak of a moth borer of sugarcane *Eldana saccharina* (Pyralidae) in Tanzania. Unpublished report, Trp. Pest. Res. Unit, Porton Down, Salisbury (cité par GIRLING).
- Ward A., Moore C., Anitha., Wightman J. & Rogers J.D., 2002.** Identification of the sex pheromone of *Holotrichia reynaudi*. *Journal of Chemical Ecology* 28: 515-522.
- Ward D., Murphy G. & Hendrick E., 1994.** Current status and pest management of the large pine weevil *Hylobius abietis* in Ireland.- IUFRO Eur. Hylobius Meeting, Ste Eulalie, 1994, p. 19.
- Watt J.C., 1974.** A revised subfamily classification of Tenebrionidae (Coleoptera). *New Zealand Journal of Zoology*, 1(4): 381-452.
- Way J., 1954.** The effect of body weight on the resistance to insecticides of the last-instar larva of *Diataraxia oleracea* L., the tomato moth. *Ann. App. Biol.*, 41(1): 77-87.
- Webster R.P. & Cardé R.T., 1982.** Relationships among pheromone titre, calling and age in the omnivorous leafroller moth (*Platynota stultana*). *J. Insect Physiol.* 28: 925-933.
- Wiggings G.B., Marshall S.A. & Downes J.A., 1991.** The importance of research collections of terrestrial arthropods. *Bulletin of the Entomological society of Canada*, 23 (2) : 16.
- Wolcott G.N., 1933.** An economic entomology of the West Indies. San Juan, Ent. Soc. Puerto Rico, 688 pp.

- World Health Organization , 2010.** The WHO recommended classification of Pesticides by hazard and Guidelines to Classification: 2009. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, WHO Press edit. 91 pp.
- Worthing C.R., 1979.** *The Pesticide Manual: A World Compendium*. 6th edition, Published by The British Crop Protection Council, pp. ix + 655 pp.
- Yarahmadi F., Moassadegh M.S., Soleymannejadian E., Saber M.S. & Shishehbor P., 2009.** Assessment of acute toxicity of abamectin, spinosad and chlorpyrifos to *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) on sweet pepper by using two bioassay techniques. *Asian J. Biol. Sci.*, 2: 81–87.
- Yu S.J., 1983.** Age variation in insecticide susceptibility and detoxification capacity of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larva. *J. Econ. Entomol.* 76(2):219–222.
- Zhang A., Robbins P.S., Leal W.S., Linn C.E., Villani M.G. & Roelofs W.L.J., 1997.** Essential amino acid methyl esters: Major sex pheromone components of the cranberry white grub, *Phyllophaga anxia* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Chem. Ecol.*, 23, 231–245.

Webographies:

- El-Sayed A.M., 2005.** The Pherobaser Database of Insect Pheromones and Semiochemical. <<http://www.pherobase.com>>.
- Hoyt C.P., 1961.** Investigations of Rhinoceros Beetles in West Africa. Tenth Pacific Science, Congress, Honolulu, Hawaii, Vol XVII : 444-451.
- http://www.colloques.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/arvalis_infos/AI_mais_07Ixx/07I15.pdf
- Journal Officiel de la République française, 4 septembre 2007,** Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Avis aux fabricants, distributeurs et utilisateurs de produits phytopharmaceutiques contenant les substances carbosulfan, carbofuran, diuron, cadusafos, haloxyfop-R.
- http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/jopdf/2007/0904/joe_20070904_0204_0144.pdf
- Minitab® 13 Statistical Software,** Minitab Inc., State College, PA 16801, USA. (<http://www.minitab.com>).
- OECD Environment Health and Safety Publications, 2006.** Current approaches in the Statistical Analysis of Ecotoxicity data: A Guidance to Application . *OECD Series on Testing and Assessment* No. 54, ENV/JM/MONO(2006)18 (09-May-2006), pp. 1-147.

<http://www.oecd.org/env/chemicalsafetyandbiosafety/testingofchemicals/seriesontestingandassessmentecotoxicitytesting.htm>

ONSSA, 2012. Liste des pesticides à usage agricole homologués au Maroc (10 août 2012).

http://www.onssa.gov.ma/onssa/fr/doc_pdf/LISTE-PUA-HOMOLOGUES-VERSION-10-08-2012.pdf

U.S. Congress, Office of Technology Assessment, *Biologically Based Technologies for Pest Control*, OTA-ENV-636 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, September 1995) [En ligne].

<http://www.princeton.edu/~ota/disk1/1995/9506/9506.PDF> (Page consultée le 20 janvier 2010).

U.S. Environmental Protection Agency. 1991. Environmental Fact Sheet for Carbofuran. Office of Pesticides and Toxic Substances, US EPA, Washington, DC.

<http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/carbaryl-dicrotophos/carbofuran-ext.html>.

United States Environmental Protection Agency _ Terms & Acronyms.

http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/search.do.

ANNEXES

Annexe 1 : Mesures des capsules céphaliques et des poids de différentes larves de *S. maroccana*

n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)	n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)	n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)
1	0.66	0.96	3.40	48	0.43	0.68	1.68	95	0.21	0.31	0.32
2	0.45	0.75	1.39	49	0.73	1.13	5.64	96	0.21	0.31	0.50
3	0.45	0.75	0.84	50	0.73	1.13	5.95	97	0.21	0.31	0.37
4	0.66	0.96	5.81	51	0.45	0.75	1.62	98	0.21	0.31	0.45
5	0.66	0.96	4.50	52	0.66	0.96	4.92	99	0.21	0.31	0.33
6	0.66	0.96	3.99	53	0.43	0.68	2.15	100	0.21	0.31	0.33
7	0.45	0.75	1.62	54	0.66	0.96	4.84	101	0.21	0.31	0.32
8	0.73	1.13	5.08	55	0.31	0.52	0.96	102	0.21	0.31	0.30
9	0.45	0.75	1.83	56	0.66	0.96	4.52	103	0.21	0.31	0.20
10	0.51	0.81	3.29	57	0.66	0.96	3.56	104	0.75	1.17	6.28
11	0.45	0.75	0.99	58	0.45	0.75	1.62	105	0.66	0.96	5.80
12	0.31	0.52	1.28	59	0.45	0.75	3.42	106	0.73	1.13	6.78
13	0.66	0.96	4.57	60	0.45	0.75	3.23	107	0.66	0.96	4.39
14	0.73	1.13	4.77	61	0.66	0.96	5.47	108	0.66	0.96	5.20
15	0.75	1.17	5.09	62	0.73	1.13	5.37	109	0.73	1.13	6.23
16	0.75	1.17	4.40	63	0.21	0.43	0.21	110	0.45	0.75	1,72
17	0.75	1.17	6.82	64	0.73	1.13	6.21	111	0.66	0.96	7.00
18	0.73	1.13	5.31	65	0.73	1.13	7.33	112	0.73	1.13	6.85
19	0.31	0.52	1.25	66	0.45	0.75	1.62	113	0.43	0.68	2.04
20	0.43	0.68	1.42	67	0.45	0.75	3.12	114	0.45	0.75	1.62
21	0.45	0.75	3.21	68	0.45	0.75	1.94	115	0.75	1.17	6.18
22	0.43	0.68	1.62	69	0.43	0.68	1.71	116	0.45	0.75	1.62
23	0.45	0.75	1.26	70	0.66	0.96	5.51	117	0.43	0.68	2.13
24	0.75	1.17	6.55	71	0.45	0.75	2.95	118	0.66	0.96	6.34
25	0.45	0.75	1.30	72	0.45	0.75	1.68	119	0.31	0.52	1.02
26	0.23	0.68	0.60	73	0.45	0.75	2.22	120	0.43	0.68	1.13
27	0.51	0.81	2.50	74	0.43	0.68	1.41	121	0.66	0.96	5.23
28	0.43	0.68	1.41	75	0.66	0.96	4.78	122	0.45	0.75	1.59
29	0.51	0.81	4.29	76	0.45	0.75	2.06	123	0.45	0.75	1.80
30	0.51	0.81	2.84	77	0.73	1.13	6.21	124	0.73	1.13	5.26
31	0.73	1.13	4.90	78	0.45	0.45	2.86	125	0.43	0.68	1.19
32	0.73	1.13	7.95	79	0.66	0.96	5.07	126	0.66	0.96	6.24
33	0.51	0.81	4.61	80	0.66	0.96	4.76	127	0.43	0.68	1.85
34	0.51	0.81	3.17	81	0.66	0.96	4.64	128	0.31	0.52	1.24
35	0.75	1.17	6.63	82	0.73	1.13	6.93	129	0.66	0.96	5.02
36	0.73	1.13	5.12	83	0.75	1.17	6.26	130	0.51	0.81	3.52
37	0.51	0.81	3.01	84	0.75	1.17	2.31	131	0.45	0.75	1.96
38	0.43	0.68	2.12	85	0.51	0.81	4.25	132	0.43	0.68	1.95
39	0.75	1.17	6.88	86	0.75	1.17	6.72	133	0.31	0.52	1.21
40	0.45	0.75	1.87	87	0.45	0.75	2.06	134	0.43	0.68	1.12
41	0.45	0.75	2.52	88	0.43	0.68	2.18	135	0.51	0.81	3.90
42	0.73	1.13	5.18	89	0.66	0.96	5.83	136	0.75	1.17	6.72
43	0.31	0.52	1.01	90	0.66	0.96	4.33	137	0.66	0.96	4.07
44	0.51	0.81	3.91	91	0.43	0.68	1.14	138	0.66	0.96	5.45
45	0.73	1.13	5.90	92	0.73	1.13	4.59	139	0.45	0.75	1.69
46	0.73	1.13	5.90	93	0.31	0.52	1.22	140	0.75	1.17	6.62
47	0.43	0.68	2.15	94	0.21	0.31	0.37	141	0.51	0.81	4.38

X (cm) Largeurs ; Y (cm) Longueurs

° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)	n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)	n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)
142	0.66	0.96	4.94	189	0.43	0.68	1.30	236	0.66	0.96	5.81
143	0.45	0.75	1.70	190	0.52	0.81	3.56	237	0.66	0.96	4.60
144	0.45	0.75	2.42	191	0.75	1.17	6.41	238	0.43	0.68	1.91
145	0.45	0.75	3.60	192	0.75	1.17	6.73	239	0.73	1.13	7.50
146	0.66	0.96	4.98	193	0.45	0.75	1.18	240	0.43	0.68	1.72
147	0.43	0.68	0.96	194	0.52	0.81	2.87	241	0.52	0.81	4.94
148	0.43	0.68	1.35	195	0.45	0.75	1.91	242	0.66	0.96	7.13
149	0.45	0.75	2.18	196	0.43	0.68	1.10	243	0.75	1.17	7.98
150	0.66	0.96	4.08	197	0.66	0.96	5.87	244	0.73	1.13	8.58
151	0.45	0.75	1.69	198	0.66	0.96	3.52	245	0.75	1.17	6.98
152	0.75	1.17	8.10	199	0.66	0.96	4.04	246	0.73	1.13	6.32
153	0.31	0.52	1.09	200	0.73	1.13	6.26	247	0.52	0.81	4.79
154	0.66	0.96	5.25	201	0.66	0.96	4.97	248	0.31	0.52	4.05
155	0.43	0.66	1.81	202	0.45	0.75	1.41	249	0.52	0.81	2.11
156	0.43	0.68	1.09	203	0.45	0.75	1.67	250	0.45	0.75	5.01
157	0.43	0.68	1.53	204	0.45	0.75	1.78	251	0.45	0.75	3.48
158	0.51	0.81	3.99	205	0.45	0.75	1.66	252	0.45	0.75	2.31
159	0.73	1.13	5.24	206	0.52	0.81	3.82	253	0.52	0.81	3.80
160	0.45	0.75	2.12	207	0.45	0.75	2.55	254	0.45	0.75	2.47
161	0.73	1.13	5.89	208	0.52	0.81	3.56	255	0.43	0.68	1.43
162	0.45	0.75	3.01	209	0.43	0.68	2.14	256	0.43	0.68	3.10
163	0.43	0.68	2.02	210	0.43	0.68	1.23	257	0.31	0.52	1.53
164	0.73	1.13	5.88	211	0.43	0.68	1.53	258	0.45	0.75	3.48
165	0.31	0.52	0.88	212	0.66	0.96	5.25	259	0.66	0.96	6.56
166	0.52	0.81	5.02	213	0.73	1.13	7.77	260	0.73	1.13	5.76
167	0.66	0.96	4.25	214	0.73	1.13	7.98	261	0.52	0.81	3.40
168	0.66	0.96	5.12	215	0.75	1.17	7.96	262	0.52	0.81	5.06
169	0.52	0.81	4.83	216	0.66	0.96	7.05	263	0.45	0.75	1.94
170	0.75	1.17	6.69	217	0.45	0.75	1.66	264	0.43	0.68	2.98
171	0.66	0.96	4.78	218	0.45	0.75	2.05	265	0.43	0.68	3.14
172	0.43	0.68	1.07	219	0.66	0.96	5.40	266	0.31	0.52	0.90
173	0.31	0.52	0.87	220	0.73	1.13	5.08	267	0.43	0.68	1.85
174	0.43	0.68	1.09	221	0.45	0.75	4.06	268	0.75	1.17	7.99
175	0.25	0.51	0.58	222	0.43	0.68	2.22	269	0.66	0.81	5.17
176	0.45	0.75	1.18	223	0.45	0.75	2.44	270	0.52	0.81	3.34
177	0.75	1.17	5.62	224	0.66	0.96	6.24	271	0.45	0.75	2.97
178	0.43	0.68	2.86	225	0.66	0.96	4.25	272	0.52	0.81	3.36
179	0.52	0.81	5.10	226	0.43	0.68	1.62	273	0.45	0.75	2.97
180	0.52	0.81	2.50	227	0.45	0.75	1.80	274	0.43	0.68	2.17
181	0.66	0.96	5.10	228	0.45	0.75	2.49	275	0.21	0.45	0.67
182	0.66	0.96	5.87	229	0.43	0.68	1.91	276	0.73	1.13	6.79
183	0.75	1.17	6.41	230	0.45	0.75	2.05	277	0.75	1.17	8.23
184	0.66	0.96	4.52	231	0.45	0.75	1.78	278	0.75	1.17	6.79
185	0.52	0.81	2.90	232	0.21	0.31	0.50	279	0.73	1.13	5.65
186	0.45	0.75	2.95	233	0.73	1.13	7.44	280	0.73	1.13	7.02
187	0.45	0.75	1.18	234	0.66	0.96	6.12	281	0.45	0.75	2.45
188	0.73	1.13	5.27	235	0.73	1.13	5.92	282	0.73	1.13	7.14

X (cm) Largeurs ; Y (cm) Longueurs

n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)	n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)	n° Larves	X (cm)	Y (cm)	Poids (g)
283	0.73	1.13	6.73	330	0.66	0.96	6.16	377	0.43	0.68	2.82
284	0.73	1.13	5.93	331	0.45	0.75	2.53	378	0.75	1.17	10.98
285	0.73	1.13	6.58	332	0.21	0.45	1.12	379	0.73	1.13	8.24
286	0.66	0.96	6.45	333	0.31	0.52	1.38	380	0.43	0.81	2.91
287	0.73	1.13	7.08	334	0.45	0.75	1.67	381	0.45	0.75	3.14
288	0.45	0.75	2.78	335	0.43	0.68	1.70	382	0.66	0.96	6.18
289	0.31	0.52	0.77	336	0.52	0.81	4.19	383	0.52	0.81	4.05
290	0.43	0.68	1.83	337	0.45	0.75	2.97	384	0.31	0.52	1.05
291	0.45	0.75	2.15	338	0.66	0.96	6.90	385	0.73	1.13	8.68
292	0.52	0.81	4.51	339	0.66	0.96	6.81	386	0.31	0.52	1.87
293	0.52	0.81	5.03	340	0.45	0.75	2.44	387	0.43	0.68	1.97
294	0.66	0.96	5.47	341	0.45	0.75	3.04	388	0.66	0.96	5.81
295	0.52	0.81	4.66	342	0.52	0.81	4.11	389	0.52	0.81	3.87
296	0.45	0.75	3.56	343	0.45	0.75	2.01	390	0.66	0.96	6.72
297	0.73	1.13	6.66	344	0.52	0.81	4.26	391	0.31	0.52	1.06
298	0.43	0.68	2.20	345	0.31	0.52	1.41	392	0.75	1.17	10.46
299	0.52	0.81	3.40	346	0.43	0.68	2.93	393	0.43	0.68	3.50
300	0.43	0.68	1.55	347	0.52	0.81	3.80	394	0.43	0.68	2.66
301	0.45	0.75	2.53	348	0.66	0.96	5.87	395	0.75	1.17	9.70
302	0.45	0.75	2.37	349	0.73	1.13	6.24	396	0.95	1.25	11.04
303	0.21	0.45	0.56	350	0.45	0.75	2.39	397	0.43	0.68	2.70
304	0.66	0.96	4.91	351	0.73	1.13	6.59	398	0.52	0.81	4.97
305	0.73	1.13	6.91	352	0.52	0.81	4.69	399	0.45	0.75	3.68
306	0.52	0.81	3.80	353	0.52	0.81	4.44	400	0.45	0.75	4.61
307	0.43	0.68	1.73	354	0.52	0.81	4.30	401	0.45	0.75	3.37
308	0.31	0.52	1.20	355	0.52	0.81	4.94	402	0.43	0.68	2.26
309	0.52	0.81	4.37	356	0.43	0.68	2.93	403	0.52	0.81	5.23
310	0.66	0.96	6.58	357	0.73	1.13	6.32	404	0.43	0.68	2.50
311	0.52	0.81	4.38	358	0.31	0.52	1.11	405	0.52	0.81	3.63
312	0.75	1.17	6.17	359	0.45	0.75	2.39	406	0.66	0.96	6.53
313	0.21	0.45	0.60	360	0.66	0.96	5.72	407	0.52	0.81	4.31
314	0.52	0.81	4.85	361	0.66	0.96	6.20	408	0.43	0.68	3.94
315	0.45	0.75	2.27	362	0.45	0.75	1.87	409	0.45	0.75	3.68
316	0.45	0.75	1.70	363	0.66	0.96	5.87	410	0.52	0.81	4.75
317	0.31	0.52	0.84	364	0.66	0.96	5.35	411	0.52	0.81	5.15
318	0.75	1.17	7.01	365	0.73	1.13	7.04	412	0.52	0.81	6.06
319	0.52	0.81	4.19	366	0.52	0.81	3.66	413	0.43	0.68	2.37
320	0.31	0.52	1.03	367	0.52	0.81	4.30	414	0.31	0.52	0.90
321	0.45	0.75	2.10	368	3.73	1.13	6.59	415	0.66	0.96	6.21
322	0.45	0.75	2.13	369	0.66	0.96	6.02	416	0.52	0.81	3.13
323	0.75	1.17	7.23	370	0.43	0.68	2.02	417	0.31	0.52	0.81
324	0.43	0.68	1.65	371	0.75	1.17	6.51				
325	0.45	0.75	2.97	372	0.66	0.96	4.71				
326	0.45	0.75	2.54	373	0.66	0.96	4.82				
327	0.52	0.81	4.07	374	0.73	1.13	8.21				
328	0.73	1.13	8.10	375	0.52	0.81	3.36				
329	0.52	0.81	4.17	376	0.73	1.13	8.58				

X (cm) Largeurs ; Y (cm) Longueurs

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Version 4.1 Revision Date 04.01.2011

Print Date 26.12.2011

GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

1.1 Product identifiers

Product name : Carbosulfan
Product Number : 32005
Brand : Fluka
Index-No. : 006-084-00-5
CAS-No. : 55285-14-8

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Laboratory chemicals, Manufacture of substances

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company : Sigma-Aldrich Chemie GmbH
Riedstrasse 2
D-89555 STEINHEIM
Telephone : +49 89-6513-1444
Fax : +49 7329-97-2319
E-mail address : eurtechserv@sial.com

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : +49 7329-97-2323

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 [EU-GHS/CLP]

Acute toxicity, Inhalation (Category 2)

Acute toxicity, Oral (Category 3)

Skin sensitization (Category 1)

Acute aquatic toxicity (Category 1)

Chronic aquatic toxicity (Category 1)

Classification according to EU Directives 67/548/EEC or 1999/45/EC

Toxic if swallowed. May cause sensitization by skin contact. Very toxic to aquatic organisms, may cause

long-term adverse effects in the aquatic environment. Very toxic by inhalation.

2.2 Label elements

Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008 [CLP]



Pictogram

Signal word

Danger

Hazard statement(s)

H301	Toxic if swallowed.
H317	May cause an allergic skin reaction.
H330	Fatal if inhaled.
H410	Very toxic to aquatic life with long lasting effects.

Precautionary statement(s)

P260	Do not breathe dust/ fume/ gas/ mist/ vapours/ spray.
P273	Avoid release to the environment.
P280	Wear protective gloves.
P284	Wear respiratory protection.
P301 + P310	IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.
P310	Immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.

Supplemental Hazard Statements none

According to European Directive 67/548/EEC as amended.

Hazard symbol(s)



R-phrases(s)

- R25 Toxic if swallowed.
R26 Very toxic by inhalation.
R43 May cause sensitization by skin contact.
R50/53 Very toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse Effects in the aquatic environment.

S-phrases(s)

- S28 After contact with skin, wash immediately with plenty of soap water.
S36/37 Wear suitable protective clothing and gloves.
S38 In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment.
S45 In case of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediatel (show the label where possible).
S63 In case of accident by inhalation: remove casualty to fresh air and keep at rest.
S60 This material and its container must be disposed of as hazardous waste.
S61 Avoid release to the environment. Refer to special instructions/ Safety data sheets.

2.3 Other hazards - none

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances

Synonyms : 2,3-Dihydro-2,2-dimethylbenzofuran-7-yl
(dibutylaminothio)methylcarbamate

Formula : C₂₀H₃₂N₂O₃S

Molecular Weight : 380,54 g/mol

Component

Concentration

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties

- a) Appearance Form: liquid
b) Odour no data available
c) Odour Threshold no data available
d) pH no data available

e) Melting/freezing point	no data available
f) Initial boiling point and boiling range	no data available
g) Flash point	96 °C - closed cup
h) Evaporation rate	no data available
i) Flammability (solid, gas)	no data available
j) Upper/lower flammability or explosive limits	no data available
k) Vapour pressure	0,00 hPa at 20 °C
l) Vapour density	no data available
m) Relative density	1,056 g/cm ³
n) Water solubility	insoluble
o) Partition coefficient: n-octanol/water	no data available
p) Autoignition temperature	no data available
q) Decomposition temperature	no data available
r) Viscosity	no data available
s) Explosive properties	no data available
t) Oxidizing properties	no data available

9.2 Other safety information
no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity
no data available

10.2 Chemical stability
no data available

10.3 Possibility of hazardous reactions

no data available

10.4 Conditions to avoid

no data available

10.5 Incompatible materials

Strong oxidizing agents

10.6 Hazardous decomposition products

Other decomposition products - no data available

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity

LD50 Oral - rat - 51 mg/kg

LC50 Inhalation - rat - 1 h - 1.530 mg/m³

LD50 Dermal - rabbit - > 2.000 mg/kg

Skin corrosion/irritation

Skin - rabbit - Mild skin irritation

Serious eye damage/eye irritation

no data available

Respiratory or skin sensitization

May cause allergic skin reaction.

Causes sensitization.

Germ cell mutagenicity

Genotoxicity in vitro - Human - lymphocyte

Cytogenetic analysis

Genotoxicity in vitro - Human - lymphocyte

Other mutation test systems

Genotoxicity in vivo - rat - Intraperitoneal

Cytogenetic analysis

Genotoxicity in vivo - mouse - Intraperitoneal

Micronucleus test

Carcinogenicity

IARC: No component of this product present at levels greater than or equal to 0.1% is identified as probable, possible or confirmed human carcinogen by IARC.

Reproductive toxicity
no data available

Specific target organ toxicity - single exposure
no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure
no data available

Aspiration hazard
no data available

Potential health effects

Inhalation	Toxic if inhaled. May cause respiratory tract irritation.
Ingestion	Toxic if swallowed.
Skin	May be harmful if absorbed through skin. May cause skin irritation.
Eyes	May cause eye irritation.

Additional Information
RTECS: EZ3815000

12. ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Toxicity

Toxicity to fish LC50 - *Pollimyrus isidori* - 0,071 mg/l - 72,0 h

12.2 Persistence and degradability
no data available

12.3 Bioaccumulative potential
no data available

12.4 Mobility in soil
no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment
no data available

12.6 Other adverse effects
Very toxic to aquatic life.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1 Waste treatment methods

Product

Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

14. TRANSPORT INFORMATION

14.1 UN-Number

ADR/RID: 2810

IMDG: 2810

IATA: 2810

14.2 UN proper shipping name

ADR/RID: TOXIC LIQUID, ORGANIC, N.O.S. (Carbosulfan)

IMDG: TOXIC LIQUID, ORGANIC, N.O.S. (Carbosulfan)

IATA: Toxic liquid, organic n.o.s. (Carbosulfan)

14.3 Transport hazard class(es)

ADR/RID: 6.1

IMDG: 6.1

IATA: 6.1

14.4 Packaging group

ADR/RID: III

IMDG: III

IATA: III

14.5 Environmental hazards

ADR/RID: no

IMDG Marine pollutant: no

IATA: no

Titre :

Bioécologie de *Sphodroxia maroccana* (Coleoptera : Melolonthidae). Effets collatéraux du contrôle des larves de ce ravageur sur la faune entomologique non cible dans les parcelles de régénération du chêne-liège de la forêt de la Mamora (Maroc).

Résumé

Le programme de régénération du chêne-liège dans la subéraie de la Mamora s'est heurté à un problème de mortalité des jeunes plants dû à des attaques massives par les vers blancs. *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera, Melolonthidae), une espèce endémique de cette région, est responsable de l'essentiel des dégâts dans les parcelles de régénération du chêne-liège. La durée de son cycle biologique est de trois ans en moyenne pour les mâles et de cinq ans pour les femelles. Une étude expérimentale a montré que les larves se déplaçaient selon la teneur en humidité du sol, parcourant des distances d'environ 6 cm par jour lorsque le sol est moyennement humide (40 -60% d'humidité) et de seulement 0,5 cm par jour lorsque le sol est sec (humidité < 10%). Les racines des jeunes plants de chênes-lièges exercent un effet attractif vis-à-vis des larves, contrôlant aussi leur orientation et leur mobilité. Ces facteurs expliquent sur le terrain la saisonnalité des dégâts qui sont importants en périodes humides.

Les premières émergences des adultes de *S. maroccana* ont lieu début juin et se poursuivent tout le long de l'été, jusqu'à mi-septembre. Les femelles ne volent pas et restent à demi enfouies dans le sol sablonneux des parcelles, en émettant une phéromone sexuelle pour attirer les mâles. La fécondité des femelles prélevées sur le terrain est plus élevée ($82 \pm 16,2$ œufs) que celle des femelles issues de larves élevées au laboratoire ($54 \pm 16,50$ œufs). La ponte, échelonnée sur plusieurs jours, intervient moins de trois jours après les premiers accouplements.

L'estimation de la densité des populations larvaires sur le terrain a permis d'élaborer des cartes annuelles de densité du ravageur dans toute la Mamora (cartes de risques de dégâts). Ces densités sont corrélées avec la profondeur du plancher argileux. Les densités maximales (> 2000 larves /hectare) sont observées dans l'extrême nord des cantons A et B où les sols sont les plus profonds (plus de 3 mètres). Dans les zones sud caractérisées par un sol moins profond, les densités larvaires sont faibles. La densité larvaire dépend aussi du degré de xéricité des cantons.

Des essais d'identification de la phéromone sexuelle de *S. maroccana* ont mis en évidence l'émission de molécules analogues à celles retrouvées parmi les phéromones d'autres Melolonthides, mais sans que ces molécules soient réellement les composants de la phéromone recherchée. Des études complémentaires s'avèrent nécessaires.

Sur le terrain, l'utilisation de pesticides conventionnels comme le carbosulfan a été jusqu'à présent la principale stratégie de lutte mise en place dans les secteurs où les densités des larves sont les plus importantes, mais cet emploi de pesticides peut entraîner des risques secondaires importants pour des organismes non-cibles. Des tests écotoxicologiques menés au laboratoire sur les larves de *S. maroccana* et sur deux espèces de Ténébrionides (*Pimelia platynota* et *Pachychila obtusecostata*) démontrent clairement la toxicité du carbofuran. Le calcul des DL50, NOAEL et LOEC après traitement par le carbosulfan (voie orale et par contact ; mesures effectuées à 96h et 168h) confirment ceux obtenus par d'autres auteurs sur les effets négatifs du carbosulfan. A 96h, les valeurs calculées de DL50 sont respectivement de 1,246 et 5,844 µg pour les petites et les grosses larves de *S. maroccana*. Dans le cas de *Pachychila* et de *Pimelia*, la DL50 est respectivement de 3,301 et 4,527 µg. Une étude comparative de la toxicité entre le carbosulfan et le chlorpyrifos a montré le caractère non spécifique de ces deux pesticides. Les Ténébrionidés en particulier, abondants en forêt de la Mamora, courent un réel danger lorsqu'ils sont mis en contact avec ces molécules.

Mots clés : chêne-liège, forêt Mamora, vers blancs, *Sphodroxia maroccana*, Melolonthidae, bioécologie, mobilité des larves, dégâts, phéromone, organismes non-cibles, Ténébrionides, écotoxicologie, carbosulfan, risques environnementaux.

Title :

Bioecology of *Sphodroxia maroccana* (Coleoptera: Melolonthidae). Side effects of larval control of this pest on the non-target fauna in the regeneration plots of the cork oak Mamora forest (Morocco).

SUMMARY

The program of restoration of the Mamora forest faced at the problem of cork oak mortality due to massive attacks seedlings by white grubs. *Sphodroxia maroccana* Ley (Coleoptera, Melolonthidae), an endemic species in that area, was responsible for most of the damage in cork oak regeneration plots. The duration of life cycle is three years on average for males and five years for females. An experimental study showed that larvae were moving mainly due to the moisture content of the soil, moving over distances of about 6 cm per day when the soil is moderately wet (40-60% relative humidity and only 0,5 cm per day when the soil is dry (<10% RH). The roots of seedlings exert an attractive effect on larvae, also controlling their orientation and mobility. These factors explain the field seasonality of damages that are important during wet periods.

The first emergences of adults occur in early June and are ongoing all along summer until mid-September. Females do not fly and they stay half buried in the sandy soil of parcels, emitting a sex pheromone. Fecundity of females in the field is higher ($82 \pm 16,2$ eggs on average) than fecundity of females issued from larvae reared in the laboratory ($54 \pm 16,5$ eggs on average). Oviposition lasts several days, and occurs less than three days after the first mating.

The estimation of the density of larval populations in the field helped to develop maps of annual density of this pest for the whole Mamora forest (risk of damage). The densities varied in correlation with the depth of the clay floor. The highest densities (> 2000 larvae / hectare) were observed in the far north of the cantons A and B where soils were deeper (more than 3 meters). In the southern areas with less deep soils, larval densities were low.

Identification tests of the sex pheromone of *S. maroccana* showed the emission of volatiles close to those observed in other Melolonthids. There is no doubt in *S. maroccana* that these chemical compounds are part of a complex of molecules that should be determined. Further studies are needed.

In the field, the use of conventional pesticides as carbosulfan has been so far the main strategy implemented in areas where the densities of larvae were the most important. However, this use of pesticides can cause significant side risks to non-target organisms. Ecotoxicological tests conducted in the laboratory on larvae of *S. maroccana* and of two species of Tenebrionidae (*Pimelia platynota* and *Pachychila obtusecostata*) clearly demonstrated the toxicity of carbofuran. The results of LD50, NOAEL and LOEC after treatment with carbosulfan (oral and contact; measurements after 96 hours and 168 hours post-ingestion) confirm the results obtained by other authors on the adverse effects of carbosulfan. At 96h, the calculated LD50 values are respectively 1,246 and 5,844 µg carbosulfan for small and large larvae of *S. maroccana*. In the case of *Pachychila* and *Pimelia*, the LD50 is 3,301 and 4,527 µg carbosulfan, respectively. A comparative study of the toxicity between carbosulfan and chlorpyrifos showed non-specific effect of the two pesticides. Tenebrionid beetles in particular face a real risk when they are in contact with such pesticides widely used by foresters.

Key-words: cork-oak, Mamora, white grubs, *Sphodroxia maroccana*, Melolonthidae, bio-ecology, mobility of larvae, damage, pheromone, non-target organisms, Tenebrionidae, ecotoxicology, carbosulfan, environmental risk.