Université Catholique de Louvain
Faculté des bioingénieurs
Biodiversity Research Centre
Earth and Life Institute

Ecologie appliquée de *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (Dryophthoridae : Coleoptera) : phénologie et optimisation des conditions d'élevage à Kisangani, R.D.Congo.



*Thèse présentée par **Jean Claude Monzenga Lokela** en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique, février 2015.*

Président : Prof. Marie-Laurence De Keersmaecker, UCL, Faculté des sciences

Promoteurs : Prof. Thierry Hance, UCL, Faculté de sciences, ELIB

Prof. Kayisu Kalenga, IFA-YBI, RDCongo

Lecteurs: Prof. Yvan Larondele, UCL, Faculté de Bioingénieurs, ELI

Prof. Claude Bragard, UCL, Facultés de Bioingénieurs, ELIM

Dr. François Verheggen, ULG, Gembloux Agro-Bio Tech

Dr. Frederic Muratori, Exposantd

Dr. Guillaume le Goff, UCL, Faculté des sciences, ELIB

Dédicace

Au développement de l'élevage des insectes et à l'entomophagie

Jean Claude Monzenga Lokela

Remerciements

Je rends grâce à l'Eternel Dieu qui m'a donné la force de transcender tous les moments d'épreuve et de dur labeur.

'Si tu veux connaitre quelqu'un, n'écoute pas ce qu'il dit, mais regarde ce qu'il fait.' : **Dalaï Lama**

L'aboutissement de cette thèse ne serait jamais possible sans le concours de plusieurs personnes. De prime à bord, le Professeur **Thierry Hance**, qui, au-delà du rôle de promoteur, a joué comme maître d'ouvrage pour donner forme à mon projet. Dès les premiers instants de mon arrivée à l'UCL, moi qui étais un orphelin scientifique, il m'a pris sous son aile et m'a fait grandir d'un souci de père. Sa rigueur scientifique, son souci permanent de creuser la profondeur des faits et sa spontanéité à chacune de mes sollicitations resteront à jamais l'héritage de mon passage entre ses mains. Cher professeur, vous avez été pour moi vraiment le soleil qui a illuminé mon parcours à l'UCL et qui continuera aussi je l'espère pour ma future carrière, je dis sincèrement merci.

Le professeur Kayisu Kalenga, Co-promoteur de la thèse, m'a été d'un accompagnement important lors de mes séjours à Kisangani pour la récolte des données. A côté de lui, toute la collaboration des collègues de l'IFA, de l'UNIKIS, de l'ISEA-BENGAMISA et tous les étudiants qui m'ont aidé dans la collecte des données à commencer par le premier d'entre eux, John Atilambile.

Je remercie tous les membres du jury. C'est grâce à vos tirs, parfois nourris qui m'ont permis d'améliorer la qualité de ce travail. Professeurs Marie-Laurence Dekeersmaecker présidente du jury; professeur Yvan Larondelle, vous avez été plus que membre de jury, car vous avez donné beaucoup d'orientations à

cette thèse ; Professeur Claude Bragard, Dr. Fredéric Muratori et Dr. François Verhegghen.

Je remercie particulièrement le Dr. Guillaume Le Goff, que j'appelle affectueusement maître ! C'est vraiment un homme bien, toujours à l'écoute et au service du plus faible. Il m'a été d'un très grand soutien tout au long de ma formation. Que tous les membres du laboratoire trouvent également ici, l'expression de ma gratitude, Brigitte, Dominique, Michel, Jennifer, impossible de vous citer tous.

Je tiens à remercier de tout cœur mon frère ainé, Floribert Litandi et toute sa famille pour son soutien combien important. Au Pasteur Christophore Kabamba et toute l'église pour le soutien spirituel. L'Ir. Yves Bawa Likilo et sa charmante Nana Baelongandi, vous êtes ma famille la plus proche de tout le temps. L'Ir. Roger Angbongi et toute la famille Angbongi trouvent ici l'expression de ma gratitude. Sincère remerciement à mon conseiller personnel, l'Ir. Nechaba et toute sa famille. A l'Ir. Likoko, mon Dikando de tout le temps !

J'ai une pensée profonde et émue pour « Feu » Chef de travaux Tamile Tanzole, mon jeune collègue et compagnon qui n'a pu assister à l'aboutissement de cette thèse.

Tout le moment passé dans ce parcours, a été pour ma famille, un moment de dures épreuves et des privations. Régine, Floribert, Jonathan, Néville et Grâcia, je ne saurai vous exprimer la satisfaction que je ressens en ce moment en espérant que cette fois je vais devoir vous appartenir, être un père de famille présent et un mari pour ma charmante Jacquie. J'ai parfois été contrains de masquer mes larmes en sourire quand mon plus jeune fils me posait sa traditionnelle question avant de commencer à pleurer : 'tu me laisse encore ?'

J’ai une forte pensée envers mes parents, Nestor Monzenga et Cécile Ebosi, des quels je détiens toutes les bonnes leçons de la vie. Mes frères et sœurs, cousins, cousines, ma belle famille, amis de loin et de près, vous m’avez aussi témoigné un grand soutien qui m’a permis d’arriver au bout, je tiens à vous en remercier. Je dis également merci à la communauté congolaise de l’UCL, particulièrement à Patrick Ufoyuru, Albert Angbonga, Albert Musul, Père Alex, Didi Onautsu et tous les autres.

Je ne saurai finir sans exprimer ma reconnaissance aux organismes qui ont appuyé financièrement ce parcours notamment la CTB, particulièrement les différents encadreurs qui m’ont suivi : Sarah Stijnen, Leesbet, Nicolas Brecht, Misigaro, Françoise Scyeur, Princia Bazabidila et la chamante Angel Mowa ; le service d’aide aux étudiants de l’UCL et le laboratoire du professeur Thierry Hance.

Jean Claude Monzenga Lokela

Table de matières

Dédicace

Remerciements

Résumé

Introduction générale 1

Partie I : Synthèse bibliographique 5

Chapitre 1 : Les insectes dans l'alimentation 7

1. Insecte et alimentation 7
2. Insectes comestibles, répartition mondiale 8
3. Ordres d'insectes les plus consommés 10
4. Elevage des insectes (Mini-élevage) 12
5. Différents types d'élevage d'insectes 14
6. Elevage en semi-liberté (in-situ) 14
7. Elevage en captivité (ex-situ) 18
8. Avantages liés à la production alimentaire au départ d'insectes 23
9. Taux de conversion de denrées alimentaires 23
10. Production de Gaz à effets de serre 25

Chapitre 2 : Objectifs et hypothèses 26

Chapitre 3 : Biologie de *Rhynchophorus* spp 29

1. Systématique 29
2. Répartition mondiale de *Rhynchophorus* 31
3. Cycle de vie de *Rhynchophorus phoenicis* 32
4. Adulte : Morphologie, taille et dimorphisme sexuel 34
5. Accouplement, Ponte, Œufs 37

6. La larve : Morphologie, Caractéristiques et utilisation 41
7. Le devenir de la larve de dernier stade 46
8. Plantes hôtes 47
9. Etat de la question sur l'utilisation de *Rhynchophorus* spp 54
10. Les élevages 54
11. Critiques et apports des différents essais 58
12. Valeur alimentaire de *R. phoenicis* 60
13. Elaboration des protéines par les *Rhynchophorus* spp et symbiose 60
14. Composition alimentaire de différents stades de *R. phoenicis* 62
15. Apports protéiques de certains animaux et insectes 66

Partie II : Expérimentation 69

Chapitre 4 : Identification et dynamique des populations de *Rhynchophorus* spp dans la région de Kisangani, RDC 71

Chapitre 5 : Note sur les acariens de *R. phoenicis* 88

Chapitre 6 : Méthodologie générale ou étapes à suivre pour élever *R. phoenicis* 96

Chapitre 7. Test de l'utilisation de différents substrats et de modes d'infestation pour l'élevage des larves de *R. phoenicis* 103

1. Influence of substrates on the rearing success of *R. phoenicis* (F). 103
2. Annexe : Essais complémentaires réalisé avec le stipe de *R. vinifera* L**.** 117

Chapitre 8. Effets du substrat et importance de la présence de mâle sur la fécondité et le taux d'éclosion des œufs pondus par la femelle de *R. phoenicis*. 120

Chapitre 9. Effets de substrats d'élevage sur la fécondité et le taux d'éclosion des œufs des femelles de *Rhynchophorus phoenicis* en présence de mâle pendant 24 h. et mesures morphométriques 134

Chapitre 10. Nombre d'adultes produits (%) par la femelle de *R. phoenicis* 145

Partie III : Discussion, conclusion générale et perspectives 155

1. Discussion générale 157
2. Conclusion générale 172
3. Perspectives 174

Références bibliographiques 177

Résumé

Rhynchophorus phoenicis possède des larves de dernier stade qui sont couramment consommées et vendues sur les marchés africains à un prix relativement élevé, ce qui en fait un produit de luxe. Le but principal de ce travail était la mise au point d'un élevage de *R. phoenicis* à partir de coproduits agricoles afin d'accroître sa disponibilité, de diminuer son coût et de développer une activité économique d'élevage. Nous avons déterminé premièrement les espèces du genre *Rhynchophorus* présentes dans la région de Kisangani (RDC) et leur phénologie. Cinq types de pièges ont été testés: les pièges de type debout, de type abattu et 3 pièges bouteilles. Le piège du type debout a été concluant et utilisé pour collecter les individus. Sur les trois espèces de *Rhynchophorus* collectées, *R. phoenicis* était de loin la plus abondante et totalisait plus de 95 % des captures. *R. ferrugineus, mentionné pour la première fois en Afrique centrale* et *R. quadrangulus* ont été occasionnellement récoltées en très petits nombres. La majorité des individus récoltés de *R. phoenicis* étaient infestés par de nombreux acariens sous les élytres. Trois espèces ont été déterminée : *Centrouropoda almeroida* H&W. (1992), *Uroobovella phoenicola* K., T. et R. (2012) et *U. marginata* C.L. Koch (1839). Le statut phorétique des acariens reste à confirmer. Les femelles portent plus d'acariens que les mâles et elles possèdent aussi de plus longs élytres.

R. phoenicis, a été choisie pour commencer des essais d'élevage. Celui-ci comprend 5 étapes : 1) le piégeage des adultes ou la récolte de cocons ; 2) La préparation des adultes pour la ponte; 3) l'extraction des œufs ou de larves de premier stade ; 4) l'infestation du substrat à tester, 5) l'incubation et la récolte de larves de dernier stade. Trois types d'infestation ont été testés : les œufs, les larves de premier stade et les adultes, ainsi que 6 substrats : la canne à sucre, le jeune et vieux stipe de palmier,

deux diètes artificielles et le vieux stipe de *Raphia* déjà exploité. Le vieux stipe de *Raphia* produit en moyenne une centaine de larves de dernier stade par morceau de 50 cm de long, quantité de loin supérieure aux autres substrats d'élevage. Le jeune stipe permet une croissance rapide des larves pour atteindre le dernier stade (14-21 jours), mais produit moins que le *Raphia*.

Nous avons ensuite déterminé la fécondité des femelles et le taux d'éclosion des œufs sur 3 substrats de ponte (*Saccharum officinarum* L., *Pennisetum* sp L. et la base de rachi du palme du palmier à huile). La canne à sucre est le meilleur substrat de ponte. Nous avons déterminé le rôle de la présence du mâle dans l'expression de la fécondité en utilisant des adultes émergés de cocons récoltés en forêt ou ceux produits au laboratoire dans 3 situations : 1) des couples composés des partenaires durant toute la durée de leur vie, 2) des femelles en présence de mâles pendant 48 heures et 3) pendant 24 heures. Les femelles du premier groupe ont pondu un nombre élevé d'œufs avec un taux d'éclosion de 50 %. Les femelles de 48 heures ont donné un nombre d'œufs faible mais avec un taux d'éclosion légèrement supérieur à 50 %. Enfin, celles de 24 heures produisent un nombre encore faible d'œufs et leur taux d'éclosion a été autour de 70 %.

Le ratio entre le nombre d'œufs pondus et le nombre d'adultes obtenus en fin de développement par la femelle de *R. phoenicis* a été déterminé sur deux substrats d'élevage, la canne à sucre et le jeune stipe de palmier à huile. Nous avons obtenu 11 et 25 % de la totalité de la ponte, respectivement à partir des adultes piégés et ceux issus de cocons récoltés sur le stipe de palmier. Les mesures morphométriques sur les individus élevés ont montré que ceux élevés sur jeune stipe de palmier sont supérieurs à ceux issus de la canne à sucre sur la majorité des paramètres étudiés.

Introduction générale

La demande mondiale en denrées alimentaires, particulièrement en protéines d'origine animale ne fait qu'augmenter à cause de la croissance démographique, de l'urbanisation et la montée des classes moyennes (van der ZIJP 1999 ; Yen, 2009). Elle a comme conséquence, une demande élevée en céréales pour nourrir le bétail (Keyser *et al*. 2005). La FAO (2009) dans son rapport intitulé « L'ombre portée de l'élevage » montre que la demande en animaux d'élevage va doubler dans les prochaines 50 années, c'est-à-dire passer de 229 millions de tonnes actuellement à 465 millions de tonnes. Cela suppose encore une intensification de la production des aliments traditionnels (soja, céréales et les farines de poissons) pour nourrir les animaux domestiques. Cependant, cette production animale occupe déjà 70 % des terres agricoles entrainant la pollution des sols et de l'eau, le surpâturage qui conduit à la dégradation des forêts et contribue au changement climatique et d'autres effets néfastes sur l'environnement (FAO, 2013).

La recherche des nouvelles sources de protéines ou une amélioration de la disponibilité de celles déjà connues est donc à souhaiter. L'une des façons de répondre aux problèmes de la sécurité alimentaire serait d'envisager l'élevage des insectes. Ils sont partout et se reproduisent rapidement. En outre, ils ont des taux de croissance et de conversion alimentaire élevés (van Huis, 2013) et peuvent s'élever sur de petits espaces avec un faible impact sur l'environnement. Les insectes sont nutritifs, riches en protéines, matières grasses et minéraux (Rumpold et Schlüter, 2013). Les déchets organiques (déchets alimentaires) peuvent servir comme source de nourriture pour leur élevage (FAO, 2013).

Pourtant, les insectes constituent une ressource alimentaire encore mal connue et peu utilisée. Grâce à leur haut taux de

conversion de la matière organique par rapport au bétail, ils sont une meilleure source de protéines par poids que le bœuf, le porc, l'agneau et la volaille et une importante source de lipides (Rumpold et Schlüter, 2013). Une série d'entreprises commercialisent les insectes pour l'alimentation humaine (par exemple Micronutris en France, Yunnan Insect Biotechnologies en Chine et The Green Kow Company en Belgique avec les produits de la gamme Green Bugs). L'université de Wageningen (Pays Bas), l'université de Liège Agro-Bio Tech (Belgique) et l'université du Wisconsin (USA) possèdent par exemple des pôles de recherche entièrement consacrés à l'entomophagie (Lavalette, 2013). D'autres entreprises se spécialisent dans la production des insectes pour nourrir les animaux d'élevage. Les sociétés AgriProtein (Afrique du Sud) et Enviroflight (U.S.A.) en sont des exemples et se sont fixé comme objectif, le développement à l'échelle industrielle de l'entomoculture (FAO, 2013). L'orientation de la recherche vers les techniques simples d'élevage d'insectes dans le monde à l'instar des institutions ci-haut citées, ne fera qu'accélérer le développement et l'utilisation de cette ressource qui n'a pas besoin des grands espaces, qui pollue moins que l'élevage traditionnel pour un apport nutritif avantageux. En outre, en termes de biodiversité, l'absence d'une véritable politique d'élevage à grande échelle de diverses larves consommables fait peser les risques (économique et écologique) d'une élimination des espèces par prélèvement excessif dans la nature (Lenga *et al*. 2012).

L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) promeut depuis plusieurs années l'utilisation d'insectes à des fins de nutrition humaine. Plusieurs chercheurs ont fait des analyses sur la valeur alimentaire des insectes. Ces analyses pour une même espèce peuvent être différentes spécialement à cause de la plante qui a servi de nourriture pour l'insecte. Elles donnent des valeurs difficiles à

comparer à cause de l'absence de méthode standard. Mais cela ne nous empêche pas de généraliser en disant que la teneur en protéines et énergie des certains insectes peut être comparée ou dépasser celle de la viande classique (FAO : http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/84802/fr/). Ramos-Elorduy *et al.* (2011) montrent que la teneur en protéines de certaines espèces de criquets peut atteindre 77 %. Pour Rumpold et Schlüter (2013), certaines chenilles (*Cirina forda*) peuvent avoir une teneur en protéines de 74 % et Ramos-Elorduy *et al.* (1997) montrent que d'autres chenilles (*Phasus triangularis*) contiennent jusqu'à 762 Kcal / 100 g).

Les populations traditionnelles tropicales se nourrissent d'un petit nombre d'aliments de base : les plantes à tubercules (racines ou rhizomes) dont les principaux sont l'igname, le taro, la patate douce, les bananes, le manioc. Ces aliments sont particulièrement pauvres en protéines, riches en hydrates de carbone et souffrent d'un déséquilibre calorico-azoté (Perissé, 1966 in Garine, 2000). Ces régimes alimentaires non équilibrés ne font que renforcer le déséquilibre nutritionnel de ces populations. Les initiatives qui encouragent l'augmentation de la production animale in situ ; c'est-à-dire à partir de ce que les autochtones mangent par l'intensification des systèmes d'élevage devront être soutenues (Lhoste, 2004). La qualité nutritionnelle des insectes et la possibilité d'en produire (ou d'en récolter) à bas prix pourraient être une solution pour résoudre de nombreux problèmes de carences protéiniques (Hardouin, 2003).

Les larves de *R. phoenicis* en particulier constituent une ressource bien connue et appréciée en Afrique tropicale et notamment en République Démocratique du Congo (Bahuchet, 1975 ; Dounias, 1993 ; Thies, 1995 ; Malaisse, 1997). Elles sont riches en protéines, (tous les acides aminés essentiels), lipides (61,10 % d'acide gras insaturés), minéraux, surtout en fer en

quantité suffisante et en vitamines (Rumpold et Schlüter, 2013). Ainsi, la production des larves de cet insecte présente un intérêt particulier pour la population mal nourrie, appelée à combler son déficit protéique.

Ces deux dernières décennies ont été marquées par plusieurs conférences et beaucoup de publications sur l'entomophagie et la consommation d'autres invertébrés (Paoletti 2005). D'un point de vue général, la plupart des travaux publiés étaient consacrés à la description d'insectes comestibles dans différents pays et sur l'identification, la collecte et la consommation des insectes (Yen, 2009). La majorité de cette vaste littérature est associée avec différents groupes ethniques d'Afrique, d'Asie, d'Amérique central et du sud et d'Australie.

C'est dans ce contexte général que cette thèse a porté sur la mise au point d'un élevage de *Rynchophorus phoenicis* à partir de produits agricoles disponibles localement dans la région de Kisangani en République Démocratique du Congo. L'objectif final vise la disponibilité de larves de dernier stade de ce charançon à des prix faibles sur le marché local pour lutter un tant soit peu contre la malnutrition et partant contribuer à la préservation de la biodiversité.

Nous avons mené cette recherche sous trois angles et subdivisé la thèse en 3 parties :

- la première parle de la synthèse bibliographique ;

- la deuxième présente toute la partie expérimentale, elle comprend une recherche sur la présence de l'espèce dans la région de Kisangani et les tests nécessaires à la mise au point de l'élevage ;

- la troisième enfin, renferme la discussion et la conclusion générales ainsi que les perspectives.

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Les insectes dans l'alimentation

Ce chapitre présente une synthèse sur l'utilisation des insectes dans l'alimentation dans différentes régions du monde. Dans un second temps, il se focalise sur la valeur alimentaire de différents stades de *Rhynchophorus phoenicis* et compare les apports en protéines des certains insectes et animaux.

1.1. Insecte et alimentation

L'entomophagie est une ancienne pratique qui est présente chez les hommes depuis des milliers d'années. Elle est pratiquée dans de nombreux pays du monde entier, mais principalement dans certaines régions d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine. Johson (2010) montre que plus ou moins 300 peuples dans le monde se nourrissent couramment d'insectes. Dans certains cas, les insectes sont consommés comme une nourriture en situation de pénurie alimentaire, dans d'autres circonstances comme un aliment de base, et dans d'autres cas encore comme des spécialités. De 1500 à 2000 espèces d'insectes sont comestibles (Elorduy *et al*. 1991; MacEvelly, 2000 ; Malaisse, 2004 ; Choo 2007 ; Mitsuhashi 2008 ; Nonaka, 2009 ; Shorkley et Dossey, 2014) et sont consommées de manière plus ou moins régulière dans plus de 113 pays dans le monde (Jongema, 2012). Il faut noter qu'une part importante des insectes comestibles ne sont pas actuellement consommés parce que n'étant pas disponibles ou parce que leur goût laisse à désirer (Yen, 2010).

Aucun risque particulier de transmission de maladies ou de parasites aux humains par la consommation d'insectes (les manipuler dans les mêmes conditions d'hygiène que tout autre aliment) n'a été enregistré jusqu'à nos jours. Des cas d'allergies comparables aux allergies dues aux crustacés peuvent cependant exister. Ils posent donc moins de risques de transmission d'infections zoonotiques pour les humains, le bétail et la faune

par rapport aux mammifères et aux oiseaux, bien que ce sujet exige davantage de recherche (FAO, 2013).

L'entomophagie n'est pas vue d'un bon œil par la société occidentale (Nonaka, 2009). Elle tend pourtant à devenir une source non négligeable de protéines. Des nouvelles perspectives sur l'utilisation des insectes comme aliment commence à gagner le monde occidental, y compris dans la composition des menus pour astronautes (Katayama *et al*. 2005 ; Katayama *et al*. 2008 ; Megido *et al*. 2014). A titre d'exemple, en Belgique, la Société Delhaize S.A. vend deux pâtes à tartiner à base d'insectes produits par une société Belge (http://shop.delhaize.be/fr-be/Viande-et-poisson/Viande/Viandes-exotiques/SPREAD-CAROTTES-2B-VERS-DE-ARINE/p/F2014091000247650000, consulté le 7 janvier 2015).

1.2. Insectes comestibles, répartition mondiale

Environ 113 pays dans le monde comprennent des populations qui consomment plus de 2000 espèces d'insectes (Jongema, 2012). La répartition des insectes comestibles au niveau de grandes régions est montrée par la Figure 1.

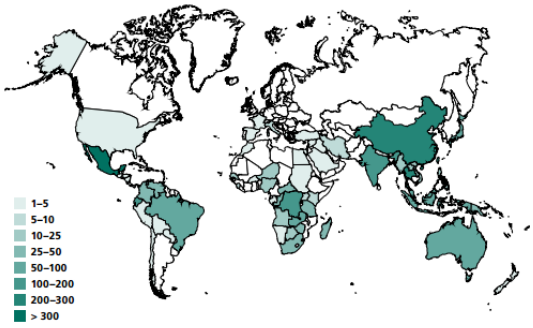

Figure 1. Nombre d'espèces d'insectes comestibles répertoriés par région dans le monde http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf , consulté le 12/12/2014, Centre for Geo Information, Wageningen University, d'après Jongema, 2012).

Il est difficile de fournir un nombre exact d'espèces comestibles dans le monde à cause de la diversité des cultures qui en consomment. L'entomophagie est pratiquée pour la plupart des cas par des populations autochtones qui ne connaissent rien de la systématique et n'identifient les insectes que par des noms vernaculaires. Une même espèce scientifiquement connue peut avoir plusieurs noms. Les inventaires qui existent montrent que le continent Américain abrite un nombre considérable d'espèces comestibles (39 %), l'Afrique vient en deuxième position avec (30 %) et 20 % en Asie (Ramos-Elorduy, 2009). L'inventaire des insectes comestibles est encore incomplet dans certaines régions, c'est pourquoi Yen (2010) attire l'attention sur le problème d'harmonisation entre la classification scientifique de nombreux insectes et la dénomination attribuée par les autochtones et recommande que les données actuelles soient considérées avec prudence pour éviter de crée des confusions (risque d'utiliser un nom vernaculaire pour désigner plusieurs espèces).

L'Amérique est plus riche en espèces comestibles, retrouvées en grande partie en Amérique du Sud et au Mexique avec 549 espèces comestibles recensées (Ramos-Elorduy, 2006 ; Ramos-Elorduy *et al.* 2009 ; 2011). Les répertoires d'inventaires des espèces comestibles de Paoletti et Dufour (2005) sont probablement incomplets pour les raisons suivantes : peu de pays Nord-Américains sont consommateurs d'insectes, l'entomophagie ne fait pas partie de la culture des pays industrialisés, il y a aussi l'existence d'un climat beaucoup plus froid qui empêche ou ralentit la reproduction et le développement des insectes.

En Afrique 524 espèces comestibles sont recensées dans 36 pays consommateurs (Ramos-Elorduy, 2009), ces pays se trouvent en grande partie dans les régions centrale et australe alors que selon Illgner et Nel (2000), 209 espèces sont consommées en Afrique

Sub-saharienne. L'entomophagie fait en effet partie intégrante des traditions dans de nombreux pays en Afrique et les espèces consommées varient en fonction des peuples ou des cultures.

L'Asie avec ces 349 espèces comestibles et 29 pays consommateurs d'insectes arrive en troisième position (Ramos-Elorduy, 2009). De ces espèces comestibles asiatiques, 150 à 200 espèces sont trouvées dans la partie Sud-Est qui comprend l'Indonésie, le Laos, la Malaisie, le Myanmar, les Philippines et le Vietnam (Johnson, 2010 ; Schabel, 2010). C'est la zone qui constitue avec l'Afrique l'épicentre de l'entomophagie.

1.3. Ordres d'insectes les plus consommés

La figure 2 présente graphiquement les ordres d'insectes les plus consommés dans le monde. Les ordres majeurs pour l'entomophagie sont : les Coléoptères, les Lépidoptères, les Hyménoptères, les Orthoptères, les Hémiptères.

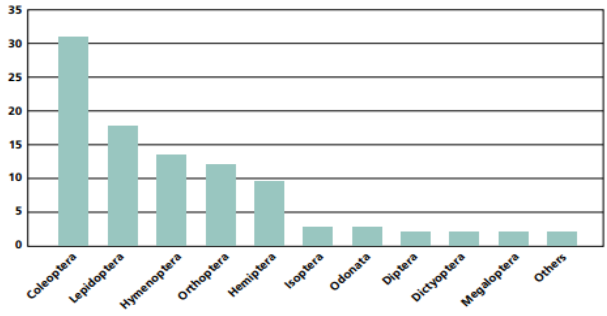

Figure 2. Pourcentage d'espèces comestibles par ordre décroissant. http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf, consulté le 12/12/2014, Centre for Geo Information, Wageningen University, d'après Jongema, 2012

La figure 2 montre que les Coléoptères sont les insectes les plus consommés dans le monde. Ramos-Elorduy (2009) montre que seulement 468 espèces sont répertoriées comme espèces

comestibles sur les 300.000 espèces de coléoptères qui existent dans le monde. Chez les Coléoptères, le stade larvaire est généralement le stade le plus consommé, même si le reste des stades peut l'être aussi. Les espèces de coléoptères les plus consommées sont : *Tenebrio molitor, Rhyncophorus sp* et *Oryctes rhinoceros* (Lavette, 2013).

Les Lépidoptères occupent la deuxième position et ce sont les stades larvaires, les chenilles, qui sont consommés. L'une des chenilles les plus utilisée en Afrique est *Imbrasia oyemensi* (Saturniidae), au Mexique on trouve l'espèce *Aegiale hesperiaris* (Hesperiidae) et l'Asie est caractérisée par ces *Bombyx mori* et *Bombyx eri* (Bombycidae) (Lavette, 2013).

Les Hyménoptères arrivent en troisième position avec 351 espèces comestibles sur les 120.000 espèces décrites (Ramos-Elorduy, 2009). Ce sont toujours les larves qui sont les plus consommées, mais il faut ajouter également les pupes. Les familles d'insectes les plus concernées de cet ordre sont : les Apidae, Vespidae, et les Formicidae.

Chez les Orthoptères, les criquets (notamment *Locusta migratoria*), les grillons (*Acheta domestica*) et les et sauterelles représentent les espèces les plus communément mangées de ce groupe que cela soit au stade de nymphes ou d'adultes. Le criquet le plus connu en Amérique latine est le chapuline (*Spenarium* sp.), tandis que en Asie, on trouve : *Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus occipitalis* et *T. mitratus* qui sont élevés pour l'alimentation. La consommation de l'imago demande d'enlever toutes les parties dures du corps avant la cuisson. Les Hémiptères (cigales, pucerons, cochenilles et punaises) occupent la cinquième position des ordres consommés alors que la sixième position revient aux termites (Isoptères). Enfin, les libellules (Odonata) sont surtout consommées au Bali, Thaïlande, Laos (Asie du Sud-Est) sous forme d'adultes

ou de larves alors que dans quelques pays africains notamment au Cameroun, on mange juste les larves (Lavette, 2013).

Malgré leur abondance, les Diptères (mouches) sont peu consommés et ce sont surtout les larves qui sont concernées, notamment les larves de *Musca domestica* en Chine (Chen *et al*. 2009). Par contre, plusieurs espèces de cet ordre sont utilisées pour nourrir les animaux en raison de leur croissance rapide et de leur capacité à se développer sur des sous produits organiques, parfois en décomposition. C'est le cas des mouches soldats noires, *Hermetica illucens* qui est élevée en grande quantité pour nourrir les animaux d'élevage (Bullock *et al.* 2013). L'asticot de la mouche domestique sert aussi de nourriture pour les élevages sous forme d'insecte entier ou de farine (Lavette, 2013).

1.4. Elevage des insectes (Mini-élevage)

Dans la plupart des cas, les insectes consommés sont directement obtenus par récolte ou ramassage en milieu naturel, principalement dans les forêts. Les élevages sont encore marginaux et demandent une mise au point rigoureuse pour assurer un approvisionnement de qualité pour la nutrition humaine (FAO, 2013).

1.4.1. Définition d'un mini-élevage.

Le mini-élevage (élevage d'espèces de petite taille) est une notion introduite en 1984 par Noël Vietmeyer, puis en 1991 par la sortie du livre intitulé « *Microlivestock : littleknown small animals with a promising economic future » (National Academic Press, USA).* Il désigne l'élevage d'espèces sauvages de petite taille, tant invertébrés (annélides, mollusques, insectes, chenilles, papillons) que vertébrés (oiseaux, rongeurs,

grenouilles, reptiles), qui sont d'usage commun pour l'alimentation humaine ou animale ou comme source de revenus, et dont le potentiel n'est pas encore totalement exploité (Hardouin, 1995 ; Anonyme, 2010). L'avantage du mini-élevage est qu'il peut être monté à partir des espèces consommées par les gens d'une région et les animaux produits sont nourris à base de coproduits agricoles, utilisant moins d'eau qu'un élevage de bovins, dans des petits espaces et produisant au total moins de pollution (Lavette, 2013).

Cerda *et al.* (2001) montrent que le mini-élevage se pratique dans les régions où l'élevage des espèces conventionnelles à grande échelle représente un coût important et peut avoir un impact négatif sur la biodiversité. La mise en place du mini-élevage suppose la maitrise de la biologie de l'espèce à élever pour optimiser la production en agissant sur son cycle biologique. Il est dans la majorité des cas pratiqué dans les campagnes de pays en développement et concerne surtout des espèces tropicales telles que les aulacodes ou rats des roseaux (Thryonomyidae), cobayes, grenouilles (Vertébrés), les escargots géants d'Afrique et plusieurs insectes (invertébrés).

1.4.2. Différents types d'élevage d'insectes

Plusieurs types d'élevages d'insectes existent selon qu'ils sont réalisés *in- situ* (effectué dans l'habitat naturel de l'insecte) ou *ex-situ* (élevage dans des conditions différentes de son milieu naturel). L'élevage *in-situ* permet de subvenir aux besoins d'un nombre limité de personnes. La production intensive et contrôlée ne peut se faire que lorsque l'élevage devient *ex-situ*. La domestication des insectes peut être totale, en semi-liberté (à moitié captif), ou encore que l'insecte reste dans son milieu naturel (Schabel, 2010).

1.4.2.1. Elevage en semi-liberté (in-situ)

Ce type d'élevage exige une excellente connaissance de la biologie et de l'écologie de l'espèce d'insecte que l'on veut utiliser. Cela peut conduire à la compréhension de son caractère saisonnier par exemple et amener au développement d'outils efficaces pour les recueillir. Il peut également permettre la manipulation de l'habitat de l'insecte comestible à petite ou à grande échelle, en agissant sur son comportement pour le rendre disponible pendant toute l'année (Van Itterbeeck et van Huis, 2012). L'insecte élevé en semi-liberté est disponible dans la nature et non généralement en captivité (mais certains peuvent l'être pendant une partie de leur développement). Les insectes en semi- liberté ne sont donc pas isolés de leurs populations sauvages. Par exemple, c'est le cas des larves de charançon du palmier (*Rhynchophorus*) dans le bassin Amazonien, en Indonésie, Malaisie, Papouasie- Nouvelle-Guinée, Thaïlande et en Afrique tropicale ou des chenilles en Afrique sub-saharienne, des chenilles de bambou en Thaïlande, des œufs d'Hémiptère aquatique au Mexique et des termites en Afrique sub-saharienne. Ce type d'élevage a l'avantage de contribuer à la sécurité alimentaire, d'être un apport complémentaire de

nourriture et en même temps de contribuer à la conservation de l'habitat de l'insecte comestible, donc à la biodiversité (FAO, 2013). Il est recommandé pour ce type d'élevage de privilégier les espèces aptères qui vont rester à proximité de la plante hôte pour pondre leurs œufs, ou des formes assez statiques, comme les chenilles. Nous allons passer en revue quelques cas.

1. Cas de *Vespula spp* (les guêpes)

Les larves et nymphes de *Vespula* spp sont par exemple très prisées au Japon. L'éleveur commence par la recherche d'un nid contenant une jeune colonie (reine, nombreux œufs, larves et quelques ouvrières). Il ramène la colonie à proximité de son habitation. Il va alors construire un abri à la ruche, pour la protéger des intempéries et du soleil trop puissant. Il la nourrit avec les restes de viande et de l'eau sucrée (Nonaka, 2010). Les guêpes ne sont pas en captivité, mais la qualité de l'abri (fig.3) et de la nourriture feront en sorte qu'elles continueront de nicher à cet endroit. La quantité de la production n'est pas connue. Le nid de guêpe peut se vendre à 100 $/kg au Japon (Nonaka, 2010).



Figure 3. Ruche de guêpes (*Vespula* spp) protégée par un abri au Japon (Nonaka, 2010).

2. Cas d'*Antheraea pernyi* (Lepidoptera, Attacidae) en Chine

L'élevage ici consiste à implanter dans des arbres sélectionnés, des insectes à des stades juvéniles (larves ou œufs). Il faut bien connaitre la plante hôte de l'espèce que l'on veut utiliser. En Chine, des zones sont entièrement occupées par du chêne chinois (*Quercus variabilis*), pour servir à élever ce papillon de la famille des lépidoptères aussi appelé Bombyx chinois (Schabel, 2010). L'insecte produit de la soie et sert aussi de nourriture. Ces chênaies constituent une technique de piégeage de l'insecte. Cette méthode est également utilisée dans une ferme à Yuyao (province de Zhejiang, Chine) pour élever des fourmis tisserandes *Oecophylla smaragdina* (Chen et Akre, 1994). Le cas de *Anaphe panda* (Lépidoptère) et son arbre hôte *Bridelia micrantha* mérite également d'être cité (Mbahin *et al.* 2012).

3. Cas de *R. bilineatus* (Coleoptera : Curculionidae) en Papouasie et en Indonésie

Van Itterbeeck et van Huis (2012) ont noté que de nombreux peuples autochtones ont d'excellentes connaissances écologiques du charançon et peuvent augmenter sa disponibilité et sa prévisibilité grâce à des pratiques d'élevage en semi-liberté. En Papouasie, il existe une large connaissance indigène des insectes comestibles. Dans les zones de basses altitudes (le long de la côte de la Papouasie), les palmiers locaux, les *Metroxylon sagu* sont abattus pour la production de l'amidon de sagou (Ramandey 2007). Les femelles de *R. bilineatus* viennent également pondre sur ces palmiers abattus. Le processus est relativement simple, les gens reviennent aux troncs un à trois mois après l'abattage pour récolter les larves de dernier stade (Choo *et al.* 2009). Certains Amérindiens utilisent cette

technique comme une stratégie pour survivre à des voyages de chasse et de pêche de longues durés dans des milieux éloignés de leurs villages (Dufour, 1987). Cela se fait également au Venezuela où les palmiers sont abattus délibérément pour permettre aux femelles (*R. palmarum* et *Rhinostomus barbirostris*) de venir pondre. Ils arrivent à produire une centaine de larves (fig.4) par stipe.



Figure 4. Larves *R. bilineutus (*Ramandey, 2007)

4. Les termites

Farina *et al.* (1991) décrivent une méthode simple pour élever en semi-liberté les termites. Cette méthode implique la réplication des conditions internes du monticule en fournissant un mélange de la cellulose humidifiée (par exemple papier, carton et matériel végétal séché) et le sol dans un endroit frais et sombre. Au Togo, les produits locaux tels que : le sorgho ou les tiges sèches d'autres céréales, l'eau, un morceau d'un vieux sac de jute, une pierre et certains sols humides sont utilisés exclusivement pour cet élevage. Une simple construction en bois est faite pour tenir le dispositif en place sur un trou d'entrée du monticule ; les termites peuvent être récoltées en 3-4 semaines. Les termitières qui sont en cours de construction sont idéales, mais les vieux monticules peuvent également bien servir (Farina *et al*. 1991).

1.4.2.2. Elevage en captivité (ex-situ)

L'espèce à utiliser pour ce type d'élevage doit remplir un certain nombre de conditions (Ramos-Elorduy, 2009) :

- Elle doit être bien connue d'un point de vue physiologique et biologique. Ceci permettra à l'éleveur d'optimiser certains paramètres qui agissent sur la vitesse de croissance ;
- Elle doit avoir un intérêt nutritionnel (forte teneur protéique et/ou énergétique) ;
- Elle doit également avoir une bonne capacité de transformer la nourriture donnée en biomasse consommable (Offenberg, 2011).
- Elle doit être multivoltine (nombre élevé de générations par an) ;

- Elle doit aussi pouvoir s'élever dans un espace réduit sans que cela puisse entamer l'efficacité de sa capacité de conversion des aliments, car cette efficacité de conversion ne doit pas dépendre de l'espace mais de la quantité de nourriture à sa portée (Yang *et al.* 2009) ;
- Enfin, elle doit être capable de recycler des ressources, c'est-à-dire accepter de s'alimenter avec des déchets de table ou coproduits agricoles.

Nous allons également donner quelques cas de l'élevage ex situ réalisés à travers le monde pour certains insectes.

1. Cas du vers de farine (*Tenebrio molitor*).

On utilise des vivariums de 20 cm de long environ. Il est recommandé d'utiliser des boites en plastique ou en verre à paroi lisse pour empêcher l'insecte de grimper et ensuite, préparer le mélange nutritif où les larves vont se développer. Hardouin et Mahoux (2003) préconisent le mélange de 2 kg de farine, 200 g de son, 200 g de levure de bière en poudre et 200 g de carottes râpées pour nourrir une centaine d'insectes. Il est également possible de supplémenter ce milieu avec des fruits ou des légumes et aussi de la carnitine (facteur de croissance de l'espèce). Le taux d'humidité joue un rôle important dans l'optimisation de l'élevage (avec uniquement de la nourriture sèche, on produit une génération par an contre 6 générations par an avec de l'eau à disposition) et l'activité (l'insecte adulte est plus actif si il dispose d'eau). Elle doit être d'environ 70%. La température optimale de l'élevage doit être constante à 27° C. Les larves doivent être isolées des nymphes pour éviter le cannibalisme. La femelle peut pondre 280 œufs au cours de son cycle qui dure 90 jours.

2. Cas de grillons (*Acheta domesticus*).

Le vivarium est aussi utilisé pour éviter que les grillons ne sortent (Hardouin et Mahoux, 2003). Le grillon est une espèce omnivore, il est donc possible de le nourrir avec les restes de repas (épluchures, restes de viande,…). Le vivarium doit contenir un coton imbibé d'eau pour que le grillon puisse boire, la nourriture et des contenants type boites à œufs en carton qui serviront d'abri. Le pondoir est constitué de zone de terre humide qu'il faut prévoir. Il faut couvrir la terre de tissu avec des mailles assez fines pour préserver les œufs de la voracité des adultes une fois que les femelles ont pondu. Le grillon a la

capacité de se développer jusqu'à une température de 20°C, mais l'optimum est autour de 30°C. L'étude de Booth et Kiddell (2007) a mis en évidence que *A. domesticus* élevé à une température de 28°C arrive à maturation au bout de 49 jours, alors qu'il faudrait 119 jours pour amener ce même grillon à maturation sous une température de 25°C. Il faut une quinzaine de jours à l'œuf pour éclore, puis il faut attendre 2 à 3 mois pour transformer un jeune en adulte. L'imago vit environ 3 mois pendant lesquels une femelle peut pondre des milliers d'œufs. Un vivarium d'un mètre carré permet d'élever 2000 grillons en l'espace de quelques mois. La récolte des individus se fait en enlevant les boites à œufs où les insectes se réfugient.

3. Cas des asticots (*Musca domestica*)

L'élevage de mouches est prioritairement destiné à l'alimentation des animaux d'élevage, notamment les poissons mais aussi les volailles. Cet élevage est possible à petite échelle à partir des déchets organiques tels que : déchets de cuisine, boulette de viande (Hardouin *et al.* 2000). Cependant, deux grandes sociétés américaine et sud africaine développent la production de larves de cette mouche pour nourrir divers animaux d'élevage.

A. Agriprotein

Ce projet a pour but l'utilisation des déchets organiques pour produire de protéines pour répondre à la demande croissante de l'alimentation animale. En utilisant les larves de la mouche domestique nourries par des déchets, AgriProtein a développé et testé à grande échelle une nouvelle source potentiellement durable de protéines. Le processus de production commence par l'élevage dans des cages stériles des mouches et chaque exploitation peut accueillir plus de 750 000 mouches. Différents types de déchets sont utilisés, y compris les déchets humains (excréments), le sang des abattoirs et de la nourriture avariée. Selon les espèces, une mouche femelle peut pondre jusqu'à à 1 000 œufs sur une période de sept jours. Les larves vont passer par trois stades différents dans une période de 72 heures et sont récoltées juste avant de devenir pupes. Elles sont séchées sur un séchoir à lit fluidisé, blanchie en forme de flocons et emballé selon les préférences du client (FAO, 2013).

Le produit contient neuf acides aminés essentiels, des niveaux élevés de cystine et des niveaux de lysine, méthionine, thréonine et tryptophane similaires à la farine de poissons. La société a commencé à faire que de petites quantités en laboratoire, mais au cours des dernières années, la production a augmenté à des centaines de kg par jour et va bientôt dépasser 1 tonne par cycle de production par jour. L'objectif final est d'atteindre 100 tonnes de larves par jour. Une première grande usine exigerait un investissement de 8 millions de dollars US et les pays intéressés sont : l'Allemagne, Afrique du Sud, la Grande-Bretagne, Irlande du Nord et les U.S.A (Agriprotein, 2012 dans FAO, 2013).

B. Enviroflight

Enviroflight est un autre producteur d'insectes pour l'alimentation animale. Son objectif est de produire des protéines animales et végétales pour la pisciculture. Enviroflight utilise les drêches solubles de brasserie séchées des usines d'éthanol. Les larves de mouches soldat noires (*Hermetia illucens*) sont utilisées pour convertir ces drêches en protéines. Elles deviennent un produit à haute teneur en protéines, en matière grasse pour l'alimentation de tilapia, crevettes d'eau douce, de poisson-chat et d'autres espèces omnivores. Le produit est également bénéfique en tant que source de protéine pour les porcs et les bovins. Le modèle standard envisage une production de 16,5 tonnes de larves sèches par jour dans le site du Cap-Occidental, site capable de stocker 20 tonnes de larves traitées par jour.

Les larves sont cuites, séchées et transformées en un repas qui contient 42 % de protéines et 36 % de graisse. Enviroflight a développé et testé un certain nombre de formulations d'aliments comme aliments complets pour plusieurs espèces de poissons. La clé de ce processus est qu'il empêche la production de l'ammoniac dans la boue pour stabiliser le matériau immédiatement après que les larves d'insectes aient consommé les drêches de brasserie. Cela permet de maintenir l'azote fixe et élimine les odeurs tout en atténuant la formation de moisissures et des mycotoxines. La boue est également bénéfique comme engrais naturel. Les niveaux d'azote, de phosphore et de potassium sont de 5, 3 et 2 %, respectivement, ce qui est très bon pour la culture de légumes. Le système comprend un système de bioréacteur et une chambre de reproduction. Il est conçu pour être utilisé n'importe où et peut être optimisée pour un fonctionnement dans les pays en développement (Courtright, communication personnelle, 2012 dans FAO, 2013).

1.5. Avantages liés à la production alimentaire au départ d'insectes

1.5.1. Taux de conversion de denrées alimentaires

Pimentel et Pimentel (2003) ont montré que pour 1 kg de protéines animales de haute qualité, le bétail consomme environ 6 kg de protéines végétales. Le taux de conversion des aliments (quantité d'aliment nécessaire pour produire une augmentation de 1 kg de masse corporelle) varie largement en fonction des animaux et des méthodes de production. Le taux de transformation des insectes est extrêmement efficace. Dans le système d'élevage aux U.S.A, pour avoir une augmentation d'1 kg de la masse corporelle de l'animal, il faut utiliser : 2,5 kg d'aliment pour le poulet, 5 kg pour le porc et 10 kg pour la viande bovine (Smil, 2002). Les insectes par contre nécessitent beaucoup moins d'aliments, en moyenne 2 kg. Par exemple, pour avoir 1 kg d'augmentation de la masse corporelle animale, les grillons n'ont besoin que de 1,7 kg d'aliments (Collavo *et al*. 2005). Nous savons que ces chiffres doivent être ajustés en poids comestibles (l'animal entier n'étant pas comestible), alors l'entomophagie devient encore plus intéressante (van Huis, 2013). Nakagaki et DeFoliart (1991) ont estimé que le grillon est comestible et digeste jusqu'à 80 % contre 55 % pour le poulet et le porc et 40 % pour les bovins. Cela signifie que les grillons sont 2 fois plus efficaces pour convertir l'alimentation en viande que les poulets, 4 fois plus efficaces que les porcs, et 12 plus efficace que les bovins (Fig.5). Ceci est probablement dû au fait que les insectes sont des animaux poïkilothermes alors que les animaux à sang chaud utilisent aussi une partie de leur alimentation pour maintenir la température du corps constante.

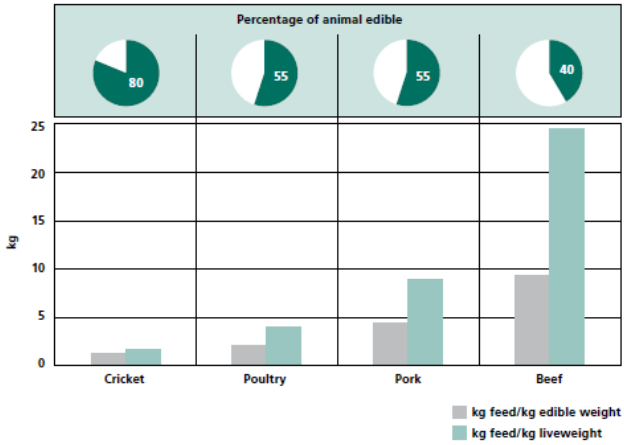

Figure 5. Efficacité de conversion des animaux traditionnels et du criquet (van Hui, 2013)

Aux côtés des avantages liés au taux de conversion des aliments, l'élevage des insectes offre (FAO, 2013) d'autres avantages:

- Les insectes peuvent être nourris par de déchets organiques, tels que les déchets alimentaires, de compost et de lisier et sont capables de les transformer en protéines de haute qualité utilisables pour l'alimentation du bétail ;
- Les insectes consomment beaucoup moins d'eau que l'élevage de bétail conventionnel ;
- L'élevage des insectes est moins dépendant du sol que l'élevage conventionnel.

1.5.2. Production de Gaz à effets de serre

Parmi les espèces d'insectes, seuls les cafards, les termites et les scarabées produisent du méthane (CH_4) (Hackstein et Stumm, 1994), qui provient de la fermentation bactérienne par les methanobacteriaceae dans l'intestin postérieur (Egert *et al*. 2003). Les insectes qui sont les plus utilisés en occident tels que les larves de ver de farine, grillons et sauterelles émettent de plus faibles quantités de gaz à effets de serre que les porcs et les bovins. Ces émissions sont inférieures de 10 à 100 fois par rapport à celles du porc (Oonincx *et al*. 2010). Les résultats d'émission de gaz à effets de serre (fig.6) que nous présentons sont tirés des expériences à petite échelle réalisées dans les laboratoires et la prudence devrait être exercée dans les comparaisons avec la production de porcs à grande échelle et de bovins.

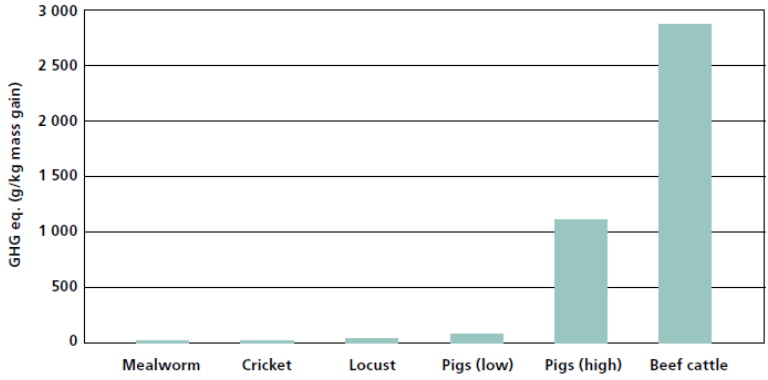

Figure 6. Quantité de gaz à effets de serre produite par ces animaux (Oonincx *et al.* 2010).

Chapitre 2. Objectifs et hypothèses de la thèse

2.1 Objectif général

Cette étude a pour objectif une analyse des possibilités d'élevage du charançon *Rynchophorus phoenicis* et de son optimalisation en utilisant des produits agricoles secondaires disponibles localement à bas prix. Le but ultime consiste en la valorisation de ressources locales et particulièrement de coproduits agricoles pour la production en masse de *R. phoenicis* destiné à l'alimentation humaine. C'est une forme de valorisation de la biodiversité mais aussi de production alimentaire à moindre coût économique et écologique. De plus, les larves de *Rhynchophorus* spp. sont considérées comme une délicatesse alimentaire voire un produit de luxe en Afrique centrale et dans plusieurs pays du monde. Ce type d'alimentation est donc bien accepté localement et pourrait résoudre des problèmes de mal-nutrition et notamment de déficits protéiques. Enfin, ce type d'élevage permettra de créer une activité économique locale rentable et de faire vivre ainsi quelques familles.

2.2. Objectifs spécifiques

La mise au point d'un élevage de *R. phoenicis* à des fins alimentaires nécessite d'analyser et d'optimaliser chaque étape de la production pour minimiser les coûts et les besoins en matière première tout en maximisant la productivité. Cela nécessite une excellente connaissance de la biologie de l'espèce. Cette thèse sera dès lors constituée de plusieurs articles scientifiques complémentaires qui constitueront chaque fois un volet de l'étude. Le choix du substrat d'élevage sera également testé et comparé. Dans un premier temps, ce qui est connu à partir de la littérature ou issus d'observations personnelles sur la

biologie de l'espèce sera présenté. Nous visons les objectifs spécifiques ci-après :

1) Identifier les espèces de *Rhynchophorus* spp. majoritairement présentes en milieu naturel dans la région de Kisangani. Pour cet aspect, un échantillonnage de terrain a été mis en place tout au long de l'année, 2 années consécutives. Plusieurs sites ont été analysés avec une méthode de piégeage définie et les espèces ont été identifiées. La phénologie a été établie et a fait l'objet d'un article. En outre, les individus récoltés sur le terrain étaient fortement infestés par des acariens. Nous nous somme dès lors attaché à identifier les espèces d'acariens et à essayer d'estimer l'impact qu'elles pouvaient avoir sur leurs hôtes.

2) Identifier clairement les étapes nécessaires pour élever les *R. phoenicis.* Dans ce chapitre les protocoles mis en place pour la récupération des insectes en milieu naturel, la préparation du substrat d'élevage et son infestation jusqu'à la production de larves de dernier stade ou adultes ont été élaborés, sur base de la littérature ou de l'expérience personnelle. Ce chapitre constitue une méthodologie générale du processus d'élevage utilisée par la suite.

3) Comparer différents substrats de ponte et d'élevage, ainsi que l'efficacité des modes d'infestation et du stade à utiliser. Une analyse complète de l'influence des plusieurs types de substrats d'élevage sur le développement larvaire, la taille et la production des larves de derniers stades a fait l'objet d'un second article scientifique.

4) Déterminer le nombre d'œufs qu'une femelle de *R. phoenicis* peut pondre au cours de sa vie, connaître le taux d'éclosion de ces œufs et chercher à comprendre si la présence d'un mâle aux côtés de la femelle peut influencer sa fécondité et le taux d'éclosion des œufs pondus. Un

troisième article a été consacré à l'étude de la fécondité des femelles en fonction des substrats d'élevage et de la présence simultanée ou non des deux partenaires sexuels. Un quatrième article est consacré à l'étude de la fécondité des adultes produits au laboratoire et de la présence simultanée ou non des deux partenaires sexuels.

5) Etudier la survie de *R. phoenicis* lors du développement de l'œuf à l'adulte, c'est-à-dire connaître le nombre d'adultes qu'une femelle peut donner selon qu'elle provient de pièges et donc dont l'âge n'est pas connu ou qu'elle est produite à partir d'un cocon récolté sur le terrain et donc dont l'âge est connu.

2.3. Hypothèses

L'hypothèse principale que nous comptons tester est qu'il est possible d'élever de façon satisfaisante *R. phoenicis* sur un substrat d'élevage de substitution qui ne correspond pas à son milieu naturel. Nous nous basons sur les résultats de la littérature pour formuler cette hypothèse. Nous supposons que le passage par un milieu de substitution aura sans doute des conséquences sur une diminution de la survie, de la fécondité, une augmentation du temps de développement et probablement un effet sur la taille. Ces différents critères seront donc mesurés. Trois hypothèses secondaires seront testées :

- Le type d'infestation joue un rôle majeur dans la réussite de l'élevage ;
- Le type de substrat aura aussi une influence ;
- La présence du mâle aux côtés de la femelle de *R. phoenicis* aurait des effets sur sa fécondité et le taux d'éclosion des œufs pondus.

Chapitre 3 : Biologie de *Rhynchophorus* spp

Introduction

Ce chapitre traite des généralités sur les *Rhynchophorus* en commençant par sa systématique et la répartition géographique mondiale, les différents stades de vie, l'écologie de l'adulte, son mode de vie et ses plantes hôtes. Il met l'accent sur l'espèce *Rhynchophorus phoenicis*. Nous présentons ici les connaissances tirées de la littérature et celles issues de nos propres observations sur terrain et en élevage. En outre, nous présenterons une analyse de la littérature concernant ce genre sur les essais d'élevage effectués jusqu'à récemment et sur la valeur alimentaire des larves produites.

3. 1. Systématique

La famille des Curculionidés est gigantesque, avec une systématique confuse et hétérogène qui mériterait d'être scindée en plusieurs familles (Paulian, 1998). Il est actuellement admis que les *Rhynchophorus* appartiennent à la super famille des Curculionidés, et ils sont classés dans la famille des Dryophthoridae (Schönherr, 1825), au même titre que les *Sitophilus*, charançons des céréales et à la sous-famille des Rhynchophorinae (Rochat, 1991 ; Bouchard *et al*. 2011). En l'état actuel des connaissances le genre *Rhynchophorus* comprend 10 espèces appartenant à la tribu des Rhynchophorini (Wattanapongsiri, 1966) (tableau 1).

Tableau 1. Espèces de *Rhynchophorus* et leurs plantes hôtes

N°	Espèces de *Rhynchophorus*	Plantes hôtes
1	*R. ferrugineus* Olivier	*Cocos nucifera, Chamaerops humilis, Phoenix theophrasti, Coelococcus amicarum, C. solomonensis* et *Metroxylon sagu*
2	*R. palmarum* L.	*Cocos nucifera, Carica papaya, Musa sapientum, Phoenix dactylifera* et d'autres palmiers
3	*R. cruentatus* Fabricius	*Phoenix canariensis, Sabal palmento, S. serula* et *Annanas sativa*
4	*R. phoenicis* Fabricius en Afrique	*Cocos nucifera, Elaeis guineensis, Raphia vinifera, Phoenix dactylifera, Metroxylon sagu* et d'autres palmiers
5	*R. quadrangulus* Quedenfeldt en Afrique	*Elaeis guineensis*
6	*R. vulneratus* Panzer en Asie	*Cocos nucifera, Elaeis guineensis, Livistonia cochinchinensis, Metroxylon sagu* et d'autres palmiers
7	*R. bilineatus* Montrouzier en Asie	*Cocos nucifera, Coelococus amicarum, C. solomonensis* et *Metroxylon sagu*
8	*R. distinctus* Wattanapongsiri en Asie	Non spécifié
9	*R. lobatus* Wattanapongsiri en Asie	Non spécifié
10	*R. ritcheri* New species	Non spécifié

3.2. Répartition mondiale de *Rhynchophorus*

Wattanapongsri (1966) montre que la répartition mondiale de *Rhynchophorus* (fig.7) va de l'Asie en passant par l'Afrique et débouche en Amérique. En Asie, 5 espèces sont répertoriées *: bilineatus*, *distinctus*, *ferrugineus*, *lobatus*, et *vulneratus*. Ces espèces se trouvent à l'Est de l'Inde, au Pakistan, au Burma, au Sud de la Chine, au Sud du Japon, à Taiwan, au Nord et Sud du Vietnam, au Laos, au Cambodge, en Thaïlande, en Malaisie, en Indonésie (Sumatra, Java, Borneo, et l'île de neighbouring), en Nouvelle Guinée et Papouasie, en Nouvelle Calédonie, les autres îles de l'Est de l'Inde et de l'Australie du Sud. L'Afrique contient 2 espèces : *phoenicis et quadrangulus*. Ces deux espèces se retrouvent en Guinée, à travers le continent, dans l'Est de l'Ouganda jusqu'en Afrique du Sud. En Amérique, on retrouve trois espèces : *cruentatus*, *palmarum*, et *ritcheri* qui sont présentes dans les pays ci-après: les U.S.A et le Cuba, au Sud du Mexique, au centre et Sud de l'Amérique et l'Ouest Indien.

La plupart des espèces de *Rhynchophorus* sont confinées dans certaines régions: *bilineatus* dans les îles de l'océan Indien à l'Est de l'Inde; *cruentatus* au Sud des U.S.A; *distinctus* à Borneo; *ferrugineus* et *vulneratus* dans les régions orientales et Sud de l'Australie; *lobatus* à Sumatra; *palmarum* au Sud de la Californie jusqu'au Sud de l'Amerique; *phoenicis* et *quadrangulus* en Afrique; *ritcheri* au Pérou et Brésil (Wattanapongsrii, 1966).

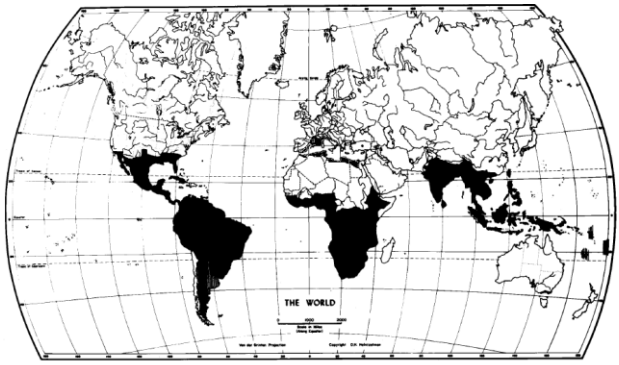

Figure 7. Répartition mondiale du genre *Rhynchophorus* (Wattanapongsrii, 1966).

En Afrique tropicale, on trouve le *Rhynchophorus* dans toute l'aire de dispersion du palmier à huile et on le rencontre plus fréquemment dans les palmiers des régions sud que dans celles du nord. (Grasse, 1976).

3.3. Cycle de vie de *Rhynchophorus phoenicis*

Le cycle de vie de *R. phoenicis* (fig.8) comprend quatre stades :

- Les œufs sont pondus dans la plante hôte grâce à un orifice que la femelle ouvre à l'aide de son rostre et qu'elle rebouche après la ponte par un bouchon fécal. Le nombre de stades larvaires est variable pour de nombreux coléoptères. Neuf à dix stades constituent le cas le plus fréquent chez *Rhynchophorus*. Le nombre de stades est plus important quand les larves se développent dans un milieu dur ou très fibreux (Rochat, 1991). Les mues sont très rapprochées dans les premiers jours de la vie de la larve ; 4 à 5 mues les 10 à 12 premiers jours (Berthier, 1986 ; Wilson, 1963). Pour la durée du développement larvaire et des différents stades, les données recueillies sont très hétérogènes et l'on sait rarement sur quels effectifs elles ont été obtenues (Rochat, 1991). Les stades larvaires sont les plus voraces parce que les larves sont

broyeuses et ont besoin de beaucoup d'énergie pour croître ; 10 à 20 larves peuvent entrainer la mort d'un palmier à plus ou moins brève échéance (Hardouin, 2003) ; On peut entendre clairement l'activité de nutrition de la larve au travers du stipe dont elle se nourrit ;

- La nymphose (15-19 jours) se passe également dans la plante hôte, mais contrairement aux deux premiers stades, elle se passe à la périphérie; c'est-à-dire, la larve fait une galerie jusqu'à l'extérieur et se retire à 0,5-1 cm de profondeur pour y construire son cocon à partir de fibre de la plante hôte. La métamorphose se passe à l'intérieur du cocon;

- Le stade adulte à une durée de vie relativement longue (de 40-53 et 57-58 jours en élevage, respectivement pour les mâles et femelles issus de jeune stipe de palmier et canne à sucre, selon les données de ce travail). Il vit à l'extérieur du stipe, dans les anfractuosités de la plante hôte (Faleiro, 2006). La figure qui suit présente le cycle de vie de *Rhynchophorus phoenicis*.

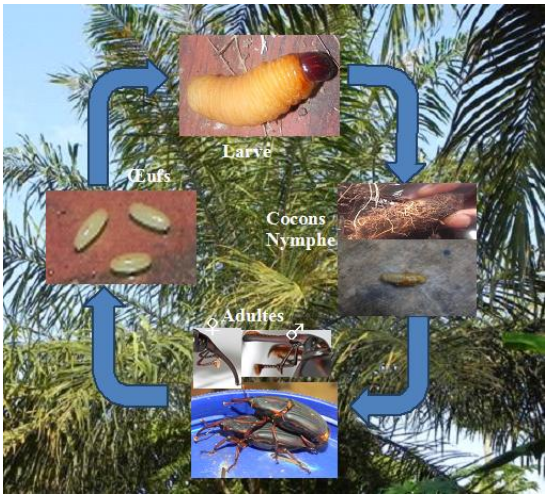

Figure 8. Cycle de vie de *R. phoenicis.*

3.3.1. Adulte : Morphologie, taille et dimorphisme sexuel

Ces coléoptères se caractérisent par un prolongement plus ou moins long de la tête qui forme un rostre portant à son extrémité des mandibules. Les antennes son coudées et portent une massue. Les tarses sont pseudotétramères (n'ayant apparemment que quatre articles) avec un article bilobé caractéristique. C'est un insecte noir, allongé de 3 à 5 cm de long pour un poids de 1,5 à 2,5 g. Le prothorax et les élytres sont plus ou moins lisses et brillants, parfois franchement mâts et veloutés. La taille des adultes issus d'élevage sur canne à sucre (Inra Versailles) (mâles : 37±7 mm ; femelle : 39±6 mm) est inférieure à celle des individus sauvages (mâles et femelles : 41±3 mm ; population Nord-Colombienne) (Rochat, 1991). L'espèce que nous avons récoltée majoritairement, *R. phoenicis,* est d'un noir vif, porte des élytres qui ont environ dix stries longitudinales de couleur marron foncée à noirâtre sur le dos et la face ventrale est brun foncée. La partie supérieure du thorax porte deux lignes rouges pour certains et rien pour d'autres. Comme indiqué plus haut, le caractère remarquable est la présence d'un rostre de longueur variable (environ 1cm) et incurvé pour les femelles. Les antennes possèdent 4-6 articles et le dernier article est plus large en forme de massue. Le rostre (fig. 9) est trois fois plus long que la tête, porte à sa base les yeux, à sa partie terminale des pièces buccales et au dessus pour les mâles des soies épaisses et droites ; c'est l'organe (rostre) qui détermine le dimorphisme sexuel.

Le rostre de la femelle est long, incurvé et glabre, celui du mâle est moins long, un peu cylindrique, droit et porte à son extrémité dorsale une touffe de soies. Tous les mâles cependant n'ont pas de soies, la perte de ces dernières a lieu quand le mâle vieilli et c'est à ce moment aussi que sa fertilité diminue (Rochat, 1991). Les pattes sont également pourvues des soies au niveau de

fémur et du tibia (nombreuses chez les mâles). Pour les individus de petite taille (30-40 mm), seule la forme du rostre permet de trancher car les mâles sont fréquemment dépourvus de brosse. Ces mâles présentent généralement une dépression elliptique plus ou moins lisse à l'emplacement où se situe la brosse chez les « grands » mâles.



Figure 9. Dimorphisme sexuel *R. phoenicis* à partir du rostre.

Dans de très rares cas, un examen minutieux du rostre ne permet pas de déterminer le sexe de l'insecte. Il faut alors examiner ses pièces génitales (fig.10). La méthode consiste à placer l'insecte adulte dans une boîte hermétique à atmosphère saturée en gaz carbonique. L'insecte, privé d'oxygène, finit par entrouvrir son extrémité abdominale, ce qui permet d'observer soit l'ovipositeur pour la femelle, soit un tergite modifié de forme caractéristique pour le mâle. La détermination du sexe est alors très facile (Rochat, 1991).



Figure 10. Dimorphisme sexuel de *R. phoenicis* à partir de l'organe génital.

R. phoenicis vole surtout de jour entre 25°C et 40°C (Faleiro, 2005). Il est doué d'un vol puissant et peut franchir jusqu'à 7 km en conditions favorables. On ne connait pas les facteurs qui influencent ses déplacements, mais il est souvent attiré par les produits volatiles que dégagent les blessures de ses plantes hôtes. Sur le palmier, il fuit la lumière, vit caché dans les anfractuosités et s'abrite dans les tissus tendres ou décomposés; il y est très difficile à observer (Rochat, 1991) ; mais d'après mon expérience de terrain, étant un des insectes dont les oiseaux sont friands, surtout le corbeau, il doit dès son atterrissage occuper des endroits qui empêchent ses prédateurs de le prendre aussi facilement. L'adulte vit de 2 à 4 mois, le mâle un peu plus que la femelle. Ils colonisent les palmiers de tous les âges.

Il se déplace le plus souvent dans les heures les plus fraiches de la journée, surtout au crépuscule cherchant activement des sites pour s'alimenter et pondre. Le vol est rapide et puissant jusqu'à proximité des sites d'atterrissage au niveau desquels l'insecte décrit des cercles ou des « huit » à faible vitesse, faisant quelquefois du vol stationnaire avant de se poser et se cacher très rapidement à l'aisselle des feuilles ou sous des morceaux provenant de l'écorçage d'un palmier abattu.

3.3.2. Accouplement, Ponte, Œufs.

Dans la nature.

L'accouplement s'observe sur quelques arbres-pièges car les charançons fuient dès qu'ils perçoivent une lumière vive. Maharaj (1964) et Genty et Gonzàlez (communications personnelles in Rochat, 1991) indiquent que les œufs sont pondus dans les tissus tendres des arbres, essentiellement au niveau de la couronne ou à la base du stipe (« tronc » du palmier). La femelle creuse un trou avec son rostre, y introduit son ovipositeur et dépose un œuf. Le nombre d'œufs pondus par la femelle est d'environ 100-300. Certains auteurs (Hagleye, 1965 ; Restrepo *et al*. 1982) rapportent des pontes allant jusqu'à 700-800 œufs pour une même femelle. Nous avons aussi obtenu des pontes avec de femelles individuelles de (516 à 547 œufs voir résultats). Les auteurs ci-haut disent que la femelle creuse d'abord un trou avec son rostre avant d'y déposer un œuf avec son ovipositeur ; mais en réalité, sauf erreur de notre part, quand la femelle creuse avec son rostre, c'est pour s'alimenter ; pour pondre, elle enfonce directement son ovipositeur et dépose l'œuf.

Toutefois, les femelles ne peuvent pondre dans les tissus qu'à la faveur de blessures sur les palmiers seulement dans les tissus frais et mous accessibles (Copeland, 1931 ; Huston, 1933 *dans* Wattanapongsiri, 1966), à l'aisselle des rejets sur les stipes dans le cas du palmier dattier et aussi du palmier à huile (Avand-Faghih, 1996 ; Muralidharan *et al*. 2000). Le charançon peut également attaquer au niveau de l'apex du palmier des Canaries très sensible au *R. ferrugineus* en Espagne (Gomez et Ferry, 2005). Ces blessures sur les arbres sont de diverses origines comme l'extraction du vin de palme (technique courante pratiquée en Afrique), le tronçonnement des stipes au moment ou après l'abattage, le toilettage de jeunes palmiers.

D’autres portes d’entrées sont l'attaque d'autres insectes tels que les coléoptères Scarabeidae du genre *Oryctes*, des dégâts de rongeurs, des blessures liées à une mauvaise technique de castration des fleurs femelles des jeunes palmiers (pratique couramment utilisée dans le jeune âge, notamment dans les zones à fort déficit hydrique, afin de faciliter le développement de la plante) (Mariau, 2000). Il a la capacité de trouver les stipes nouvellement blessés de palmier à une distance d'au moins 900 m (Leefmans, 1920 dans Wattanapongsiri, 1966). Les *Rynchophorus* sont potentiellement dangereux pour les jeunes cultures sur lesquelles la femelle recherchera des blessures pour y pondre. La ponte est généralement confinée sur une portion du stipe et continue pendant 45 jours approximativement (en Europe). Pendant cette période, le charançon peut établir une moyenne de 204 œufs (Faleiro, 2005).

Les études effectuées sur les *Rhynchophorus* montrent que les mâles émettent une phéromone d’agrégation qui attire mâles et femelles (Hallett *et al.* 1999 ; Weissling *et al.* 1993 ; Rochat *et al*. 1991). La phéromone du charançon rouge du palmier est un mélange de ferruginéol (4-méthylnonan-5-ol) et de ferruginéone (4-méthylnonan-5-one) en proportion 90:10.

En élevage

Les accouplements s'observent à toute heure du jour et de la nuit. Leur durée est relativement brève, de 10 à 30 secondes. Ils sont précédés d'un comportement caractéristique du mâle lors de la rencontre d'une femelle : après un contact antennaire, le mâle a des mouvements saccadés pendant à peine une seconde, puis il monte très rapidement sur la femelle et s'y agrippe fermement avec ses pattes (Rochat, 1991). L'accouplement des adultes se fait plusieurs fois au cours de leur vie mais avant nos travaux, il n'était pas établi que leur nombre a un effet sur la fécondité des femelles. Nos travaux sur la fécondité des femelles et la survie des œufs pondus (chapitre 8) montrent que la présence du mâle aux côtés de la femelle influe grandement sur ces paramètres.

La ponte et les œufs

Après le piégeage des adultes sauvages, l'élevage peut commencer. Il faut les mettre dans des bocaux aérés avec un substrat de ponte qui est en même temps la nourriture des insectes. Les femelles pondent leurs œufs dans le substrat alimentaire. La ponte intervient quelques jours après le premier accouplement (la période de pré-oviposition peut durer 1-7 jours, voire 15 jours pour certaines femelles) et se poursuit pendant plusieurs jours. Les femelles, vierges ou non ne pondent quasiment plus après deux mois. Les mâles âgés (plus de deux mois), même vierges, sembles aussi très peu fertiles. Les œufs non fécondés ne sont pas fertiles. Il n'y a donc pas de parthénogénèse, pourtant assez fréquente chez les Curculionidés (Rochat, 1991).

Les œufs (fig.11) sont blancs jaunâtres, de forme ovoïde très allongés mesurant 2 à 3 mm de long pour 0,5 à 1 mm de large. Ils portent fréquemment un capuchon sécrété par la femelle lors de la ponte et qui obture normalement l'orifice dans lequel l'œuf a été pondu. La récupération des œufs déposés à l'air libre est facile. On peut les récupérer avec un pinceau fin et les déposer sur du papier filtre humidifié dans une boîte de Pétri et attendre l'éclosion. On peut aussi replacer chaque œuf directement dans un petit trou creusé à l'intérieur d'un morceau de canne à sucre. On procédera de même à l'éclosion des larves dans des boites de Pétri. La récupération des œufs pondus dans les morceaux de canne à sucre est délicate et fastidieuse, car plusieurs sont inévitablement cachés et d'autres détruits.



Figure 11. Œufs de *R. phoenicis*

3.3.3. La larve : Morphologie, caractéristiques et utilisation.

Les larves sont typiquement curculioniformes, c'est-à-dire apodes avec une capsule céphalique bien développée et dotées de fortes mandibules. Le corps est blanc – jaunâtre plus ou moins brun. Aux derniers stades, la coloration devient plus brune. La capsule céphalique est brune, arrondie, pourvue de longues soies et dotée de très fortes mandibules. Il faut être prudent lors de la manipulation des grosses larves car les morsures sont douloureuses. Elles peuvent aussi venir à bout de bambous d'un demi-centimètre d'épaisseur. La larve de dernier stade possède 12 lignes ondulatoires. Sa tête est sclérifée et brun-noirâtre, plus foncée vers les pièces buccales (type broyeur avec deux mandibules pointues, robustes et droites). La larve est aveugle. Les figures 12 et 13 ci-contre montrent les larves de dernier stade et les larves immatures.



Figure 12. Larves de dernier stade



Figure 13. Larves immatures *R. phoenicis*.

Dans la nature, les larves se développent à l'intérieur des stipes de palmier, principalement dans les zones tendres et riches en sève, notamment le cœur. Elles se développent dans les arbres en creusant des galeries qui sont colonisées par les microorganismes et entrainent la pourriture des tissus de l'arbre. On trouve des larves aussi bien dans des arbres encore vivants sur pied que dans des arbres abattus. Sur les plantations, la présence de larves est détectée très efficacement au moyen d'un stéthoscope (Rochat, 1991). La récolte de larves sur terrain est possible mais demande un travail fastidieux, très souvent

disproportionné avec le nombre d'insectes finalement récupérés : il faut en effet abattre un arbre et le débiter en petits morceaux à la machette. Il est plus raisonnable de commencer l'élevage à partir de pontes, faciles à obtenir en captivité.

Le stade larvaire dure 1,5 à 4 mois en conditions favorables et jusqu'à 9 mois si la larve cesse de se développer en hiver (Martín et Cabello, 2005). Les larves se nourrissent dans les tissus sains et frais comme les gaines foliaires, le système vasculaire et le bourgeon terminal, en creusant des galeries dans les stipes de palmiers, notamment justes au-dessus du plateau radiculaire. Elles préfèrent les zones tendres et bien irriguées, elles peuvent aussi se développer à la base plus dure des stipes. Elles détruisent le système vasculaire et favorisent les pourritures. En fin de croissance, elles migrent à la périphérie du stipe ou à la base des palmes et construisent un cocon pour la nymphose. Le stade nymphal dure 2 à 4 semaines. Le développement de l'œuf à l'adulte dure donc de 2 mois sous les tropiques à 5 mois sur les côtes espagnoles pour une ponte au printemps. Les générations se chevauchent et l'on trouve tous les stades à chaque moment de l'année. En Espagne, le charançon passe l'hiver à tous les stades. La température minimale de développement larvaire est de 15 °C. La température létale est de 10 °C, 5 °C et -2 °C pour l'œuf, la larve et la nymphe respectivement. Elle se situerait entre 0 et 5 °C pour l'adulte (Martín et Cabello, 2005).

La Prénymphe, la nymphe et le cocon

La larve fabrique un cocon à partir de fibres prélevées à la plante-hôte à la fin de sa croissance. Le cocon a la forme d'un tonnelet plus ou moins trapu et symétrique (20 à 40 mm de diamètre pour une longueur de 40 à 60 mm). Il est rarissime que la larve se nymphose sans construire un cocon ou même dans un cocon mal construit.

La prénymphe est une larve contractée qui ne se déplace plus mais dont l'abdomen se tortille au moindre dérangement. La nymphe est blanc-jaunâtre, également pourvue d'un abdomen très mobile qui permet de détecter sa présence à l'intérieur du cocon. Elle pèse 3,5 à 4,5 g (Berthier, 1986). Elle commence à brunir plusieurs jours avant la mue imaginale et devient noire juste avant la sortie de l'adulte. Elle est totalement immobile à ce moment. Tant que la larve ne s'est pas encore transformée en prénymphe puis en nymphe, on ne détecte aucun mouvement venant du cocon lorsqu'on le secoue légèrement. A l'inverse, dès qu'il y a une prénymphe (fig.14) ou une nymphe (fig.15), on perçoit nettement leurs mouvements (Rochat, 1991).



Figure 14. Prénymphe



Figure 15. Nymphe de *R. phoenicis*

Dans la nature

Le cocon (16) est bâti à la périphérie du stipe ou dans le rachis des feuilles où la larve trouve en abondance des fibres (Lespeme *et al*. 1947). La nymphose intervient parfois en terre, notamment lorsque la larve s'est développée dans un arbre abattu (Hagleye, 1965 ; Maharaj, 1962).



Figure 16. Cocons sauvages

En élevage

La nymphose n'est pas clairement définie dans la littérature. Pour certains auteurs, elle débute dès que la larve cesse de s'alimenter et commence la confection du cocon. Pour d'autres, ce terme ne s'applique qu'à la période durant laquelle la larve s'est morphologiquement modifiée en prénymphe. La mue imaginale intervient environ une semaine après l'achèvement du cocon. La prénymphose est le « stade critique » de l'élevage car plusieurs mois d'efforts peuvent être anéantis (Rochat, 1991). L'élevage sur milieu artificiel dépourvu de fibres devient alors critique car il faut impérativement fournir aux larves des fibres au moment adéquat qui est difficile à déterminer. Des résultats corrects semblent avoir été obtenus dans ce cas par Nadarajan (1984) et Berthier (1986). Dans tous les cas, les larves maigrissent régulièrement jusqu'à la mue nymphale passant de 10 à 12 g à moins de 5 g. Les figures ci-après présentent les cocons à base de fibres de jeune stipe de palmier et canne à sucre.



Figure 17. Cocons formés jeune stipe



Figure 18. Cocons formés canne à sucre

Utilisation par l'homme

Tous les stades de l'insecte sont consommés, mais la larve reste le stade préféré et le plus consommé. Elle porte plusieurs noms selon les pays et les ethnies. En RDCongo, elle est appelée 'Pose' ; au Cameroun, on l'appelle 'Fos' ; au Nigéria, on l'appelle Ibo Ukwa et Urhobo, respectivement pour l'état de Anambra et Delta. Elle est préparée de différentes manières selon les milieux. Dans certains endroits, elle est bouillie, d'autres la fument, la font frire, en font des brochettes ou simplement la mangent crue. Elle peut être consommée dans le cadre d'un repas complet avec du pain, du tapioca, de la banane. Au Nigeria, certaines tribus la recommandent pour les femmes enceintes, probablement en tant que source essentielle de nutriments (Ekpo, 2010). Au-delà de la valeur nutritionnelle, on lui reconnaît aussi les propriétés médicinales, la larve est utilisée pour soigner certaines maladies (Kwashiorkor) des enfants (Banjo, 2006 ; Dué *et al*. 2009 ; Ekpo *et al*. 2009 et Ekpo, 2010).

L'évaluation de la valeur nutritive de cette larve est importante pour déterminer si elle peut constituer la base d'une nouvelle alimentation humaine (Ekpo et Onigbinde, 2005). Les autres stades (adultes et nymphes) sont aussi consommés, mais à des proportions faibles. Ces insectes sont également utilisés dans les rituels spirituels et culturels dans certains pays, surtout en Afrique.

Le devenir de la larve de dernier stade.

Nous avons dit plus haut que notre objectif était d'élever les *Rhynchophorus*, c'est-à-dire, augmenter la quantité produite du stade le plus consommé, la larve. La mise en place d'un élevage à grande échelle va accroitre la production, mais alors, il faut déjà songer à la conservation du produit. La meilleure conservation est de faire de la larve une matière première pour l'agro-alimentaire. Nous pouvons ainsi rencontrer quatre possibilités (fig.19) :

1) une partie de la production peut être livrée directement au marché pour la consommation ;

2) une autre partie à l'industrie agro-alimentaire qui sera utilisée pour extraire l'huile larvaire ;

3) le reste de l'extraction servira à la fabrication d'une poudre protéique qui peut être mélangée avec une céréale pour faire un aliment protéique ;

4) enfin, une dernière partie de la production va assurer le renouvellement du matériel biologique.

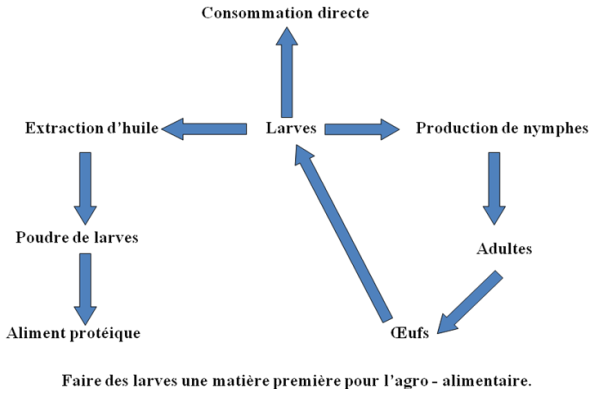

Figure 19. Les différentes possibilités d'utilisation de larves de *R. phoenicis*

3.3.4. Plantes hôtes

Les *Rhynchophorus* sont inféodés aux plantes de la famille des Arécacées premièrement et ensuite celles des Poacées et Broméliacées. Les *Rhynchophorus palmarum* et *R. cruentatus* possèdent des plantes hôtes de différentes familles (Arecacées, Poacées, Caricacées Bromeliacées). Les autres espèces de charançons des palmiers sont considérées comme des espèces oligophages, inféodées exclusivement à des plantes de la famille des Arecacées (Avand-Faghih, 2004). En théorie, ils peuvent coloniser plus de 35 espèces de 12 familles différentes, mais ils sont principalement rencontrés sur les espèces de la famille des Arecacées (Esser et Meredith, 1987; Griffith, 1987; Wattanapongsiri, 1966; Jaffé et Sánchez, 1990; Sánchez et Cerda, 1993). En République Démocratique du Congo, les principales plantes hôtes de *Rhynchophorus* sont le palmier à huile et *Chlorophora excelsa* (Mayné et Donis, 1962), le cocotier et le *Raphia*.

Les palmiers forment la famille des Arécacées qui est composée de près de 200 genres et plus de 1400 espèces, sauvages ou domestiquées, reparties à travers la zone intertropicale (Uhl et Dransfield, 1987). Les palmiers sont des plantes à forte valeur économique, qui font l'objet d'une diversité remarquable d'usages, pour la construction, l'habillement, l'alimentation, la magie, la médecine, ou l'ornementation (Dounias, 2000).

Ces plantes aux caractéristiques structurelles et chimiques un peu particulières sont dotées d'un faux tronc ou "stipe" formé par la soudure de la base des pétioles des feuilles et émettent de très nombreux composés volatiles (Nagnan *et al*. 1992). Elles sont fréquentées par une diversité tout aussi remarquable d'insectes, qui a depuis longtemps passionné les entomologistes. Lepesme (1947) a consacré une monographie aux insectes des palmiers. Environ 200 genres d'insectes fréquentent les

palmiers, ce qui représente un nombre incalculable d'espèces; 315 espèces ont été décrites sur le palmier à huile, dont 103 sont inféodées aux palmiers, et 58 sont spécifiques à ce palmier. Pour le cocotier, 751 espèces sont décrites, dont 278 inféodées aux cocotiers, et 165 lui sont spécifiques. Toutes les parties de la plante sont visitées par les insectes: racine, stipe, rachis, palme, foliole, inflorescence, infrutescence.

3.3.4.1. Le palmier (*Elaeis guineensis* Jacg)

Il est originaire de la zone intertropicale humide d'Afrique et existe à l'état spontané depuis le Sénégal jusqu'en R.D. Congo ou en Angola et de façon sporadique en Afrique Orientale. C'est une monocotylédone (2n = 32), de l'ordre des Palmales appartenant à la famille des Palmae, la sous famille des Cocoideae et la tribu de Cocoinea (Raemaekers, 2001). Le palmier à huile est un grand arbre à tige pouvant atteindre 20-30 m de haut. En culture, il dépasse rarement 15 à 20 m. Jusqu'à 4-6 ans, le jeune palmier est formé par une rosette de feuilles. La croissance du point végétatif est principalement d'une croissance en épaisseur dont le résultat est la formation du plateau racinaire.

Le tronc de jeune palmier est couvert de chicots qui sont les bases du pétiole. Vers 20 à 30 ans, les chicots tombent par la formation d'une assise réparatrice, le stipe devient lisse. La feuille se caractérise par ses dimensions énormes : 5-7 m de long sur 1,2 m de large. Annuellement le palmier produit 20-25 feuilles. La longévité d'une feuille est de 4 ans depuis l'initiation du primordium jusqu'à la mort de la feuille. Le système radiculaire est fasciculé, de millier de minces racines adventives partent radialement d'un plateau racinaire ou bulbe à la base du stipe dans les 50 cm de la terre et certaines peuvent descendre jusqu'à 9m de profondeur. Le palmier est monoïque,

les inflorescences unisexuées, il en résulte que le palmier à huile est monogame.

Importance économique du palmier à huile

Selon le mémento de l'agronome (2010), Il est cultivé pour les huiles comestibles extraites de la pulpe de son fruit (huile de palme) et de son amande (huile de palmiste). Un hectare de palmiers produit de deux à sept tonnes d'huile par an. Les huiles sont utilisées :

- *à 80 % pour l'alimentation humaine* : margarines, matière grasse végétale de base, huile alimentaire, huile de friture et graisses spécialisées ;
- *pour fabriquer de dérivés à usages industriels* : acides gras, savons et cosmétiques, savons métalliques, esters méthyliques, encres, résines époxydes, aliments pour animaux, etc. ;
- *comme énergie verte*.

Il faut préciser que l'huile de palme reste l'huile la plus consommée en République Démocratique du Congo. Les déchets d'huilerie sont valorisés comme fertilisants et pour la production d'électricité ou de méthane. A part le fruit, d'autres parties sont aussi utilisées : la sève (vin de palme), le stipe (ébénisterie), les feuilles (toitures), etc.

En RDCongo, il existe de grandes plantations de palmiers à huile tenues par des sociétés telles que : Plantation Lever au Congo (PLC) ; Busira Lomami ; les Nande ; etc. Aux côtés de ces grandes sociétés, il y a des plantations familiales autour de villages. Le fruit du palmier à huile étant consommé par beaucoup d'animaux (rongeurs surtout), ils assurent par ricochet la dissémination de la plante jusque dans les profondeurs de la forêt. Ceci permet à la forêt de renfermer un nombre important de palmiers sauvages.

L'impact des *Rhynchophorus* sur la culture du palmier à huile est faible en RDC en général et dans la région de Kisangani en particulier, à cause de l'abondance de la plante dans le milieu, favorisée par son mode dissémination (zoochorie). Cette situation fait que cet insecte n'est pas considéré jusque là comme une peste pour la culture du palmier à huile. L'insecte existe dans le milieu, mais ses dégâts sont faibles. Buyckx (1962) dit que pour le palmier attaqué dans les premiers stades de colonisation, les symptômes de la présence de l'insecte sont inexistants. Le palmier attaqué a des symptômes semblables à ceux occasionnés par la trachéomycose. Il y a d'abord une chlorose générale des feuilles externes et de la couronne, qui s'accentue et s'étend progressivement jusqu'aux feuilles les plus jeunes. Ensuite, les palmes externes se fanent et se brisent aisément sous l'action de vent. Quand le bourgeon terminal est mort, la plante doit être arrachée pour éviter que les insectes ne quittent le palmier et aillent coloniser d'autres arbres. Le jeune palmier attaqué est reconnaissable par ses folioles chlorotiques et la nécrose va ici commencer par la flèche. Les engrais et pesticides ne sont pas utilisés dans les plantations villageoises ; par contre, ils le sont dans les grandes cultures (grandes plantations).

3.3.4.2. Le Cocotier (*Cocos nucifera* L).

Le cocotier tire sans doute son origine de la région Pacifique, entre l'Asie et la Mélanésie, avec un centre de diffusion secondaire dans le sous-continent indien. C'est une plante monocotylédone arborescente appartenant à la famille de palmacées (Arécacées) et à la sous famille des Cocoïdae, à la quelle appartient également le palmier à huile. Les deux principaux types sont : le type élevé, nommé typica (grand en Afrique occidentale), et le type nain, nommé nana (nain en Afrique occidentale). Le processus de pollinisation est également différent pour ces deux types, les cocotiers géants sont allogames, tandis que les nains sont autogames.

Le cocotier a une tige sans branches avec un méristème terminal protégé par les feuilles naissantes. Le tronc cylindrique, appelé stipe, à entre- nœuds courts, ayant des tissus solides à l'extérieur et les faisceaux vasculaires à l'intérieur. Le système racinaire se compose des racines primaires, secondaires et tertiaires. Ces dernières ont une fonction absorbante. La couronne compte 20-30 feuilles pennées en spirale (longues de 4,5 à 6 m de 1m de large), dont 2 ou 3 feuilles non ouverts, appelées flèches. Douze à quinze nouvelles feuilles s'ouvrent chaque année. Le cocotier est une espèce monoïque portant des fleurs mâles et femelles sur la même inflorescence. La différenciation entre fleurs mâles et femelles a lieu 12 mois avant l'ouverture de la spathe (Raemaekers, 2001).

Importance économique

La noix de coco peut être la matière première de produits très divers : produits frais (crème, lait, arine de coco), huile et tourteau, sucre, boissons alcoolisées, charbon de coque, cordes et nattes, etc. Du fait de sa nature oléagineuse, cette *grosse graine* a surtout été exploitée pour produire de l'huile. L'huile de coprah appartient au groupe des huiles lauriques. Riche en acides gras saturés à chaînes courtes et moyennes, cette huile présente une bonne stabilité, une faible viscosité et un fort indice de saponification (pouvoir moussant) qui lui ouvrent de quantité d'emplois industriels : savonnerie, shampoings et détergents, margarines pour la pâtisserie industrielle. Elle représente également la première huile de cuisine en Asie du Sud-Est. Il existe deux grands moyens d'extraction de l'huile de coco : la voie sèche, dans laquelle l'amande est transformée en coprah avant trituration, et la voie humide, qui part directement de l'amande fraîche.

Dans la région de Kisangani, le cocotier est une plante de case, c'est-à-dire n'est plantée que pour de besoins de consommation locale en noix ou encore cette noix peut être utilisée pour d'autres petites recettes locales (Nyapule par exemple). C'est ainsi que l'on peut trouver à travers la ville, dans des parcelles quelques pieds de cocotier. Il n'y a pas encore jusque là des grandes plantations de cette plante à l'instar du palmier à huile. Depuis que j'ai commencé cette recherche, je n'ai pas encore vu un cocotier attaqué, mais seulement quelques plants morts.

3.3.4.3. Le Raphia (*Raphia gilletii* (De Wild.) Becc).

Il appartient aussi à la famille des Arecaceae (Palmaceae). Le *Raphia* est une plante très mal connue dans le domaine agricole en République Démocratique Congo. Il dispose d'une grande importance économique et n'est pas jusqu'ici exploitée sur le plan national. En effet, depuis plusieurs années, certaines populations habitant la cuvette congolaise connaissent bien cette plante et s'en servent pour tirer du vin blanc de *Raphia (*boisson très appréciée), fabriquer les instruments de pêche, de chasse, paille pour la construction des maisons, ainsi que de l'habillement pour les femmes. L'importance du palmier raphia est non négligeable. Il met gracieusement à la disposition de l'homme divers produit et sous produits nécessaires à l'alimentation humaine, notamment le chou palmiste, les larves des *Oryctes* et celles de *Rhynchophorus*, ainsi que l'huile de ces fruits comestibles.

C'est une plante qui se développe dans les marécages, le long des rivières et cours d'eau. Dans certaines parcelles en milieux urbains comme dans des villages, les gens plantent quelques pieds, cela leur permet de limiter les va et viens en forêt et de se servir sur place quand la plante atteint l'âge de la production en boisson, en feuilles pour la construction des maisons et autres. Après cette exploitation, le reste de la plante est condamnée à mourir. C'est donc à ce stade que nous venons récupérer le reste du stipe pour en faire une matière première pour l'élevage.

Pour toutes ces plantes hôtes, lorsqu'elles sont infestées, les larves en se développant, creusent de galeries qui sont immédiatement investies par les bactéries, champignons, nématodes et autres microorganismes. Nous pouvons dire ainsi que le *Rhynchophorus* est un vecteur indirect des certaines maladies (anneau rouge causées par les nématodes

Radnophelencus cocophilus, maladie de la couronne,..) du palmier (Verheye, 2010).

3.4. Etat de la question sur l'utilisation de *Rhynchophorus* spp

3.4.1 : Les élevages

L'objectif final du travail étant la mise au point d'un élevage de masse de *Rynchophorus*, il est important de dresser l'état des connaissances sur ce qui est déjà réalisé à propos des espèces de ce genre. Cependant, il y a peu d'essais réalisés dans un but de production pour l'alimentation humaine, dans de nombreux cas, l'élevage de *Rhynchophorus* a été étudié pour fournir du matériel biologique devant servir aux tests de produits phytosanitaires pour lutter contre les espèces de ce genre qui sont aussi des ravageurs des palmiers à huile. Une présentation des conditions d'élevage des cinq espèces majeures de *Rynchophorus* est présentée ci-après.

A. *Rhynchophorus ferrugineus*

Les études de Kalleshwaraswamy et Jagadish (2005) en laboratoire pour déterminer le substrat de préférence pour la ponte de la femelle de *R. ferrugineus* ont testé des morceaux de feuilles de cocotier, de la canne à sucre, et le mésocarpe de noix de coco. Dix charançons femelles fraîchement émergés ont été utilisés et placés individuellement dans des boîtes en plastiques. Ils ont été nourris journellement avec un morceau de 1x1x10 cm, de feuille (rachis) de cocotier, de mésocarpe fraîchement coupé de noix de coco et de canne à sucre. La canne à sucre s'est révélé le meilleur substrat.

Krishnakumar et Maheswari (2004) ont fait une étude sur le taux de multiplication de *R. ferrugineus* dans la noix de coco. Les populations de départ étaient constituées de dix paires d'adultes du charançon qui ont donné septante cinq adultes à la génération suivante. Le sex-ratio étant de 1:1 et un taux de multiplication de 8, on pourrait conclure qu'à partir d'un couple de charançons adultes, quatre mâles et quatre femelles peuvent être produits.

Une méthode pour l'élevage en masse au laboratoire de *R. ferrugineus* a été développée. Les adultes initialement obtenus sur terrain, ont été maintenus en vie avec de la canne à sucre. Plusieurs diètes ont été formulées et évaluées. Les ingrédients étaient : avoine, gâteau de noix de coco, noix de coco, morceaux de fruits en conserve et ananas frais, le saccharose, la mélasse, le jaune d'œuf, sel, levure, huile végétale, pommes de terre, farine de soja, des palmiers dattiers et de la fibre de gaine de palme, des fibres de canne à sucre, Bacto-agar, des multi-vitamines, des antibiotiques et l'eau. La diète d'avoine et de haricots blancs a été préférée par les 3 premiers stades larvaires, tandis que la diète à base d'avoine + fibres a été préférée par les 4-5èmes stades larvaires. Les larves ont mué quatre fois au cours de leur développement et n'ont pas réussi à construire des cocons en raison de l'indisponibilité de fibres (Kaakeh *et al*. 2005).

EL-shafie *et al*. (2013) ont utilisé une diète composée d'agar, d'eau distillée, de levure de bière ainsi que d'acides aminés et d'acides gras, de farine de blé, de farine de maïs, d'acide benzoïque, d'acide ascorbique , d'un mélange de vitamines et de chlorhydrate de tétracycline. Le traitement contrôle était constitué de charançons élevés sur le stipe de palmier dattier dans les mêmes conditions de laboratoire. Le développement larvaire a pris 43 à 47 jours, tandis que la phase nymphale a été atteinte après 31 à 38 jours, avec une moyenne de 35 jours. L'ensemble du cycle de vie du charançon de l'œuf à l'adulte s'est passé en 78 à 85 jours.

B. *R. palmarum* et *R.vulneratus*

Zagati *et al*. (1993) exposent deux méthodes d'élevage permanent au laboratoire de *Rhynchophorus palmarum*. La première utilise un milieu nutritif semi-synthétique, la deuxième des tronçons de canne à sucre fraîche dans lesquels se développent les larves et sans apport d'autres ingrédients. Les deux méthodes permettent d'obtenir des adultes en 4 mois avec des rendements faibles. L'élevage sur canne à sucre fournit cependant des résultats meilleurs et à moindre coût. Il est utilisable sans modifications pour *R. vulneratus.*

C. *R. cruentatus* sur diètes artificielles

Weissling et Giblin-Davis (2014) ont évalués plusieurs diètes artificielles comme des alternatives pour l'élevage des larves de *Rhynchophorus cruentatus*. Les diètes les plus appropriées pour tester la survie et la croissance des larves étaient une combinaison d'ananas en conserve, d'avoine, de saccharose, de mélasse, de levure de bière, de sel de Wesson, de vitamines et d'antibiotiques. Les diètes qui n'ont pas été complétées par la levure de bière n'étaient pas efficaces pour la croissance et la survie des larves. Les larves ont été ensuite placées dans la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) 5 semaines après pour la nymphose.

D. *Rhynchophorus phoenicis* L.

Au Nigeria oriental, des chercheurs locaux (Mahoux et Hardouin, 2003) ont émis l'idée de remplacer le substrat naturel d'élevage (stipe) par les tiges de bananier qui peuvent croître beaucoup plus rapidement et qui pourraient être bien mieux valorisées de cette façon après la récolte des bananes. Ils ont fabriqué pour des essais préliminaires des bacs d'élevage pouvant contenir quatre troncs de bananier d'environ 60 cm de long. Les troncs sont humidifiés par le vin de palme 48 heures avant de les ensemencer avec des jeunes larves prélevées sur le palmier. Les bacs sont alors couverts et gardés dans une place ensoleillée pour l'apport de chaleur. Les troncs sont ensuite arrosés régulièrement avec le vin de palme tous les cinq jours. Les premiers résultats sont mitigés et ont donné environ 70 % de récolte (Oladipo, 1996). Le même auteur signale qu'au Ghana, un élevage contrôlé de *Rhynchophorus sp.* par des essais a été entrepris utilisant également le tronc de bananier comme substrat. En Amérique du Sud, on a également expérimenté la maîtrise de l'élevage de *Rhynchophorus palmarum* pour la consommation des larves.

Lenga *et al*. (2013) ont fait l'élevage de *Rhynchophorus phoenicis* (Dryophthoridae) et *Oryctes rhinoceros* (Scarabeidae) au laboratoire en utilisant les larves de deuxième stade (II) prélevées dans des palmiers en forêts et achetées sur les marchés locaux. Elles ont été nourries par des morceaux de cœurs de palmiers appartenant à *Elaeis guinensis* et *Raphia* sp. placés tous les cinq jours dans les conditions d'élevage à 26,20 °C et 72,71% HR% en moyenne. Les larves ont été suivies jusqu'à l'émergence des adultes. Les larves de stade II de *R. phoenicis* atteignent le stade nymphal à partir du 40ème jour et restent à ce stade jusqu'à 60 jours, à l'issu desquels le premier adulte est obtenu. Les larves d'*O. rhinoceros* n'atteignent le stade

nymphal qu'après 50 jours. Les premières émergences d'imagos sont observées à partir du 94ème jour.

3.5. Critiques et apports des différents essais

Plusieurs essais d'élevage ont été entrepris par divers chercheurs utilisant plusieurs substrats allant de diètes artificielles aux plantes de substitutions. Les diètes artificielles ont l'inconvénient majeur de ne pas fournir des fibres indispensable pour la construction du cocon et donc pour la nymphose des espèces du genre *Rynchophorus*. Des antibiotiques sont régulièrement utilisés pour éviter le développement de micro-organismes néfastes pour l'élevage. Cette utilisation n'est acceptable qu'à petite échelle et que pour les élevages qui ne sont pas destinés à l'alimentation humaine.

L'utilisation du tronc de bananier au Nigeria est une excellente façon de valoriser un coproduit agricole mais nécessite cependant de l'arroser avec de vin de palme et donc nécessite l'utilisation du palmier à huile. La canne à sucre semble être la mieux indiquée, car elle donne à elle seule les éléments nécessaire pour élever les *Rhynchophorus*, bien qu'elle comporte quelques inconvénients comme le renouvellement du matériel à chaque fois qu'il est détérioré (une dizaine de jours) et n'offre qu'une production faible (Zagatti *et al*. 2007).

Par ailleurs, pour les *Rhynchophorus*, les tentatives d'élevage en semi-liberté se limitent seulement à l'aménagement de conditions qui favorisent la ponte de femelles et le développement de larves dans le substrat jusqu'au dernier stade. Nous avons vu que chez les amérindiens, un stipe de palmier aménagé produisait une centaine de larves ce qui, on le verra plus tard, est bien inférieur à la production que nous avons obtenu sur vieux stipe de *Raphia* déjà exploité (chap.7). Les

quelques cas d'élevage de *Rhynchophorus* décrits ici montrent que les larves utilisées pour commencer l'élevage sont récoltées sur le palmier infestés ou achetée au marché (Lenga *et al*. 2013) et l'âge de ces larves n'est pas bien connu ce qui fait que la durée du cycle doit être considérée avec réserve dans ces études.

Néanmoins ces informations nous ont été particulièrement utiles pour mettre sur pied la méthodologie d'élevage que nous appliquerons dans la suite de ce travail sans avoir recours à l'utilisation d'antibiotiques pour éviter les impacts négatifs d'un point de vue de l'environnement et de la santé publique (Nicolas *et al*. 2007). Si les antibiotiques sont utilisés pendant un temps assez long au niveau des élevages, il y a risque d'apparition de souches résistantes de bactéries. Ainsi, si par malheur, ces bactéries sont transmises à l'homme, les antibiotiques utilisés risquent d'être inefficaces pour soigner les malades.

3.6. Valeur alimentaire de *Rhynchophorus phoenicis*.

De nombreuses études ont été menées pour déterminer la place des insectes dans la nutrition humaine. L'utilisation d'insectes est tout à fait envisageable en tant qu'aliments humains. L'insecte est une source alimentaire assez complète car il contient de grandes quantités de protéines et d'énergie, aussi de minéraux, de vitamines et de lipides. Les valeurs nutritionnelles des insectes varient énormément entre les différents ordres ainsi qu'entre les différentes espèces d'un même ordre. Ces différences s'expliquent par l'influence de facteurs tels que l'habitat, le régime alimentaire et le climat. Ces paramètres sont propres à chaque espèce (van Hui, 2013).

3.6.1. Elaboration des protéines par les *Rhynchophorus spp* et symbiose

Les insectes phytophages ont besoin de protéines, lesquelles ne sont malheureusement pas toujours présentes dans le végétal. La synthèse des ces protéines se fait en relation avec plusieurs micro-organismes symbiotiques. La majorité des insectes a intégré des bactéries symbiotiques dans les cellules spécialisées, appelées bactériocytes, qui se regroupent entre elles pour former un véritable tissus, le bactériome. Ces structures ont été mises en évidence chez *R. palmarum* (Nardon *et al.* 2002). Chez les Curculionidae, il s'agit de γ3-Proteobacterie charactérisées par différents contenus en GC appartenant au clade *Candidatus nardonella* (Lefèvre *et al.* 2004). Le programme embryonnaire de l'insecte comprend les endosymbiotes. Ils sont transmis par hérédité maternelle à l'instar des mitochondries (Lefèvre *et al*. 2004). L'insecte hôte reçoit plusieurs composés métaboliques (acides aminés et les vitamines). Les bactéries bénéficient au retour de la protection, la transmission (reproduction) et d'une source permanente de sucres, qui servent à fabriquer les produits

essentiels à leur survie. Il convient de noter que le système immunitaire de l'hôte accepte les bactéries symbiotiques, mais les garde toujours sous contrôle (Conord *et al*, 2008).

L'union fait la force dit-on, l'association bactéries/insectes a colonisé les niches écologiques les plus diverses et continuent à provoquer parfois des dégâts agronomiques et écologiques considérables : citons le cas des pucerons, charançons, mouches tsé-tsé, dont le régime alimentaire est lié aux compléments nutritifs fournis par les bactéries (Conord *et al.* 2008). La symbiose intracellulaire bactérienne est bien documentée dans le monde des insectes où elle est censée jouer un rôle crucial dans l'adaptation et l'évolution (Buchner 1965 ; Douglas 1998 ; Heddi *et al*. 1999 ; Montllor *et al*. 2002 ; Oliver *et al*. 2003 ; Tsuchida *et al*. 2004 ; Lopez-Madrigal *et al.* 2013 ; Merville *et al.* 2013).

L'évolution des protéases digestives pendant le développement larvaire de *R. ferrugineus* a été étudiée. Le pH optimal pour l'activité protéolytique contre l'azocaséine a été déterminé. Le Caseinograms a révélé un complexe actif de protéases alcalines dès les premiers stades larvaires. Les auteurs ont trouvé trois groupes de protéases en fonction de la masse moléculaire apparente : protéases à masse moléculaire élevée, à masse moléculaire moyenne et faible. Des études utilisant des inhibiteurs de protéase spécifiques ont montré la présence importante de protéases de sérine dans les extraits de l'intestin. Les résultats obtenus à partir de larves élevées sur différents substrats ont rendu possible une évaluation comparative de l'influence de l'alimentation sur le développement du système enzymatique digestif ; c'est-à-dire, à chaque type de substrat, il y a un type d'enzyme qui se développe (Alarcón *et al*. 2001).

Yapi *et al*. (2009) ont purifié la β-glucosidase du suc digestif de *R. palmarum*. Cet enzyme est capable de catalyser les réactions de transglucosylation. Le pH optimum de transglucosylation est de 6,6, alors que celui de l'hydrolyse est de 5,0. Les optima de température et de pH d'hydrolyse sont respectivement de 55°C et 5,0. L'enzyme reste stable à 37°C et aux pH 5,0 et 6,0.

Une étude sur les microbiontes a révélé l'existence dans l'intestin de *R. ferrugineus*, de bactéries aérobies et anaérobies facultatives (*Bacillus* sp, *Salonella* sp et *Xanthomonas* sp) et suggère que ces microbes sont les contribuant potentiels du système digestif du charançon et permettent l'absorption d'éléments nutritifs (Khiyami et Alyamani, 2008). Jia *et al*. (2013) ont identifié différentes flores microbiennes chez les larves de *R. ferrugieneus*. La population de ces micro-organismes varie selon les mois de mars, juillet et novembre. En juillet, *Lactococcus lactis* est la flore dominante, en novembre, il y a la présence de *Klebsiella pneumoniae*. Ces bactéries sont en symbiose avec la larve et permettent avec l'enzyme hydrolase de s'occuper de l'hydrolyse des polysaccharides et sucrose.

3.6.2. Composition alimentaire de différents stades de *Rhynchophorus phoenicis*

Cette partie a pour but de synthétiser les connaissances sur la valeur alimentaire des différents stades de l'insecte et de donner une idée sur le possible choix qu'on peut faire pour l'alimentation. Précisons que nous n'avons pas eu la possibilité de faire ces analyses nous-mêmes, faute de moyen. Les tableaux qui suivent donnent la composition alimentaire de différents stades de développement de *R. phoenicis* en protéines, lipides, acides aminés, profil en acides gras, vitamines et éléments minéraux ; ainsi que la provenance des échantillons.

Tableau 2. Composition nutritionnelle (%) et en énergie (kcal /100 g) de *R. phoenicis* (de matière sèche)

Différents stades	Protéines (%)	Lipides (%)	Fibres (%)	Extrait libre d'azote (%)	Teneur en cendre (%)	Teneur en énergie (Kcal/100g)	Origine
Larves[1]	28,42	31,4	2,82	48,60	2,70		Nigeria
Larves[4]	41,69	37,12			3,27	478,60	Nigeria
Larves immatures[5]	10,33	69,78	25,14	5,60	2,69		Nigeria
Larves dernier stade[5]	11,47	67,83	18,80	8,54	2,54		Nigeria
Larves[2]	35,63	19,50		40,14	4,74	479,14	Nigeria
Larves [6]	25,70	59,43	3,67	5,49	5,70		Nigeria
Larves[3]	22,06	66,61		5,53	5,79		Nigeria
Nymphes[6]	37,57	50,65	2,58	5,98	3,23		Nigeria
Adultes[5]	8,85	55,04	22,90	15,97	1,43		Nigeria
Adultes[6]	35,57	46,69	7,47	4,21	6,06		Nigeria

Source : Rumpold et Schlüter (2013)

1. Agbidye *et al.* 2009 ; 2. Laos, 2010 ; 3. Chen *et al.* 2009 ; 4. Melo *et al*. 2011 ; 5. Ramos-Elorduy *et al.* 1998 ; 6. Banjo, *et al.* 2006.

Le tableau 2, une compilation des analyses faites par plusieurs auteurs et utilisant différents stades, montre les différentes valeurs alimentaires de *R. phoenicis*. Le constat qu'on peut faire de prime à bord est que chaque analyse donne sa valeur et comme nous le verrons dans le chapitre sur l'élevage, la valeur alimentaire de l'insecte dépend de la nature du substrat d'élevage et l'environnement où se développe la plante. La teneur élevée en protéines est caractéristique de la larve (Melo *et al.* 2011). En comparant les analyses de Melo *et al*. (2011) et Banjo, *et al.* (2006) de différents stades de l'insecte, nous avons : 41,69 % > 37,57 % > 35,57 % de contenu en protéines, respectivement pour la larve, nymphe et adulte. Les protéines issues de tous ces stades ont une solubilité dépendant du pH. Elles ont une solubilité minimum au pH acide et maximale au pH alcalin (Omotoso et Adedire, 2007). La même tendance se remarque pour la teneur en lipides où nous avons : 69,78 % > 67,83 % > 55,04 % > 50,65 %, respectivement pour la larve immature, larve de dernier stade, l'adulte et la nymphe.

Pour la teneur en fibre, les larves immatures arrivent en tête avec 25,14 %, les adultes 22,90 %, larves de dernier stade 18,80 % et les nymphes ferment la marche avec seulement 2,58 %. Les fibres ici sont insolubles, composées essentiellement de chitine. Des chercheurs ont mis en évidence la présence de la chitinase dans le suc digestif des entomophages (homme), nous croyons donc qu'avec cette découverte, ces fibres deviendrons solubles (FAO, 2013). La teneur en cendre (indication de la richesse en éléments minéraux) évolue de la manière suivante : 6,06 % pour l'adulte, 5,79 % pour la larve de dernier stade, 2,69 % pour la larve immature et seulement 1,43 % pour la nymphe. Le tableau confirme aussi que les larves sont beaucoup plus riches en éléments nutritifs que les adultes, parce qu'elles constituent le stade de forte croissance et d'accumulation des réserves leur permettant de faire la nymphose. Les consommateurs ont donc un choix à faire, compte tenu de leur besoin : s'ils veulent plus de protéines, ils consommeront les larves de dernier stade ; pour avoir plus de matières grasses et de fibres, il faut chercher les larves immatures.

Tableau 3. Teneur en acides aminé de *R. phoenicis*

Stades	His	Ile	Leu	Lys	Met	Cys	Met +Phe	Phe	Tyr	Phe+Tyr	Thr	Trp	Val	Arg	Ser	Pro	Ala	Gly	Glu A	Origine
Larve	38.9	39.0	54.2	45.0	19.7	20.2	39.9	47.5	29.0	76.5	30.6		35.0	79.2	39.0	50.1	52.5	47.2	156.0	Nigeria
Larve		77.5	58.9	63.9	12.0	10.6	22.6	32.8	13.6	46.4	28.6	5.1	54.9							Angola
Larve	11.0	24.0	47.0	42.0	21.0	25.0	46.0	65.0	60.0	125.0	29.0		41.0	24.0	33.0	102.0	76.0	48.0		Nigeria
Larve	14.7	48.2	78.2	53.5	20.2	26.7	46.9	46.1	63.5	109.6	40.4	8.1	62.0	44.0						Mexico

Source : Rumpold et Schlüter (2013)

Le tableau 3 montre que les larves de *R.phoenicis* apportent tous les neuf acides aminés indispensables dont l'organisme a largement besoin pour son bon fonctionnement, car notre corps

ne fabrique que 11 de ces 20 acides aminés et il est incapable de fabriquer ces neuf autres essentiels tout seul (Histidine, Lysine, Tryptophane, Phénylalanine, Leucine, Isoleucine, Valine, Méthionine et Thréonine). La consommation de larves de charançon du palmier est donc une bonne chose pour permettre à l'organisme d'avoir ces éléments importants.

Tableau 4. Composition en acide gras (%) de *R. phoenicis*

Stade	C14:0	C16:0	C18:0	Other SFA	SFA	C16:1	C18:1	Other MUFA	MUFA	C18:2	C18:3	C20:4	Other PUFA	PUFA	SFA/ UFA	Origines
Larves	3.20	32.40	3.10	0.20	38.90	3.30	40.10		43.40	13.00	3.50	1.20		17.70	0.64	Nigeria
Larves	2.50	36.00	0.30	2.10	40.90	36.00	30.00	0.60	66.60	26.00	2.00			28.00	0.43	Angola
Huile larvaire		35.30	60.47		95.77		0.72		0.72	3.51				3.51	22.64	Nigeria

Source : Rumpold et Schlüter (2013)

Le tableau 4 montre chez le *R. phoenicis* la présence de l'acide palmitique (C16:0) avec 36,0 % ; l'acide stéarique (C18:0) à 3,1 % ; l'acide palmitoléique (C16:1) à 36 % et acide oléique (C18:1) à 40 % ; l'acide linoléique (C18:2) à 26 % ; acide linolénique (C18:3) à 3,5 % ; l'acide arachidonique (C20:4) à 1,2 %. L'acide gras majoritairement représenté est l'acide oléique. Il faut noter ici que l'huile larvaire est l'huile qui peut être extraite des larves de *R. phoenicis*.

Tableau 5. Composition en éléments minéraux de larves de *R. phoenicis*

Stades	Ca	K	Mg	P	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Origine
Larves	208.00	2209.00	33.60	352.00	44.80	14.70	26.50	0.80	1.60	Angola
Larves	54.10	1025.00	131.80	685.00	52.00	30.80	15.80	3.50		Nigeria

Source : Rumpold et Schlüter (2013).

Le tableau ci-dessus présente les minéraux présents dans les larves des *R. phoenicis.* Nous avons le calcium, le potassium, le magnésium, le phosphore, le sodium, le fer, le zinc, le manganèse et le cuivre. L'importance de ces minéraux dans l'organisme n'est plus à démontrer, leur présence dans les larves est un indicateur qui confirme la qualité de cet aliment.

3.6.3. Apports protéiques de certains animaux et insectes.

Le tableau 6 permet d'établir une comparaison des apports en protéines des animaux, poissons couramment consommés et quelques insectes.

Tableau 6 : Apports protéiques de quelques animaux et insectes

Animaux/insects		Stades/parties consommés	Protéines en g/100g poids frais
Criquets	*Locusta migratoria*	Larve	14-18
	Locusta migratoria	Adulte	13-28
	Sphenarium purpurascens (chapulines-Mixco)	Adulte	35-48
Charançons	*Rhynchophorus palmarum, R. phoenicis*	Larve	7-36
Tortues	*Chelodina rugosa, Chelonia depressa*	Chair	25-27
Poissons		Tilapia	16-19
		Maquereau	16-28
		Poulet	21[1]
Bétail		Bœuf	19-26
		Veau	18[1]

Source : FAO.2012f. Le jeu de données pour la Biodiversité Version 2, BioFoodComp2. Pour plus d'information: http://www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/en/ et 1 : Lavette, 2013.

Le tableau 6 montre que les apports protéiques des insectes, ici en l'occurrence la chapuline dépassent mêmes ceux de la viande de bœuf. De toutes les viandes classiques sur ce tableau, il y a seulement la viande de bœuf qui apporte entre 19-29 g/100 suivi du poulet 21 g de protéines sur 100 g de viande ingérées. Les différents insectes et en particulier les larves peuvent apporter jusqu'à 28 g de protéines par 100 g d'aliment, ce qui est supérieur aux espèces conventionnelles. Les criquets, grillons et sauterelles (orthoptères) sont riches en protéines et valent une viande classique. Les insectes, comme aliments sont également utilisés sous forme de farines pour nourrir les élevages d'espèces monogastriques (volailles et de porcs) ainsi qu'en pisciculture. Rumpold et Schlüter (2012) cité par Lavette (2013) montrent que les farines d'insectes sont riches en protéines, pouvant égaler, voire dépasser les farines végétales. Celle du soja par exemple qui apporte 46,8 % de protéines contre 58,3 % apportés par la farine des insectes (Wang *et al*. 2005 ; Anand *et al*. 2008). Ces farines d'insectes peuvent donc constituer une bonne ressource pour nourrir certains animaux ou poissons (Hardouin et Mahoux, 2003). Nous pouvons conclure que les insectes possèdent des qualités nutritionnelles comparables, ou même parfois supérieures aux animaux d'élevage conventionnel.

Partie II : Expérimentation

Chapitre 4 : Identification et dynamique des populations de *Rhynchophorus* spp (Coleoptera : Dryophthoridae) dans la région de Kisangani, RD.Congo.

Résumé

Les larves de dernier stade de *Rhynchophorus sp.* sont très appréciées comme aliments de qualité par la population de la République Démocratique du Congo, particulièrement dans la Régions de Kisangani. Ces larves sont récoltées dans les milieux naturels et vendues sur les marchés. Par contre, il existe peu d'information sur les espèces présentes et les périodes d'activités des adultes. Nous avons initié ce travail pour contribuer à la connaissance des espèces et de leur dynamique dans la région de Kisangani. Trois sites (Tshopo, Lubunga et Bangboka) sur trois axes différents à 12 km au départ du centre ville ont été choisis. Une première série de récolte ont été effectuée pendant trois ans sur le seul site de Tshopo. Nous avons utilisé des pièges du type debout montés sur des *Elaeis guineensis* (palmier) sauvages pour deux années consécutives de prélèvement (2012 et 2013) dans les trois sites choisis. Des mesures morphométriques ont été prises sur les individus piégés afin de servir de référence par rapport à des individus d'élevage. Les tailles des tibias et des élytres ont notamment été utilisées comme indicateur. Enfin, la présence et l'abondance des acariens phorétiques ont également été notées et mise en relation avec la taille.

Ce travail a permis de mettre en évidence que trois espèces de *Rhynchophorus* : sont présentes dans la région de Kisangani : *R. phoenicis*, *R. ferrugineus* et *R. quadrangulus. R. phoenicis* est l'espèce la plus abondante dans tous les trois sites de l'étude, *R. ferrugineus* est une espèce rare, alors que *R. quadrangulus* est l'espèce la plus rare. En termes de richesse spécifique, les sites

Tshopo et Lubunga possèdent les trois espèces, alors que le site Bangboka ne possède qu'une seule espèce (*R. phoenicis*). Pour les individus piégés sur le terrain, les mâles ont en moyenne de plus longs tibias que les femelles. Par contre les femelles possèdent de plus longs élytres. Cet élément est probablement lié à la taille de l'abdomen qui est rempli d'œufs. Il est possible aussi que cela soit lié à de meilleures capacités de déplacement par le vol. Les acariens s'abritent sous les élytres pendant la vie adulte. Les individus jeunes possèdent plus d'acariens que les individus âgés, justifiant le caractère phorétique des acariens.

Mots clés : sites, *Rhynchophorus*, piège type débout, espèces, sex-ratio.

4.1. Introduction

L'entomophagie est de plus en plus considérée comme une opportunité pour lutter contre des problèmes de carences alimentaires ou de malnutrition (MacEvelly, 2000 ; Malaisse, 2004 ; Choo *et al*. 2009 ; Nonaka, 2009 ; Cerritos 2009 ; Yen, 2009). En Afrique centrale et en RDC particulièrement, la consommation d'insectes fait déjà partie des habitudes alimentaires mais elle est essentiellement basée sur la récolte d'insectes en milieu naturel. Lenga *et al*. (2012) montrent que le prélèvement excessif d'individus d'une espèce dans la nature fait peser des risques économiques et écologiques et peut conduire à l'élimination de cette espèce.

Les larves de *R. phoenicis* font partie de ces ressources très appréciées par la population de Kisangani et constituent une ressource riche en protéine (Omotoso et Adédire 2007 ; Edijala *et al*. 2009 ; Durst et Kenichi 2010 ; Idolo 2010), avec une huile larvaire de bonne qualité avec 61,10 % contre seulement 51 % d'acide gras insaturés pour l'huile de coco et de palme (Ekpo et Onigbende 2005 ; Banjo *et al*. 2005 ; Agbidye *et al*. 2009).

Cependant, l'offre de ces larves sur le marché n'est alimentée que par la cueillette dans le milieu naturel, pratique qui fait peser des risques de déséquilibre écologique et même économique si rien n'est mis en œuvre. Il est donc essentiel d'avoir une idée précise sur les espèces de *Rhynchophorus* présente dans la région et sur leur abondance. Jusqu'à présent il y a peu d'informations disponibles. Parmi les espèces de *Rhynchophorus* qui sont mentionnées dans deux publications anciennes, seulement le *R. phoenicis* a été signalé depuis 1962 (Buyckx, 1996 ; Mayné et Donis, 1962). En dehors de ces mentions à Kisangani, aucune donnée n'est disponible sur la biologie des *Rhynchophorus* spp. en R.D.Congo, que cela soit sur leur mode de vie, de reproduction et leurs parasites.

Les *Rhynchophorus* sont des espèces oligophages, leur spectre trophique est limité à un genre ou une famille végétale donnée (Arécacées). I1 y a une correspondance entre les critères (substances volatiles) de sélection de la plante hôte par l'insecte (Le Gall, 1990). Le piégeage doit être réalisé dans les environs immédiats des plantes hôte ou utiliser ces mêmes plantes comme pièges. Rochat *et al*. (1995) ont réalisé le piégeage de *Rhynchophorus phoenicis* à l'aide des stéréo-isomères de la phéromone d'agrégation purs ou en mélange de la phéromone d'agrégation synthétique (3-méthyloctan-4-ol = phoenicol), associés au stipe de cocotier. Il existe plusieurs types de piège à phéromones d'insectes (Rochat *et al*. 1995 ; Rochat *et al*. 2006 ; Martinez *et al*. 2006 ; Hamidi *et al*. 2013), des pièges qui utilisent les morceaux de la plante hôte (Morin *et al*. 1986) et des pièges colorés plus phéromones (Boutaleb Joutei *et al*. 2013). Des essais préliminaires avec des pièges à phéromones n'ont pas été concluants. Dans cette étude, nous nous sommes donc tournés vers un type de piège utilisant la plante hôte. Nous désirions également caractériser mieux la population sauvage sur le plan morphométrique. Ce type de mesure permet en effet

de servir de référence pour des essais futurs d'élevage en conditions artificielles.

En outre, les mesures morphométriques sont intéressantes, car elles peuvent donner des informations sur les capacités de déplacement de l'insecte (EL Ghadraoui *et al*. 2008), le processus de reproduction, sa relation avec les parasites, etc. Elles offrent des possibilités pour l'identification d'espèces et de sous-espèces (Brown, 1979, Lebbe *et al*. 1991, Weeks *et al*. 1997). Elles peuvent également être utilisées pour comparer des populations d'insectes à différentes échelles géographiques et apprécier leur déplacement, comme dans le cas de ravageurs tels que les acridiens (Blackith, 1971) ou d'insectes qui véhiculent des maladies (Dujardin *et al*. 1998). Ce sont aussi des indicateurs de la qualité du développement larvaire et donc des substrats utilisés pour les élevages. Enfin, suite à la présence fréquente d'acariens sous les élytres, nous avons voulu savoir de quelle espèce il s'agissait et déterminer s'ils pouvaient avoir une influence sur la taille de leurs hôtes.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Sites de piégeage

Trois sites dans la région de Kisangani ont été choisis pour faire le piégeage. Signalons que la région de Kisangani se trouve au Nord-est de la R.D. Congo à cheval sur l'équateur et le fleuve Congo. Elle est localisée dans la région forestière du rebord oriental de la cuvette centrale congolaise (Juakaly, 2007). Kisangani et ses environs bénéficient dans leur entièreté d'un climat équatorial caractérisé par l'absence de mois totalement sec et se classe ainsi dans le climat équatorial de type Africain (Af) de la classification de Koppen (Mate, 2001). La moyenne annuelle de précipitations est de 1800 mm. Les deux mois les

plus pluvieux sont mars et octobre, par contre, les deux mois le plus sec sont janvier et février. Les températures sont élevées et présentent une moyenne annuelle de 25,6 ° C avec un maximum en février et un minimum en août. L'humidité relative est très élevée, la moyenne est de 88,96 %. Le rayonnement souvent élevé : 443,5 calories /cm^2/mois variant avec le relief, l'exposition, la nébulosité, les variations saisonnières (van Wambeke et Limbens, 1937).

Les zones en rouge sur la carte (Figure 20) indiquent les sites de piégeage qui ont permis d'avoir le matériel biologique nécessaire pour réaliser ce travail.

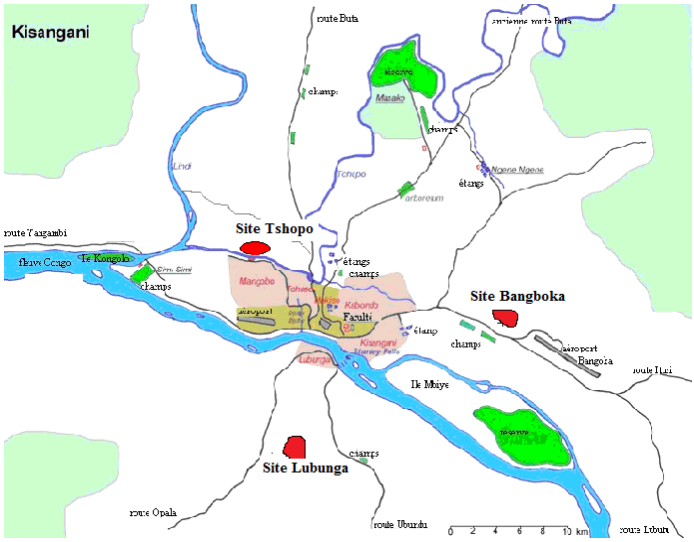

Figure 20. La carte de Kisangani et ses environs (Google Earth, 2004 modifié). En bleu, le fleuve Congo, en mauve, la ville de Kisangani, en vert les réserves forestières et les lignes sont les différents axes routiers.

A. Site TSHOPO

Le piégeage et la récolte de *Rhynchophonrus* spp ont été effectués dans la jachère boisée d'Akodale qui se trouve à environ 12 km du centre ville de Kisangani à 0°34'de latitude nord et 25°08' de longitude Est, à une altitude de 450 m. Elle est limitée au nord par la rivière Lindi, au sud par la route Buta, à l'Est par la route allant vers la rivière Lindi et à l'Ouest par la rivière Tshopo. Le site était une jachère d'environs 4 ans. Il était colonisé par *Myrianthus arboeus, Musanga cecropiodes, Albizia chinensis, Persea américana, Rauwolfia vomitoria, Euphorbia cordifolia, Psidium guajava, Musa sapietum, Triumfelta cordifolia, Ipomoea* sp, *Commelina diffusa, Solanum torvum, Elais guineensis, Raphia sese* pour les espèces principales. Le sous bois est dominé par les acanthacées, les astéracées et poacées. Nous avons piégé pendant 5 ans, dont trois ans de façon plus extensive (2007, 2009 et 2010) et 2 ans de piégeage systématiques : du 28 octobre au 11 décembre 2010, du 19 mars au 11 mai 2012 et du 06 février au 26 mai 2013.

B. Site LUBUNGA

La récolte a été effectuée dans la jachère boisée de la commune Lubunga. Cette jachère est située à environ 12 km du centre ville de Kisangani vers la rive gauche du fleuve Congo à 0°41'de latitude nord et 25°15' de longitude Est. Elle se trouve à une altitude de 438 m. Elle est limitée au nord par la rivière Lubunga dont la commune tire son nom, au sud par un campement de cultivateurs, à l'Est par le village Kubaku et à l'Ouest par la grande route Opala. La végétation du site était constituée de *Musanga cecropiodes, Albizia chinensis, Persea américana, Rauwolfia vomitoria, Euphorbia cordifolia, Psidium guajava, Ipomoea* sp, *Solanum torvum, Elais guineensis, Raphia sese* et le sous bois est dominé par les acanthacées, les

astéracées et plusieurs lianes. Nous avons piégé pendant 2 ans : du 19 mars au 11 mai 2012 et du 06 février au le 26 mai 2013.

C. Site BANGBOKA

Le piégeage y a été réalisé dans une jachère boisée vers l'aéroport de Bangboka à 12 km du centre ville de Kisangani à 0°50'de latitude nord et 25°29' de longitude Est. Elle se trouve à une altitude de 413 m. Elle est limitée à l'Est par la concession D'Aruwezi, à l'Ouest par une forêt, au Nord par les campements des cultivateurs et au Sud par la route qui mène vers l'aéroport Bangboka. La végétation qui occupait la jachère était constituée de *Albizia chinensis, Persea américana, Rauwolfia vomitoria, Euphorbia cordifolia, Psidium guajava, Musa sapietum, Triumfelta cordifolia, Ipomoea* sp*, Commelina diffusa, Solanum torvum, Elais guineensis* et le sous bois était dominé par les acanthacées, les astéracées, poacées et lianes. Deux années de piégeage ont également été effecuées dans ce site, du 19 mars au 11 mai 2012 et du 06 février au le 26 mai 2013.

4.2.2. Méthodes

4.2.2.1. Piégeage des adultes

Nous avons testé préalablement des pièges à phéromones mais malheureusement sans résultats concluants. Nous avons donc mis en place des pièges à partir des palmiers sauvages stériles et d'autres à partir des bouteilles en plastic. Cinq types de pièges ont été mis en place au départ : piège bouteille avec morceau de stipe de palmier à huile ; piège bouteille avec morceau de canne à sucre ; piège bouteille avec le mélange de 2 substrats et un mâle utilisé comme émetteur de phéromone ; piège type abattu : un palmier abattu, dénudé pour dégager le maximum de

substances volatiles et attirer les insectes ; et piège type debout. Seul le piège de type debout a donné des résultats satisfaisant et a été utilisé par la suite, pour l'ensemble de l'échantillonnage.

Ce piège est constitué d'un jeune palmier à huile sauvage qui est toiletté pour ne garder qu'une dizaine de palmes internes qui forment la flèche. La base de la flèche reçoit une grande plaie en forme de V. Cela permet de replier la flèche du côté de la plaie pour former une pente qui la cache en grande partie pour éviter que l'eau ne puisse l'inonder par contre, c'est un abri pour les insectes. Le reste de la flèche est sectionnée à 1,3 m de la base. Dans chaque site, nous avons utilisé 10 pièges pendant 10 jours renouvelables. Après les 5 premiers jours, à l'aide d'une machette, il faut rafraichir les plaies des pièges pour que le stipe-piège dégage de plus en plus les substances volatiles qui attirent les insectes. La récolte s'effectue en redressant le reste de la flèche pour récupérer les adultes qui s'y trouvent. Ils sont ensuite stockés dans des boites en plastique aérées et ramenés au laboratoire. La récolte s'effectuait une seule fois par jour en 2012, alors qu'elle s'effectuait matin et soir en 2013.

Le piégeage a commencé au mois de mars à mai 2012 et les résultats sont présentés sous forme de tableau et graphiques pour illustrer les captures réalisées sur chaque site. En 2013, le piégeage a commencé en février pour prendre fin au mois de mai toujours dans les trois sites.

4.2.2.2. Comptage et identification des insectes récoltés

L'identification des insectes piégés jusqu'au niveau spécifique a été effectuée à l'aide des clés de détermination de *Rhynchophorus* spp élaborées par Wattanapongsrii (1966), par comparaison avec des spécimens de référence (collection du Musée d'Afrique Centrale de tervuren) et la littérature disponible (Martinez, 1981). Pour chaque relevé et chaque site, les individus sont comptés, sexés, mesurés et identifiés. Le sex-ratio a été calculé par la formule ci-après : I = nombre mâles/nombre femelles+nombre mâles

4.2.2.3. Mensurations et récolte d'acariens

Pour la morphométrie, 100 individus (50 mâles et 50 femelles) de chaque site ont subis des mensurations. Les mesures ci-après ont été effectuées : poids frais, longueur totale (de l'extrémité de l'abdomen jusqu'à la base du rostre ; parce que les rostres sont différents, plus long chez les femelles et court chez les mâles), longueur de l'élytre, longueur de l'aile et celle du tibia et le nombre d'acariens. Le pinceau a été utilisé pour récupérer les acariens sous les élytres et la partie dorsale de l'abdomen pour les individus piégés. Les mesures ont été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse électronique marque Vogel. Les individus ont été pesés avec une balance de précision de marque OHAUS pour déterminer le poids frais. L'objectif poursuivi est de voir s'il y a des différences entre mâles et femelles, une corrélation négative ou positive entre la longueur totale du corps de l'individu et les autres paramètres. Ces données serviront de référence pour les comparer avec les individus provenant d'élevage. Pendant nos manipulations, nous avons vu que les *Rhynchophorus phoenicis* comme les autres insectes, sont parasités par un certain nombre d'autres arthropodes, parmi lesquels on trouve les acariens (Atakan *et al*. 2009 ; Mazza *et al.* 2011), les diptères

parasitoïdes (Moura *et al*. 1993 ; Moura *et al*. 2006) après dissection de quelques individus. En outre, la présence d'acariens phorétiques sous les élytres a également été relevée.

4.2.2.4. Analyse statistique

Une anova à 2 facteurs suivie de test post hoc de Bonferoroni a été utilisée pour comparer les différentes mensurations entre sexe, déterminer l'influence du site sur le nombre d'insecte et le sex-ratio. De plus une corrélation entre la longueur totale du corps de l'individu et les autres paramètres mesurés et une régression ont été réalisées avec le logiciel GraphPad prism5 (Graph Pad Software, San Diego, California, USA). Le niveau de signification a été fixé à 5 %.

4.3. Résultats et discussion

4.3.1. Résultats

En deux ans, nous avons capturé 2296 individus et trois espèces de *Rhynchophorus* (fig. 21, 22 et 23) ont été identifiées. *R. phoenicis* est reconnaissable avec sa couleur noire, le pronotum largement arrondie à la base, le plus souvent avec deux longues bandes rougeâtres s'étendant sur toute la longueur, le bout d'abdomen est presqu'arrondi en marche (vue dorsale). *R. ferrugineus* se reconnait par son corps ferreux, des taches sur le pronotum, des stries noirâtres sur les élytres et son bout d'abdomen pointu en marche (vue dorsale). Enfin, *R. quadrangulus* se distingue par son pronotum presque carré et dont la partie postérieure est largement arrondie, une suture gulaire (pièces de forme subtriangulaire) large et la pointe du rostre fortement convexe du côté ventral, fortement comprimé.



Figure 21. *R. phoenicis*



Figure 22. *R. ferrugineus*



Figure 23. *R. quadrangulus*

4.3.2. Nombre d'individus et espèces capturés

L'évolution des captures par année et par site est donnée dans le tableau 7.

Tableau 7. Nombre d'individus et espèces récoltés

Sites	Année 2012						Année 2013						Total
	Tshopo		Lubunga		Bangboka		Tshopo		Lubunga		Bangboka		/ sp
Espèces	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
R. phoenicis	132	152	100	110	37	45	185	249	250	322	305	393	2280
R. ferrugineus	3	4	1	1	0	0	3	5	2	3	0	0	22
R. quadrangulus	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
Sex-ratio				**0,5**						**0,6**			

Nous avons capturé les trois espèces de *Rhynchophorus* spp en 2012 et 2013 sur les sites Tshopo et Lubunga. Par contre, *R. quadrangulus* et *R. ferrugineus* semble absentes dans le site de Bangboka. L'espèce la plus abondante est de loin *R. phoenicis*. *R. ferrugineus* est une espèce rare (21 individus seulement) alors que *R. quadrangulus* reste l'espèce la plus rare (4 individus).

En 2012, les sites Tshopo et Lubunga ont donné plus de mâles et femelles que le site Bangboka ($F = 38$; $P < 0,0001$ et $dl = 2$) En terme d'individus total capturés, la même tendance se dégage, Tshopo et Lubunga ont plus d'effectif que Bangboka. Il n'existe pas une d'interaction entre les sites et insectes ($F = 0,13$; $df = 2$

et P = 0,9). Il y a un léger biais en faveur des femelles mais non significatif, le sex-ratio est de 0,5. L'évolution des captures est présentée par la figure 24.

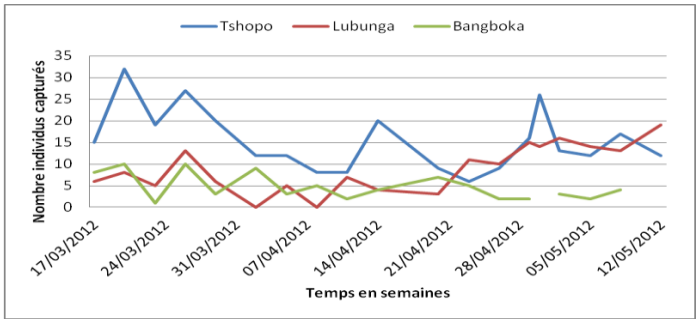

Figure 24. Evolution mensuelle des captures en 2012

En 2013, le site Bangboka arrive en tête en terme de nombre d'individus capturés (698), mais toujours pauvre en espèces (une seule) pour la deuxième année consécutive. Le site Lubunga arrive en deuxième position avec 579 individus capturés, mais en tête pour la richesse spécifique (trois espèces) et Tshopo occupe la dernière position avec 438 individus deuxième en espèces (deux espèces). La figure 25 montre comment les captures ont évolué en 2013. Les baisses de captures s'observent pendant le mois sec. Les mois pluvieux donnent plus d'insectes, en l'occurrence les mois de mars et mai.

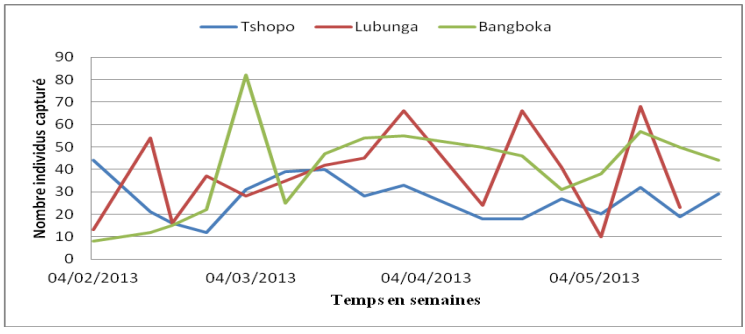

Figure 25. Evolution mensuelle des captures en 2013.

La campagne de piégeages 2013 nous a permis de capturer au total 1712 individus (964 femelles et 748 mâles). Il y a un biais en faveur des femelles qui a été confirmé statistiquement (F = 6,1, dl = 1 et P = 0,01). Le sex-ratio a été de 0,6. Le résultat montre également qu'il n'y a pas d'interaction entre les insectes et les sites (F = 0,16, dl = 2 et P = 0,9). Entre sites différents, la fréquence des mâles y compris celle des femelles entre Lubunga et Bangboka n'est pas différente (P>0,05). En considérant l'effectif total, Lubunga et Bangboka ne sont pas différents (P>0,05), mais Bangboka a un effectif plus important que le site Tshopo (F = 3,8, dl = 2 ; P < 0,02). Les baisses de captures s'observent pendant les périodes de faibles précipitations.

4.3.3 Comparaison des mesures morphométriques entre femelles et mâles de *R. phoenicis*.

Le tableau 8 donne les valeurs moyennes de tous les paramètres étudiés des 300 individus piégés faisant partie de l'échantillon. Le nombre d'acariens trouvés sur les individus est également indiqué.

Tableau 8. Valeurs moyennes de paramètres étudiés plus ou moins écart type

Paramètres / Sites/sexes	Longueur totale (mm)	Largeur totale (mm)	Longueur élytre (mm)	Longueur aile (mm)	Longueur tibia (mm)	Nombre acariens	Poids total (g)
Lubunga F	32,4±0,9	12,8±0,4	17,8±0,6	31,0±0,9	7,2±0,2	28,5±11,2	1,8±0,2
Lubunga M	31,6±1,0	12,4±0,4	17,1±0,7	30,3±0,9	7,4±0,2	16,9±8,9	1,6±0,1
Tshopo F	31,4±1,1	12,2±0,4	17,4±0,6	30,0±1	7,0±0,2	38,9±15,1	1,6±0,2
Tshopo M	31,4±0,9	12,4±0,4	17,1±0,6	30,3±0,9	7,5±0,3	25,7±11,7	1,6±0,1
Bangboka F	32,6±0,8	13,0±0,4	18,1±0,5	31,4±0,8	7,3±0,2	21,7±7,0	1,7±0,1
Bangboka M	31,7±0,9	12,4±0,4	17,4±0,5	30,7±0,9	7,4±0,2	14,4±6,7	1,7±0,1

Les résultats montrent qu'il n'y a pas des différences entre les mâles et les femelles en ce qui concerne les différentes mesures morphométriques ci-après : longueur totale, largeur totale, longueur de l'aile et le poids total (P > 0,05). Par contre, les femelles ont des élytres un peu longs que les mâles alors que ces derniers possèdent des tibias longs que les femelles (F = 4,84, dl =1 et P = 0,02 ; F= 4,40, dl = 1 et P=0,02, respectivement pour l'élytre et le tibia). Le nombre d'acariens diffèrent entre mâles et femelles, ils sont plus nombreux chez les femelles (F = 4,97, dl = 1 et P = 0,03) et le site Tshopo abrite un nombre important d'acariens, suivi de Lubunga et Bangboka en contient moins (F=3,65, dl = 2 et P = 0,03).

Nous avons cherché à voir s'il existe des corrélations entre ces différents paramètres. Il y a une corrélation positive entre la longueur totale de l'individu et la largeur totale, la longueur de l'élytre, la longueur de l'aile, celle du tibia et le poids total ; mais elle est négative entre la longueur totale de l'individu et le nombre d'acariens. Le tableau 9 donne les différentes corrélations de mesures morphométriques de *R. phoenicis*.

Tableau 9. Différentes corrélations de mesures morphométriques de *R. phoenicis* piégés

Paramètres	Lt x lt	Lt x Lé	Lt x Lail	Lt x Ltib	Lt x Nac	Lt x Pt
Pearson r	0,92	0,89	0,96	0,76	0,08	0,62
P value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,1641	< 0,0001
R^2	0,85	0,80	0,93	0,58	0,007	0,39

Légende de paramètres du tableau

Lt : longueur totale **; Lé** : longueur élytre ; **Ltib** : longueur tibia
lt: largeur totale ; **Nac** : nombre d'acariens ; **Pt** : poids total

4.3.4. Discussion

Nos résultats ont permis de mettre en évidence que trois espèces de *Rhynchophorus* sont présentes dans la région de Kisangani, *R. phoenicis* étant la plus abondante alors que les deux autres espèces n'avaient pas été signalées dans la région avant : *R. ferrugineus* et *R. quadrangulus*. Les captures montrent que ces insectes sont plus fréquents pendant les mois pluvieux même si la présence des adultes a été constatée durant toute la durée de piégeage. Le *R. phoenicis* est l'espèce qui a été retenue pour la suite des recherches à cause de sa disponibilité.

Les captures ont bien démarré dans les sites de piégeage avec des effectifs élevés excepté le site Lubunga qui a un effectif faible au départ à cause d'une reprise tardive des pluies de ce côté du fleuve. La situation de 2013 confirme celle de 2012, par le fait que ces insectes sont plus fréquents pendant les mois pluvieux. L'année 2013 a donné plus d'individus que 2012 à cause de l'amélioration de la récolte qui s'effectuait le matin et soir au lieu d'une seule fois par jour. *R. ferrugineus* et *R. quadrangulus* ont été peu fréquents et il est possible que ces espèces soient inféodées à quelques espèces spécifiques de palmier qui ne se retrouvent pas dans le site Bangboka. Le biais de sex-ratio en faveur des femelles est peut être dû à une différence d'activité par rapport aux mâles dans la recherche du site de ponte.

Les corrélations trouvées en ce qui concerne les mesures morphométriques sont confirmées par Tanyi Tambe *et al*. (2013). La régression linéaire a montré qu'une augmentation de 1 mm de la longueur totale, entraine une augmentation de 0,11 ± 0,01g ; 0,40 ± 0.01 mm ; 0,54 ± 0,02 mm ; 0,95 ± 0,02 mm ; 0,20 ± 0.01 mm, respectivement pour le poids total (r^2 = 0,39), largeur totale (r^2 = 0,85), longueur de l'élytre (r^2 = 0,80), celle de l'aile (r^2 = 0,93) et du tibia (r^2 = 0,58). L'effet le plus frappant

est la croissance spectaculaire de l'aile qui augmente de 0,95 ± 0,02 mm quand la longueur totale s'accroit de 1 mm, c'est probablement lié à la contrainte du vol et aux capacités de déplacement de *R. phoenicis*. En conditions favorables, il peut franchir jusqu'à 7 km (Lepesme *et al*. 1947 ; Sharif et Wajih, 1983).

Le nombre d'acariens par contre n'a aucun rapport ni avec la longueur totale de l'individu, ni avec sa largeur totale. Il convient cependant de souligner que nous avons constaté que plus l'individu vieillit plus le nombre d'acariens diminue. Cette situation s'explique peut-être en grande partie par la nature phorétique des acariens de *R. phoenicis* et qui est en plus confirmée par le fait que les acariens sont plus nombreux à l'émergence des individus et plus présents du côté ventral de l'insecte (fig.26). Il est aussi possible qu'ils trouvent mieux ce qu'il cherche chez les individus jeunes qu'âgés. Ils gagent les élytres lorsque l'insecte commence à déployer ses ailes. Ils sont présents dans les cocons, probablement transportés par les adultes qui viennent pondre dans le substrat. Il convient cependant de se poser la question de savoir de quoi se nourrissent ces acariens, parce qu'ils sont présents à tous les stades de l'insecte. Il est possible qu'en plus de la phorésie stricte, du parasitisme existe (ce point sera discuté au chapitre suivant).



Figure 26. Acariens à l'émergence d'un individu de *R. phoenicis*

4.4. Conclusion

Notre travail consistait à déterminer le nombre d'espèces de *Rhynchophorus* spp que l'on peut trouver dans la région de Kisangani et laquelle est la plus abondante. Trois sites (Tshopo, Lubunga et Bangboka) sur trois axes différents à 12 km au départ du centre ville ont été choisis. Nous avons utilisé les pièges du type débout montés sur des palmiers sauvages sur deux années (2012 et 2013).

La région de Kisangani possède 3 espèces de *Rhynchophorus* : *R. phoenicis*, *R. ferrugineus* et *R. quadrangulus. R. phoenicis* est l'espèce la plus abondante dans tous les sites de l'étude (2269 individus capturés).

Concernant les mesures de *R. phoenicis*, il ressort de cette étude que les mâles diffèrent des femelles par la longueur de leur tibia alors que les femelles possèdent de longs élytres. Ce travail a prouvé également que les femelles véhiculent un plus grand nombre d'acariens que les mâles, ceci a été vrai dans les trois sites, peut être en raison précisément de la taille des élytres sous lesquels les acariens s'abritent.

Nous avons constaté également que les individus jeunes possèdent plus d'acariens que les individus âgés, ce qui justifie en grande partie le caractère phorétique de ces derniers.

Chapitre 5 : Note sur les acariens de *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius

Au cours de nos manipulations comme nous l'avons dit au chapitre précédent, nous avons vu la présence des acariens sous les élytres des adultes piégés et au niveau de la partie ventrale pour les adultes qui émergent des cocons et même au niveau du cocon lui-même. Cette partie a cherché à aller plus loin pour identifier ces acariens et comprendre leur relation avec le *Rhynchophorus* pour essayer de prendre de précautions dans les élevages de façon à ne pas compromettre le résultat final.

5.1. Introduction

De nombreuses espèces d'acariens sont associés aux invertébrés (Bajerlein et Bloszyk, 2004 ; Bajerlein et przewozny, 2005) et plus particulièrement à différentes familles des coléoptères (Atakan *et al*. 2009; Pernek *et al*. 2012). Plusieurs types d'interactions sont connus. Il peut s'agir de commensalisme, de phorétisme ou plus directement de parasitisme ou de prédation des œufs. La phorésie est un phénomène dans lequel un animal cherche activement un autre animal pour s'attacher et se faire disperser (Athias-Binche, 1994 ; Szymkowiak *et al.* 2007). Peter (1989) l'a défini comme une interaction symbiotique qui aboutit à la dispersion, au transfert bénéfique des organismes sans un impact négatif pour l'hôte. Ce mécanisme de dispersion est généralement provoqué par l'existence de mauvaises conditions dans l'habitat initial, par exemple le manque de nourriture ou la surpopulation. (Salmane et Telnov, 2009).

Les relations entre acariens et insectes ont été étudiées par beaucoup d'auteurs (Gordh et Barrows, 1976 ; Wisniewski et Hirschmann, 1993 ; Athias-Binche *et al*. 1993 ; Haitlinger, 2008 ; Gwiazdowicz, 2000 ; Wang *et al*. 2002 ; Bajerlein et Bloszyk, 2004 ; Bajerlein et Przewozny, 2005; Atakan *et al*. 2009 ; El-Sharabasy 2010 ; Mazza *et al*. 2011; Gwiazdowicz *et al*. 2013 ; Błoszyk *et al*. 2013). Le stade phorétique chez l'acarien est habituellement la deutonymphe. D'un point de vue morphologique ou éthologique, les espèces phorétiques obligatoires peuvent avoir conjointement des deutonymphes phorétiques avec des adaptations particulières et sédentaires différentes et qui ne sont pas deux stades successifs du développement (Athias-Binche, 1994).

La limite entre la phorésie et le parasitisme semble difficile à établir. Le cas le plus simple de ces types des relations est le commensal qui s'installe au voisinage immédiat, voire au contact de son hôte et vivrait à ses dépens, non pas qu'il prélève la substance même de l'hôte, mais détourne une partie de ses matériaux nutritifs ou utilise les déchets de son alimentation. Du prélèvement indirect au prélèvement direct, la distance n'est pas longue (Rabaud, 1928). Si le commensal peut devenir parasite au cours de l'évolution, alors le phorétique qui est directement en contact de l'hôte dès les premiers instants peut très probablement évoluer vers une forme de parasitisme également. Les acariens peuvent être phorétiques pour un stade donné de l'insecte et devenir prédateurs voir parasites pour d'autres stades du même insecte (El-Sharabasy, 2010). Les acariens phorétiques trouvés sur *Rhynchophorus* sont des deutonymphes pour la plupart et appartiennent à la famille des Uropodidae (Atakan *et al*. 2009 ; Mazza *et al*. 2011). Les charançons du palmier sont des insectes de grande taille qui sont colonisés par des espèces d'acariens appartenant à plusieurs familles différentes et peuvent contenir sous leurs élytres ou attaché à diverses partie de leur

corps jusqu'à plusieurs dizaines d'individus (Atakan *et al*. 2009 ; Mazza *et al*. 2011 ; Kontschán *et al*. 2012). Le tableau ci-dessous donne les espèces d'acariens trouvées sur différentes espèces de *Rhynchophorus*.

Tableau 10. Espèces d'acariens associées à certaines espèces de *Rhynchophorus*

Auteurs	Espèces *Rhynchophorus*	Acariens	Conséquences
Kontschán *et al*., 2012	*R. phoenicis*	*Uroobovella phoenicicola* (Cameroun)	Prédateur des œufs et autres stades *R* (supposé)
Mazza *et al*., 2011	*R. ferrugineus*	*Centrouropoda almerodai* (Italie)	Prédation supposée
El-Sharabasy, 2010	*R. ferrugineus*	*Trichouropoda patavina* (Uropodidae) Egypte	Non connu
		Iphidosoma sp. (Eviphididae) Egypte	Ectoparasites
		Hypoaspis sardoa Berlese (Laelapidae) Egypte	
		Parasitis zaheri Halfer et Nasr (Parasitidae) Egypte	
		Scutacarus sp. (Scutacaridae) Egypte	Non connu
		Histiostoma sp. (Histiostomidae) Egypte	Non connu

R. phoenicis abrite aussi un nombre important d'autres petits arthropodes et certains individus récoltés sur le terrain hébergent un nombre impressionnant d'acariens à tous les stades de leur développement. Il existe très peu d'études sur les relations entre les acariens et *R. phoenicis*. Kontschan *et al.* (2012), ont été les seuls jusqu'à présent à déterminer les acariens (*Uroobovella phoenicicola*) de *R. phoenicis* à partir des échantillons récoltés au Cameroun.

Les informations sur la faune des acariens et leurs relations avec les *R. ferrugineus* ont été étudiées en Egypte (El-Sharabasy, 2010) et dans le reste du monde. Par contre, concernant *R. phoenicis*, il existe très peu de données et cette espèce est encore

insuffisamment étudiée en Afrique en général et en RD. Congo en particulier. La présente étude visait à recenser les espèces d'acariens associés à *R. phoenicis*, récoltés sous les élytres des individus mâles et femelles piégés, à l'émergence et au niveau du cocon dans la région de Kisangani. Nous avons essayé d'avoir une idée sur leur nature (parasite ou non) pour prévenir leur présence sur nos élevages. En effet, dans un élevage de masse, leur présence pourrait poser de nombreuses difficultés pour le développement des insectes mais aussi altérer la qualité finale du produit proposé.

5.2. Matériels et Méthodes

5.2.1. Récolte des acariens

Nous avons procédé au piégeage de *R. phoenicis* pendant deux ans. Les pièges du type debout ont été utilisés. La première année n'a concerné qu'un site (Tshopo). Quinze adultes de chaque sexe ont été conservés dans l'alcool, les acariens présents sur chaque individu ont été récoltés et envoyés aux spécialistes pour identification ; une partie en Turquie dans le laboratoire du docteur **Durmus Ali BAL** et une autre aux USA**,** au laboratoire d'acarologie de l'université d'Ohio du Professeur **Hans Klompen**. L'ensemble de matériel était constitué de deutonymphes, le stade phorétique**.** Les acariens ont été mis dans la solution d'acide lactique pour les éclaircir et blanchir, ensuite ont été observés au microscope stéréoscopique.

La deuxième année, sur proposition du Professeur **Hans Klompen**, le piégeage a eu lieu dans trois sites différents : Tshopo, Lubunga et Bangboka. Nous avons sélectionné 100 individus par site à raison de 50 mâles et 50 femelles, donc 300 individus au total. Les acariens ont été récoltés sur des individus vivants à l'aide d'un pinceau fin humidifié et conservés dans les

eppendorf avec l'alcool, ramenés en Belgique, ils ont été envoyés aux U.SA pour identification. De plus, les acariens ont été récoltés sur les individus vivants sous les élytres, au niveau de la face ventrale à l'émergence et au niveau de cocons. Les figures ci-dessous présentent les acariens au niveau du cocon, à l'émergence et sous l'élytre.



Fig. 27. Acariens au cocon



Fig.28. Acariens à l'émergence

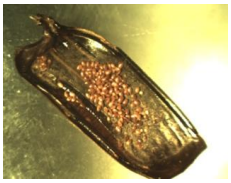

Fig. 29. Acariens sous élytre

5.3. Résultats et discussion

La première année, nous avons récolté un nombre moyen d'acariens par femelle de 19,80 ± 6,2 et de 35,9 ± 12,9 par mâle soit au total respectivement 297 et 538 individus. Le nombre d'acariens par mâle pour cet échantillon est presque le double de ce qu'on a trouvé par femelle ($t = 2,2$, $df = 28$ et $P < 0,5$). La raison probable de cette situation peut être due au fait que après récoltes sur le terrain, les d'individus sont restés pendant quelques semaines dans des boites en plastic au laboratoire (en captivité) et que dans ces conditions, les mâles vivent un peu plus longtemps que les femelles. Ces résultats sont l'inverse de ceux d'Atakan *et al*. (2009) qui ont trouvé que le nombre d'acariens phorétiques était légèrement plus élevé chez les femelles (698 au total) que chez les mâles (653 au total) pour *R. ferrugineus*. Dans leur cas, les individus provenaient directement des pièges.

L'échantillon envoyé en Turquie (Dr. Durmus Ali BAL) contenait 93 spécimens qui ont été identifié comme *Uroobovella marginata* (C.L. Koch 1839) (Acari : Urodinychidae), un

acarien phorétique décrit par Atakan *et al*. (2009) sur *R. ferrugineus*. Il a été introduit accidentellement sur Malte en même temps que *R. ferrugineus* et est considérée comme installée dans l'archipel (Porcelli *et al.* 2009). Cette famille contient des espèces qui sont pour la plupart phorétiques (Mazza *et al*. 2011).

L'échantillon analysé aux USA a révélé la présence de deutonymphes d'Uropodidés, acariens phorétique. Les Uropodidés, famille plus large, constituée des acariens cosmopolites, vivent en association avec les insectes, se nourrissent des champignons et sont parfois prédateurs (Krantz, 1978). Cette année là la détermination n'a pas été faite jusqu'à l'espèce pour cet échantillon.

La deuxième année, 2673 et 4007 acariens ont été récoltés respectivement pour mâles et femelles. Le nombre moyen d'acariens était de 18±3,3 et 27±4,1 acariens, respectivement par mâle et par femelle. Le nombre d'acariens par femelle est cette fois supérieur à celui du mâle, ce qui confirme les résultats d'Atakan *et al*. (2009) et semble confirmer que le résultat inverse que nous avions obtenu la première année est lié à la période de captivité avant récolte des acariens. Ceci peut se justifier par le fait que les femelles restent un peu plus longtemps sur le substrat que les mâles parce qu'elles doivent pondre. Les espèces suivantes ont été identifiées par le professeur Hans Klompen:

- *Centrouropoda almeroida* : décrite en 1992 par Hiramatsu et Wisniewski aux Phillipines sur *Rhynchophorus spp.* Cet acarien est généralement considéré comme un acarien phorétique qui a également été introduit accidentellement sur l'île de Malte par *R. ferrugineus* (Porcelli *et al*. 2009). Mazza et al. (2011) ont

démontré en Italie que les individus de *R. ferrugineus* portant cet acarien ont vu leur durée de vie diminuer d'un tiers par rapport à ceux qui en étaient exemptés. Il existerait donc un fort impact négatif ;

- *Uroobovella phoenicola* : décrite en 2012 par Kontschan, Tambe et Riolo en Afrique du sud à partir d'un échantillon d'acariens récoltés au Cameroun. C'est une nouvelle espèce de la famille des Urodinychidae (anciennement Uropodinea) (Acari: Mesostigmata). Il est en association avec *R. phoenicis*. Kontschan *et al*. (2012) ont trouvé que s'était une espèce parasite et avaient même préconisé son utilisation dans la lutte biologique contre le coléoptère.

Au cours de nos manipulations, nous avons trouvé des œufs, larves et adultes de ces acariens sous les élytres et sur l'abdomen du charançon. Cette distribution d'âge est difficilement compatible avec de la seule phorésie. En effet, après l'éclosion, les larves doivent croître et il leur faut donc de la nourriture. Il est possible qu'elle utilise les microorganismes qui colonisent les *Rhynchophorus*, mais il est aussi possible qu'elles se nourrissent directement sur l'insecte. Dans ce cas l'acarien bénéficierait à la fois du transport, d'un abri et de la capacité de se nourrir sur son hôte en ectoparasite. Ces observations confirmeraient la survie réduite de *R. ferrugineus* observée par Mazza *et al.* (2011). Les acariens phorétiques représenteraient dès lors un coût évident pour l'hôte. Ils diminuent le bilan énergétique de l'hôte, perturbent son aérodynamisme en fixant leurs colonies sous les élytres, occasionnent un supplément de poids et diminuent sa vélocité (Athias-Binche, 1994). Ainsi, sur *R. ferrugineus* des chercheurs ont identifié toujours la même espèce d'acarien (*Centrouropoda almeroda*), sans pouvoir déterminer formellement s'il s'agit de la phorésie ou non

(Wattanapongsiri, 1966 ; Longo et Raguse, 2006 ; Atakan *et al*. 2009). Mazza *et al*. (2011). Ce point serait donc à investiguer dans le futur ainsi que le cycle de l'acarien en dehors de son hôte.

5.4. Conclusions

L'objectif de ce travail était d'identifier les familles et espèces d'acariens trouvées sur les *R. phoenicis* piégés, à l'émergence et récoltés des cocons dans la région de Kisangani et d'analyser leur caractère phorétique. Trois espèces appartenant à deux familles (Uropodidae et Urodinychidae) ont été identifiée:

- *Centrouropoda almeroida* (Hiramatsu et Wisniewski 1992) ;
- *Uroobovella phoenicola* (Kontschan, Tambe et Riolo 2012) ;
- *Uroobovella marginata* (C.L. Koch 1839).

A notre connaissance, *C. almeroida* et *U. marginata* n'ont jamais été rapportées sur *R. phoenicis*. Le rôle de ces espèces et leur abondance relative en fonction des milieux où les charançons ont été piégés reste à vérifier. Il n'est pas impossible qu'en plus d'un caractère purement phorétique *C. almeroida* ait aussi un impact négatif sur l'hôte. De la même façon, *U. phoenicola* a été rapporté comme parasite. Il faudra donc faire particulièrement attention à ces acariens en cas de constitution d'un élevage de *R. phoenicis* destiné à l'alimentation.

Remerciements

Nous remercions sincèrement le Dr. Durmus Ali BAL (Turquie) et le professeur Hans Klompen (USA) de Acarology Laboratory, The Ohio State University, Museum of Biological Diversity pour leur précieuse implication dans l'identification de nos acariens.

Chapitre 6 : Méthodologie générale ou étapes à suivre pour élever *Rhynchophorus phoenicis*

Ce chapitre a pour but de décrire la méthodologie générale de l'élevage avec l'identification des étapes clés. Ces étapes sont utilisées durant le reste de la partie expérimentale et il nous semblait dès lors nécessaire d'expliquer la procédure générale. Dans la suite du travail, les petites différences par rapport à cette procédure seront signalées au fur et à mesure.

6.1. Introduction

L'élevage d'un insecte suppose la maîtrise de ses conditions écologiques, de son mode de reproduction et de nutrition. Après avoir mis du temps à comprendre tous ces paramètres (milieu écologique qui doit être saturé d'humidité, présence du substrat), nous avons élaboré les étapes à suivre pour élever *R. phoenicis*. L'objectif est de montrer clairement les différentes étapes à suivre pour élever ces insectes dans les conditions de Kisangani depuis la récolte de l'insecte, le type d'infestation du substrat et la façon d'infester jusqu'à la récolte de larves de dernier stade ou à l'émergence des adultes. Au total, nous avons déterminé six étapes principales. Ces étapes seront utilisées tout au long de ce travail. Des modifications peuvent intervenir, en rapport avec le type d'infestations.

6.2. Piégeage et/ou récolte des cocons

Les insectes utilisés pour le démarrage des élevages proviennent en général de cocons récoltés sur le terrain, d'individus piégés (piège type debout). La récolte de cocons (fig.30) consiste à aller les chercher en forêt, sur les palmiers sauvages infestés. Il suffit de déchiqueter minutieusement le palmier infesté pour sortir les cocons (fig.31) qui se trouvent majoritairement à la périphérie et les stocker dans les boites en plastique trouées.



Figure 30. Extraction de cocons



Figure 31. Cocons de *R. phoenicis*

6.3. Stockage des adultes

Nous avons travaillé dans des conditions presque naturelles, car la température, la photopériode et l'humidité relative étaient celles du milieu ambiant. Nous nous rapprochons ainsi des conditions potentielles d'élevages artisanaux. Le stockage des adultes (fig.32) est une opération qui consiste à mettre les insectes dans des boites en plastique trouées avec des morceaux de substrat (canne à sucre, fausse canne, rachis de palme, stipe de palmier) de 5 – 10 cm fendus avec un sexe ratio de 1 :1 (un mâle pour une femelle) pour limiter la compétition entre mâles. Ces morceaux de substrat servent à la fois de nourriture pour les adultes et de milieu de pontes pour les femelles. Le but du stockage est de mettre les insectes adultes dans les meilleures conditions possibles qui favorisent l'accouplement, pour permettre aux femelles de pondre les œufs fécondés, gages de la réussite de l'élevage.

Des boites en plastique de différentes dimensions (0,24 dm^3 ; 1,23 dm^3 ; 2,01 dm^3 ; 2,1 dm^3 ; 2,4 dm^3) et fermées par un couvercle troué pour renouveler l'air ont été utilisées. Le renouvellement de morceaux de canne est effectué après 3 jours.



Figure 32. Stockage des adultes

6.4. Extraction des œufs et des larves de premier stade

Le substrat de ponte habituellement utilisé est la canne à sucre, particulièrement commode sur le plan expérimental et bien acceptée par les femelles. Une fois pondus, les œufs sont récupérés sur les morceaux de canne à sucre qui sont restés dans les boites pendant 3 jours (âge = 3 jours). Pour obtenir des jeunes larves, il faut attendre 3 jours supplémentaires (âge = 6 jours). L'opération consiste à déchirer soigneusement les vieux morceaux de canne à sucre à l'aide d'un couteau et à récolter les individus (œufs et jeunes larves) à l'aide d'un pinceau. Les œufs et jeunes larves récoltées sont stockés dans les boîtes de Pétri et servent à infester différents substrats d'élevage. Il faut souligner que l'extraction (fig.33 et 34) est une opération très délicate, car la moindre inattention peut blesser et donc soustraire plusieurs jeunes larves et œufs à l'élevage. C'est donc une étape clé pour la mise en place d'un élevage artisanal.



Figure 33. Extraction des œufs

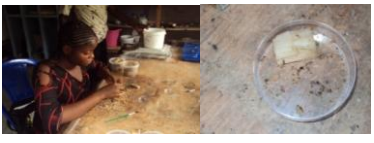

Figure 34. Extraction des larves

6.5. Infestation

L'infestation d'un substrat de départ peut se pratiquer avec différents stades de *R. phoenicis*. Le but est d'obtenir un développement jusqu'au dernier stade larvaire ou jusqu'à la formation des cocons, selon les besoins.

Nous avons déterminé trois types d'infestations: 1) à partir des adultes (piégés ou provenant de cocons), 2) à partir d'œufs et 3) à partir de larves de premier stade. En conditions naturelles, les femelles pondent à l'intérieur du substrat en pratiquant d'abords une ouverture à l'aide de leur rostre. En conséquence, pour réussir l'infestation des œufs et jeunes larves, il faut les placer directement à l'intérieur du substrat. Dans le cadre de ce travail, nous avons infesté plusieurs substrats : canne à sucre, fausse canne, rachis de palme, jeune et vieux stipes de palmier (*Elaeis guineensis*), stipe de raphia (*Raphia guiletii*), diètes artificielles composé d'une pate formée de banane plantain mûre, de patate douce pour la composante énergétique (40 %), de niébé et tourteau pour la composante protéique (60 %) et le jus de citron (3 cuillères) pour prévenir les moisissures.

L'infestation (fig. 35, 36, 37 et 38) doit se faire juste après l'extraction. Si le temps entre l'extraction et l'infestation s'allonge, beaucoup de larves seront perdues, car elles ne supportent pas un long moment de stress. Pour les œufs, il suffit de faire un petit trou au sommet du stipe, mettre soigneusement les œufs (3 à 5 par trou) et boucher le trou à moitié pour éviter la prédation et surtout faire comme s'ils étaient déposés par la femelle (intérieur du substrat). Pour les jeunes larves (2 à 3 par trou), on procède de la même façon. Il faut éviter de les mettre toutes les larves du premier stade au même endroit pour réduire la compétition dès le premier jour. L'infestation d'un morceau de canne à sucre, rachis ou fausse canne par les œufs peut se faire à l'extrémité via un petit trou ou soit en fendant le stipe en

deux parties, en pratiquant un trou au milieu de chaque partie, et ensuite infester et remettre les deux morceaux ensembles à l'aide d'une lanière. Pour la diète, on y pratique également de petits trous après l'avoir compactée dans un bocal pour y placer les œufs ou jeunes larves.

L'infestation par des adultes se fait en choisissant 5-10 individus (jeunes surtout) avec le sex-ratio de 1:1. Les mettre en contact avec le substrat. Ils sont ensuite déposés au sommet du stipe et couverts avec la moitié d'un bocal en plastique ou une grille pendant au moins 5 jours pour maximiser la ponte des femelles. L'infestation réussie se confirme par une activité intense des larves qui se voit à l'œil nu par des galeries et surtout la sciure résultant de leur broyage qui est rejetée à la surface du substrat.






Fig. 35. Infestation vieux stipe Fig. 36. Jeune stipe Fig. 37. Canne à sucre Fig. 38. Diète

6.6. Incubation

L'incubation (fig. 39, 40, 41 et 42) consiste à garder les substrats infestés dans un endroit contrôlé, exempt de prédateurs et maladies pour permettre le développement des larves jusqu'au stade voulu par l'éleveur. La canne à sucre, rachis, fausse canne et la diète artificielle utilisées comme substrats d'élevage, doivent être renouvelées après chaque semaine au moins, parce qu'après ce laps de temps pour ces substrats, ils sont consommé quasi totalement. Cela limite aussi le développement de moisissures. Les figures suivantes montrent l'incubation dans différents substrats.






Fig.39. Incubation diète Fig.40. Jeune stipe Fig.41. Canne sucre Fig.42. Vieux stipe

6.7. Récolte des larves de dernier stade

La récolte (fig.43, 44, 45 et 46) est une opération qui consiste à sortir ou à séparer les larves de dernier stade de leur substrat d'élevage en cherchant à les blesser le moins possible. Les larves blessées ont une valeur marchande faible. Elle a lieu deux semaines après infestation des jeunes stipes de palmier à huile par les jeunes larves et trois semaines pour les œufs. Pour le vieux stipe, elle a lieu quatre semaines après s'il s'agit de jeunes larves qui étaient infestées et 3-7 jours de plus pour les œufs. Chez le vieux stipe de raphia, elle a lieu 3 semaines après l'infestation des jeunes larves, 4 semaines après celle des œufs et des adultes. Il faut noter que la récolte des larves lorsque l'infestation a été pratiquée avec des adultes donne des larves de tailles et d'âges différents, car les femelles ne pondent pas le même jour. Lorsque la canne à sucre est utilisée comme substrat d'élevage, il faut cinq semaines de développement à partir des jeunes larves et six pour les œufs et enfin, pour la diète, il faut 4-5,9 semaines pour les œufs et les larves de premier stade.

La récolte à partir des substrats de petite dimension ou de la diète artificielle est facile à réaliser en fendant ceux-ci, alors que celle de stipe de palmier à huile est délicate, il faut être très habile. La récolte de stipe de raphia est modérément facile, car sa partie interne ressemble à la texture de biscuits humidifiés, seulement la partie périphérique est un peu dure.

Le dernier stade larvaire est facilement observable pour les substrats de petite dimension (canne à sucre ou la diète) à partir du poids et de la coloration brun-jaunâtre de larves. Pour le substrat de grande dimension, cela se remarque par la diminution sensible du bruit de mastication produit par les larves (Mignon, 2002).



Figure 43. Larves récoltées diète



Figure 44. Larves récoltées jeunes stipes



Figure 45. Larves récoltées vieux stipe



Figure 46. Larves récoltées canne à sucre

Chapitre 7. Test de l'utilisation de différents substrats et de modes d'infestation pour l'élevage des larves de *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius)

L'objectif de cette partie est de déterminer le meilleur substrat alternatif et la meilleure méthode d'infestation pour optimiser un élevage de *R. phoenicis* dans les conditions rencontrées en région de Kisangani. *R. phoenicis* a été choisi parce qu'il s'agit de l'espèce la plus abondante localement mais aussi par fait de conséquence, la plus présente sur les marché et la plus consommée. Dans un premier temps un groupe de cinq substrats d'élevage a été testé pendant trois ans et a fait l'objet d'un article qui est en cours de révision. Le vieux stipe de *Raphia* a été utilisé pendant deux ans est également associé à cette partie, mais n'a pas fait l'objet de l'article.

Influence of substrates on the rearing success of *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius).

Monzenga Lokela Jean Claude[1, 2], Guillaume le Goff [2], Kayisu Kalenga[1,] Hance Thierry[2]

[1)] Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-YBI) à BP 1232 Kisangani - RD Congo

[2)] Earth and life Institute, Biodiversity Research Centre, Université catholique de Louvain, L7.07.04, Croix du Sud, 4-5, b-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Abstract

Entomophagy (consumption of insects) is more and more regarded as a possibility to solve food problems of deficiencies or malnutrition. Our objective was to analyze the possibility of rearing the *R. phoenicis* weevil on side products resulting from agriculture in order to improve its availability at an acceptable cost by the local populations. All experiments were done under basic local conditions and using local products.

To this end, we carried out the breeding of *R. phoenicis* on five types of substrates (old and young palm trunk split in two parts and reassembled or not, sugar canes and two artificial diets) by using either eggs, or first instar larvae to start the production.

The young palm trunk gave a much better production when not split, with shorter development duration (15 days against at least 35 days) and heavier last instars larvae (6, 95 g *vs* 3.4g) on this substrate than on all the others. However, pieces of sugar cane and artificial diet based on a plantain - sweet potato pasta added with cowpea gave encouraging results. Larval infestation worked better than eggs infestation. This work underlined the potential of *R. phoenicis* rearing under the conditions of poor developing countries.

Key words: Entomophagy, substrates of rearing, *Rhynchophorus phoenicis*, artificial diet.

7.1. Introduction

Insects are more and more considered as a source of food and proteins (Rumpold and Schlüter, 2013) even if still badly known and under evaluated. Several companies like Micronutris (France), Yunnan Insect Biotechnologies (China) already market insects and the University of Wageningen (Netherlands), University of Liège Agro-Bio Tech (Belgium) and University of Wisconsin (USA) have poles of research entirely devoted to entomophagy (Lavalette, 2013). This list is not exhaustive.

Consumed from immemorial time, insects can be reared in high quantity using little space and less energy and food requirement than vertebrates. Nearly 1500 to 2000 species are known to be edible throughout the world (MacEvelly, 2000; Malaisse, 2004; Mitsuhashi 2008; Nonaka, 2009). The nutritional quality of the insects and the possibility of producing them (or in most case collecting them) at low prices could be a solution to solve many problems of protein deficiencies (Hardouin, 2003). In that context, the larvae of *Rhynchophorus phoenicis* constitute a well-known and appreciated resource in tropical Africa (Bahuchet, 1975; Dounias, 1993; Thies, 1995; Malaisse, 1997). For numerous insect species, it is already known that the quality of the host plant use for the rearing of larvae significantly influences the main fitness traits as the morphology of the adult insect (Albert and Bauce 1994; Dodds *et al.* 1996; Tammaru 1998).

Several works on *Rhynchophorus* sp. and particularly on *R. ferrugineus* already tried to develop artificial diets (Rananavare *et al*. 1975; Giblin *et al*. 1989; Zagatti *et al*. 1993) and substrates for laying and breeding (Rahalkar *et al*. 1978; Kalleshwaraswamy and Jagadish, 2005; Karmataka, 2009; Shahina *et al*. 2009). However these studies did not aimed to produce *R. ferrugineus* for food consumption but they produced

larvae or adults to test control methods, as this species is a pest for palm tree culture. In consequence, they use antibiotics to avoid bacterial contamination in their diet, (Walid Kaakhek *et al*. 2005; El-Shafie *et al.* 2013). In our case, the objective was to produce larvae of *Rhynchophorus* spp. for human consumption excluding the use of antibiotics. Moreover, to mimic the conditions encountered in a poor country, we worked with simple elements readily available on the local market, and without sophisticated climate chamber. The idea is to set up artificial diets which are based on agricultural products or residues to promote the rearing of insects and thus to develop the local resources available to fight malnutrition. The objective of the current work was to produce last larval instar of *R. phoenicis* for human consumption by using five rearing substrates.

7.2. Materials and methods

7.2.1. Adults trapping

The *R. phoenicis* were collected in the forest of Akodale, (034' Northern latitude and to 025, 08' longitude) at 450 m of altitude. Standing traps were used to capture individuals. This type of trap is constituted by a young palm oil pruned to keep only ten palms whose crown is cut at the base and folded to prevent water flooding the wound; the rest of the crown is sectioned at 1.3 m from the base. Density of individuals was the same in each boxes (10). Renewal the pieces of cane was performed every three days.

7.2.2. Production of eggs and first larval instar of *Rhynchophorus phoenicis*

This work was done under ambient conditions of temperature, photoperiod and relative humidity to correspond to true conditions of rearing in poor countries with no climatic facilities. The insects collected were placed in plastic boxes (2.01 to 2.4 dm^3) with holes to allow ventilation a sex ratio of 1:1. Pieces of split sugarcane of 5-10 cm were added to serve as food and nesting substrate. Had and density of individuals was the same in each boxes. Renewal the pieces of cane was performed every three days. Number of replicates (boxes).

7.2.3. Extraction of eggs and larvae

The eggs were retrieved from pieces of sugar cane remained in the box for three days while the young larvae were removed from boxes of adults and stored in another box for another three days. To do that, pieces of sugar cane were carefully torn off with a knife and individuals (eggs or young larvae) were collected using a brush. Once collected, eggs and larvae were then placed in Petri dishes and used to infest various substrates.

7.2.4. Experiments

Five substrates were tested and infested with eggs or young larvae. The eggs and larvae number use for infestation was chosen according to the size of the substrate: (1) young palm trunk (30 to 50 cm long and 20-40 cm in diameter) infested with 30 larvae or 40 eggs ; (2) old palm oil trunk (40 cm long and 30 cm in diameter) infested with 35 larvae or 60 eggs ; (3) 25 pieces of sugar cane (30 cm long) placed in a jar and infested with 50 larvae or 100 eggs ; (4) an artificial medium composed of a paste made of ripe plantain , sweet potato for the energy

component (40 %) and cowpea for the protein component; (5) in the (4) medium, palm cake replaced cowpeas as a protein component (60 %) and lemon juice was used to prevent mold. These two artificial diets were prepared after boiling cowpeas, bananas and sweet potatoes. They were then crushed to form the paste. Five replicas were made for each medium and each type of infestation (eggs and first larval instar). The egg and first larval instar were placed individually in a small holes dig at the top of the substrate. The holes were then locked with a piece of feather grass or sugar cane. The holes were distant (10 cm) from each other to reduce competition between individuals. The infested substrates were stored at room temperature until the last larval stage. The pieces of sugar cane and the artificial diet used as breeding substrates were renewed each week.

7.2.5. Collection of last larval stage

For the trunk of palm oil tree, it is difficult to note the presence of the larvae during the first ten days of their existence. After this time, they produce a chewing noise similar to a washing machine. As the larvae grow, the noises increase in intensity and the frequency of the vibrations decreases. With maturity, the frequency of vibration is approximately ten per minute; and it is the time to which the harvest of larvae can start (Mignon, 2002). For the sugar cane and the artificial diet, this state is noticed by the brown-yellowish coloring of the larva and its weight.

7.2.6. Statistical analysis

The data were analyzed using two-way analysis of variance (substrates and insect stage) and the post hoc test of Bonferroni with the software Graph Pad prism5 (Graph Pad Software, San Diego, California, the USA). The level of significance was fixed at 5 %.

7.3. Results

Results concerning the average production of last larval stage, development duration to reach the last stage and weight of the larvae are presented in fig. 47 to 48.

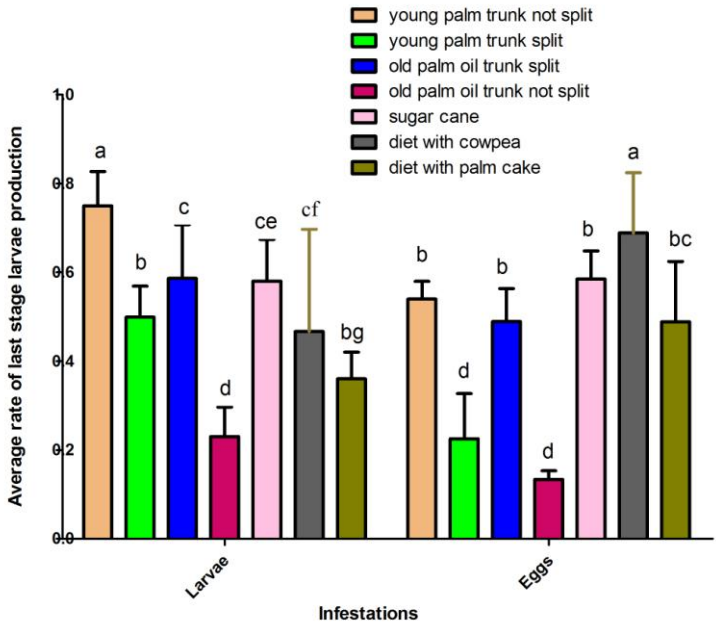

Figure 47. Average rate (Number produced/number introduced) of last stage larvae production. Different letters indicate a significant difference ($\alpha = 0.05$).

When starting with young larvae, the average production of last larval stage was significantly higher for young palm trunks not split (112 out of 150 infested) compared to the split ones, the diet with palm cake, the diet with cowpea and the old trunk not split ($P < 0.5$). On the other hand, there is no significant difference between to the old trunk not split and with the sugar cane ($P > 0.5$), which can be regarded as the best artificial substrate for the infestation of young larvae.

For the infestation by eggs, the cowpea diet arrived first for the production of last larval stage before of all the other substrates, the young palm trunk no split arrived in second position. There is an interaction between the substrate and the infestation (table 11).

Table 11. Variance analysis of the average rate of success with 2 criteria of classification, the substrate and the type of infestation.

Source of Variation	Df	Sum-of-squares	Mean square	F
Interaction	6	0.9005	0.1501	7.866
substrat	6	3.101	0.5168	27.09
infestation	1	0,07208	0.07208	3.778
Residual	123	2.347	0.01908	
Source of Variation	% of total variation	P value		
Interaction	13.97	< 0.0001		
Substrat	48.12	< 0.0001		
Infestation	1.12	0.0542		

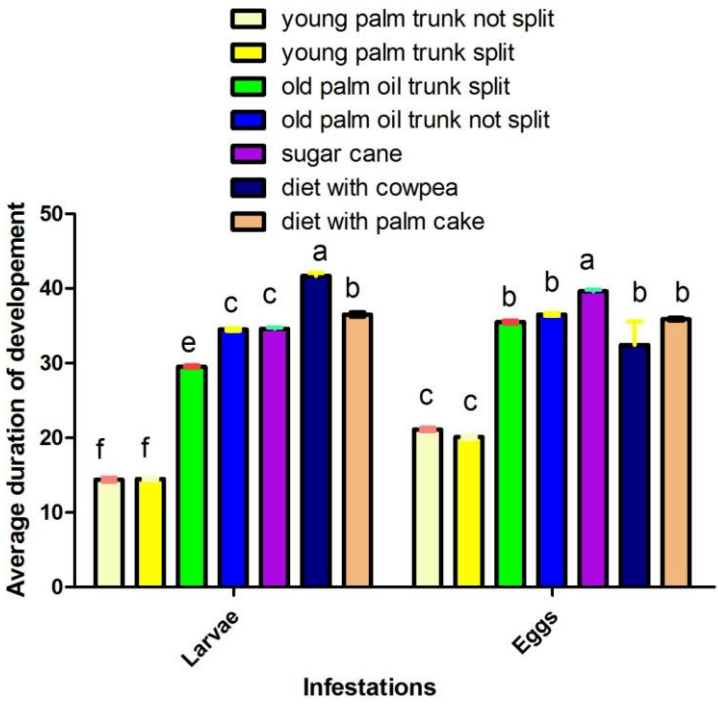

Figure 48. Average duration of development according to substrates and types of infestations. Different letters indicate a significant difference at a threshold of 0.05.

Regarding the durations of development (Fig. 48), the results are contrasted and less variable for the same substrate split or not. The shorter development time was obtained for the young palm trunk, split or not for eggs or the larvae. When infestation is carried out with larvae, the development needed in average 15 days for young palm trunk but more than 30 days for all other substrates. The cowpea diet gave the worse result with more than 40 days. Table 12 reveals an interaction between the substrate and the infestation.

Table 12. Variance analyses of average duration of development with 2 criteria of classification, the substrate and the type of infestation.

Source of Variation	Df	Sum-of-squares	Mean square	F
Interaction	6	893.8	149.0	24.27
Substrat	6	9572	1595	259.9
Infestation	1	166.9	166.9	27.19
Residual	123	755.1	6.139	
Source of Variation	% of total variation	P value		
Interaction	7.82	< 0.0001		
Substrat	83.79	< 0.0001		
Infestation	1.46	< 0.0001		

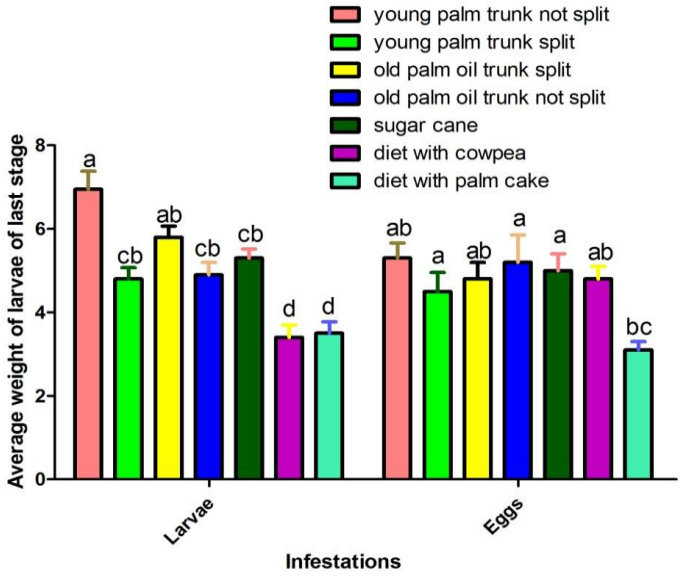

Figure 49. Average weight of larvae of last stage according to the rearing substrate. Different letters indicate a significant difference ($\alpha = 0.05$).

Concerning the final weight, the best result was obtained with the young palm trunk not split and with the larval infestation (Fig. 49). The worse results were obtained with the two artificial diets and the larval infestation. For the young palm trunk without split or with split, the infestation of the young larvae behaves better than that of the eggs (P<0.001). The same tendency is observed for the old trunk without split and with split (P < 0. 05). The sugar cane behaves better for the two infestations than artificial medium, with a light and not significant numerical superiority for the infestation with young larvae. The two diets gave an opposite tendency; the infestation of eggs behaves better than that of the young larvae (P < 0. 05). The Table 13 gives the result of the ANOVA for the weight of last stage larvae.

Tableau 13. Variance analysis of the last larval stage weight with 2 criteria of classification, the substrate and the type of infestation.

Source of Variation	Df	Sum-of-squares	Mean square	F
Interaction	6	27. 85	4. 641	3. 500
Substrat	6	99. 05	16. 51	12. 45
Infestation	1	2. 716	2.716	2. 048
Residual	126	167.1	1. 326	
Source of Variation	% of total variation	P value		
Interaction	9.39	< 0.0031		
Substrat	33.38	< 0.0001		
Infestation	0. 92	< 0.1549		

7.4. Discussion

Our results highlight that the young palm trunk allows a faster growth of the larvae, a higher rate of success and produced larvae of bigger size than all the other substrates used. It is obviously the substrate which has best food qualities for *R. phoenicis* and is of course the natural one. Making a split in the old trunk improves the rate of success but on the other hand affects the final weight. It is possible that this handling affects food quality for example by oxidation or by facilitating the penetration of molds or pathogenic agents. For the young palm trunk, the split reduced also the rate of success compared to the non-split, perhaps also because the substrate is then exposed too much to the micro-organisms. The infestation by eggs raises the difficulty or the impossibility to detect sterile or dead eggs. This could be a reason of the lower rate of success observed.

On artificial diet, the time of development is doubled compared to the young palm trunk. The weights obtained at the end of the experiments are definitely smaller, which states clearly that the diets need improving. The good results obtained with the sugar cane are a track in this direction.

The larvae of last stage of our breeding are similar in weight or even a little heavier than those produced by other systems of breeding using natural hosts, artificial diets or sugar canes and those collected in nature with regard to the weight (1,5 - 9 g) and the incubation duration (Rochat, 1991). The table 14 compared the results of the literature concerning *Rhynchophorus* spp using various media and our present data.

Table 14. Indicators of success of *Rhynchophorus* spp breeding

Authors and years	Weight of last stage larvae (g)	development time (days)	rearing substrate	species
Berthier, 1986	9-11	120	Artificial	*R. palmarum*
Rochat, 1991	1.5 – 2.5		Artificial	*R. ferrugineus*
Salama et Abdel-Razek, 2002	3.99±0.52,	58	Artificial,	*R. ferrugineus,*
	4.57±0.20,	58	Banana,	*R. ferrugineus,*
	4.26±0.27	58	Sugar cane	*R. ferrugineus.*
Al-Ayedh, 2011	2.73±0.08	35	date palm	*R. ferrugineus.*
Karmataka, 2009	4.95	55.69	Sugar cane	*R. ferrugineus.*
Monzenga *et al.*	5.80 ± 0.61	30	Vieux stipe fendu	*R. phoenicis.*
Monzenga *et al.*	6.95 ± 0.98	15	Jeune stipe palmier	*R. phoenicis.*
Monzenga *et al.*	5.30 ± 0.49	34	Canne à sucre	*R. phoenicis.*
Monzenga, 2013	3.40 ± 0.68	42	Diète à tourteau	*R. phoenicis.*

If we consider the development time, our results present definitely lower durations than what is presented in the literature (old and young palm trunk; sugar cane) compared to the other breeding, except Al-Ayedh, (2011) who obtained a lower duration compared to our breeding on palm cake diet. It is necessary of course to take account of the specific differences and conditions of these studies (T: 25. 1 – 28. 7 °C and H.R 70 – 90. 5 %.).

For the future, it would be interesting to analyze the availability of the young palm trunk, in particular within the framework of the replacement of the oils palm plantations. The idea would be however to improve the results obtained on artificial diets particularly based on agricultural rejects. It is also needed to control fungus and bacterial development without the use of

antibiotic but also other enemies who are attracted by the volatile substances released by the substrate.

7.5. Conclusions

The originality of this study is to work with simple and readily available elements, without sophisticated climate chambers, that is to say under very close conditions to what would be a production of larvae on artificial medium in a poor country. It appeared that it is in their natural habitat - the young trunk of palm oil - that *R. phoenicis* larvae showed the highest rate of success, the shortest time of development and the highest weight in the last larval stage. The sugar cane is an interesting avenue as substrate of rearing, but it is necessary to be armed with patience for the renewal of the substrate each week. However, these results on artificial media are encouraging particularly on sugar cane but also on the diets produced from plantain and sweet potato with a complement of cowpea or palm cake. We noted an almost doubling of development time on these diets and reduced larval weight, especially in the absence of cowpea. By improving these artificial diets, it would be possible to obtain a production of larvae without using the trunk of palm. Mixing sugar canes and plantain plus sweet potato pasta could be a satisfactory solution. Two questions remain to be addressed: firstly the formation of cocoons which will probably require the addition of fibers in the artificial diet and on the other hand the elimination of fungal and bacterial infections. In this context, the lemon juice is an interesting alternative that should be investigated. The infestation process using young larvae is globally the best suited, death or sterile eggs being difficult to detect.

The development of insect rearing in developing countries could usefully replace harvests and gatherings in nature to ensure a permanent provisioning of the markets and to avoid a pressure on biodiversity in forest around densely populated areas. There remains nevertheless a series of practical difficulties to solve. The next step will be a thorough full analyze of adults fecundity produced under these conditions of rearing.

Annexe : Essais complémentaires réalisé avec le stipe de *Raphia vinifera* L.

En raison de sa disponibilité et du fait qu'il s'agit véritablement d'un coproduit agricole, le vieux stipe de *Raphia* apparaît comme une opportunité pour effectué des élevages de *R. phoenicis*. Nous l'avons donc testé lors des deux dernières années de la thèse. Les résultats obtenus sont présentés ici.

Méthode

Le même processus d'élevage que celui décrit précédemment a été utilisé pour ces essais. Le vieux stipe de *Raphia* déjà exploité (tirer le vin), le stipe a été sectionné à la base, divisé en morceau de 50 cm de long et 30 à 40 cm de diamètre. Six réplicas ont été réalisés pour chaque type d'infestation.

L'infestation se fait après l'extraction. Les œufs sont donc âgés de 3 jours et les jeunes larves de 3 à 4 jours si on considère que l'éclosion commence à partir de 2-3ème jour, leur âge absolu est de 6 jours. Les œufs et les jeunes larves sont placés dans un petit trou pratiqué au sommet du substrat. Le trou est ensuite rebouché avec un morceau de stipe ou de canne à sucre. Les trous sont éloignés les uns des autres (quelques cm) pour réduire la compétition. L'infestation des adultes consiste à placer cinq couples sur le morceau de *Raphia* de 50 cm de long et le couvrir

de la moitié d'une boite trouée pour les empêcher de fouir et les forcer à s'accoupler et pondre sur le substrat. Les substrats ainsi infestés sont stockés dans un endroit sans prédateur pour permettre le développement des larves jusqu'au dernier stade.

Résultats

Le tableau 15, indique le nombre de larves obtenues après l'infestation par les adultes, les larves de premier stade et par les œufs. Pour l'infestation des adultes, le nombre de départ n'est pas connu, mais seulement le nombre de couples. Nous avons utilisé 5 couples d'adultes par morceau de stipe pour les trois premiers essais et 6 couples pour les trois derniers sur de morceaux de 50 cm de long et 30-35 de large.

Tableau 15. Récolte des larves de dernier stade sur vieux stipe de *Raphia*

Infestations / Répétitions	Œufs		Jeunes larves		Adultes	
	Infestés	Récoltés	Infestés	Récoltés	Infestés (Couples)	Récoltés
1	50	12	23	23	5	138
2	50	33	23	20	5	88
3	50	26	23	16	5	147
4	50	28	23	18	6	147
5	50	30	23	14	6	180
6	50	17	23	17	6	90
Total	300	146	138	108	33	790
Moyenne	50	24,3 ± 8,5	23	18,0 ± 4,7	5	131,7 ± 37,8

Le tableau ci-haut montre que toutes les infestations ont donné des larves de dernier stade. L'infestation par les œufs, donne une proportion de larves qui correspond à 48,7 % de ce qui a été infesté alors que celle de jeunes larves a donné 78,3 %. Pour l'infestation par les adultes, nous ne pouvons donner que le nombre moyen de larves obtenu pour chaque essai qui est de 131,7 ± 37,8, vu que le nombre d'œufs de départ ne peut pas être connu. Les résultats de ces deux dernières infestations sont

supérieurs aux résultats obtenus sur jeune et vieux stipe de palmier à huile, sur diètes artificielles et canne à sucre.

Un pourcentage inférieur à 50 % pour l'infestation des œufs est dû au fait qu'ils provenaient des femelles croisées avec des mâles âgés, ce qui résulte probablement en la production d'une partie d'œufs stériles. La prédation par les petites fourmis des maisons est probablement aussi une cause de mortalité étant donné que la présence de ces très petits insectes est très difficile à éviter dans nos conditions expérimentales. L'infestation par les jeunes larves donne de bons résultats, mais exige un travail supplémentaire d'incubation et d'extraction avant d'infester. L'infestation de ce substrat avec des adultes donne les meilleurs résultats. Sur trois morceaux de raphia de 50 cm chacun, nous avons produits 373 larves. Cette infestation a l'avantage de minimiser le coût lié à l'extraction du matériel à infester, mais présente aussi un inconvénient mineur dû au fait que les larves récoltées sont hétérogènes en tailles et âges, n'arrivant pas en maturité au même moment, parce les femelles ne pondent pas le même jour. Le *Raphia* est un bon substrat d'élevage vu les résultats qu'il enregistre, surtout pour l'infestation par les adultes qui demande moins de travail que les autres infestations. En plus, la récolte de larves de dernier stade est très simple, car l'intérieur du stipe, après l'activité des larves épouse la consistance du biscuit humidifié, ce qui facilite la récolte par rapport aux stipes de palmier à huile qui reste toujours dur même à la récolte.

Chapitre 8. Effets du substrat et importance de la présence de mâle sur la fécondité et le taux d'éclosion des œufs pondus par la femelle de *Rhynchophorus phoenicis*.

Monzenga Lokela Jean Claude[1,2], Kayisu Kalenga[1], Hance Thierry[2] et Guillaume le Goff[2]

[1)] Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-YBI) à BP 1232 Kisangani - RD Congo

[2)] Earth and life Institute, Biodiversity Research Centre, Université catholique de Louvain, L7.07.04, Croix du Sud, 4-5, b-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Dans le paragraphe précédent, nous avons étudié la production de larves de dernier stade sur plusieurs substrats d'élevage. Il est apparu que cet élevage est simple et possible à réaliser. Cependant à ce stade, nous ne disposons pas encore de données sur la fécondité des femelles et le nombre de larves qui peut-être produit par femelle. En outre, le rôle de la présence du mâle tout au long de la vie de la femelle et donc des accouplements multiple n'est pas connu. Dans ce cadre, 3 groupes de femelles ont été suivis dans différentes conditions pour connaitre leur fécondité, le temps de développement et la survie larvaire.

Résumé

L'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine est de plus en plus considérée comme une alternative crédible pour résoudre des carences protéiques. Les larves de *R. phoenicis* sont largement consommées et recherchées en Afrique tropicale mais elles sont seulement collectées en milieu naturel. Notre étude à pour objectif la mise au point d'un élevage à partir de rebuts agricoles.

Pour notre étude, nous avons utilisé des adultes émergés de cocons récoltés en forêt sur les stipes de palmier à huile infestés. A partir de ces individus, des couples mâle/femelles ont été constitués et deux groupes ont ensuite été formés. Dans le premier groupe, les partenaires sont gardés ensembles jusqu'à la mort et dans le deuxième, les partenaires ne sont restés ensemble que pendant 48 heures. Nous avons ensuite mesuré la fécondité des femelles ainsi que le taux d'éclosion des œufs pour chacun des deux groupes. Pour le premier groupe, les femelles pondent un nombre élevé d'œufs (284,4 ± 109,7) pour un taux d'éclosion des œufs tournant autour de 50 %. Par contre, pour le deuxième groupe (48 heures), le nombre d'œufs pondus est faible (119,2 ± 32,0) mais leur survie est supérieure à 50 %. La présence du mâle semble donc être un élément essentiel de la fécondité de la femelle, probablement en raison d'accouplement répétés.

Mots clés : Accouplements multiples, fécondité de femelles, survie des œufs, *Rhynchophorus phoenicis*

8.1. Introduction

Rynchophorus phoenicis pourrait être une ressource alimentaire alternative intéressante en République Démocratique du Congo et plus globalement en Afrique tropicale. Actuellement cette espèce est récoltée en forêt et vendue sur les marchés au stade larvaire. Un ensemble de quatre larves de taille moyenne est vendu à un prix 300-350 Fc (0,33-0,39 $), le prix varie en fonction de la taille. C'est une activité lucrative pour les populations locales.

La mise sur pieds d'un élevage constitue une alternative intéressante à la collecte en nature. Cela permettrait de rentabiliser des coproduits agricoles tout en évitant des récoltes abusives qui peuvent se traduire par du déboisement localisé. Dans un article précédent (Monzenga *et al.* soumis), nous avons

analysé la production de larves de dernier stade à partir de 5 types de substrats plus le vieux stipe de *Raphia* infestés soit par des œufs, soit par des larves venant d'éclore et des adultes. Cependant, la fécondité et la survie des œufs pondus sont aussi des paramètres démographiques essentiels pour connaitre la qualité du substrat à choisir et pour déterminer les conditions optimales d'élevage. En effet, la qualité de la plante hôte influence significativement la survie et le développement des larves.

La plante hôte a une influence significative sur le comportement de l'insecte femelle (Mousseau et Dingle 1991 ; Rossiter 1991 ; Fox 1994 ; 1993 ; Bernardo 1996 ; Corkum *et al.* 1997 ; Mousseau et Fox 1998 a, 1998b ; Mclntyre et Gooding 2000 ; Rui-Ting *et al*. 2011). En présence d'une plante hôte de mauvaise qualité, la femelle va pondre un grand nombre d'œufs de mauvaise qualité et peu d'œufs de bonne qualité (Fox, 1993 ; Rossiter *et al*. 1993 ; Jann et Ward 1999). La fécondité des femelles et la survie des œufs pondus sont donc fonction de la qualité du substrat.

Plusieurs substrats ont déjà été utilisés pour la ponte des femelles de *Rhynchophorus* : des morceaux des feuilles de cocotier, des stipes de certains palmier, de la canne à sucre, le mésocarpe des noix de cocotier, des milieux synthétiques et même des diètes artificielles (Rananavare *et al*. 1975 ; Weissling et Giblin-Davis, 1995 ; Kalleshwaraswamy et Jagadish, 2005 ; Krishnakumar et Maheswari, 2004 ; Zagati *et al*. 1993 ; Choon-Fah *et al*. 2008 ; Karnataka, 2009 ; Rui-Ting *et al*. 2010 ; Sahin Ince *et al*. 2011, Monzenga *et al*., soumis). Ces substrats donnent chacun des résultats à l'échelle du laboratoire.

Le but poursuivi est de tester l'hypothèse selon laquelle, les accouplements observés à tout moment chez les *Rhynchophorus* et la présence de mâles influenceraient la fécondité de femelles et le taux d'éclosion des œufs pondus. Le premier objectif de ce travail est de connaitre le meilleur substrat pour la ponte ; le deuxième est de comparer la fécondité et le taux d'éclosion des œufs pondus par les femelles de *R. phoenicis* restées en présence du mâle toute leur vie par rapport à celles qui ne sont restées ensemble que pendant 48 heures en utilisant le meilleur substrat.

8.2. Matériel et méthodes

8.2.1. Sites de récolte de cocons

La récolte des cocons a eu lieu dans la Tshopo. Cette forêt se trouve à environ 12 km du centre ville de Kisangani sur la rive gauche de la rivière Tshopo. Les coordonnées géographiques de la forêt sont de 00° 33' latitude nord et 025° 07' longitude Est.

Les cocons ont été récoltés sur des palmiers sauvages abattus lors des travaux d'ouverture de champs. A l'aide d'une machette, les souches de stipes de palmier infestées ont été découpées pour récupérer les cocons qui se retrouvent surtout à la périphérie. Les cocons ont été ramenés au laboratoire et placés dans des bocaux de 1666,09 cm^3 percés de trous d'aération. Au cours de cette étape, la température a oscillé entre 25,3 et 33,8 °C, tandis que l'humidité relative a varié entre 50,2 et 85 %.

8.2.2. Formations des couples et analyse de la fécondité

Pour analyser la fécondité, trois substrats de ponte ont été utilisés : la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.), la fausse canne (*Pennisetum* sp.) et le rachis (la partie la plus basale et fraiche) du palme de palmier à huile (*Elaeis guineensis* L.). Les adultes utilisés ont été obtenus à partir de cocons récoltés sur les palmiers sauvages infestés. Pour chaque substrat de ponte et 15 couples ont été suivis jusqu'à la mort des deux partenaires. Pour déterminer l'influence de la présence du mâle, 15 femelles accouplées et en présence du mâle pendant 48 heures et 15 femelles en présence du mâle pendant toute leur vie ont aussi été suivies sur le meilleur substrat (canne à sucre) de ponte. Les adultes étaient placés dans des bocaux en plastic de 238,79 cm^3 dont les couvercles sont percés de trous, en présence de morceaux de canne à sucre, de fausses cannes et de rachis de 5 cm de long fendus en deux pour permettre la nutrition et la ponte de la femelle. Tous les deux jours, le substrat de ponte a été retiré du bocal et remplacé et les œufs présents étaient extraits et comptés. Les œufs sont ensuite stockés dans une boite de pétri et utilisés pour infester d'autres morceaux de substrat pour suivre leur éclosion. Pour ce faire, à partir de morceaux de substrat de 5 cm de longueur fendu en deux parties, 3 trous d'au moins 3 mm de profondeur sont pratiqués sur chaque fente et 1 œuf est déposé dans chaque trou de part et d'autre, ce qui fait qu'il y ait six œufs par morceau de substrat remis en place par une lanière. La disposition des trous (fig.50) est faite de telle sorte que la fente A couvre les trous de la fente B et vice versa. Les morceaux infestés sont déposés dans un bocal en plastique en attente de l'éclosion.

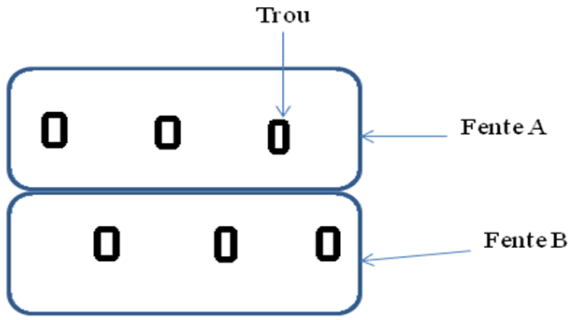

Figure 50. Disposition de trous au niveau de fentes sur le substrat utilisé pour l'éclosion.

8.2.3. Paramètres mesurés

Les paramètres biologiques ci-après : la durée de vie des mâles et des femelles de l'émergence jusqu'à la mort; la durée de ponte ; le nombre d'œufs pondus et leur taux d'éclosion sur différents substrats ont été mesurés et comparer pour déterminer le meilleur substrat et l'influence de la présence de mâles. La survie des mâles placés pendant 48h seulement avec les femelles a aussi été mesurée après la séparation des couples.

8.2.2.4. Analyse statistique

Les paramètres biologiques étudiés ont été comparés grâce à l'analyse de variance et le test post hoc de Bonferoni avec le logiciel GraphPad prism5 (Graph Pad Software, San Diego, California, USA). Le niveau de signification a été fixé à 5 %.

8.3. Résultats

A. Test de meilleur substrat de ponte

Les résultats sont repris dans le tableau 16. La période de pré-oviposition moyenne était de 9,40 ± 1,36 ; 4 ± 2,15 et 3 ± 1,44 jours, alors que celle post-oviposition de 20,40 ± 4,10 ; 3 ± 1,42 et 2,2 ± 1,41 jours respectivement sur canne à sucre, fausse canne et rachis.

Tableau 16. Durée moyenne de vie de mâle, de la femelle et durée de ponte, le nombre moyen d'œufs pondus et de larves obtenues plus ou moins écart type. Des lettres différentes indique des différences significative (P = 0,05).

Paramètres / Substrats	Durée de vie mâle	Durée de vie femelle	Durée de ponte	Œufs pondus	Nombre larves
Canne à sucre	74 ± 15 a	50 ± 8,7 a	36 ± 3,3 a	300 ± 26 a	150 ± 14 a
Fausse canne	37 ± 3,2 b	24 ± 3,0 b	18 ± 1,5 b	68 ± 27 b	35 ± 1,3 b
Rachis	38 ± 3,0 b	23 ± 4,4 b	16 ± 1,7 b	36 ± 6,2 c	19 ± 3,4 c

La canne à sucre donne de loin les meilleurs résultats. La durée moyenne de ponte sur canne à sucre est de 36 ± 3,3 jours, le nombre moyen d'œufs pondus par une femelle est de 300 ± 26 et le nombre moyen de larves obtenu est de 150 ± 14. Seulement la moitié des œufs donne des larves. Le nombre maximum d'œufs pondus est de 547. En ce qui concerne la fausse canne, la durée moyenne de ponte est de 18 ± 1,5 jour, le nombre moyen d'œufs pondus est de 68 ± 27 et le nombre moyen de larves est de 35 ± 1,3. La durée de ponte, le nombre moyen d'œufs pondus et le nombre de larves obtenues sont nettement plus faibles par rapport à la canne à sucre. Les femelles qui utilisent le rachis comme substrat de ponte donne une moyenne

de 36 ± 6,2 œufs pendant 16 ± 1,7 jours et ces œufs donnent une moyenne de 19 ± 3,4 larves.

La durée de vie de mâles est plus longue sur la canne à sucre que sur les autres substrats ($F = 22,51$, $dl = 4$ et $P< 0,0001$) Il n'y a pas de différence significative entre la fausse canne et le rachis ($P > 0,05$). On observe les mêmes résultats pour les femelles. La durée moyenne de ponte sur canne à sucre est de loin supérieure et même le double de celle enregistrée sur la fausse canne à sucre ($P < 0,0001$) avec une différence de 18 ± 3,7 jours. Comparée au rachis, la durée de ponte sur la canne à sucre est plus du double avec une différence de 20 ± 3,9 jours.

Le nombre moyen d'œufs pondus sur la canne à sucre est de loin supérieur à celui obtenu sur la fausse canne à sucre ($F = 5,5$, $dl = 2$ et $P < 0,001$), avec une différence d'environs 230 œufs, alors que par rapport au rachis, la différence est encore élevée et se chiffre à 260 œufs. La fausse canne est aussi différente par rapport au rachis et la différence est de 31œufs. La canne à sucre est le meilleur substrat de ponte eu égard aux résultats obtenus. La ponte des œufs varie clairement en fonction de l'âge de la femelle avec un maximum après 17 jours (Fig. 50).

En moyenne, la moitié des œufs pondus seulement a donné des larves. Le nombre moyen de larves obtenu sur canne à sucre est significativement différent de celui obtenu sur la fausse canne avec une différence positive de 120 larves. Par rapport au rachis, la différence est de 130 larves. En ce qui concerne le nombre de larves obtenues, il est supérieur sur la fausse canne comparée au rachis avec une différence de 16 larves. Le taux d'éclosion ne varie pas significativement dans les différentes conditions et il atteint 50 % sur la canne à sucre, 51,5 % sur la fausse canne et 52,8 % pour le rachis. Les figures 51, 52 et 53 ci-après tracent l'évolution de la ponte sur chaque substrat.

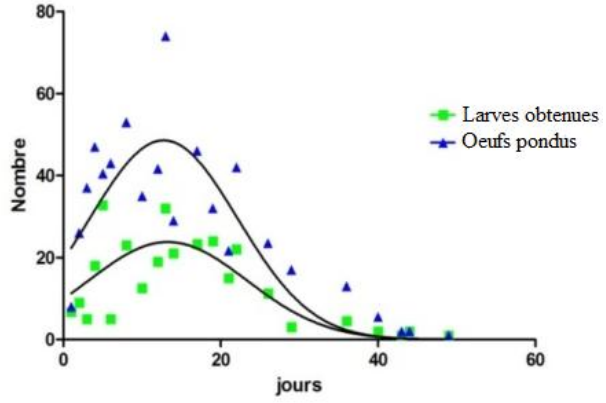

Figure 51. Evolution de la ponte sur canne à sucre en fonction de l'âge de la femelle en jours et production des larves (taux d'éclosion des œufs).

Il ressort de la figure 51 que la ponte commence aux environs de 1-2ème jour, puis monte pour atteindre son pic entre le 15-17ème jour et entame sa descente pour s'annuler au 42ème jour. La production larvaire suit le même pattern.

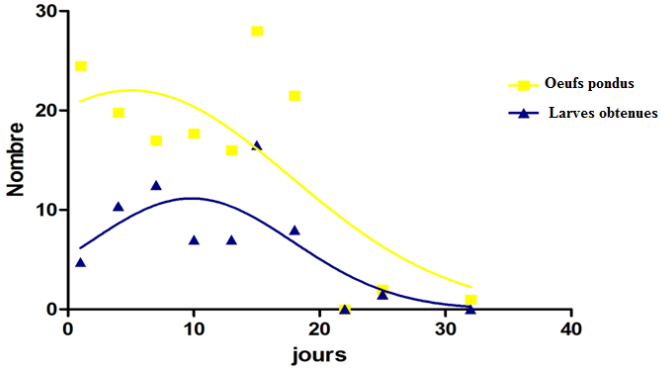

Figure 52. Evolution de la ponte et le taux d'éclosion des œufs sur la fausse canne en fonction de l'âge de la femelle en jours et production des larves.

La figure 52 montre que la ponte sur la fausse canne commence aussi tôt que pour la canne à sucre, monte pour atteindre son pic entre les 7-8 ème jours et s'estompe au 32ème jour. Le taux d'éclosion des œufs pondus atteint son maximum le 10ème jour.

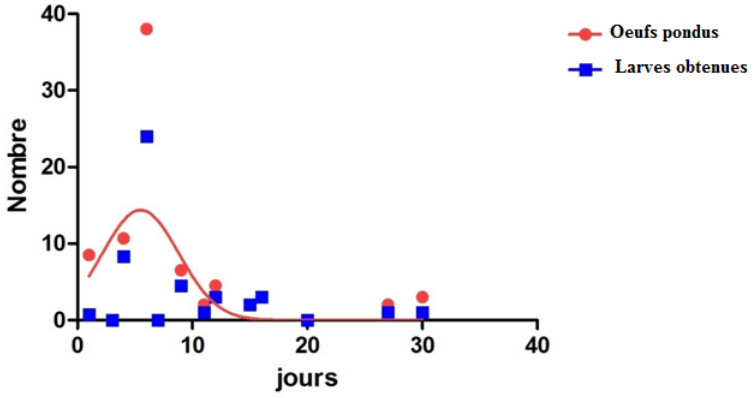

Figure 53. Evolution de la ponte et survie sur le rachis en fonction de l'âge de la femelle en jours et production des larves.

La figure 53 montre que la ponte est beaucoup plus faible avec maximum vers le 5ème jour pour descendre très sensiblement et s'arrêter le 30ème jour. Il faut préciser qu'ici la ponte est accompagnée par plusieurs temps morts. Le taux d'éclosion des œufs pondus atteint son maximum le 5ème jour.

B. Conséquence de la présence du mâle pendant 48h ou pendant toute la vie de la femelle

Les résultats sont présentés dans le tableau 17. La période de pré-oviposition était comprise entre 7 et 11 jours et la période moyenne post-oviposition était de 13 à 17 jours pour les femelles utilisées.

Tableau 17. Fécondité des femelles, le taux d'éclosion des œufs pondus, durée de ponte et de vie des adultes plus ou moins écart type en fonction du temps de présence du mâle.

Paramètres / Temps	Durée de vie mâle	Durée de vie femelle	Durée ponte	Nombre œufs pondus	Nombre larves
48 heures	43,4 ± 33,1	60,6 ± 1,5	32,0 ± 3,4	119,2 ± 32,0	64,0 ± 19,3
Toute la vie	60,0 ± 16,5	49,6 ± 19,4	32,6 ± 13,9	284,4 ± 109,7	149,2 ± 61,8

Le tableau 18 nous révèle qu'il n'y a aucune différence significative entre la durée de vie de mâle, femelle et la durée de ponte pour les deux groupes d'adultes. Une différence significative apparaît au niveau de la quantité d'œufs pondus qui est deux fois plus importante pour les femelles en présence du mâle durant toute leur vie ($P < 0,001$) et évidement entre le nombre de larves obtenues ($P < 0,05$). En termes de pourcentage, le taux de survie des œufs serait de 53,7 % pour les femelles qui sont restées 48 heures avec les mâles et de 52,5 % pour celles ayant gardé leurs mâles durant toute la période expérimentale.

8.4. Discussion

La canne à sucre apparaît comme un meilleur substrat pour la ponte des œufs et pour la nutrition des adultes. La différence moyenne de la durée de ponte sur les différents substrats est due à leur qualité. La canne à sucre est juteuse, conserve sa fraicheur pendant un temps relativement long, alors que la fausse canne est moins juteuse et la garde moins longtemps. Par contre, si le rachis est juteux et frais en début d'expérience, il est incapable de conserver sa fraicheur et est très sensible aux micro-organismes. Plus la détérioration est rapide, moins la ponte dure, parce que les femelles n'aiment pondre que dans les substrats encore frais. Le tableau 18 présente les résultats de notre recherche et ceux obtenus par d'autres chercheurs. La littérature dit qu'une femelle de *Rhynchophorus* pond dans les conditions normales en moyenne 100-300 œufs (Rochat, 1991).

Tableau 18. Substrat de ponte, œufs pondus et survie selon les auteurs

Auteurs	Substrat de ponte	Espèce	Œufs pondus	Survie (%)
Faleiro *et al.* (2003)	Rachis de cocotier	*R. ferrugineus*	112,00 ± 26,5	53,94 ± 11,8
Choon-Fah (2008)	Canne à sucre	*R. ferrugineus*	67	92
Shahina *et al.* (2009)	Canne à sucre	*R. ferrugineus*	183 ± 1,5	58,5 ± 2,2
Salama et Abdel-Razek (2002)	Semiartificiel et	*R. ferrugineus*	184,00 ± 18,68 et	94
	naturel		133,00 ± 15,2	
Walid Kaakeh (2005)	Diète artificielle et canne à sucre	*R. ferrugineus*	135 et 185	77,7 et 75,1
Monzenga *et al.*	Canne à sucre	*R. phoenicis*	300 ± 26	50
Monzenga *et al.*	Fausse canne	*R. phoenicis*	68 ± 27	51,5
Monzenga *et al.*	Rachis de palme	*R. phoenicis*	36 ± 6,2	52,8

D'un point de vue général, le tableau montre que trois auteurs ont trouvé un taux de survie largement supérieur à 50 % alors que nous avons un taux de survie autour de 50 %. Notre élevage a été confronté à des attaques des ennemis naturels (des prédateurs des œufs et jeunes larves), diminuant ainsi leur survie. Il s'agit essentiellement de fourmis et de staphylins qui, vu leur petite taille passaient inaperçus. Un meilleur contrôle de ces prédateurs devrait contribuer à l'amélioration de la survie des œufs de notre élevage.

La durée de vie de mâle lorsque les partenaires sont ensemble jusqu'à la mort est supérieure à celle de la femelle. Rochat (1991) affirme que les mâles perdent leur pouvoir fécondant avec la vieillesse, mais d'après mes observations, il y aurait un trade-off chez les mâles dans la fabrication de spermatozoïdes. Ils fabriquent une quantité bien déterminée pour avoir les descendants, laquelle quantité doit être totalement utilisée et conservent le reste de l'énergie pour leur survie. C'est ce qui explique leur longévité. Par contre, si cette quantité de spermes fabriqués n'est pas totalement épuisée, la longévité de mâles diminue, c'est ce qui a été observé avec les mâles qui ne sont restés avec les femelles que pendant 48 heures.

En outre, sur la canne à sucre la présence permanente du mâle accroît la ponte de la femelle. Il est possible que la présence du mâle ait une fonction protectrice ou que le mâle apporte des éléments nutritifs grâce à des accouplements répétés. Il convient également de signaler que lors de nos expériences, nous avons eu deux cas de femelles stériles.

8.5. Conclusion

Ce travail avait pour objectif de déterminer dans un premier temps, le meilleur substrat de ponte parmi les trois utilisés pour les adultes restés ensembles jusqu'à la mort des partenaires en évaluant la durée de vie et de ponte des adultes et le nombre et le taux d'éclosion des œufs pondus par les femelles. Le meilleur substrat de ponte parmi ceux utilisés est la canne. Le taux d'éclosion par contre stagne autour de 50 % et est à améliorer. La durée de ponte est liée aux qualités intrinsèques du substrat. Les prochaines recherches devraient inclure les substrats juteux et ayant la capacité de conserver leurs qualités pendant un temps relativement long.

Dans un deuxième temps, il s'agissait de comparer les adultes qui sont restés ensembles toute leur vie et ceux qui ne sont restés ensembles que 48 heures. Il apparaît clairement que le nombre d'œufs pondus par les femelles en présence continue du mâle est presque deux fois plus élevé que les femelles en présence du mâle seulement pendant 48 heures. Ce type de comportement devrait favoriser les comportements grégaires chez les adultes. Il peut être lié à des accouplements multiples avec apport nutritif ou être simplement lié à la présence du mâle. Il faudra donc tenir compte de cette donnée dans la réalisation d'élevage industriel.

Chapitre 9. Effets de substrats d'élevage sur la fécondité et le taux d'éclosion des œufs des femelles de *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius) en présence de mâle pendant 24 h. et mesures morphométriques

L'article précédent nous a montré qu'il y a une influence de la présence du mâle sur la fécondité de femelles et le taux d'éclosion des œufs pondus. Cette expérience n'a concerné que les adultes provenant des cocons récoltés en forêt sur les palmiers sauvages infestés. Cet article va suivre la même logique avec la différence que nous allons utiliser les adultes produits au laboratoire et la durée de la présence du mâle sera de 24 heures. Nous allons également faire les mesures morphomètriques des individus élevés. L'utilisation d'adultes produits en laboratoire est essentielle si l'on doit éviter des récoltes en nature à chaque nouveau cycle d'élevage.

Résumé

En Afrique tropicale, les larves de *R. phoenicis*, un ravageur des palmiers, sont considérées comme un mets de choix. En conséquence, elles sont recherchées dans les milieux naturels ou semi-naturels et proposées sur les marchés à prix assez élevé. Il s'agit d'une ressource alimentaire riche en protéines et en lipides et qui pourrait donc être utilisée pour résoudre des problèmes de malnutrition. La mise sur pieds d'un élevage pourrait être une solution intéressante pour accroitre leur disponibilité et diminuer les prix.

Dans ce cadre, des adultes ont été produits sur deux substrats en laboratoire à Kisangani, RDC, la canne à sucre et le jeune stipe de palmier à huile. L'objectif de ce travail est de comparer la fécondité des femelles issues de cette première génération et le taux d'éclosion des œufs pondus par ces femelles en fonction du

substrat d'élevage. Préalablement à l'analyse de la fécondité, les mâles et femelles ont été placés ensembles pendant 24 heures pour assurer l'accouplement.

Il est apparu que les femelles produites à partir de jeune stipe de palmier à huile sont supérieures à celles élevées sur la canne à sucre pour un seul paramètre étudié, la durée de ponte. Les adultes provenant de jeune stipe de palmier sont supérieurs à ceux de la canne à sucre sur la majorité de paramètres morphométriques.

Mots clés : Entomophagie, Œufs, ponte, fécondité de femelles, survie des œufs, accouplement, *Rhynchophorus phoenicis,* substrat d'élevage

9.1. Introduction

L'article précédent a analysé la fécondité de femelles émergées de cocons récoltés en forêt sur les stipes de palmier à huile sauvages infestés et dans deux conditions, soit la présence du mâle durant toute la vie et soit seulement pendant 48 heures. Nous avons vu que lorsque mâles et femelles restent ensembles toute leur vie, le nombre d'œufs pondus augmente significativement (Monzenga *et al*. soumis). L'étape suivante est de travailler, non plus avec des individus provenant des conditions naturelles, mais d'étudier la fécondité et la survie des œufs pondus par les femelles élevées complètement en laboratoire.

L'utilisation des individus jeunes pour ce genre d'étude est d'une importance capitale, car il semble que chez les insectes les mâles ne s'accouple qu'avec les femelles jeunes (Borges da Silva *et al*. 2013) et les mâles plus âgés perdent également leur pouvoir fécondant (Rochat, 1991). Des accouplements multiples ont aussi été observés chez certains insectes (Gagnon, 2011). Par

contre, chez d'autres, le nombre d'accouplement ne modifie pas la qualité de spermatozoïdes transférés par le mâle (Damiens, 2001). Pour déterminer la qualité des femelles produites, les paramètres étudiés étaient la longévité des adultes dès leur émergence, durée de la ponte, la fécondité des femelles et le taux d'éclosion des œufs pondus.

La fécondité et la survie des œufs pondus sont des paramètres démographiques essentiels pour connaitre la qualité du substrat à choisir pour l'élevage et pour déterminer les conditions optimales d'élevage. En effet, la qualité de la plante hôte influence significativement la survie et le développement des larves. Elle influence également le poids, la capacité de reproduction, la longévité et la morphologie des insectes adultes (Albert et Bauce 1994 ; Dodds *et al*. 1996 ; Tammaru 1998). Awmark et Leathes (2002) ont démontré que la taille et la qualité des œufs des *Rhynchophorus* spp dépendent des sites de piégeage et aussi de la vigueur de la plante hôte. En présence d'une plante hôte de mauvaise qualité, la femelle va pondre beaucoup d'œufs de mauvaise qualité et peu de bonne qualité (Fox, 1993 ; Rossiter *et al*. 1993 ; Jann et Ward, 1999). Nous croyons que l'un des substrats donnerait des femelles plus performantes que l'autre.

L'objectif de ce travail est donc de comparer la fécondité et le taux d'éclosion des œufs pondus par les femelles de *R. phoenicis* élevées à partir de ces deux substrats en présence du mâle seulement durant 24heures. Nous avons terminé par les mesures morphométriques pour voir s'il y a de différences entre les individus provenant de deux substrats d'élevage. Ces mesures ont concernées 15 individus par sexe et par substrat.

9.2. Matériel et méthodes

9.2.1. Elevage, récolte et conditionnement des cocons

Les cocons ont été produits dans notre laboratoire, à l'Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-YBI). L'IFA est localisé au plateau médical dans la commune de Makiso, ville de Kisangani Province orientale en R.D.Congo situé à 25° 11′ de latitude Nord, 23° 11 longitude Est, 0° 31′ et à 410 m d'altitude.

Les cocons récoltés dans le site de la Tshopo sur des palmiers sauvages infestés ont été stockés dans des boites trouées pour faciliter l'émergence des adultes au laboratoire. La formation des couples mâle/femelle s'est faite après l'émergence des adultes dans des bocaux en plastique et les morceaux de canne à sucre de 5 cm de long y étaient placés pour servir de nourriture et de substrat de ponte pour les femelles. Après 24 heures, les morceaux de canne à sucre sont sortis des bocaux et mis à incuber (3 jours) dans un autre bocal pour avoir les larves de premier stade. Les jeunes larves extraites ont été utilisées pour infester soit des morceaux de canne à sucre soit de jeunes stipes de palmier à huile qui ont été suivi jusqu'à la formation des cocons pour la production des adultes au laboratoire.

Les jeunes stipes de palmier à huile infestés ont été soigneusement découpés en fins morceaux pour récupérer les cocons qui se retrouvent surtout à la périphérie du stipe. Pour les morceaux de canne à sucre, il suffisait de les fendre minutieusement avec un couteau ou à la main pour récupérer les cocons. Les cocons ont été ensuite placés dans des bocaux en plastique percée de trous d'aération jusqu'à l'émergence des adultes. Au cours de cette étape, la température a oscillé entre 25,3 et 33,8 °C, tandis que l'humidité relative a varié entre 50,2 et 85 %.

9.2.2. Formations des couples et analyse de la fécondité

Pour analyser la fécondité seule la canne à sucre comme substrat de ponte a été utilisée et 15 femelles accouplées seulement pendant 24 heurs ont été suivies individuellement pour chaque substrat d'élevage. Les adultes étaient placés dans des bocaux en plastique de petite dimension percés de trous, en présence de morceaux de canne à sucre de 5 cm de long fendus. Tous les deux jours, le substrat de ponte a été retiré du bocal et remplacé, les œufs présents ont été extraits et comptés. Les œufs extraits sont stockés dans une boite de Pétri et ensuite utilisés pour infester d'autres morceaux de substrat afin de suivre leur éclosion (Cfr, figure 50). Les morceaux infestés sont déposés dans un bocal en plastique en attente de l'éclosion.

9.2.3. Mesures morphométriques

Des mesures morphométriques ci-après ont été effectuée sur 15 individus par sexe élevés sur jeunes stipes de palmier à huile et pour 15 individus élevés sur canne à sucre : longueur totale (de l'extrémité de l'abdomen jusqu'à la base du rostre), longueur de l'élytre, longueur de l'aile et celle du tibia à l'aide d'un pied à coulisse électronique marque Vogel et d'une balance de précision de marque OHAUS pour déterminer le poids frais.

9.2.4. Analyse statistique

Les paramètres biologiques ci-après : durée de vie des mâles, des femelles et de ponte ; le nombre d'œufs pondus et leur survie pour chaque lot d'adultes ont été comparés grâce à une Anova avec le logiciel Graph Pad prism5 (Graph Pad Software, San Diego, California, USA). Le niveau de signification a été fixé à 5 %. Les différentes morphométriques ont été comparées par des tests de t de student.

9.3. Résultats et discussion

9.3.1. Durée de vie et de ponte, fécondité des femelles et la survie des œufs pondus

La période pré-oviposition a varié de 2-19 et 3-21 jours, respectivement pour les femelles obtenues sur canne à sucre et jeune stipe de palmier à huile et la période moyenne post-oviposition est de 10 - 17 jours pour les 2 substrats d'élevage. Le tableau 19 présente les moyennes de la ponte, la durée de vie des mâles et femelles de *R. phoenicis* élevés sur jeunes stipes de palmier à huile ou sur la canne a sucre.

Tableau 19. Fécondité des femelles, survie des œufs pondus et durée de vie moyennes des adultes de *R. phoenicis* plus ou moins écart type.

Paramètres / Substrats	Durée vie mâle	Durée vie femelle	Durée ponte	Œufs pondus	Nombre larves
Jeune stipe	39,20 ± 4,66	56,60 ± 2,53	31,01 ± 2,80*	40,80 ± 5,09	25,47 ± 2,56
Canne à sucre	53,00 ± 1,41*	57,60 ± 0,74	13,00 ± 0,10	31,80 ± 3,22	25,40 ± 3,82

La moyenne d'œufs pondus par une femelle de *R. phoenicis* qui est restée seulement 24 heures avec le mâle et élevée à partir du jeune stipe de palmier à huile est de 40,80 ± 5,09 alors qu'elle est de 31,80 ± 3,22 pour celle élevée au départ de la canne à sucre. La durée de ponte est 13,01 ± 0,10 jours pour les femelles élevées sur la canne à sucre et 31,01 ± 2,80 jours pour celles élevées sur le jeune stipe de palmier à huile. Le taux d'éclosion des œufs pondus est de 63,4 % et 78,1 % respectivement pour les femelles élevées sur jeune stipe de palmier à huile et la canne à sucre. Bien que les différents paramètres testés (durée de ponte, nombre d'œufs pondus et nombre de larves) apparaissent plus élevés pour les femelles provenant de jeune stiple de palmier à huile, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence à l'exception de la durée de ponte qui est

significativement plus longue (F = 33, dl = 2 et P < 0,0001) en leur faveur. Par contre, la durée de vie de mâles produits à partir de canne à sucre est significativement plus élevée (P = 0,01).

Une variabilité importante est observée entre individus. Ainsi, la femelle de *R. phoenicis* la plus vigoureuse de notre échantillon provenant de jeune stipe et accouplée pendant 24 heures a pondu 75 œufs alors que la moins vigoureuse n'a pondu que 27 œufs. La situation pour la canne à sucre est de 53 œufs pour la femelle la plus vigoureuse et 16 pour la moins vigoureuse. La femelle la plus précoce a pondu après seulement 2 et 3 jours, alors que la plus tardive a eu sa ponte après 19 et 21 jours, respectivement pour les femelles issues de canne à sucre et jeunes stipes de palmier.

9.3.2. Mesures morphométriques

Le tableau 20 donne les valeurs moyennes de paramètres étudiés. Les individus élevés ont des tailles inférieures à ceux piégés sur le terrain (31 à 33 mm de longueur et 11 à 13 mm de largeur). Pour les insectes élevés sur jeune stipe de palmier à huile, les mâles sont plus longs que les femelles (t = 3,9 et P < 0,001), ces dernières sont plus larges que les mâles (t = 2,7 et P < 0,05) ; les mâles possèdent des ailes plus longues que les femelles (t = 3,7 et P < 0,01) ; mais aucune différence significative entre la longueur de l'élytre et celle du tibia (t = 1,2 et P > 0,05).

Tableau 20. Valeurs moyennes plus ou moins l'écart type de mesures morphométriques des individus élevés

Paramètres / Sites/sexes	Longueur totale (mm)	Largeur totale (mm)	Longueur élytre (mm)	Longueur aile (mm)	Longueur tibia (mm)
Jeune stipe M	31,4 ± 1,4	10,2 ± 1,6	16,5 ± 1,4	30,2 ± 1,4	7,3 ± 0,8
Jeune stipe F	29,0 ± 0,5	11,9 ± 0,3	15,7 ± 0,5	27,9 ± 0,5	6,5 ± 0,2
Canne à sucre M	25,3 ± 1,4	10,1 ± 0,8	14,5 ± 0,8	25,0 ± 1,3	5,1 ± 0,8
Canne à sucre F	26,9 ± 1,1	10,4 ± 0,3	15,2 ± 0,4	27,1 ± 1,0	5,2 ± 0,6

Les mâles de jeune stipe de palmier à huile sont plus grands et ont des ailes plus longues comparativement à leurs homologues de canne à sucre ($t = 9,7$; $t = 8,4$ et $P < 0,001$, respectivement pour la longueur totale et celle de l'aile). Ils ont également de longs élytres ($t = 3,1$ et $P < 0,05$) et ont aussi des tibias plus longs ($t = 3,6$ et $P < 0,01$). Par contre, ils ne sont pas différents en ce qui concerne la largeur totale ($t = 0,84$ et $P > 0,05$). Les femelles de jeune stipe de palmier à huile comparées aux femelles de canne à sucre, elles ne sont différentes que sur la longueur totale ($t = 3,4$ et $P < 0,01$). Pour les autres mensurations, elles sont semblables ($P < 0,01$).

9.4. Discussion

Bien que la canne à sucre soit le substrat d'élevage d'origine, le taux de ponte des femelles élevées sur canne à sucre n'est pas supérieur à celui de femelles élevées sur jeune stipe, ce qui semble indiquer que ce substrat naturel (jeune stipe) reste le plus adéquat. En conséquence, si la réduction significative de la durée de la ponte de femelles produites sur canne à sucre peut faire penser que ce substrat est de moins bonne qualité, on assiste à une moyenne de 2,42 œufs pondus par jour dans ces conditions pour seulement 1,3 œufs des femelles élevées sur jeune stipe de palmier. En termes de croissance démographique, cela correspond à un taux de croissance supérieur pour les femelles élevées sur canne à sucre. Cette réduction de la durée de ponte se fait curieusement sans réduction de la survie des femelles et donc correspond aussi à une plus longue période de sénescence. Etant élevée sur canne à sucre, il semble donc que la femelle maximise sa ponte au début de sa vie adulte. Il serait intéressant de comprendre quel facteur produit ce phénomène. Il est possible que l'apport énergétique des deux substrats soit différent et que par exemple la canne à sucre permette un apport d'énergie important mais comprenne un déficit en certains éléments qui limite une maturation tardive des œufs chez la femelle.

Une durée d'accouplement de 24 heures a été utilisée ici. Des résultats antérieurs obtenus à partir d'individus émergés de cocons récoltés en forêt et mis à pondre sur canne à sucre en présence du mâle durant toute la vie ou seulement 48 heures nous montrent que la quantité d'œufs produite est respectivement de 284,4 et de 119,2 pour une durée de vie similaire soit respectivement près de 7 fois plus et 3 fois plus que ce qui est observé ici (Monzenga *et al*. soumis). Il semble donc que la possibilité d'accouplement multiple accroît la

fécondité de la femelle. Le mâle de *Rhynchophorus* possède peut être dans son contenu spermatique, une substance qui stimule l'ovogénèse chez la femelle, ce qui expliquerait les accouplements répétés qu'on observe au laboratoire à tout instant. La femelle semble ne pas avoir la possibilité de stocker le sperme comme le ferait certaines femelles d'insectes, cause probable de la chute de l'ovogénèse, conduisant à la diminution de la fécondité. Il est possible aussi qu'il apporte des éléments nutritifs à la femelle comme cela existe chez d'autres espèces (Do Thi Khanh, 2005). Le jeune stipe de palmier est plus riche que la canne à sucre eu égard aux adultes produits, indicateur d'une meilleure qualité du substrat.

Dans notre cas, la nature des substrats d'élevage utilisés n'a eu que peu d'influence sur le comportement de ponte de femelles (durée de ponte) par rapport aux affirmations des travaux antérieurs (Albert et Bauce 1994 ; Dodds *et al*. 1996 ; Tammaru 1998 ; Awmark et Leathes 2002). La durée de vie de mâles est inférieure à celle de femelles. Ce qui confirme encore une fois de plus que lorsque le contenu spermatique des mâles n'est pas totalement utilisé, leur longévité diminue.

9.5. Conclusion

Le premier objectif de ce travail était de comparer la durée de ponte, la longévité des adultes, la fécondité et la survie des œufs pondus par les femelles de *R. phoenicis* élevées à partir de deux substrats (jeune stipe de palmier et canne à sucre) et avec 24 heures de présence du mâle en utilisant le même substrat de ponte (canne à sucre). Il a révélé que la qualité du substrat n'a pas significativement influencé les paramètres étudiés hormis la durée de ponte qui était en faveur du jeune stipe de palmier.

Ce travail montre que si les partenaires restent ensemble pendant 24 heures, la fécondité des femelles est faible et la survie des œufs pondus est au-delà de 60 % (nombre de larves/nombre d'œufs pondus). Le deuxième objectif était de comparer les mesures morphométriques des individus produits sur jeune stipe et canne à sucre. Les mesures ont révélé que le jeune stipe de palmier a donné des adultes qui étaient supérieurs à ceux produits sur la canne à sucre sur la majorité de paramètres morphométriques. Enfin cette expérience montre la possibilité de boucler une génération complète d'élevage sur ce substrat d'élevage, ce qui lui offre des perspectives intéressantes.

Remerciements

Nous remercions la Coopération Technique Belge (CTB) pour le financement qui nous a permis de réaliser cette recherche.

Chapitre 10. Nombre d'adultes produits (%) par la femelle de *Rhynchophorus phoenicis*

Nous venons d'étudier dans les paragraphes précédents la fécondité de femelles et le taux d'éclosion des œufs pondus. Pour les adultes qui sont restés ensembles pendant toute la vie, le nombre d'œufs pondus augment pour un taux d'éclosion d'environde 50 %. L'étape suivante sera de déterminer, le pourcentage de ces jeunes larves sorties des œufs qui peuvent atteindre le stade adulte, c'est-à-dire le taux de renouvellement sur une génération. Etant donné que la détermination de l'âge des adultes piégé sur le terrain n'est pas possible, nous allons suivre des œufs pondus par deux types de femelles ; les premières ont été piégées à l'état adulte sur le terrain et leur âge n'est donc pas connu, les secondes sont issues des cocons récoltés sur le terrain mais émergé en laboratoire. Dans ce dernier cas l'âge des femelles est connu avec précision.

Résumé

Dans la perspective d'utiliser les larves de *Rhynchophorus* comme une source des protéines et d'aliments, une étude sur la survie des individus sur différent substrat a été entreprise pour déterminer le rendement que pourrait avoir un élevage dans la région de Kisangani. Nous avons utilisé deux substrats, la canne à sucre et le jeune stipe de palmier à huile. Nous avons suivi les œufs pondus dans les 48 heures par des adultes piégés et des œufs obtenus à partir des adultes émergés des cocons récoltés en forêts sur les stipes de palmier à huile sauvage infestés. Nous avons constaté que pour le lot des œufs obtenus à partir des femelles piégées, la survie a tournée autour de 11 % ; par contre pour les femelles émergées de cocons, le nombre d'individus émergés de cocons a oscillé autour de 30 %. Il semble donc que

l'âge de la femelle influence la qualité des œufs et donc la survie ultérieure.

10.1. Introduction

Dans un processus d'élevage, il est essentiel de pouvoir boucler une génération complète au laboratoire. Dans ce cadre, nous avons étudié la survie et le temps de développement des larves issues d'œufs obtenus en laboratoire.

Slobodkine (1961) cité par Hance (1988), en représentant la survie en fonction du temps, décrit quatre type de courbes de survie en relation avec le caractère âge-spécifique. Dans le cas de *Rhynchophorus* spp, compte tenu du fait que les larves se développent dans un substrat de grande dimension, disposer des données de survie en fonction du temps n'est pas facile. Nous l'avons fait pour la canne à sucre, parce que dans ce cas, il est possible de disséquer facilement le substrat pour suivre la survie larvaire. La même expérience n'est possible pas sur le jeune stipe de palmier, on peut seulement déterminer le nombre total de survivants à la fin du développement larvaire.

L'étude de la survie permet de comprendre la dynamique de population de l'espèce et de déterminer les stades sensibles. De plus, la survie larvaire donne une idée sur la fécondité réelle de femelles en tenant compte de la mortalité et la fertilité des œufs pondus puisqu'elle détermine le nombre d'adulte produit par femelle. Il sera alors facile de déterminer le nombre d'adultes que l'on peut avoir dans un élevage de *Rhynchophorus* pour produire le nombre de larves voulues. L'objectif poursuivi est de déterminer le nombre d'adultes produit par un lot d'œufs de *R. phoenicis* d'âges connus et non connus ainsi que la proportion allouée à chaque sexe.

10.2. Matériels et méthodes

10.2. 1. Production des larves et suivi de leur survie

La récolte des cocons et adultes destinés à lancer la première génération s'est effectuée dans notre site de la Tshopo qui se trouve à environ 12 km du centre ville de Kisangani sur la rive gauche de la rivière Tshopo. Les coordonnées géographiques de la forêt qui nous a fourni les adultes et cocons sont de 00° 33' latitude nord et 025° 07' longitude Est. Les cocons ont été récoltés sur des palmiers sauvages abattus lors des travaux d'ouverture de champs, tandis que les adultes ont été obtenus par piégeage.

La procédure d'élevage est la même que celle décrite précédemment. Au laboratoire, les cocons et adultes ont été placés dans des bocaux en plastique troués (figure 55) en attente d'émergence pour former des couples. Les insectes récoltés ont été placés dans des boites en plastique (figure 54) avec un sex-ratio de 1:1 et des morceaux de canne à sucre de 5-10 cm fendus sont ajoutés dans les boites afin de servir de nourriture et substrat de ponte pour les femelles.



Figure 54. Stockage des adultes



Figure 55. Stockage des cocons

La survie larvaire de deux type d'échantillon a été suivie : le premier échantillon est composé des œufs pondus par les femelles ramenées des pièges après 48 heures d'incubation ; le second échantillons est constitué d'une cohorte de 132 larves âgées de 6 jours sur un total de 262 œufs obtenues de 5 femelles qui ont émergées des cocons récoltés en forêt.

Les œufs pondus après 48 heures, 150 au total, ont été réinfestés sur d'autres morceaux de canne à sucre de 5 cm de long, fendus longitudinalement (5 œufs par morceau) et remis en place par une lanière. Après une semaine d'incubation, nous avons fait l'extraction. Chaque larve individuelle a été infestée dans un autre morceau de canne à sucre de même dimension. Cette opération s'est poursuivie jusqu'au dernier stade larvaire.

10.2.2. Paramètres mesurés

Tous les 7 jours, lors du remplacement des morceaux de cannes à sucres, les larves sont extraites, leur survie est déterminée et sont mesurée de la tête à l'extrémité de l'abdomen et sont pesées individuellement à l'aide d'un ruban métrique et d'une balance électronique de précision. Après la nymphose, les cocons ont été extraits et stockés dans des bocaux pour suivre l'émergence.

Pour le jeune stipe de palmier, après l'infestation de 132 larves, les stipes sont gardés jusqu'à la formation des cocons qui ont été extraits et stockés pour suivre l'émergence. Les mâles et femelles émergés ont été comptabilisés jusqu'à la dernière émergence. Seule une partie des larves obtenues pour chaque femelle ont été utilisées pour infester les stipes. Un stipe correspond à la descendance d'une femelle.

10.2.3. Analyse statistique

La croissance de larves en longueur et en poids de *R. phoenicis* ont été analysées en faisant une régression non linéaire à partir du modèle suivant : $Y = P_{min} + (P_{max} - P_{min})/1+10^{P'-X}$ de paramètres mesurés avec le logiciel Graph Pad prism5 (Graph Pad Software, San Diego, California, USA). Le niveau de signification a été fixé à 5 %. Et comme il y a une forte corrélation entre la croissance en longueur de larves et la croissance en poids ($r^2 = 86$), nous présenterons seulement une seule figure. Les sex-ratio sont calculés selon la formule suivante :

Proportion de femelles = Nombre femelles / (Nombre mâles + nombre femelles).

P_{max} = poids maximum ; P_{min} = poids minimum ; P' = temps pour atteindre la moité du poids maximal.

10.3. Résultats

10.3.1. Suivi du développement larvaire sur canne à sucre

Le gain de poids de larves a été mesuré après chaque extraction. La figure 56 montre la croissance hebdomadaire en poids de larves par rapport au temps.

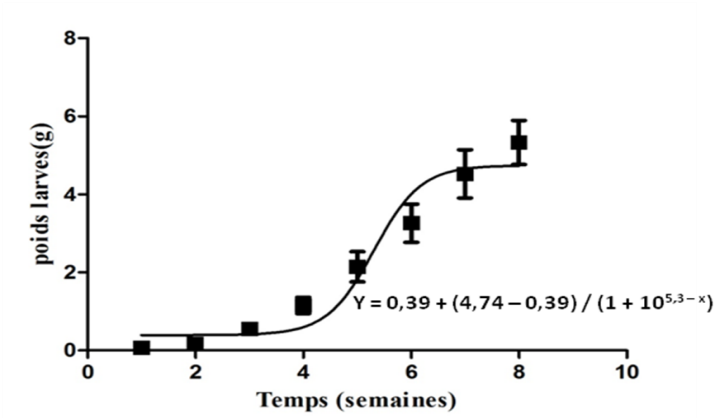

Figure 56. Evolution de la croissance des larves en poids / temps

La figure ci-haut montre que l'accroissement en poids des larves au cours du temps a suivi le modèle sigmoïde (r^2 = 0,81). Le poids de la larve de premier stade varie entre 0,22 et 0,60 g, tandis que celle de dernier stade a un poids qui oscille entre 4,48 à 4,99 g. La moitié du poids de la larve (2,24 – 2,5 g) est atteinte après 5,3 semaines.

Nous avons récolté 150 œufs après 48 heures d'incubation qui ont été placés sur des morceaux de canne à sucre. Le nombre de larves obtenues après l'éclosion représente seulement 36 % des œufs pondus, c'est-à-dire 54 larves. Ce faible taux d'éclosion implique une forte mortalité lors du développement embryonnaire dans l'œuf ou une stérilité des œufs qui pourrait être la conséquence de l'âge indéterminé des adultes capturés,

car la fertilité des mâles diminue avec l'âge (Rochat, 1991). Au fur et à mesure de leur croissance, certaines larves sont mortes et nous avons obtenu au final 27 cocons. De ces cocons, 17 ont donné des adultes : 8 mâles et 9 femelles. Par rapport au nombre d'œufs obtenus par les femelles après 48 heures (150), le nombre d'individus qui survivent ne représente que 11 %. De l'œuf à l'adulte, il a fallut attendre 90 jours pour voir émerger les adultes. Le sex-ratio de cette cohorte est de 0,5.

10.3.2 Suivi de la fécondité de 5 femelles et croissance larvaire sur jeune stipe de palmier.

La ponte de cinq femelles a été suivie sur canne à sucre et est présentée au tableau 22. En outre, 132 larves correspondant à la première ponte de ces 5 femelles ont été infestées sur 5 jeunes stipes à raison d'un stipe par femelle. Ces stipes ont été suivis jusqu'à la formation des cocons qui ont été extraits pour être stockés dans des bocaux pour suivre l'émergence. Les mâles et femelles émergés ont été comptabilisés jusqu'à la dernière émergence. Le tableau 21 présente le nombre d'œufs pondus, de larves obtenues et le nombre de larves utilisées par femelles pour infester un stipe, le nombre de cocons et d'adultes obtenus pour les deux sexes à partir de ces larves. Seule une partie des larves obtenues pour chaque femelle ont été utilisées pour infester les stipes. Un stipe correspond à la descendance d'une femelle.

Tableau 21. Nombre d'œufs pondus, larves obtenues et infestées au départ, nombre de cocons et d'adultes obtenus pour les deux sexes.

Paramètres / Femelles	Œufs pondus	Larves obtenues	Larves infestées	Nbre cocons	Nbre mâles	Nbre femelles	Total adultes
1	377	169	30	25	11	11	22
2	297	158	29	23	11	10	21
3	124	48	23	13	7	5	12
4	390	213	18	11	5	6	11
5	234	148	32	18	4	6	10
Total	1422	736	132	90	38	38	66
Moyenne	284±136,2	147±75,4	26,4±7,2	18,0±7,6	7,6±4,1	7,6±3,4	15,2±7,2

La croissance larvaire a pris 21- 25 jours jusqu'au dernier stade. Comparativement à la durée de croissance obtenue sur canne à sucre, les adultes ont été obtenus après 43 jours, alors que sur la canne la sucre nous avons attendu 72 jours pour avoir les adultes. Le nombre d'adultes obtenus par ces femelles émergées de cocons a été autour de 30 % de la ponte. Il faut signaler que ce nombre ne peut être possible qu'avec les conditions de laboratoire, car dans la nature, les prédateurs sont toujours présents.

10.4. Discussion

L'étude est partie dans un premier temps des œufs pondus par les femelles 48 heures après leur capture. Nous avons observé le taux d'éclosion de ces œufs, la croissance des larves en longueur et en poids après l'éclosion jusqu'à la formation des cocons utilisant la canne à sucre comme substrat d'élevage. Nos résultats ne sont pas loin de ce que Wang Feng *et al*. (2009) ont obtenu dans leur étude, avec des larves avec un poids moyen de 3,36 g. Walid Kaakeh *et al.* (2005) ont réalisé de poids de 0,25 – 2,5 g pour les trois premières semaines et de 0,5 – 4,5 g après la cinquième semaine pour leurs larves. Ces chercheurs ont tous travaillé sur *R. ferrugineus.* Pour la longueur de larve de dernier stade, Lenga *et al*. (2012) sur *R. phoenicis* rapportent une longueur moyenne au dernier stade de 49,5 mm. Le développement larvaire a mis 49 jours, proche des valeurs données par Rui-Ting *et al*. (2011) qui ont obtenu des larves de dernier stade de *R. ferrugineus* après 48,8 ± 3,8 jours sur le palmier de Chuan. Sur diète artificielle, le développement larvaire de la même espèce a été réalisé en 45,09 ± 1,44 jour (El-Shafie *et al*. 2013). Shahina *et al*. (2009) ont eu une durée de 50-80 jours pour le développement de leurs larves sur diète artificielle ; Choon-Fah *et al*. (2008) ont eu des larves qui ont mis 85 jours sur canne à sucre. De l'éclosion à l'émergence des adultes, nous avons attendu 90 jours, proche de Shahina *et al*. (2009) qui ont eu une durée de développement de 50-80 jours dans la diète artificielle pour produire des adultes.

Sur le jeune stipe de palmier à huile, la croissance larvaire a mis 21-25 jours, pour un total de l'œuf à l'adulte de 43 jours. El-Mergawy et Al-Ajlan (2011) obtiennent un temps de développement total de *R. ferrugineus* entre 50 - 90 jours en Inde sur palmier dattier. Rui-Ting *et al*. (2011) ont produits des adultes de *R. ferrugineus* sur le palmier dattier, pour un temps de

développement de l'œuf à l'adulte en moyenne de 74,1 ± 11,7 jours. Toujours avec le palmier dattier et *R. ferrugineus*, El-Shafie *et al*. (2013) ont attendu 61,64 ± 1,93 jours. Il y a donc une grande variabilité de résultats dans la littérature pour la même espèce, en fonction des conditions expérimentales.

Le taux d'éclosion des œufs pondus par ces 5 femelles d'âges connu est de 52%, supérieur à celui des femelles piégées (36%). En partant de 262 œufs qui ont donné les 132 larves de premier stade, qui ont évolué dans les jeunes stipes de palmier à huile pour donner 66 adultes, la survie est de 25 %. Nous avons obtenu 7 adultes par couple avec le jeune stipe de palmier, résultat qui n'est pas loin de Krishnakumar et Maheswari (2004) qui avaient obtenu dans leur élevage avec *R. ferrugineus* 8 adultes par couple en utilisant la noix de coco. Le sex-ratio est de **0,52**, le même que celui obtenu au cours de nos piégeages et celui des adultes élevés sur canne à sucre.

La femelle la plus performante a donné 390 œufs et la moins féconde a donné 124 œufs et à chaque étape, il y a une mortalité non négligeable. Le nombre d'individus qui ont atteint le dernier stade, c'est-à-dire le stade adulte représente 30 % de la totalité des œufs pondus par les femelles (1422).

10.5. Conclusion

D'un point de vue stratégie démographique, le *R. phoenicis* dans la région de Kisangani est une espèce qui a des adultes toute l'année. La durée de vie des adultes est longue avec une période d'oviposition bien étalée. Ce type de démographie devrait permettre de réaliser des élevages en continu avec une productivité intéressante.

Partie III : Discussion générale, Conclusion et Perspectives

Discussion générale

Si la consommation d'insectes a longtemps été perçue comme une caractéristique propre à certaines cultures et comme un apport occasionnel d'éléments nutritifs, elle est de plus en plus considérée comme une solution à l'échelle planétaire des problèmes de carences alimentaires ou de malnutrition (MacEvelly, 2000 ; Malaisse, 2004 ; Mitsuhashi 2008 ; Nonaka, 2009 ; van Huis, 2013 ; Rumpold et Schlüter, 2013). Le ratio de conversion alimentaire, c'est-à-dire la quantité de nourriture, nécessaire pour produire 1kg de masse corporelle est de 2,5 pour le poulet, 5 pour le porc et 10 pour la viande bovine alors qu'elle n'est que de 1,7 pour les insectes. Si l'on tient compte des déchets non consommables par l'homme dans cette production, cette valeur passe à 2,1 pour les insectes et à 25 pour le bœuf (van Huis, 2013). Cette efficacité de la transformation est un des principaux arguments pour développer des élevages de grande ampleur comme source de nourriture. Actuellement, les insectes consommés sont dans la majorité des cas obtenus par cueillette, braconnage, ou ramassage. L'élevage des insectes pour la consommation, commence à gagner peu à peu le monde, en grande partie le continent Asiatique. Le passage d'une économie de cueillette à une vraie production industrielle est donc une voie nécessaire pour arriver à satisfaire une demande future.

Deux types principaux d'élevage d'insectes sont actuellement pratiqués dans les parties du monde où l'entomophagie constitue une des voies pour résoudre le problème de malnutrition. L'élevage in-situ et ex-situ. L'élevage in-situ permet la disponibilité des insectes comestibles par la manipulation de l'habitat de l'insecte à petite échelle, en agissant sur son comportement pour le rendre disponible pendant toute l'année (Van Itterbeeck et van Huis, 2012). Ce type d'élevage ne peut pas être en mesure d'assurer l'approvisionnement permanent du

marché, car il est très dépendant de conditions de l'environnement. Mais néanmoins, il offre l'avantage de contribuer à la sécurité alimentaire (FAO, 2013). L'élevage ex-situ par contre, permet d'envisager la mise en place d'élevages d'insectes à grande échelle si l'insecte repond aux critères de Ramos-Elorduy (2009), c'est-à-dire l'insecte ici peut-être totalement séparé de son milieu naturel pour son développement sur un substrat alternatif et dans de bonnes conditions peut donner après un temps bien déterminé un rendement intéressant. L'insecte peut être produit pour la consommation de l'homme ou de l'animal, et ce type d'élevage est capable de satisfaire la demande.

Dans notre cas, l'intérêt de cette étude a reposé sur l'hypothèse que l'élevage des *R. phoenicis* pour l'alimentation humaine était possible sur un substrat artificiel et plus particulièrement sur des coproduits agricoles de faible valeur. Nous pensions que la nature des substrats utilisés et les types d'infestations devraient influencer les résultats. Les influences de la qualité et la richesse du substrat ont été signalées dans de nombreux travaux (Albert et Bauce 1994 ; Dodds *et al*. 1996 ; Tammaru 1998 ; Awmark et leathes, 2002). Les lignes qui suivent retracent l'évolution de notre étude en fonction de paramètres étudiés.

1. Le piégeage, dynamique de populations et mesures morphologiques des individus piégés.

Pour disposer d'information sur la population de *Rhynchophorus* en milieu naturel dans la région de Kisangani, nous avons mis en place 5 types de pièges à partir de matériel local pendant 2 ans, le piège du type debout a été le plus efficace et nous a permis de réaliser ce travail. Nous avons remarqué la présence en grand nombre de *Rhynchophorus* dans la région de Kisangani. Il y a trois espèces, mais deux d'entre elles n'avaient

pas été signalées dans la région, *R. ferrugineus et R. quadrangulus*. L'espèce *R. phoenicis* est très abondante, car pendant les deux années d'étude et dans tous les sites, 2269 individus ont été capturés ; alors que les deux autres sont des espèces rares n'étant présentes que sur deux de trois sites de l'étude (Tshopo et Lubunga) avec seulement 27 individus, 22 individus pour *R. ferrugineus* et 5 pour *R. quadrangulus*. Les mois les plus pluvieux, notamment le mois de mars, montrent une plus grande fréquence de ces insectes, tandis que pendant les mois secs, leur fréquence diminue. La présence de *R. ferrugineus* est particulièrement intéressante, cette espèce étant d'origine Asiatique, elle est actuellement en expansion en dans la péninsule arabique, en Afrique du Nord et dans le Sud de l'Europe (Ferry et Gomez, 2002). C'est à notre connaissance sa première mention en Afrique Sub-Saharienne bien que celle-ci y soit prédite (Fiaboe *et al*. 2012). Cette espèce est particulièrement dommageable au palmier à huile. Sa distribution sera à surveiller dans le futur.

Trois espèces d'acariens ont été trouvées sur les individus échantillonnés, certains d'entre eux étant fortement infestés. Au stade actuel, il est difficile de dire si la présence de ces acariens à un impact négatif sur les populations naturelles de *Rynchophorus*. Des investigations plus poussées seront nécessaires pour comprendre l'impact et la répartition de ces espèces. Par rapport aux mesures morphométriques des individus de *R. phoenicis* piègés, il n'y a aucune différence entre mâles et femelles (individus piégés) sur la majorité de paramètres étudiés (longueur et largeur totale, longueur de l'aile et le poids total (individus piégés). Les femelles possèdent par contre des longs élytres que les mâles.

2. Tests de différents substrats de ponte et d'élevage, l'efficacité de modes d'infestation (stade utilisé) et la rentabilité de larves de dernier stade produites

En terme d'élevage ex-situ, nos résultats son particulièrement prometteurs et mettent en évidence la possibilité d'élever *R. phoenicis* en conditions contrôlées et en utilisant des substrats peu couteux comme la canne à sucre ou le vieux stipe de *Raphia*. Des différences entre substrats sont marquées pour le développement larvaire, la survie et la fécondité. En effet, nous avons testé différents substrats de ponte, de diètes artificielles aux substrats naturels. L'espèce utilisée peut pondre sur plusieurs substrats différents, mais s'exprime mieux sur canne à sucre ; ceci a été observé pour tous les essais réalisés. L'utilisation des œufs ou larves de premier stade comme infestation doit donc passer par la canne à sucre comme substrat de ponte. Différents substrats d'élevage ont été testés, tous ont produits des larves de dernier stade. Le *Raphia* déjà exploité (coproduit agricole) est le meilleur substrat d'élevage à cause de sa forte production de larves de dernier stade, surtout pour l'infestation des adultes qui demande moins de travail que les autres infestations. En plus, la récolte de larves de dernier stade est très simple, car l'intérieur du stipe après l'activité de larves épouse la consistance du biscuit humidifié, ce qui facilite la récolte par rapport aux stipes de palmier à huile (jeune ou vieux) qui reste toujours dur même à la récolte. Les larves mutilées sont donc peu nombreuses pour le *Raphia*.

Nous avons constaté qu'il y a une interaction significative entre l'infestation et le substrat, c'est-à-dire que certains substrats sont mieux adaptés aux œufs qu'aux larves de premier stade. Ainsi par exemple, l'infestation des œufs est mieux adaptée pour la diète à niébé ; alors que celle de larves de premier stade convient significativement mieux pour le jeune stipe de palmier à huile.

En général, l'infestation par les adultes donne des meilleurs résultats que les œufs ou les jeunes larves sur n'importe quel substrat d'élevage. Ceci est dû au fait que les femelles pondent directement dans le substrat comme elles ont l'habitude de le faire en milieu naturel, car l'ovipositeur place l'œuf hors de la portée des prédateurs. Par contre, cette infestation présente toutefois quelques inconvénients mineurs, celui de donner à la récolte des larves hétérogènes parce que toutes les femelles ne pondent pas au même moment. Pour une meilleure récolte avec cette infestation, il faut récolter 4 semaines après l'infestation. L'infestation de l'œuf ou larve du premier stade par l'homme pose la difficulté de la manipulation et laisse toujours une brèche pour les prédateurs, notamment les fourmis. Par contre, ces deux modes d'infestations donnent de larves de dernier stade uniforme à la récolte et de gros calibre.

A ce propos, les individus élevés sur de jeunes stipes de palmier à huile ont montré une taille plus importante par rapport à ceux issus de la canne à sucre sur la majorité des paramètres étudiés. Les mâles produits sur de jeunes stipes de palmier à huile sont plus grands et ont des ailes plus longues que ceux produits à partir de la canne à sucre. Ils ont également de longs élytres et tibias. Par contre, ils ne sont pas différents en ce qui concerne la largeur totale. Le jeune stipe de palmier à huile présente donc l'indice d'un meilleur substrat d'élevage.

Nous pouvons dire que l'élevage de *R. phoenicis* sur ces trois substrats, la canne à sucre, le jeune stipe de palmier à huile et le vieux stipe de *Raphia* est rentable bien que les mode d'infestations soient différentes. Nous avons utilisée deux types d'infestation, les jeunes larves pour la canne à sucre et les adultes pour les stipes. Ce modeste travail montre qu'on peut bien gagner de l'argent. Pour que cela soit rentable, il faut aller plus loin dans l'analyse et faire une étude de marché. Le nombre d'adultes de départ et leur âge sont deux facteurs importants à ne pas négliger. La production peut aller au-délà si les adultes de départ sont jeunes.

Dans l'état actuel de connaissances, le vieux stipe de *Raphia* déjà exploité est le meilleur substrat d'élevage. Il donne facilement avec l'infestation des adultes. Le morceau de 50 cm de long et 30 cm de diamètre donne en moyenne une centaine de larves de dernier stade. Le transport des morceaux de vieux stipe de *Raphia* peut augmenter le coût de production, mais cela est compensé par sa forte production et ce qui le rend rentable. Il est suivi de canne à sucre et le jeune stipe de palmier. Certaines activités rémunérées ici peuvent aussi bien être exécutées par l'éleveur lui–même, ce qui peut diminuer davantage le coût de production. La concrétisation de cet élevage ouvrira la voie à plusieurs activités (sous traitance) qui peuvent donner du travail : fournisseur d'adultes, producteurs d'œufs ou jeunes larves et fourniseurs de substrats d'élevage ; on peut également ajouter le vendeur ou vendeuse de larves de dernier stade.

Le jeune stipe permet une croissance plus rapide des larves et produit des larves de plus grande taille que tous les autres substrats utilisés. Il s'agit bien évidemment du substrat que l'on peut considérer comme naturel et qui présente les meilleures qualités alimentaires pour *R. phoenicis*. Mais, il est plus sensible aux micro-organismes, surtout s'il est fendu et la récolte des

larves de dernier stade est toujours confrontée à la dureté du substrat, ce qui occasion leur mutilation. Le vieux stipe de palmier donne mieux s'il est fendu.

La diète artificielle allonge le temps de développement par rapport aux autres substrats si l'on tient à obtenir de larves de dernier stade de gros calibre. Les poids moyens de larves de dernier stade sont nettement plus faibles, ce qui indique clairement que les diètes telle qu'employées actuellement doivent encore être améliorées. Les larves de dernier stade de notre élevage ne sont pas différentes de celles produites par d'autres systèmes d'élevage utilisant des hôtes naturels, milieu artificiel ou canne à sucre et celles récoltées dans la nature en ce qui concerne le poids (1,5 – 9 g) et la durée d'incubation (Rochat, 1991).

La durée d'incubation, c'est-à-dire le nombre de jours de l'infestation à la récolte de larves de dernier stade pour notre élevage (vieux et jeune stipe de palmier à huile et *Raphia*, canne à sucre) est faible par rapport à celle réalisée par les autres élevages (Berthier, 1986 ; Rochat, 1991 ; Salama et Abdel-Razek, 2002 ; Karmata, 2009). La faible durée d'incubation par rapport à notre élevage sur diète à tourteau a été obtenue par Al-Ayedh (2011).

Il serait intéressant d'analyser la disponibilité des jeunes stipes de palmier, notamment dans le cadre du remplacement des palmeraies à huiles et l'ouverture des champs. L'idéal serait cependant d'améliorer les résultats obtenus sur diètes artificielles particulièrement si l'on peu concevoir celles-ci à partir de coproduits agricoles. Nous avons montré que la production de larves est possible sur ce types de diètes, à condition de maitriser les moisissures et autres ennemis qui sont attirés par les substances volatiles dégagées par les constituants. Il sera utile à l'avenir de les enrichir en apportant une autre

substance naturelle riche en azote et peut être des extraits de cannes à sucre. En zone villageoise en RDC, les substrats naturels sont bien disponibles, les paysans s'en débarrassent même pendant l'ouverture de leur champ et ils pourraient donc être valorisés en servant à la production des larves de dernier stade pour la consommation et la vente. La bonne nouvelle est du côté de vieux stipe de *Raphia* déjà exploité qui donne de meilleurs résultats par rapport à tous les autres substrats étudiés et surtout avec l'infestation des adultes.

A propos de la mise en place des élevages et à la lumière de notre travail, le jeune stipe et vieux stipe de palmier à huile, le vieux stipe de *Raphia* donnent mieux en élevage avec l'infestation des adultes et larves de premier stade. La canne à sucre est capable d'utiliser les trois infestations, alors que les diètes artificielles que nous avons utilisées donnent mieux lorsqu'elles sont infestées par les œufs.

3. La fécondité des femelles et le taux d'éclosion des œufs pondus par les différentes femelles

Parmi les résultats nouveaux, nous avons montré que la présence pemanente du mâle accroît la ponte de la femelle. Le mâle de *Rhynchophorus* possède peut être dans son contenu spermatique, une substance qui stimule l'ovogénèse chez la femelle, ce qui explique les accouplements répétés qu'on observe au laboratoire à tout instant et aussi, peut être un régulateur de la descendance. Il est aussi possible qu'il apporte des éléments nutritifs à la femelle (à prouver) comme cela existe chez d'autres espèces d'insectes (Do Thi Khanh, 2005). La femelle semble ne pas posséder de spermathèque comme certaines femelles insectes, ce qui peut aussi être la cause de la baisse de l'ovogénèse, conduisant à la diminution de la fécondité. Ou encore, le contenu spermatique du mâle n'a qu'une faible durée de vie. La

nature du substrat d'élevage n'a eu que peu d'influence sur le comportement de ponte de femelles (durée de ponte) par rapport aux affirmations des travaux antérieurs (Albert et Bauce, 1994 ; Dodds *et al*. 1996 ; Tammaru, 1998 ; Awmark et Leathes, 2002). Il sera nécessaire de poursuivre les expériences dans ce domaine pour mieux comprendre le phénomène. Cette observation a des conséquences aussi bien sur le plan fondamental (stratégie de reproduction et polyandrie en milieu naturel à investiguer) que sur le plan appliqué. Il faudra en tenir compte dans la conduite des élevages.

La canne à sucre est le meilleur substrat pour la ponte des œufs et corrélativement pour la nutrition des adultes. Kalleshwaraswamy et Jagadish (2005) ont trouvé le même résultat (meilleur substrat de ponte) pour la femelle de *R. ferrugineus*. La durée moyenne de ponte a été de 36 ± 3,3 ; 18 ± 1,5 et 16 ± 1,7 jours respectivement pour la canne à sucre, fausse canne et la base du rachis de palmier. La différence moyenne de la durée de ponte sur ces substrats est due à leur qualité (Tammaru, 1998). La canne à sucre est juteuse, conserve ses qualités pendant un temps relativement long, alors que la fausse canne est moins juteuse et les garde moins longtemps. La base de rachis est juteuse au début de l'expérience, mais elle est incapable de conserver ses qualités à cause de sa très grande sensibilité aux micro-organismes. Si la détérioration du substrat de ponte est rapide, cela diminue sont attractivité car les femelles n'aiment pondre que dans les substrats encore frais. Elles sont probablement capables d'évaluer la longévité du substrat de l'éclosion à la maturation de la progéniture. Nous avons vu que cette ponte surtout sur canne à sucre atteint son maximum entre le 15 et 17ème jour. Ceci donne une idée de la conduite à adopter pour l'élevage, c'est-à-dire on peut se limiter à ce nombre de jour pour récupérer les œufs à infester. La moyenne de ponte de notre expérience sur canne à sucre est de

loin supérieure à celle obtenue par les autres chercheurs qui ont travaillé sur la ponte de ces insectes. Le taux de survie de nos œufs est autour de 50 %, alors que celui de nos prédécesseurs est largement supérieur à 50 % (Salama et Abdel-Razek, 2002 ; Faleiro *et al.* 2003 ; Walid Kaakeh, 2005 ; Choon-Fah, 2008 ; Shahina *et al*. 2009). Notre élevage nécessite un contrôle rigoureux des ennemis naturels, des prédateurs des œufs et jeunes larves (fourmis et de staphylins), qui ont une influence négative sur la survie. En outre, la présence permanente du mâle accroît la ponte de la femelle.

Les femelles élevées sur canne à sucre ont une moyenne de ponte qui est inferieure inferieur à celle de femelles élevées sur jeune stipe de palmier à huile. Mais si la réduction significative de la durée de la ponte de femelles produites sur canne à sucre peut faire penser que ce substrat est de moins bonne qualité, elles ont pourtant une moyenne journalière de ponte de 2,42 œufs contre 1,3 œuf pour les femelles élevées sur jeune stipe de palmier à huile. En termes de croissance démographique, cela correspond à un taux de croissance supérieur pour les femelles élevées sur canne à sucre. La réduction de la durée de ponte se fait curieusement sans réduction de la survie des femelles, ce qui correspond aussi à une plus longue période de sénescence. La femelle provenant de canne à sucre maximise sa ponte au début de sa vie adulte. Il est possible que l'apport énergétique des deux substrats soit différent et que par exemple la canne à sucre permette un apport d'énergie important mais comprenne un déficit en certains éléments qui écourterait l'ovulation chez la femelle à un certain âge.

Curieusement, dans toutes les expériences sur la fécondité pour les femelles émergées de cocons, le taux d'éclosion des œufs ne dépasse pas 50 % pour les femelles qui sont restées ensembles avec les mâles toutes leur vie et légèrement supérieur à 50 % pour celles qui sont restées aux côtés de mâles pendant 48 heures ; alors qu'il était de 63,4 et 78,1 % respectivement pour les femelles élevées au laboratoire à partir du jeune stipe de palmier à huile et la canne à sucre et accouplées pendant 24 heures. Dans nos essais, nous avons eu deux cas de stérilité femelle, ce qui est très peu.

4. Etude de la survie et le cycle de vie

Nous avons suivi une cohorte de cinq femelles jusqu'à la fin de leur vie. Cela correspond à un faible nombre de répétition et il serait souhaitable de l'amplifier. Cependant pour chaque individu, cela demande une grande quantité de travail, vu la quantité d'œufs pondus et la nécessité de renouveler le substrat de ponte. Ces femelles ont pondu au total 1422 œufs qui ont donné 736 larves. Sur base des essais de survie larvaire, on peu dire que ces larves aurait dû donner 505 cocons desquels 437 adultes (208 mâles et 229 mâles) pourraient émerger avec un sex-ratio de 0,52, le même que celui obtenu au cours de nos piégeages et celui des adultes élevés sur canne à sucre. Etant donné la longueur du temps de développement et l'étalement de la fécondité femelle, *R. phoenicis* n'est pas à proprement parler une espèce à forte croissance démographique. De plus, le taux de survie représente 30 % par rapport au total d'œufs pondus avec 14,6 % des mâles et 16,1 % des femelles.

En fonction du substrat, sur jeune stipe et sur canne à sucre les adultes ont été obtenus après 43 et 73 jours, respectivement. Nos résultats ne s'éloignent pas de El-Mergawy et Al-Ajlan (2011), pour le *R. ferrugineus* qui ont attendu entre 50 - 90 jours en

Inde ; Rui-Ting *et al*. (2011) sur le palmier dattier, de l'œuf à l'adulte ils ont mis 74,1 ± 11,7 jours ; El-Shafie *et al*. (2013) ont attendu 61,64 ± 1,93 jours. La température a une influence notable sur le cycle de vie de *Rhynchophorus phoenicis*. Nous avons mené cette étude durant deux ans sur deux locaux différents. Nous avons constaté que lorsque la température oscille entre 24,5-27,5°C, le cycle est de 60 et 90 jours (soit, 960 et 1440 degrés jour), respectivement sur le jeune stipe de palmier à huile et la canne à sucre ; par contre quand la température varie entre 23,2 et 32,2°C, le cycle est de 43 et 72 jours (soit, 774 et 1296 degré jour) sur les mêmes substrats respectivement. Les différences de degré jours se chiffrent à 186 et 144 respectivement pour le jeune stipe de palmier à huile et la canne à sucre et lorsque la température augmente de 4,7 °C. Des expériences en milieux mieux contrôlés devraient permettre d'affiner ces résultats sur le rôle de la température. Malheureusement, nous ne disposons pas d'enceinte climatique à Kisangani.

5. Les ennemis de *R. phoenicis*

Il y a un nombre important de petits insectes, reptiles et petits mammifères qui rodent toujours autour de *Rhynchophorus* et que nous avons rencontré dans nos élevages. Il est intéressant de les mentionner ici. Tous ne sont pas identifiés, mais nous allons essayer de passer en revue ce que nous avons pu identifier au niveau de famille ou genres.

- Les rats de maison sont en majorité végétariens, mais ils complétent leur régime par l'injection des insectes et larves. Il est donc impératif de veuiller à ce que ces animaux ne soit pas en contact avec les élevage, car ils sont capables de tout emporter pour aller constituer des reserves dans leur grenier ;

- Les lézards sont les ennemis redoutables des insectes adultes et larves. Il sont à éviter absolument dans les élevages ;

- *Temnoschoita quadripustulata* L. sont des coléoptères qui appartienent à la même famille que les *Rhynchophorus*, ils ne sont pas des ennemis directs, mais sont plutôt des compétiteurs que l'on trouve dans le même substrat. Les deux espèces ont les mêmes plantes hôtes, ce qui fait que lorsque l'élevage se réalise, ils sont aussi attirés par les mêmes substances volatiles pour venir se nourrir, pondre et se reproduire. Ils représentent un danger indirectement par compétition ;

- Les Staphilinidae sont les plus nombreux dans les élevages et sont représenté par plusieurs espèces. De petite taille, ils sont capables de s'infiltrer partout à la recherche des œufs et larves de premier stade. Ils font partie des insectes qu'il faudra contrôler, mais leur petite taille rend aussi difficile ce contrôle. Le moyen le plus efficace que nous pouvons préconiser peut être, l'isolement des substrats d'élevage par une sorte de moustiquaires qui empêchent leur entrée ;

- Les fourmis avec une population toujours en pleine croissance, envahissent les maisons dans leur quête d'aliments. Au niveau des élevages, il faut à tout prix éviter que ces chasseurs hors normes atteignent les substrats et les bocaux d'élevage. Pour l'instant, l'unique moyen de lutte consiste à isoler les étagères de façon à empêcher tout contact avec les fourmis ;

- Comme on a pu le découvrir dans le chapitre 4, en milieu naturel, les acariens sont présents sous les élytres de *Rhynchophorus*, au niveau de cocons et sur les substrats

d'élevage. La nature de leur rélation n'est pas bien connue. Les échantillons récoltés sur les idividus morts que nous avons fait identifier appartiennent à deux familles : les Urodinychidae avec comme espèce *Uroobovella marginata* (C.L. Koch 1839), acariens phorétiques ; les Uropodidae, constituée par des acariens cosmopolites vivant en association avec les insectes. Ils se nourrissent des champignons et parfois ils sont prédateurs (Krantz, 1978). Les échantillons provenant des individus vivants ont donné deux espèces de la familles des Uropodidae : *Centrouropoda almeroida* : décrite en 1992 par Hiramatsu et Wisniewski aux Phillipines sur les *Rhynchophorus* spp. Cet acarien est généralement connu jusque là comme un acarien phorétique. Mais l'étude de Mazza *et al*. (2011) sur la durée de vie des individus de *R. ferrugineus* portant cet acarien et ceux n'en possédant pas a montré que les individus avec acarien ont une durée de vie d'un tiers plus courte que ceux qui en étaient exemptés. Il est donc probable que la relation ne soit pas uniquement phorétique. La deuxième espèce appartenant aux Urodinychidae est *Uroobovella phoenicola* : décrite en 2012 par Kontschan, Tambe et Riolo en Afrique du sud à partir d'un échantillon d'acariens récoltés au Cameroun. Il est en association avec le *R. phoenicis*. Lors de nos manipulations, nous avons remarqué la présence d'œufs d'acariens sous les élytres et sur les abdomens de nos insectes. Les œufs une fois éclos, donnent des larves qui doivent croître et il leur faut donc de la nourriture, laquelle ? Normalement, seul le stade deutonymphe est phorétique, le fait de trouver d'autres stades sur un même hôte est une indication de parasitisme. Les acariens phorétiques, comme nous venons de les voir représentent un coût évident pour l'hôte. Ils diminuent le

bilan énergétique de l'hôte, perturbent son aérodynamisme en fixant leurs colonies sous les élytres et occasionnent un supplément de poids et diminuent sa vélocité (Athias-Binche, 1994). Il convient également de signaler que ces acariens ne sont pas spécifiques aux *Rhynchophorus*.

La présence des acariens a également un effet bénéfique. Le fait qu'ils sont plus nombreux chez les individus jeunes qu'adultes offre aux éleveurs un critère de sélection de géniteurs. S'il faut commencer un élevage avec les individus piégés parce que les cocons sont rares, il faut sélectionner les géniteurs en fonction de la présence des acariens (indication des individus juvéniles).

Conclusion générale

L'objectif central de cette thèse était de contribuer à une meilleure compréhension de la mise en place d'un élevage des *Rhynchophorus* spp à Kisangani, RDC. Elle a commencé par l'identification des espèces présentes dans la région et leur dynamique de population ; le rôle joué par le substrat d'élevage et la comparaison de différents types d'infestation pour la production de larves de dernier stade. Une analyse de la fécondité des femelles et de la survie des œufs pondus a également été entreprise pour une meilleure planification de l'élevage. L'influence de la présence du mâle a été investiguée.

Trois espèces ont été identifiées dans la région de Kisangani: *R. phoenicis* la plus abondante, *R. ferrugineus* rare mais identifiée pour la première fois en Afrique centrale et *R. quadrangulus*, l'espèce la plus rare. Le sex-ratio calculé pendant toute la période d'étude a été de 0,5 en 2012 et en 2013 il a atteint 0,6.

Deuxièmement, nous avons montré que le substrat est particulièrement important même si *R. phoenicis* est capable de se développer sur une large gamme de substrats, ce qui est intéressant en terme d'élevage. Cette particularité indique sans doute que l'espèce est capable aussi de se développer sur une gamme assez large de plantes-hôtes. Il serait intéressant d'analyser son degré de spécificité en conditions naturelles. Malgré tout, le jeune stipe de palmier à huile non fendu et le vieux stipe de *Raphia* ont donné une production bien meilleure que les autres substrats d'élevage, c'est-à-dire en fait les deux substrats les plus naturels pour cette espèce. Le *Raphia* est particulièrement intéressant sur le plan économique parce qu'il s'agit d'un coproduit agricole sans aucune valeur et facilement disponible. De façon intéressante, la canne à sucre est un hôte de substitution possible et donne d'excellent taux de ponte mais il

faut s'armer de patience pour le renouvellement du substrat chaque semaine. Ce travail a donc prouvé qu'il est possible d'élever *R. phoenicis* sur différents type de substrats et produit deux générations successives. Ce type d'élevage pourrait donc utilement se substituer aux récoltes et cueillettes dans la nature et assurer un approvisionnement permanent des marchés et partant, préserver la biodiversité.

De façon intéressante, nous avons montré que les accouplements répétés que l'on observe au laboratoire à tout instant peuvent expliquer que le mâle posséderait dans son contenu spermatique une substance qui stimule l'ovogénèse de la femelle. La femelle semble ne pas avoir la possibilité de stocker le sperme comme le ferait certaines femelles d'insectes, ce qui cause la chute de l'ovogénèse, conduisant à la diminution de la fécondité. Il y a donc un lien entre la présence du mâle, la fécondité des femelles et la survie des œufs pondus. En effet, pour la réussite de la ponte chez ces coléoptères, partant de l'élevage, le substrat doit être frais à l'éclosion des œufs. La femelle arrête sa ponte lorsque le substrat se détériore. Cette thèse pose aussi une série de nouvelles questions qu'il conviendrait d'étudier dans le futur. Elles font l'objet de la section Perspectives.

Perspectives

Sur un plan pratique, ce travail a montré que nous avons bien la possibilité de produire les adultes et larves de dernier stade en élevage. Il reste donc à lancer une unité permanente de production pour analyser de façon continue les rendements, le niveau de production, définir mieux les coûts de production et mettre en place les aspects de commercialisation et de transformation du produit. La production devrait logiquement se faire sur le vieux stipe de *Raphia* avec malgré tout un intérêt pour la canne à sucre en tant que substrat de ponte. Une analyse de la fécondité et de la survie sur un cycle complet de deux générations serait particulièrement utile dans ce cadre. La recherche d'autres substrats et de leur disponibilité reste un élément nécessaire pour diminuer les coûts de production.

- En termes de qualité du produit, il faudra effectuer une analyse complète des teneurs en aa et en lipides essentiels dans nos conditions de production et sur le *Raphia*. Ces données pourraient servir de base pour une transformation future du produit par l'extraction d'huile et la confection d'une farine riche en protéine ;
- Au niveau des conditions d'élevage, une attention particulière devra être portée sur l'identification et le contrôle des prédateurs, particulièrement pour un élevage de masse. Le contrôle de la présence de moisissures devra également être effectué ;
- A terme, une étude des processus de domestication de l'espèce est intéressante et ce serait à notre connaissance la première fois qu'elle serait réalisée sur une espèce de coléoptère en Afrique. On peut aussi imaginer la sélection des individus les plus aptes à ce type d'élevage, c'est-à-dire, ceux qui se dispersent le moins

ou sont les plus tolérants à une nourriture de substitution ;

- L'infestation des œufs présente encore une faiblesse de taille, celle de ne pas pouvoir faire la différence entre un œuf fécondé et celui qui ne l'est pas. Les travaux futurs doivent être orientés vers la détermination des causes de ce taux de stérilité élevé et sur l'identification d'un œuf réellement fécondé pour que l'éleveur soit sûr de ce qu'il doit utiliser ;
- Sur un plan plus fondamental, une description morphologique poussée des larves serait intéressante, notamment pour voir s'il existe des critères de dimorphisme sexuel de *Rhynchophorus* à partir des larves ;
- Nous avons montré l'importance de la présence du mâle pour assurer une fécondité correcte des femelles durant toute leur vie. Nous supposons que c'est lié à des accouplements multiples. Il serait intéressant d'analyser ce phénomène en profondeur et d'étudier les stratégies de reproduction de cette espèce, la possibilité de polyandrie, la quantité de spermatozoïdes échangée à chaque reproduction, l'existence ou non du transfère d'éléments nutritifs utiles pour l'ovogenèse et l'existence d'un signal hormonal transmis par le mal pour l'accouplement. Tous ces points pourraient faire l'objet d'un beau sujet de thèse en écologie comportementale ;
- De nombreuses questions sont également en suspens sur la présence des acariens et de leur rôle phorétique ou parasite. Une analyse détaillée de la situation observée sur le terrain serait utile ainsi qu'une observation directe du comportement des acariens sur l'hôte ;

- La présence de *R. ferrugineus* dans nos échantillons, connu comme un ravageur majeur des palmiers à huile et jamais signalée en Afrique centrale doit conduire à une analyse en profondeur de la présence de cette espèce dans la région et à une évaluation des conséquences sur le future.

Cette thèse laisse donc encore de nombreuses questions ouvertes mais elle ouvre aussi des perspectives intéressantes pour une nouvelle activité économique en RDC qui devrait combler un besoin de la population et contribuer à résoudre les problèmes d'alimentations.

Références bibliographiques

Agbidye F.S., Ofuya T.I et Akindele S.O. 2009. Marketability and Nutritional value of Some Edible Forest Insects in Benue State, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition 8 (7): 917-922.*

Alarcón F.J., Martínez T.F., Barranco P., Cabello T., Díaz M., Moyano F.J., 2002. Digestive proteases during development of larvae of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Curculionidae), Insect Biochemical Molecular Biology 32: 265-274.

Al-Ayedh H.Y. 2011. Evaluating a semi-synthetic diet for rearing the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Tropical Insect Science 31(1-2) : pp 20-28*

Albert P.J et E.Bauce.1994. Préférences alimentaires de quatrième et de dixième stade tordeuse des bourgeons de l'épinette (Lépidoptère : Tortricidae) larve extraite de feuille à partir des hôtes jeunes et vieux sapin baumier, environ. *Environ. Entomol. 23:645--653.* CSA

Albouy V. 2011. Bien débuter en entomologie. *Editions Glénat. 63p*.

Anand H., Ganguly A., Haldar P. 2008. Potential value of acridids as high protein supplement for poultryfeed. *International Journal of Poultry Science* 7.722-725. Asian Network for Scientific Information.

Anonyme, 2010. Besoins alimentaires. www.schweizerfleisch.ch/fr/ern_inhstoffe_f.htm

Apfelbaum, M., Forrat, C. et Nillus, P.1995. *Diététique et nutrition*. Elsevier Masson 7e édition. 516p.

Appert J. et Deuse J. 1982. The pests of agricultural and horticultural food crops in the tropics. *Techniques Agricoles et Productions Tropicales (France). No. 31* 421 pp.

Atakan E. ; Cobanoglu S., Yuksel O. et Bal DA. 2009. Phoreticuropodid mites (Acarina : Uropodidae) on the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliver, 1790) (Coleoptera: Curculionidae). *Turkiye EntomolojiDergisi-Turkish journal of Entomology Volume: 33 (2): 93-105*.

Athias-Binche F., Schwarz H. H. et Meierhofer I. 1993. Phoretic association of *Neoseiusnovus* (Ouds, 1902) (Acari: Uopodina), with*Nicrophorus* spp. 5Coleoptera Silphidae): a case of sympatric speciation? International Journal of Acarology 19: 75-86.

Athias-Binche F. 1994. La phorésie chez les acariens uropodides (Anactinotriches), une stratégie écologique originale. ActaOecol/Oecol Gen 5/ 119-133.

Avand Faghih A. 2004 - Identification et application agronomique de synergistes végétaux de la phéromone du charançon *Rhynchophorusferrugineus*(Olivier) 1790. Thèse de doctorat de l'INA-PG, Paris, France. 171 p.

Avand Faghih A. 1996. The biology of red date palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae) in Saravan region (Sistan and Balouchistan Province, Iran). *Appl. Entomol. Phytopath*. 63:16–18.

Awmack C. S. and S. R. Leather. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects.Annu. *Rev. Entomol*. 47:817–844.

Bahuchet S. 1975. Ethnozoologie des Pygmées Babinga de la Lobaye, République Centrafricaine. *In* R. Pujol, ed. *Premier Colloque d'Ethnozologie*. pp. 53–61. Paris, Institut International d'Ethnoscience.

Bajerlein D. et Bloszyk J. 2004. Phoresy of *Uropoda orbicularis* (Acari : Mesostimata) by beetles (Coleoptera) associated with cattle dung in Poland. Eur. J. Entomol. 101:185-188.

Bajerlein D. et Przewozny M., 2005. *Coprophagoushydrophilid*beetles (Coleoptera: Hydrophilid beetles) as carriers of phoreticdeutonymphs of *Uropodina orbicularis* (Acari: Mesostigmata) in Poland. *Eur.J. Entomol. 102:119-112*.

Banjo AD., Lawal OA., Songonuga EA. 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects insouthwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 5.298-301. AcademicJournals.

Barranco P. ; DE LA Peña J. ; Cabello T. 1996. El picudo rojo de las palmeras, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), nueva plaga en Europa. (Coleoptera: Curculionidae). *Phytoma España*, 76: 36-40.

Bernardo J. 1996. The particular maternal effect of propagule size, especially egg size: Patterns, models, quality of evidence and interpretations. American Zool. 36:216–236.

Berthier A. 1986. Rapport sur le développement de *Rhynchophorus palmarum* sur différents milieux synthétiques. Non publié, 38 pp.

Blackith R.E. 1971. Morphometrics in acridology: A brief survey. *Acrida*, **1**: 7-15.

Blanchot P.1991. Elevage de la mouche domestique (*Muscadomestica*). http://www.philippeblanchot.com/publications/Elevage%20de%20la%20mouche%20domestique,%20Musca%20domestica.pdf

Błoszyk J., Gutowski J.M., Gwiazdowicz D.J., Mądra A. 2013. Phoresy of Hirschmann, 1972 (Acari: Mesostigmata) on beetles of the genus Kirby, 1837 (Coleoptera: Cerambycidae) in Białowieża Forest, Poland. *Central European Journal of Biology 8(10): 986-992*.

Bouchard, P. *et al*. 2011: Family-group names in Coleoptera (Insecta). *ZooKeys*, 88: 1-972. doi: 10.3897/zookeys.88.807 ISBN 978-954-642-583-6 (hardback) ISBN 978-954-642-584-3 (paperback) ZooBank

Booth DT., Kiddell K. 2007. Temperature and energetics of devlopment in the house cricket (*Acheta domesticus*). *Journal of Insect Physiology* 53.950 Ŕ 953.

Boulidam S. 2010. Edible insects in a Lao market economy. *Edible forest insects, Human bites back.* 131 - 141. http://www.fao.org/docrep/012/i1380e/i1380e00.pdf

Borges da Silva E., Branco M., Mendel Z., Franco J. C. 2013. Comportement d'accouplement et de la performance dans les deux Cosmopolitan Mealybug espèces *Planococcus citri* et *Pseudococcus calceolariae* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Journal of Insect Behavior* 26 (3) : 304-320

Boutaleb Joutei A., Chouibani M., Khalkiy Y., Rachel M.A. et Bouabid N. 2013. Amélioration de la technique de piégeage et essais de lutte chimique contre le charançon rouge du palmier a Tanger- Maroc. *AFPP-colloque médittrranéen sur les ravageurs des palmiers nice - 16,17 et 18 janvier 2013*

Brock J.F. 1952. Kwashiorkor in Africa. *Bull World Health Organ. 1952; 5(1): 1–71.*

Brown K.R. 1979. Comparative wing morphometrics of some calyptrate Diptera. *J. Aust. Entomol. Soc.*, 18: 289-303.

Buchner P. 1965. Endosymbiosis of animals with plant microogranisms. New York : John Wiley & Sons.

Bullock N., Chapin E., Evans A., Elder B., Givens M., Jeffay N., Pierce B, and Robinson W. 2013. Black Soldier Fly How-To Guide. *ENST 698-Environmental Capstone. work of UNC-Chapel Hill faculty* 1-12.

Buxton P. A. 1920. Insect pests of dates and the date palm in Mesopotamia and elsewhere. *Bultin of Entomological Research* 11: 287-303.

Buyckx E. *et al*. 1962 - Précis des maladies et des insectes nuisibles rencontrés sur les plantes cultivées au Congo, Rwanda et Burundi. INEAC - pp.333-409.

Cerda H., Araujo Y., Glew R.H., Paoletti M.G. 2005. Palm worm (Coleoptera, Curculionidae: *Rhynchophorus palmarum*) a traditional food: examples from Alto Orinoco, Venezuela. Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails. *Science Publishers, Inc., Enfield; USA*: 353-366.

Cerda H., Martinez R., Briceno N., Pizzoferrato L., Manzi P., TommaseoPonzetta M., Marin O., Paoletti MG. 2001. Palm worm: (*Rhynchophorus palmarum*) traditional food in Amazonas, Venezuelanutritional composition, small scale production and tourist palatability. *Ecology of Food and Nutrition* 40:13 - 32.

Cerritos R. 2009. Insects as food: an ecological, social and economical approach. http://www.cababstractsplus.org/cabreviews

Chinery M. 2005. *Insectes de France et d'Europe occidentale.* Editions Flammarion.320p.

Chen Y. et Akre R.D. 1994. Ants used as food and medicine in China. *The Food Insects Newsletter,* 7(2): 1, 8-10.

Chen X., Feng Y., Chen Z. 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research* 39. 299-303.

Choon-Fah J. B., Chin-Chin E., Pang-Hung Y. et Amartalingam R. 2008. Growth Performance of the Red-Stripe Weevil *Rhynchophorusschach*Oliv.(Insecta: Coleoptera: Curculionidae) on Meridic Diets.*American Journal of Agricultural and Biological Sciences 3 (1): 403-409.*

Choo J., Zent, E.L. et Simpson B.B. 2009. The importance of traditional ecological knowledge for palm-weevil cultivation in the Venezuelan Amazon. *Journal of Ethnobiology*, 29(1): 113–128.

Clift AD., Toffolon RB. 1981. Biology, fungal host preference and economic significance of two *Pygmephorus*mites (Acarina: Pygmephoridae) in cultivated mushrooms. *Mushroom Science 11: 245-253*.

Collavo A., Glew R.H., Huang Y.S., Chuang L.T., Bosse R. et Paoletti M.G. 2005. House cricket small-scale farming. *In* M.G. Paoletti, ed., *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. pp. 519–544. New Hampshire, Science Publishers.

Conord C., Depres L., Vallier A., Balmand S., Miquel C., Zundel S., Lemperiere G. et Heddi A. 2008. Long-Term Evolutionary Stability of Bacterial Endosymbiosis in Curculionoidea: Additional Evidence of Symbiont Replacement in the Dryophthoridae Family. *Biol. Evol. 25(5):859–868.*

Copeland, E, B. 1931. The coconut. 3d. ed. London, Macmillan. 233 p.

Corkum L. D., Ciborowski J. J H., et Poulin R. G. 1997. Effects of emergence date and maternal size on egg development and sizes of eggs and first-instar nymphs of a semelparous aquatic insect. Oecologia (Berl.) 111:69–75. CrossRef, CSA

Damiens D. Caractérisation du stock de spermatozoïdes et stratégies de reproduction chez deux hyménoptères parasitoïdes de bruches. Thèse de doctorat, Université François Rabelais de Tours.

DeFoliart G. 2003. Insects as food.*Encyclopedia of Insect.*431Ŕ436. Resh, VH etCardé, RT, Academic Press.

Dodds KA., Clancy KM., Leyva KJ., Greenberg D. et Price PW. 1996. Effects of Douglas-fir classe d'âge du feuillage sur l'ouest de choix ponte tordeuse des bourgeons de l'épinette et la performance larvaire. *Bassin des Grands Nature 56:135--141.* CSA

Douglas AE. 1998. Nutritional interactions in insect-microbial symbioses: aphids and their symbiotic bacteria Buchnera. *Annu Rev Entomol. 43:17–37.*

Dounias E. 1993. Dynamique et gestion différentielle du système de production à domaine agricole des Mvae du sud Cameroun forestier. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 632 p. multigraphiées.

Dounias E. 2000. « La diversité des agriculteurs itinérants sur brûlis ». In S. Bahuchet (ed.). *Les peuples des forêts tropicales aujourd'hui. Volume II. Une approche thématique*. Bruxelles : UE DG VIII/APFT. 65-106.

Do Thi Khanh H. 2005. *Anisopteromalus calandrae* : un modèle pour l'étude du succès reproducteur des mâles. Thèse de doctorat, université François Rabelais de Tours. 157p.

Dué EA, Zabri HCBL, Kouadio JPEN, Kouamé LP. 2009. Fatty acid composition and properties of skin and digestive fat content oils from *Rhynchophorus palmarum* L. larva. *African Journal of Biochemistry Research* **3**: 89–94.

Dufour D.L. 1987. Insects as food: a case study from the northwest Amazon. *American Anthropologist*, 89(2): 383.

Dujardin JP., Forgues G., Torrez M., Martínez E., Cordova C. et Gianella A. 1998. Morphometrics of domestic Panstrongylus rufotuberculatus in Bolivia. Annals of Tropical Medicine & Parasitology, Vol. 92, No. 2, 219-228.

Durst P.B. et Kenichi S. 2010. Edible forest insects: exploring new horizons and traditional practices. *FAO Regional Office for Asia and the Pacific* © FAO 2010

Edijala J.K., Egbogbo O. et Anigboro A.A. 2009. Proximate composition and cholesterol concentrations of *Rhynchophorus phoenicis* and *Oryctes monoceros* larvae subjected to different heat treatments. *African Journal of Biotechnology Vol. 8 (10), pp. 2346-2348*

Egert M., Wagner B., Lemke T., Brune A. et Friedrich M.W. 2003. Microbial community structure in midgut and hindgut of the humus-feeding larva of *Pachnoda ephippiata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Applied and Environmental Microbiology*, 69(11): 6659–6668.

Ekpo K. E., Onigbinde A. O. et Asia I. O. 2009. Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* 3(2), 51–57.

Ekpo K.E. 2010. Nutrient composition, functional properties and anti-nutrient content of *Rhynchophorus Pheonicis* (F) Larva. *Annals of Biological Research, 1 (1) : 178-190*

Ekpo K.E. et Onigbende A.O. 2005. Nutritional Potentials of the Larva of *Rhynchophorus phoenicis* (F). *Pakistan Journal of Nutrition 4 (5): 287-290, 2005.*

EL Ghadraoui L., Petit D., Mokhles R., Azouzi A. et Lazraq A. 2008. Situation du criquet marocain "Dociostaurus maroccanusThunb., 1815" par rapport aux différentes espèces acridiennes : morphométrie et capacités de déplacements. *Afrique Science 04(1) (2008) 125 – 137.*

El-Mergawy R.A.A. et Al-AjlanA.M. 2011. Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier):Economic Importance, Biology, Biogeography andIntegrated Pest Management.*Journal of Agricultural Science and Technology A 1 (2011) 1-23*

El-Shafie H.A.F., Faleiro J.R., Abo-El-Saad M.M. etAleid S.M. 2013. A meridic diet for laboratory rearing of Red Palm Weevil, *Rhynchophorusferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). *Academic Journal Vol. 8(39),pp. 1924-1932*.

El-Sharabasy H. M. 2010. A Survey of Mites Associated with the Red Palm Weevil, *Rhynchophorusferrugineus* (Olivier) in Egypt. *Egyptian Journal of Biological Pest Control, 20(1):67-70.*

FAO, 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security
http://www.fao.org/emergencies/resources/documents/resources-detail/en/c/164374/.consulté 02/01/2015

FAO, 2009. L'ombre portée de l'élevage. ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/a0701f/a0701f00.pdf consulté le 02/01/2015.

FAO département agriculture, UNICEF. 1994. Manuel pour la formation en alimentation-nutrition des agents de terrain en Guinée.
http://www.fao.org/docrep/003/X6958F/X6958F00.htm

Fain A. et Smiley R.L. 1989. A New Cloacarid Mite (Acari: Cloacaridae) from the Lungs of the Great Horned Owl, *Bubo virginianus,* from the U.S.A., *Int. J. Acarol.,* vol. 15, no. 2, pp. 111-115.

Faleiro J. R. 2006 - A review of the issues and management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Rhynchophoridae) in coconut and date palm during the last one hundred years. *Intl J. Trop. Insect Sci.,* 26, 135-154.

Faleiro J. R., Rangnekar P. A. et Satarkar V. R. 2003. Age and fecundity of female red palm weevils *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Rhynchophoridae) captured by pheromone traps in coconut plantations of India.*Plant Protection Laboratory, ICAR Research Complex for Goa, Ela, Old Goa, Goa 403 402, India*

Faleiro J. R. 2005 - Pheromone technology for the management of the red palm weevil *Rhynchophorusferrugineus*Olivier (Coleoptera :Rhynchophoridae) – A key pest of coconut. *Technical Bulletin n°4, ICAR Research Complex for Goa, Inde, 40 p.*

Farina L., Demey F. et Hardouin J. 1991. Production de termites pour l'aviculture villageoise au Togo. *Tropicultura*, 9(4): 181–187.

Favier J-C, Ireland-Ripert J., Feinberg M. et Gallon G. 1993. Pour l'étude des aliments d'Afrique : Un réseau de Laboratoires et Banque de Données. *Centre Informatique sur la Qualité des Aliments (CIQUAL) 16 rue Claude-Bernard, 75005 Paris*

Ferry, M. et Gomez, S. (2002). The red palm weevil in the Mediterranean area. *PALMS-LAWRENCE-*, *46*, 172-178.

Fiaboe, K.K.M., Peterson, A.T., Kairo, M.T.K. et Roda, A. L. (2012). Predicting the potential worldwide distribution of the red palm weevil Rhynchophorus ferrugineus (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) using ecological niche modeling. *Florida Entomologist*, 659-673.

Fox C. W. 1994. The influence of egg size on offspring performance in the seed beetle, *Callosobruchus maculatus*. Oikos 71:321–325. CrossRef, CSA

Fox C. W. 1993. The influence of maternal age and mating frequency on egg size and offspring performance in *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). Oecologia (Heidelb.) 96:139–146. CrossRef, CSA

Gagnon M-C. 2011. Conflit sexuel chez le patineur *Gerris gillettei*. Thèse de doctorat, université Laval, Canada. 154p.

Garine I., 2000. Se nourrir en forêt. Programme Avenir des peuples des Forêts Tropicales, Bruxelles. Vol II. www.cefe.cnrs.fr/coev/pdf/dounias/XGarine.pdf consulté le 21/02/08

Giblin R. M., Gerber K., Griffith R., 1989. Laboratory Rearing of *Rhynchophorus cruentatus* and *R. palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *The Florida Entomologist*, 72(3): 480-488.

Giblin-Davis R. M., Oehlschlager A. C., Perez A., Gries G., Gries R., Weissling T. J., Chinchilla C. M., Pena J. E., Hallett R. H., Pierce JR H. D., Gonzalez L. M. 1996. Chemical and behavioural ecology of palm weevils (Curculionidae: Rhynchophorinae).- *Florida Entomologist*, 79 (2) : 153-167.

Gilles J. 2001. Test d'efficacité de différents types de pièges dans la lutte contre les stomoxes. Introduction à l'étude de la biologie des stomoxes présents à La Réunion. Mémoire de DEA de Parasitologie. Montpellier I et II.25pp.

Gillon Y. 1976. Stratégies démographiques chez les insectes, leur processus biologiques.*Extrait du Bulletin de la Société Zoologique de France. Tome 101, no 4, 1976, p. 653.*

Gomez S. et Ferry M. 2005. El *picudo rojo (Rhynchophorus ferrugineus O.) plaga mortal de las palmeras*. Plantflor, 102 : 106-111.

Grasse P. 1976. Traité de Zoologie, Anatomie, systématique et Biologie. Dépôt légal 1er trimestre P 250 – 260.

Gwiazdowicz D.J., Gtowski J.M., Kamczyc J. etTeodorowicz E. 2013. Phoretic relationships between *Plagionotus detritus* (Coleoptera: Cerambycidae) and *Trichouropodasociata*(Acari: Mesostigmata). Entomol.Fennica 24: 59-64.

Gwiazdowicz D.J., 2000. Mites (Acari, Gamasida) associated with insects in the Bialowieza National Park. *ActaParasitologica 45: 43-47.*

Hackstein J.H. et Stumm C.K. 1994. Methane production in terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(12): 5441–5445.

Haitlinger R., 2008. Mites associated with insects in Poland. In: Gwiazdowicz, D.J. (ed), Selected problems of acarological research in forests: 113-125. WydawnictwoUniwersytetuPrzyrodniczego, Poznan. 125 pp.

Hallett R.H., Oehsclager A.C., Borden J.H. 1999. Pheromone trapping protocols for the Asian palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). International Journal of Pest management, 45: 231-237.

Hallett R.H., Gries G., Gries R., Borden J.H. 1993a. Aggregation pheromones of two Asian palm weevils, *Rhynchophorus ferrugineus* and *R. vulneratus*. *Naturwissenschaften*. 80: 328-331.

Hallett R.H., Oehlschlager A.C., Gries G., Angerillin P.D., AL Shareqi R.K., Gassouma M.S., Borden J.H. 1993b. Field testing of aggregation pheromones of two Asian palm weevils. *PORIM International Palm Oil Congress*, 20-25 Septembre 1993, Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM).

Hamidi R., Schmidt-Buesser D., Couzi P., Lherminier B., Khfif K., Renou M., Avand-Faghih A. et Rochat D. 2013. Charançon rouge du palmier, déjouer les pièges du piégeage. *Phytoma-La Défense des végétaux n°667, pp. 26-30*

Hanboonsong Y. 2010. Edible insects and associated food habits in Thailand. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono. *Forest insects as food: humansbite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential fordevelopment*, pp. 171–182. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Hance T., 1988. Etude des bases écologiques de la relation proie-prédateur dans le context de la protection des végétaux. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain.

Hardouin J. 2003. Production d'insectes à des fins économiques ou alimentaires: Min-élevage et BEDIM. *Notes fauniques de Gembloux*, 50 : 15-25.

Hardouin J. et Mahoux G.2003. *Zootechnie d'insectes - Elevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux.*

Hardouin J., Dongmo T., Ekoue SK., Loa C., Malekani M., Malukisa M.2000. Guide techniqued'élevage n° 7 sur les asticots. Bureau pour l'échange et la distribution de l'information sur le mini-élevage.

Hardouin J.1995. Minilivestock: from gathering to controlled production. *Biodiversity and Conservation* 4.220 Ŕ 232.

Heddi A, Grenier AM, Khatchadourian C, Charles H, Nardon P. 1999. Four intracellular genomes direct weevil biology: nuclear, mitochondrial, principal endosymbiont and Wolbachia. Proc Natl Acad Sci USA. 96:6814–6819.

Idolo I. 2010. Nutritional and Quality Attributes of Wheat Buns Enriched with the Larvae of *Rhynchophorus poenicis* F. *Pakistan Journal of Nutrition 9 (11): 1043-1046.*

Illgner P. et Nel E. 2000. The geography of edible insects in sub-Saharan Africa: a study of the mopane caterpillar. *Geographical Journal*, 166: 336–351.

Jacotot B., Campillo B. 2003. *Nutrition humaine*. Editions Masson. 198p.

Jann P. et Ward P. I. 1999. Maternal effects and their consequences for offspring fitness in the yellow dung fly. *Funct. Ecol* 13:51–58. CrossRef, CSA

Jia S., Zhang X., Zhang G., Yin A., Zhang S., Li F., Wang L., Zhao D., Yun Q., Tala, Wang J., Sun G., Baabdullah M., Yu X., Hu S., Al-Mssallem IS.1 et Yu J. 2013. Seasonally variable

intestinal metagenomes of the red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*) *Environmental Microbiology 15(11), 3020–3029*

Johnson DV. 2010. The contribution of edible insects to human nutrition and to forest management *Edibleforest insects, Human bites back.* 5-22

Jongema Y. 2012. List of edible insect species of the world *Wageningen, Laboratory of Entomology, Wageningen University* (available at www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/ Worldwide+species+list/).

Juakaly, M., 2007. Résilience et écologie des araignées du sol d'une forêt équatoriale de basse altitude (Réserve forestière de Masako, Kisangani, RDC). Thèse de doctorat inédite, Faculté des sciences, Unikis. 149p.

Kaakeh W. 2005. Longevity, fecundity, and fertility of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Curculionidae) on natural and artificial diets. Emir. J. Agric. Sci. 17(1):23-33.

Kalleshwaraswamy C.M. et Jagadidish P.S. 2005. Ovipositional preference of red palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus (*Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) on Different hosts. *Insect Environment* 11 (1): 37-38.

Karnataka J. 2009. Studies on the biological aspects of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.). *Agric. Sci., 22(3): 732-733*

Katayama N., Ishikawa Y., Takaoki M., Yamashita M., Nakayama S., Kiguchi K., Kok R., Wada H., Mitsuhashi J. et Space Agriculture Task Force. 2008. Entomophagy: A key to space agriculture. *Advances in Space Research*, 41: 701-705.

Katayama N., Yamashita M., Wada H., Mitsuhashi J. et Space Agriculture Task Force. 2005. Entomophagy as part of a space diet for habitation on Mars. *Journal of Space Technology and Science,* 21(2): 27-38.

Khiyami M. et Alyamani E. 2008. Aerobic and facultative anaerobic bacteria from gut of red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*). *African Journal of Biotechnology Vol. 7 (10), pp. 1432-1437*

Kontschan J., Tambo J. T. et Riolo P. 2012. *Uroobovellaphoenicicola* sp. n., a new Uropodina mite (Acari: Mesostigmata) associated with the African palm weevil (*Rhynchophorusphoenicis* Fabricius, 1801) from Cameroon. *AfricanInvertebrates* 53 (2): 593-600.

Krishnakumar R. et Maheswari P. 2004. Multiplication rate of red palm weevil *Rhynchophorusferrugineus* (Oliv) in coconut. *Insect Environment* 10 (1): 7-8.

Langlois G. et Mollet M. Comptabilité financière éditions Foucher. *Epreuve n°4 DESCF*. Dernière mise en jour le 09 août 2012.

Lavalette M. 2013. Les insectes : une nouvelle source en protéines pour l'alimentation humaine. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France. 88 p.

Legall P. 1989. The choice of food plants and specialization among trophic Acridoidea (Orthoptera). [in French] Bull. School, T. 20:245-261.

Leksawasdi P. 2010. Compendium of research on selected edible insects in northern Thailand. *Edible forest insects, Human bites back.* 183-188. http://www.fao.org/docrep/012/i1380e/i1380e00.pdf

Lhoste P., 2004. L'analyse des transformations des systèmes d'élevage dans les pays du Sud : questions et perspectives. In E. Chia, B. Dedieu, C.H. Moulin, M. Tichit (Eds.) "Transformation des pratiques techniques et flexibilité des systèmes d'élevage ». Séminaire INRA SAD TRAPEUR, Agro M., Montpellier, 15 – 16 mars 2004.

Lefèvre C, Charles H, Vallier A, Delobel B, Farrell B et Heddi A. 2004. Endosymbiont phylogenesis in the dryophthoridae weevils: evidence for bacterial replacement. *Mol Biol Evol 21(6), 965–973.*

Lokeshwari RK., Shantibala T. 2010. A review of the fascinating world of insect resources: reason for thoughts. *Psyche: A Journal of Entomology* 2010.

Lenga A., MafuteKezetah C. et Kinkela T. 2012. Conservation et étude de la valeur nutritive des larves de *Rhynchophorusphoenicis*(Curculionidae) et *Oryctesrhinoceros (*Scarabeidae), deux coléoptères d'intérêt alimentaire au Congo-Brazzaville.*Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(4): 1718-1728*

Lepesme P., Ghesquière J., Bourgogne J., Cairaschi E., Paulian R. et Villiers A. 1947. Les insectes des palmiers. *Paul Lechevalier*, Paris, 614-917.

Leraut P. 2003. *Le guide entomologique*. Delachaux et Niestlé SA. 527p.

Lepesmpe P. 1947. Les insectes de palimiers. Paris, Paul Lechevalier, 904p.

Lhoir J., Fagot J., Thieren Y. et Gilson G. 2003. Efficacité du piégeage, par les méthodes classiques, des Coléoptères saproxyliques en Région wallonne (Belgique). Notes fauniques de Gembloux, n° 50 (2003): 49-61

Lokeshwari RK., Shantibala T. 2010. A review of the fascinating world of insect resources: reason for thoughts. *Psyche: A Journal of Entomology* 2010. Hindawi Publishing Corporation.

Longo S. 2006. Ulteriori acquisizioni sulpunteruolorosso asiatico dannoso alla Palma delle Canarie in Sicilia. InformatoreFitopatologico 10: 40–44.

Lopez-Madrigal S., Balmand S., Latorre A., Heddi A., Moya A. et Gil R. 2013. How Does Tremblaya princeps Get Essential Proteins from Its Nested Partner Moranella endobia in the Mealybug *Planoccocus citri*? *Vladimir N. Uversky, University of South Florida College of Medicine, United States of America* Volume 8 | Issue 10 | e77307

Lubac S. 2006. La mouche domestique en élevage de volailles. Institut Technique de l'Aviculture, Lyon.

MacEvilly C. 2000: Bugs in the system. *Nutrition Bulletin* 25: 267–268.

McIntyre G. S. et R. H. Gooding. 2000. Effects of maternal age on larval competitiveness in house flies. Heredity 85:480–489. CrossRef, PubMed, CSA.

Malaisse F. 1997. Se nourrir en forêt claire africaine-Approche écologique et nutritionnelle. *Les presses agronomiques de Gembloux, 384 p*

Malaisse F. 2004: Ressources alimentaires non conventionnelles. TROPICULTURA, 2004, SPE, 30-36

Mariau D. 2000. Problèmes entomologiques en replantation des palmeraies et des cocoteraies. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides.* 7(2) : 203-6, Mars-Avril 2000, Dossier : Afrique, Plantation et développement.

Martín Molina M.M et Cabello Garcia T., 2005. Biologia y ecologia del curculiónido rojo de la palmera, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera : Dryophthoridae). Université d'Almeria, Département de biologie Appliquée, Espagne, ISBN : 84-689-5292-3, 240p.

Martínez Tenedor J., Gómez Vives S., Ferry M., DíazEspejo G. 2008 - Ensayos en túnel de viento para la mejora de la eficacia de las trampas de feromona de *Rhynchophorusferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae), picudorojo de la palmera. *Boletin de SanidadVegetal, Plagas*, 34, 151-161.

Martinez M. 1981. Les *Amara* du sous-genre *Zezea*de la faune de France (Col. Pterostichidae, Zabrini). L'Entomologiste, 37 (3) : 131-137.

Mate, M. 2001, Croissance, phytomasse et minéralomasse des haies des légumineuses améliorantes en cultures en allées à Kisangani. Thèse de doctorat inédite, 273p.

Mayné R. et Donis C., 1962. Hôtes entomologiques du bois II. Distribution au Congo, au Rwanda et au Burundi. Observation éthologiques. I.N.E.A.C.

Mazza G., Cini A., Cervo R. et Longo S. 2011. Just phoresy? Reduced lifespan in red palm weevils *Rhynchophorusferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) infested by the mite Centrouropodaalmerodai (Uroactiniinae: Uropodina*). Italian Journal of Zoology Volume/78 Issue: 1 Page: 101-105.*

Melo V., Garcia M., Sandoval H., Jimenez H. D., et Calvo C. (2011). Quality proteins from edible indigenous insect food of Latin America and Asia. Emirates Journal of Food and Agriculture, 23, 283–289.

Mbahin N., Raina SK., Kioko EN., Mueke JM. 2012. Biology of the wild silkmoth *Anaphe panda* (Boisduval) in the kakamega forest of Western Kenya. *International Journal of Forestry Research*. Hindawi Publishing Corporation.

Megido R C., Sablon L., Geuens M, Brostaux Y., Alabi T., Blecker C., Drugmand D, Haubruge E. et Francis F. 2014. Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies **29** (2014) 14–20*

Merville A., Venner S., Henri H., Vallier A., Menu F., Vavre F., Heddi A et Bel-Venner MC. 2013. Endosymbiont diversity among sibling weevil species competing for the same resource. *Merville et al. BMC Evolutionary Biology 2013, 13:28*. http://www.biomedcentral.com/1471-2148/13/28

Meyer-Rochow V.B. 1979. The diverse uses of insects in traditional societies. *Ethnomedicine*, 5(3/4): 287–300.

Mignon J. 2002. L'entomophagie : une question de culture ? Notes Techniques. TROPICULTURA, 2002, 20, 3: 151-155.

Mitsuhashi J. 2008: *Encyclopedia of Edible Insects in the World*. Yasaka shobo, Tokyo (in Japanese).

Mitsuhashi J., 2010. The future use of insects as human food. In P. B. Durst, D. V. Johnson, R. N. Leslie, & K. Shono (Eds.), Forest insects as food: Humans bite back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, Chiang Mai, Thailand, 19–21 February, 2008 (pp. 115–122).

Montllor C, Maxmen A, Purcell A. 2002. Facultative bacterial endosymbionts benefit pea aphid Acyrthosiphon pisum under heat stress. Ecol Entomol. 27:180–195.

Morin J.P., Lucchini F., De Araujo J.C.A., Ferreira J.M.S., Fraga L.S. 1986. Le contrôle de Rhynchophoruspalmarum par piégeage à l'aide de morceaux de palmier. *Oléagineux*, 41 (2) : 57-62.

Morin J.P., Zagatti P., Rochat D., Descoins D., Mariau D. 1997. Les phéromones d'insectes ravageurs des palmiers : recherches en cours et perspectives = Las feromonas de insectosplagas de las palmas. *Plantations, Recherche, Développement*, 4 (2) : 91-103.

Moura JIL., Toma R., Sgrillo RB. et Delabie JHC. 2006. Natural efficiency of parasitism by Billaea rhynchophorae (Blanchard) (Diptera : tachinidae) for the control of *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: curculionidae). *Neotropical Entomology Volume: 35 Issue:2 Pages:273-274.*

Mousseau T. A. et H. Dingle. 1991. Maternal effects in insect life histories. *Annu. Rev. Entomol 36:511–534. CrossRef*

Mousseau T. A. et C. W. Fox. 1998a. The adaptive significance of maternal effects. *Trends Ecol. Evol 13:403–407. CrossRef, CSA*

Mousseau T. A. et C. W. Fox. 1998b. Maternal Effects as Adaptations. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.

Nakagaki, B.J. et De Foliart, G.R. 1991. Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency

Nardon P., Lefevre C., Delobel B., Charles H., et Heddi A. 2002. Occurrence of endosymbiosis in Dryophthoridae weevils: cytological insights into bacterial symbiotic structures. *Symbiosis*, *33*(3), 227-241.

Nonaka K. 2009: Feasting on insects. *Entomological Research* 39 (2009) 304–312

Nonaka K. 2010. Cultural and commercial roles of edible wasps in Japan.*Edibleforestinsects, Humanbitesback.* 123-130.

Offenberg, J. 2011. *Oecophylla smaragdina* food conversion efficiency: prospects for ant farming. *Journal of Applied Entomology*, 135(8): 575–581.

Okraonye C.C. et Ikewuchi J.C. 2009. Nutritional Potential of *Oryctes rhinoceros* larva. *Pakistan Journal of Nutrition 8 (1): 35-38.*

Oladipo I.O. 1996. Palm grub culture and domestication. Federal Polytechnic Agricultural Engineering Departement P.MB. 5351 ADO-EKITI, Ondo State, *Nigeria BEDIM Bulletin* 5(1) : 10-11.

Oliver KM, Russell JA, Moran NA, Hunter MS. 2003. Facultative bacterial symbionts in aphids confer resistance to parasitic wasps. Proc Natl Acad Sci USA. 100:1803– 1807.

Omotoso O. T. et Adedire C. O. 2007. Nutrient composition, mineral content and the solubility of the proteins of palm weevil, *Rhynchophorus phoenicis* f.(Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Zhejiang University- Science B* 8(5): 318-322.

Oonincx D.G.A.B., van Itterbeeck J., Heetkamp M. J. W., van den Brand H., van Loon, J. et van Huis A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *Plos One*, 5(12): e14445.

Onore G. 1997. A brief note on edible insects in Ecuador. Ecology of Food and Nutrition (36):277–85.

Paoletti M.G. 2005. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*. New Hampshire, USA, Science Publishers.

Parsons B. 2005. Rentabilité comparée des fermes laitières biologiques du Nord-Est. *Présentation lors de la conférence « À la recherche de stratégies de soutien à l'agriculture durable au Canada »*. Université du vermont, Canada.

Paul W.R.C. 1929. The control of red weevil (*Rhynchophorus ferrugineus* F.) in coconut palms. *Trop. Agriculturist*, 73: 131-135.

Pernek M., Wirth S., Blomquist S.R., Avtzis D.N. et Moser J.C. 2012. New associations of phoretic mites on *Pityokteinescurvidens* (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae). *Central European Journal of Biology 7: 63-68.*

Peter C. 1989. A note on the mites associated with the red palm weevil, *Rhynchophorusferrugineus* (Oliv.) in Tamil. *Nadu, J. InsectSci., 2, 160-161*

Pimentel D. et Pimentel M. 2003. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *Am. J. Clin. Nutr.* 78: 660S–663S.

Rahalkar G.W., Tamhankar A.J. et Shantaramk K. 1978: An artificial diet for rearing red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. *Journal of Plantation Crops* 6 (2), 61–64.

Ramandey E. et van Mastrigt H. 2010. Edible insects in Papua, Indonesia: from delicious snack to basic need. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. pp. 105–114. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Ramos Elorduy J., Pino J.M., Prado E.E., Perez M.A., Otero J.L. et de Guevara O.L. 1997. Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10: 142–157.

Ramos-Elorduy J., Moreno JMP., Martínez Camacho VH. 2009. Edible aquatic Coleoptera of the worldwith an emphasis on Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 5.13p. BioMed Central Ltd.

Ramos Elorduy, J., Pino, J.M., Vázquez, A.I., Landero, I., Oliva-Rivera, H. et Martinez, V.H.C. 2011. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine,* 7(2): 1–22.

Ramos-Elorduy J. 2006. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them.*Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*6.10p. BioMed Central Ltd.

Rananavare H. D., Shantaram K., Harwalkar M. R., Rahalkar G. W. 1975. Method for the laboratory rearing of red palm weevil, Rhynchophorus ferrugineus Oliv. Journal of Plantation Crops *1975 Vol. 3 No. 2 pp. 65-67*

Rochat D, Chapin E, Ferry M, Avand-Faghih A, Brun L. 2006. Le charançon rouge du palmier dans le bassin méditerranéen. *Phytoma*., 595: 20-24.

Rochat D. 1991. Biologie et élevage d'un coléoptère Curculionidé : Le Charançon du palmier, *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera, Curculionidae) *Première partie*. *IMAGO* 44 (3). *Ed*.O.P.I.E.

Rochat D., Akamou F., Sangaré A., Mariau D., Mori K. 1995. Piégeage de *Rhynchophorusphoenicis* (Coleoptera : Curculionidae) à l'aide de stéréo-isomères de la phéromone d'agrégation = Field trapping of *Rhynchophorus phoenicis* with stereoisomers of the synthetic aggregation pheromone. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Série 3. Sciences de la Vie*, 318 : 183-190

Rochat D., Gonzalez V. A., Mariau D., Villanueva G. A., Zagatti P. 1991 - Evidence for maleproducedaggregation pheromone in American Palm Weevil, *Rhynchophoruspalmarum*(L.)(Coleoptera: Curculionidae). *J. Chem. Ecol.*, 17, 1221-1230.

Rochat D., Descoins C., Malosse C., Nagnan P., Zagatti P. et Akamou F. 1993. Ecologie chimique du charançon des palmiers, *Rhynchophorus* spp. (Coleoptera) = Ecologia quimica de los picudos de las palmas, *Rhynchophorus* spp. (Coleoptera) Chemical ecology of palm weevils *Rhynchophorus* spp. (Coleoptera). *Oléagineux.* 48(5): 225- 236.

Rochat D et Avand-Faghih A. 2000. Trapping of red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus* in Iran with selective attractants. In : KLEEBERG H., ZEBITZ C.P.W. (Ed.), *Practice oriented results on use and production of neem-ingredients and pheromones*, 219-224. Trifolio- M GmbH, Sonnenstr. 22, D-35633 Lahnau. Allemagne.

Rochat D. et Pierre C. 1991. Ecologie chimique du charançon des palmiers, Rhynchophorus palmarum(L) (Coleoptera : Curculionidae) = Chemical ecology of the America palm weevil, Rhynchophorus (L.) (Coleoptera : Curculionidae). Travaux Universitaire-Thèse nouveau doctorat.

Roff D. A. 1992. The Evolution of Life Histories: Theory and Analysis. Chapman and Hall, New York.

Rossiter M. C. 1991. Environmentally-based maternal effects: a hidden force in insect population dynamics? *Oecologia 7:288–294*.

Rossiter M. C., Coxfoster D. L., et Briggs M. A. 1993. Initiation of maternal effects in Lymantria dispar--genetic and ecological components of egg provisioning. *J. Evol. Biol 6:577–589.*

Rui-TingJu.Feng, Wang.Fang-Hao, Wan Bo. Li. 2011. Effect of host plants on development and reproductionof Rhynchophorus ferrugineus (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae). *J Pest Sci (2011) 84:33–39*

Rumpold BA. et Schlüter OK. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food andfeed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 17.1-11.

Sahin I., Porcelli P. et Al-Jboory I. 2011. Egg laying and egg laying behavior of Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 1790 (Coleoptera: Curculionidae). *Agriculture and Biology Journal of North America*.

Shahina F., Salma J., Mehreen G., Bhatti M.I. et Tabassum K.A. 2009. Rearing of *Rhynchophorus ferrugineus* in laboratory and field conditions for carrying out various efficacy studies using epns. *Pak. J. Nematol*., 27 (2): 219 – 228, 2009

Salama H.S., Zaki F.N. et Abdel-Razek A.S. 2009. Ecological and biological studies on the red palm weevil Rhynchophorus ferrugineus (Olivier). *Archives of Phytopathology and Plant Protection 42, 392–399.*

Salama H.S. et Abdel-Razek. 2002. Developpement of the Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), (Coleoptera, Curculionidae) on naturel and synthetic diets.. Pest Science 75, 137-139.

Salmane I. et Telnov D. 2009. Mesostigmata Mites (Acari : Parasitiformes) Associated withBeetles (Insecta : Coleoptera) in Latvia. *LatvijasEntomolgs, 47 : 58-70.*

Sanchez P., Hernandez J.V., Jaffe K., Cerda H. 1993. Bioecologia del picudo del cocotero *Rhynchophorus palmarum.* L. *Bole/ín de Entomologia Venezolano,* 8: 93-97.

Schabel HG. 2010. Forest insects as food: a global review. *Edible forest insects, Human bites back.* 37-64. http://www.fao.org/docrep/012/i1380e/i1380e00.pdf

Sharif M. et Wajih I. 1983. Date palm pests and diseases in Pakistan. *Proceeding of the first symposium on the date palm in Saudi Arabia*. 440-450.

Schlienger JL. 2011. *Nutrition clinique pratique.* Editions Elsevier Masson. 317 p.

Sirimungkararat S., Saksirirat W., Nopparat T., Natongkham A. 2010. Edible products from eri and mulberry silkworms in Thailand. *Edible forest insects, Human bites back.* 189-200. http://www.fao.org/docrep/012/i1380e/i1380e00.pdf

Smil V. 2002. Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30: 305–311.

Srivastava SK., Babu N., Pandey H. 2009. Traditional insect bioprospecting- As human food and medicine. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 8. 485 Ŕ 494.

Tammaru T. 1998. Determination of adult size in a folivorous moth: constraints at instar level? Ecol. *Entomol 23:80–89. CrossRef, CSA*

Thies E. 1995. Principaux ligneux (agro-) forestier de la Ginée-Bissau. Zone de transition : Guinée-Bissau, Guinée, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Benin, Nigeria, Caméroun. *Deutche Gesellschaft fur Technische Zusammenabeir* (GTZ), Schriftenreihe der GTZ. 541p.

Tanyi Tambe J., Riolo P., Okolle JN., Isidoro N, Fanciulli PP., Dallai R. 2013. Sexual size differences and colour polymorphism of *Rhynchophorus phoenicis* in the Southwest region of Cameroon. *Bulletin of Insectology **66** (1): 153-159*

Tollens E. 2003. L'état actuel de la sécurité alimentaire en R.D.Congo : Diagnostic et perspectives. www.agr.kuleuven.ac.be/aee/clo/wp/tollens2003a.pdf.

Tsuchida T., Koga R. et Fukatsu T. 2004. Host plant specialization governed by facultative symbiont. *Science* 303**,** 1989–1989.

van Huis A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security.*Annual review of entomology*, *58*, 563-583.

van Huis A. 2003. Insects as Food in Sub-Saharan Africa. *Insect Sci. Applic. Vol. 23, No. 3, pp. 163–185*

van der ZIJP A.J. 1999. Animal food production: the perspective of human consumption, production, trade and disease control. *Livestock Production Science 59 : 199–206*

van Itterbeeck, J. et van Huis, A. 2012. Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8(3): 1–19.

Viwatpanish K., Yhoung-aree J. 2005. Edible insects in the Laos PDR, Myanmar, Thailand, and Vietnam.*Ecological Implications of Minilivestock.*Science Publishers.648 p.

Walid Kaakeh. 2005. Longevity, fecundity, and fertility of the red palm weevil, *Rynchophorusferrugineus*Olivier (Coleoptera: Curculionidae) on natural and artificial diets. *Emir. J. Agric. Sci. 2005. 17 (1): 23-33*

Wang F., Ju R.T., Li Y.Z., XuY Du Y.Z et Zhou J.M. 2009. Lab observation for biological characteristics and morphplogy of Rhynchophorus ferrugineus. *Chinese Bull Entomol 46:556–560*

Wang C., Poweil J.E. et O'connr B. M. 2002. Mites and nematodes associated with tree subterranean termite species (Isoptera: Rhinotermitidea). Florida Entomologist, 85(3): 499-506.

Wang D., Wei Zhai S., Xi Zhang C., Yu Bai Y., Heng An S., Nan Xu Y. 2005. Evaluation on nutritionalvalue of field crickets as a poultry feedstuff. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 18.667-670.

Wattanapongsiri A. 1966. A revision of the genera *Rhynchophorus* (Coleoptera: Curculionidae). *Department of Agriculture Science Bulletin*.1, 328 pp.

Weeks P.J.D., Gauld I.D, Gaston K.J. et O'Neill M.A. 1997. Automating the identification of insects: a new solution to an old problem. *Bull. entomol. Res.*, **87**: 203-211.

Weissling T. J. et Giblin-Davis R. M. 1995. Oligidic Diets for Culture of Rhynchophorus cruentatus (Coléoptera: Curculionidae). *The Florida Entomologist*, 78(2): 225-234.

Weissling T.J. et Giblin-Davis R. M. 1995. Oligidic Diets for Culture of *Rhynchophorus cruentatus* (Coléoptera: Curculionidae). *The Florida Entomologist*, 78(2): 225-234.

Wilson I. B. 1963. A new factor associated with the implantation of the mouse egg. /. Reprod. Fert. 5, 281-282.

Wišniewski J. et Hirschmann W. 1993. Gangsystematik der Parasitiformes. Teil 548.Katalog der Ganggattungen, Untergattungen, Gruppen und Arten der Uropodiden der Erde. *Acarologie.Schriftenreihe fur VergleichendeMilbenkunde 40, 1-220.*

Yen, A.L., Hanboonsong, Y. et van Huis, A. 2013. The role of edible insects in human recreation and tourism. *In* R.H. Lemelin, ed. *The management of insects in recreation and tourism*, pp. 169–185. Cambrdige, Cambridge University Press.

Yen A.L. 2010. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. pp. 65–84. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Yen A.L. 2009. Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion. *Journal of Insect Conservation*, 13: 667–670

Yhoung-aree J. 2010. Edible insects in Thailand: nutritional values and health concerns. *In* P.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, pp. 201–216.

Zagatti P., Rochat D., Berthier A. et Nadarajan L. 1993 : Elevage permanent du charançon des palmiers *Rhynchophorus palmarum* (L.) au laboratoire. *Olégineux*, 48(5)**.**

Zaremski A., Fouget D., Louppe D. 2009. Les termites dans le monde. Cemagerf-Cirad-Ifremer-Inra : Paris-France.

Ziegler F. et Déchelotte P. 2009. L'évaluation nutritionnelle chez le sujet âgé en 2008. *Nutrition clinique et métabolisme 23 (2009) 124–128*