

COMMUNAUTE FRANCAISE DE BELGIQUE
ACADEMIE UNIVERSITAIRE WALLONIE-EUROPE
UNIVERSITE DE LIEGE GEMBLoux AGRO-BIOTECH.

**ETAT DES LIEUX DE LA FILIERE APICOLE EN REPUBLIQUE
DEMOCRATIQUE DU CONGO ET EVALUATION DES CAPACITES
POLLINISATRICES DES ABEILLES DOMESTIQUES (*Apis mellifera adansonii*,
L.) SUR LA CULTURE DE MELON AFRICAINE (*Cucumeropsis manni*, Naudin) A
KISANGANI.**

Par Boniface Posho Ndola

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en Sciences
Agronomiques et Ingénierie Biologique

Promoteur : Pr. Eric Haubruge

Co-promoteur: Dr. Bach Kim Nguyen

Membres du jury : Pr. Frédéric Francis (Président de jury), Pr. Eric Haubruge (Promoteur)
Dr. Bach Kim Nguyen (Co-promoteur), Pr. Grégory Mahy (Membre), Pr. Guy Mergeai
(Membre), Pr. Paul Malumba Kamba (Membre) et Dr. LazareKOMENAN ASSIE(Membre)

Année académique 2014-2015

© *Copyright*. Aux termes de la loi belge du mars 1886, sur le droit d'auteur, seul l'auteur a le droit de reproduire cet ouvrage ou d'en autoriser la reproduction de quelque manière et sous quelque forme que se soit. Toute photocopie ou reproduction sous autre forme est donc faite en violation de la loi.

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier la Coopération Technique Belge, qui m'a accordé un soutien financier dont la bourse m'a permis de réaliser cette thèse à l'Université de Liège.

Au cours de ces quelques années passées à l'Université de Liège, beaucoup de personnes m'ont soutenu et ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de cette thèse.

Le professeur Eric Haubruge, Vice-recteur de l'Université de Liège Gembloux Agro-BioTech et le Promoteur de cette thèse. Son accord en 2008 à assurer la supervision de cette thèse et son investissement m'ont permis d'aller au bout de mon projet.

Le Docteur Bach Kim Nguyen, Conseil de Vice-recteur de l'Université de Liège, Gembloux Agro-BioTech et Co-Promoteur de ce travail, est la personne qui a contribué le plus non seulement à l'élaboration du protocole de départ, mais il est aussi la personne avec qui j'ai échangé énormément dans le cadre de l'élaboration du protocole de ce travail. Sa rigueur constituait plutôt pour moi des encouragements très chaleureux et surtout un moyen de perfectionnement : au nom de ma famille et de mon Institution, je dis « merci infiniment »

Le professeur Frédéric Francis, Chef de Services d'Entomologie fonctionnelle et évolutive à l'Université de Liège-Gembloux Agro-BioTech, est la personne qui a facilité mon intégration à l'Unité d'Entomologie. Ce travail lui doit donc beaucoup parce qu'il m'a permis de retrouver l'espoir qui s'envolait avec la promotion de mon promoteur et surtout son investissement ayant été constant jusqu'au bout de l'aventure.

Le Professeur Bernard Wathelet, Chef de services de Chimie organique à l'Université de Liège-Gembloux Agro-BioTech pour son aide et sa disponibilité pour remédier aux problèmes d'analyses physico-chimiques de mes échantillons de miels et de pollens.

L'analyse et d'interprétation des résultats ont été réalisées avec les conseils et l'aide de Docteur Yves Brostaux, Chef de travaux à l'Unité des Statistiques et Informatiques de l'Université de Liège-Gembloux Agro-BioTech et de Docteur Guillaume Le Goff, Chercheur à l'Unité de la biodiversité de l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve. Qu'ils en soient remerciés de leurs patiences et de leurs conseils dans le choix judicieux des méthodes statistiques.

Je remercie tous les membres de mon jury pour avoir accepté de consacrer leur temps et leur énergie pour améliorer le présent manuscrit.

Au cours de mes recherches bibliographiques, les aides ont été nombreuses. Je tiens à témoigner ma reconnaissance au Professeur Paul Malumba de l'Université de Kinshasa et au Docteur Marie-Lucie Susini, chercheur à l'Institut Royal Belge de Sciences Naturelles, qui m'ont guidé et transmis plusieurs sources d'informations sur les différentes thématiques de mes recherches.

A tous les passionnés d'abeilles, avec qui j'ai partagé lectures et discussions lors de nos réunions de cellule de recherche.

Durant mes années de recherches, j'ai bénéficié des multiples soutiens, services et encouragements de la part des amis, collègues et compagnons. A tous je dis : « merci infiniment »

Le Couple Jean – Pierre Voiturier, le couple Modeste Libande et le couple Robert Yawesa m'ont beaucoup soutenu financièrement après la fin de ma bourse.

Le Docteur Alabi pour les encouragements et surtout les jobs qui m'offrait et qui m'ont permis de financer une grande partie de mes études après la rupture de ma bourse.

Enfin, je tiens à remercier ma famille qui m'a soutenu et motivé tout au long de ce périple. Ma femme Kombozi Julienne et mes enfants Stella, Souzy, Medard et Manasset, pour le soutien sans faille et surtout la fermeté inébranlable dont ont fait preuve durant deux ans de notre éloignement.

Je tiens à témoigner ma gratitude à tous ceux qui ont manifesté un intérêt pour mon travail dont je n'ai pas cité les noms. A tous, je dis : « merci infiniment »

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1. 1: Vue de face et du dessus des trois castes avec, de gauche à droite, la reine, l'ouvrière et le mâle</i>	<i>8</i>
<i>Figure 1. 2: Vue du corps de l'ouvrière montrant les trois régions principales.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 1. 3: Anatomie interne de l'abeille.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 1. 4: Cycle de vie de trois castes d'A. mellifera, L. Source : (Alleaume, 2012).....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 1. 5: Danse en rond (A) et danse frétillante (B); Source : (Pesson & Louveaux, 1985).....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 1. 6: Zone de la distribution de la culture de C. manii (Naudin)</i>	<i>19</i>
<i>Figure 1. 7: Portion de tige feuillée de C. manii (Naudin) portant des baies.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 1. 8: pollinisation chez les plantes ; Source : (Pesson & Louveaux, 1984 ; Alleaume, 2012)..</i>	<i>28</i>
<i>Figure 1. 9: Disposition de ruches dans un essai de pollinisation entomophile dirigée (Source : Pesson & Louveaux, 1984).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 1. 10: Pollinisation dirigée des abeilles domestiques (A. mellifera adansonii, L.) sur la culture de melon africain à Kisangani.</i>	<i>34</i>
<i>Figure 2.1: Organization of beekeepers.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 3.1: Distribution of values contains essential amino acids in pollen (%) on the sites.</i>	<i>65</i>
<i>Figure 3.2: Distribution of values of six physicochemical parameters of honeys based on the sites. ...</i>	<i>67</i>
<i>Figure 4.1: Map of Kisangani and the location of the experimental site symbolized by , source: Nshimba, 2008.....</i>	<i>74</i>
<i>Figure4.2: Schema of the experimental design.</i>	<i>76</i>

LISTE DE TABLEAUX

<i>Table 1. 1: valeurs moyennes de huit caractéristiques agronomiques de C. manni (Naudin) (Zoro Bi, 2003).....</i>	<i>25</i>
<i>Table 2.1: Results on potential beekeeping and beekeeping infrastructure in DRC.....</i>	<i>46</i>
<i>Table 2.2: Results on beekeeping techniques in DRC.....</i>	<i>47</i>
<i>Table 2.3-A: List of wild honey plants.....</i>	<i>49</i>
<i>Table 2.4: Different constraints of beekeeping in DRC</i>	<i>50</i>
<i>Table 3.1: Results of analysis of protein content (in dry basis) in samples of Congolese beebread.....</i>	<i>63</i>
<i>Table 3.2: Composition and concentrations of amino acids in beebreads.....</i>	<i>64</i>
<i>Table 3.3: Comparison of concentrations of essential aminoacids obtained after hydrolysis and the recommended dosage to meet optimal development of bees in Europe (De Groot, 1953).....</i>	<i>64</i>
<i>Table 3.4 : Mean values of physicochemical parameters of honey samples from the DRC.....</i>	<i>67</i>
<i>Table 4.1: Impact of honeybee pollination on the yield and seed size of C. manniNaudin.....</i>	<i>78</i>
<i>Table 4.2: Impact of distance to the apiary on the yield and seed size of C. manniNaudin.....</i>	<i>79</i>
<i>Table 4.3: Influence of flight orientation on the yield and seed size of C. manniNaudin</i>	<i>80</i>

TABLE DES MATIERES.

REMERCIEMENT	i
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DE TABLEAUX	iv
TABLE DES MATIERES.....	v
RÉSUMÉ.....	vii
SUMMARY	ix
0. INTRODUCTION GENERALE.....	1
0.1. Problématique.....	1
0.2. Hypothèses de travail	4
0.3. Objectifs.....	4
0.4. Intérêts de l'étude	4
0.5. Structure du travail	5
CHAPITRE 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
1.1. Abeille domestique (<i>A. mellifera</i> , L.).....	6
1.1.1. Systématique	6
1.1.2. Organisation sociale et castes.....	7
1.1.3. Anatomie d'abeille domestique	8
1.1.4. Développement	13
1.1.5. Besoins nutritionnels	14
1.1.6. Activités de collecte des ressources alimentaires.....	15
1.1.7. Recrutement.....	16
1.1.8. Fonctions des abeilles domestiques.....	17
1.2. <i>Cucumeropsis mannii</i> (2n = 22).....	18
1.2.1. Introduction	18
1.2.2. Classification et aire de dispersion	19
1.2.3. Description botanique	19
1.2.4. Biologie florale.....	22
1.2.5. Culture.....	23
1.2.6. Généralités sur les maladies et les ravageurs de melons africains.....	25
1.2.7. Entomofaune associée au <i>C. mannii</i> (Naudin).	26
1.2.8. Interaction abeille – Cucurbitacées.	27
1.3. Pollinisation entomophile.....	27
1.3.1. Contexte général.....	27
1.3.2. Pollinisation entomophile proprement dite	29
1.3.3. Adaptation des plantes entomophiles	35
1.3.4. Attractivité aux pollinisateurs	35
1.3.5. Critères développés par les pollinisateurs pour repérer les plantes pollinisées.	36
1.3.6. Les théories de la distribution spatiale des pollinisateurs dans la culture entomophile.....	37
CHAPITRE 2: ETUDE EXPLORATOIRE DE L' APICULTURE EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO	39
2.1. Présentation d'étude.....	39
2.2. Exploratory study of beekeeping in the Democratic Republic of Congo.....	40
2.2.1. Introduction	41

2.2.2. <i>Materials and methods</i>	42
2.2.3. <i>Results and discussion</i>	44
2.2.4. <i>Conclusions</i>	51
2.2.5. <i>Acknowledgments</i>	52
CHAPITRE TROIS : EVALUATION DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE DES ABEILLES DOMESTIQUES (<i>Apis mellifera adansonii</i> , L. 1758 : Hymenoptera, Apidae) DANS LES TROIS SITES APICOLES DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO	53
3.1. <i>Présentation d'étude</i>	53
3.2. <i>Assessment of nutritional resources quality from honeybees (<i>Apis mellifera adansonii</i>, L. 1758: Hymenoptera, Apidae) in three beekeeping sites of the Democratic Republic of Congo</i>	54
3.2.1. <i>Introduction</i>	56
3.2.2. <i>Materials and methods</i>	57
3.2.3. <i>Results and discussion</i>	62
3.2.4. <i>Conclusion</i>	68
3.2.5. <i>Acknowledgments</i>	69
CHAPITRE QUATRE : EFFET DE LA POLLINISATION DES ABEILLES INTRODUITES (<i>Apis mellifera adansonii</i> , L. 1758 (Apidae: Hymenoptera) SUR LE RENDEMENT DE <i>Cucumeropsis mannii</i> A KISANGANI, REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO	70
4.1. <i>Présentation d'étude</i>	70
4.2. <i>Effects of <i>Apis mellifera adansonii</i>, L. 1758 (Apidae: Hymenoptera) pollination on yields of <i>Cucumeropsis mannii</i> in Kisangani, Democratic Republic of the Congo</i>	71
4.2.1. <i>Introduction</i>	72
4.2.2. <i>Materials and methods</i>	73
4.2.3. <i>Results</i>	77
4.2.4. <i>Discussion</i>	80
4.2.5. <i>Conclusions</i>	81
4.2.6. <i>Acknowledgments</i>	82
DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	85
BIBLIOGRAPHIES	x

RÉSUMÉ

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la recherche d'une meilleure compréhension de la filière apicole en RDC, de l'influence de l'environnement sur la qualité de pains d'abeille et de miel pour la survie d'*Apis mellifera adansonii*, L. 1758 en RDC et de l'impact de la pollinisation des abeilles introduites (*A. mellifera adansonii*, L. 1758) sur la production de *Cucumeropsis mannii*(Naudin) à Kisangani. Trois approches ont été adoptées pour faire l'état de lieu de la filière apicole en RDC, dont (1) la distribution des questionnaires structurés aux apiculteurs, (2) des visites de ruchers et (3) des recherches documentaires. Dans le cadre de l'évaluation de la qualité de miels et pains d'abeilles, les échantillons de miels et de pollens ont été collectés dans trois sites écologiquement différents de la RDC. Les échantillons de miels ont été évalués suivant les critères et les protocoles établis par Codex Alimentarius; tandis que les pollens ont été évalués suivant les critères de teneur en protéines et en acides aminés essentiels. Les teneurs en protéines et en acides aminés essentiels de pains d'abeilles collectés ont été déterminées respectivement par la méthode Kjeldahl et par les hydrolyses acides et basiques. Les essais comparatifs de la pollinisation des abeilles domestiques ont été également conduits dans deux sites expérimentaux à Kisangani. Sur chaque site, deux champs d'un hectare séparés de 3 kilomètres ont été installés. Deux colonies d'abeilles ont été installées au milieu du champ expérimental de chaque site pendant la floraison (quand 10 % des plantes ont fleuri). Le second champ expérimental, sans colonies d'abeilles, a été considéré comme témoin. Les résultats obtenus après l'étude exploratoire sur l'apiculture en RDC montrent que l'apiculture congolaise reste encore semi traditionnelle; 54 % des apiculteurs congolais travaillent en coopérative; 100% du cheptel apicole congolais est constitué d'*A. mellifera adansonii*, L. ; 96% des apiculteurs utilisent les ruches Kenyanes; le nombre de ruches utilisé par un apiculteur congolais varie entre 2 et 120; la production d'une colonie par récolte oscille entre 1 et 25 litres de miel; la production annuelle par apiculteur est évaluée entre 10 et 900 litres de miel, le nombre de récoltes de miel effectué par an varie de 1 à 2. Cette étude a révélé que la teneur moyenne en protéines de pollens recueillies en RDC était $14,11 \pm 5,27\%$. Cette teneur en protéines était faible comparativement aux besoins alimentaires des abeilles en Europe. Tous les échantillons de pollen étaient constitués de dix acides aminés essentiels et leurs concentrations étaient dans la fourchette optimale des exigences alimentaires des abeilles en Europe. Les analyses des échantillons de miels ont révélé que la teneur en sucres réducteurs des échantillons de miel recueillies variait de 63,40 à 73,80 %, la teneur en saccharose était comprise entre 0,30 et 1,90 %, la teneur en eau oscillait

entre 16,80 et 22,00 %, le pH des échantillons de miel analysés variait de 4,22 à 4,53, la moyenne de la conductivité électrique de miels récoltés a été ($47,74 \pm 13,93$) S/cm et la concentration de HMF varié de 1,75 à 31,38 mg / kg de HMF miel. Les miels et les pollens collectés dans la forêt tropicale de Kisangani étaient moyennement plus nutritifs pour les abeilles que ceux de la savane de Kavwaya. Après les observations des essais comparatifs de pollinisation, il a révélé que la pollinisation des abeilles introduites a amélioré significativement le nombre de graines par fruit de 83,78 %, tandis que le nombre de fruits par plante et le poids de graines par fruit ont été améliorés respectivement de 422,89 % et 185,61 % par rapport au témoin. La taille de graine a été positivement influencée par la présence de colonie d'abeille dans le champ de *C. manni*(Naudin). Dans cette étude, la distance par rapport aux ruches et l'orientation de vol des ouvrières n'ont pas influencé significativement le rendement et la taille des graines de *C. manni*(Naudin).

Mots-clés : *Apis mellifera adansonii*, L., pollinisation, *Cucumeropsis manni*(Naudin), R.D.C, apiculture.

SUMMARY

This research aimed at the better understanding of beekeeping in the DRC, the influence of the environment on the quality of bee bread and honey for the survival of *A. mellifera adansonii*, L. 1758 in the DRC and the effects of pollination of introduced bee (*A. mellifera adansonii*, L. 1758) on the yield of *C. mannii* (Naudin) in Kisangani.

Three approaches were used to investigate the beekeeping in the DRC: (1) the distribution of structured questionnaires to beekeepers, (2) visits to apiaries and (3) literature searches

To assess the quality of honey and bee bread, the honey and pollen samples were collected from three ecologically different DRC sites. The honey samples were evaluated according to the criteria and protocols established by the Codex Alimentarius while pollen were evaluated according to the protein content and to the essential amino acids content. The contents of protein and essential amino acids were determined respectively by the Kjeldahl method and the acid and alkaline hydrolysis.

Comparative tests of pollination of honeybees were also conducted in two experimental sites in Kisangani. At each site, two areas of one hectare, separate by 3 kilometers, were installed. Two colonies of bees were installed in the middle of the first experimental field of each site at beginning flowering (when 10 % of the plants have flowered). The second experimental field without bee colonies was considered as a control.

The results obtained after the exploratory study on beekeeping in the DRC have shown that the Congolese beekeeping remains semi traditional beekeeping; 54 % of Congolese beekeepers work in cooperatives; 100 % of the honeybee population of Congolese is made up *A. mellifera adansonii*, L.; 96 % of beekeepers use Kenyan hives; the number of hives by Congolese beekeeper varies from 2 to 120. The production per colony per harvest varies from 1 to 25 liters of honey while the annual production per beekeeper is being between 10 and 900 liters of honey. The number of harvests per year performed honey varies from 1 to 2. Three approaches were used to investigate the beekeeping in the DRC: (1) the distribution of structured questionnaires to beekeepers, (2) visits to apiaries and (3) literature searches

To assess the quality of honey and bee bread, the honey and pollen samples were collected from three ecologically different DRC sites. The honey samples were evaluated according to the criteria and protocols established by the Codex Alimentarius while pollen were evaluated according to the protein content and to the essential amino acids content. The contents of

protein and essential amino acids were determined respectively by the Kjeldahl method and the acid and alkaline hydrolysis.

Comparative tests of pollination of honeybees were also conducted in two experimental sites in Kisangani. At each site, two areas of one hectare, separate by 3 kilometers, were installed. Two colonies of bees were installed in the middle of the first experimental field of each site at beginning flowering (when 10 % of the plants have flowered). The second experimental field without bee colonies was considered as a control.

The results obtained after the exploratory study on beekeeping in the DRC have shown that the Congolese beekeeping remains semi traditional beekeeping; 54 % of Congolese beekeepers work in cooperatives; 100 % of the honeybee population of Congolese is made up *A. mellifera adansonii*, L.; 96 % of beekeepers use Kenyan hives; the number of hives by Congolese beekeeper varies from 2 to 120. The production per colony per harvest varies from 1 to 25 liters of honey while the annual production per beekeeper is being between 10 and 900 liters of honey. The number of harvests per year performed honey varies from 1 to 2. Three approaches were used to investigate the beekeeping in the DRC: (1) the distribution of structured questionnaires to beekeepers, (2) visits to apiaries and (3) literature searches

To assess the quality of honey and bee bread, the honey and pollen samples were collected from three ecologically different DRC sites. The honey samples were evaluated according to the criteria and protocols established by the Codex Alimentarius while pollen were evaluated according to the protein content and to the essential amino acids content. The contents of protein and essential amino acids were determined respectively by the Kjeldahl method and the acid and alkaline hydrolysis.

Comparative tests of pollination of honeybees were also conducted in two experimental sites in Kisangani. At each site, two areas of one hectare, separate by 3 kilometers, were installed. Two colonies of bees were installed in the middle of the first experimental field of each site at beginning flowering (when 10 % of the plants have flowered). The second experimental field without bee colonies was considered as a control.

The results obtained after the exploratory study on beekeeping in the DRC have shown that the Congolese beekeeping remains semi traditional beekeeping; 54 % of Congolese beekeepers work in cooperatives; 100 % of the honeybee population of Congolese is made up *A. mellifera adansonii*, L.; 96 % of beekeepers use Kenyan hives; the number of hives by

Congolese beekeeper varies from 2 to 120. The production per colony per harvest varies from 1 to 25 liters of honey while the annual production per beekeeper is being between 10 and 900 liters of honey. The number of harvests per year performed honey varies from 1 to 2. This study shows that the average protein content of pollen collected in the DRC was $14.11 \pm 5.27\%$. This protein content was low compared to the dietary requirements of the bees in Europe. All samples of pollen were formed of ten essential amino acids and their concentrations were in the desirable range of Bees dietary requirements in Europe

The analyzes of the honey samples showed that the reducing sugars content varied from 63.40 to 73.80%, the sucrose content was between 0.30 and 1.90%, the water content ranged from 16.80 to 22.00%, the pH of honey samples ranged from 4.22 to 4.53, the average electrical conductivity of honeys was (47.74 ± 13.93) N / A cm and the HMF concentration ranged from 1.75 to 31.38 mg / kg honey HMF. Honey and pollen collected in the rainforest of Kisangani were moderately more nutritious for bees than Savannah Kavwaya.

Based on observations of pollination, this study shows that voluntary introduced bee pollination significantly improved the seed production per fruits. The number of seeds per fruit increased of 83.78%, while the number of fruits per plant and seed weight per fruit was improved respectively 422.89% and 185.61% compared to the control. The seed size was positively influenced by the presence of the bee colony in field *C. manni*(Naudin). In this study, the distance to the hives and direction of flight of the workers bee did not significantly affect the yield and seed size of *C. manni*(Naudin).

Keywords :*Apis mellifera adansonii*, L., pollination, *Cucumeropsis manni*(Naudin), DRC, beekeeping.

INTRODUCTION GENERALE

0. INTRODUCTION GENERALE

0.1. Problématique.

Le melon africain (*C. manni*, Naudin) fait partie des cucurbitacées cultivées en Afrique pour leurs graines comestibles. Ses graines grillées et broyées peuvent être transformées en une pâte servant à épaissir les sauces, ou à extraire de l'huile (Achigan- Dako & Baudouin, 2007). Elles constituent une bonne source de lipides (46 %) et de protéines (36 %) pour l'Homme et les bétails (Ndabalishye, 1995 et Scippers, 1997).

Comme pour la plupart des Cucurbitacées, le melon africain présente une architecture florale qui favorise l'entomogamie, assurée principalement par l'abeille domestique (*A. mellifera*, L.). Ses pollens lourds et collants, ne sont pas facilement disséminés par le vent. D'autres groupes des pollinisateurs tels que les Vespidae, les Acreidae, les Pieridae, les Coccinellidae, les Formicidae et les Thripidae ne jouent qu'un rôle mineur dans leur dissémination et dans la fécondation chez cette espèce (Fomekong *et al.* 2008).

Pour obtenir un meilleur rendement de production de fruits et de graines chez le Melon africain, il est nécessaire qu'un nombre suffisant d'insectes pollinisateurs soit présent dans le milieu en période d'épanouissement des fleurs, de façon à assurer le transport de pollens des étamines vers le stigmate (Pesson et Louveaux, 1984). La nécessité d'une présence importante d'insectes pollinisateurs se justifie d'une part par le fait que les fleurs de *C. manni* (Naudin) ne sont ouvertes que pendant une brève période, et d'autre part par le recours de plus en plus fréquent à des monocultures, qui concentrent la floraison à l'hectare.

Alors que la pratique des cultures intensives (monoculture) accroît le besoin en pollinisateur dans le milieu, il a été constaté que cette pratique réduit le nombre des pollinisateurs naturels dans les milieux où elle est intensément pratiquée. D'où la nécessité d'apporter des insectes pollinisateurs dans ces systèmes de production (Richards, 2001 ; Weibull *et al.* 2003 ; Bäckman & Tiainen, 2002 ; Marshall *et al.*, 2006 ; Genissel *et al.*, 2002).

Klein *et al.* (2007) estiment que 87 des 124 principales espèces cultivées dans 200 pays du monde pour la consommation humaine dépendent, à différents niveaux de la pollinisation par les insectes pollinisateurs. Gallai *et al.* (2008) ont évalué la part de production alimentaire attribuable à la pollinisation entomophile. Ces auteurs estiment la production alimentaire de l'Afrique attribuable à la pollinisation entomophile à 11,9 milliards d'euros en 2005. En comparant les différentes catégories de cultures entre-elles, Gallai *et al.* (2008) ont observé

que les oléagineux étaient les cultures les plus affectés par la régression des pollinisateurs en Afrique, avec un taux de vulnérabilité de 34,2 %, suivis de cultures dites de biocarburant (13,00 %), de cultures fruitières (10,00 %) et de légumineuses (6,00 %).

Des nombreuses plantes pérennes, vivrières et maraîchères cultivées en RDC tel que *Coffea sp.*, *Camellia sinensis* et *Theobroma cacao*, *Gossypium* (Cotonnier), *Arachis hypogaea* (arachide), *Glycine max*, L. (soja), *Elaeis guineensis* (palmier à huile), *Solanum melongena*, L. (aubergine), *Capsicum annuum* (poivron), *Capsicum* (piment), *Cucumis sativum* (Concombre), *Cucurbita sp* (courges), *C. mannii*(Naudin) (melon africain) font partie de la liste des plantes dépendantes de la pollinisation entomophile établie par Klein *et al.* (2007). L'assurance de la présence en nombre suffisant des insectes pollinisateurs dans les aires de cultures de ces plantes pendant leurs périodes de floraison est susceptible de soutenir la productivité de ces cultures.

Toutefois, depuis quelques décennies, plusieurs publications scientifiques ont mis en évidence une régression anormale des populations d'insectes pollinisateurs (papillons diurnes, Syrphidés, différentes mouches, abeilles sauvages, les bourdons, les andrènes). Ce phénomène qui touche à présent toute la planète, mérite le qualificatif de désastre écologique, tant il met en péril des systèmes de production agricoles, et est susceptible d'affecter la composition des nombreux écosystèmes (Ghazoul, 2005 ; Steffan-Dewenter *et al.*, 2005 ; Rasmont *et al.*, 2006, Maus *et al.*, 2003).

Pour les abeilles, des études multifactorielles et rétrospectives ont permis d'identifier plusieurs facteurs justifiant la régression de leur population. Les plus cités de ces facteurs sont la déforestation, la qualité des ressources, le changement climatique, l'intensification de l'agriculture, l'émergence des parasites et les pathologies décimant certaines populations d'insectes, l'urbanisation accrue, les applications non adéquates de certains pesticides, les pollutions locales et industrielles. (Bernard, 2000; Boucher & Desjardins, 2002; Haubruge *et al.*, 2006; et Le Féon, 2010).

D'après Bäckman & Tiainen (2002), l'agriculture intensive provoque souvent la fragmentation des habitats et la destruction de zones de refuges de certains pollinisateurs en restructurant constamment les réseaux de « corridors biologiques » entre les différentes zones d'intérêts pollinifères et mellifères. Ceci entraîne des perturbations au niveau de la colonisation de l'habitat et de l'exploitation des ressources alimentaires par les abeilles

(Dawson, 1994, Kearns *et al.*, 1998, Kremen & Ricketts, 2000). Paradoxalement, l'intensification de la production agricole pour certaines espèces végétales nécessite une présence de plus en plus massive d'insecte pollinisateur afin de garantir des meilleurs rendements de production. Sans un changement paradigmatique, les modes de production intensive des plantes dépendantes de la pollinisation entomophile imposeront d'avantage d'apport circonstanciel des pollinisateurs dans le milieu de production pour assurer des productions économiquement soutenables.

Dans le contexte particulier de la RDC, malgré l'absence d'études sur la dynamique des populations de pollinisateurs, de nombreux auteurs s'accordent à dire que la déforestation et l'introduction de grandes cultures pérennes et vivrières causeraient la destruction de nombreuses espèces végétales mellifères et pollinifères (Bäckman & Tiainen, 2002). Par la destruction des ressources mellifères et pollinifère au profit du développement de l'agriculture, de l'urbanisation et de l'industrie d'extraction minière, et par la désorganisation des corridors biologiques durablement établi dans des écosystèmes jadis stables, des nouvelles dynamiques des populations des pollinisateurs seraient en train de s'établir, avec leur lot des conséquences. Les niveaux de destruction des ressources pollinifères et mellifères pouvant largement différer dans ce vaste pays, il convient d'opérer des évaluations des capacités pollinisatrices en tenant compte des spécificités des principaux écosystèmes présents et des cultures opérées dans ces écosystèmes qui nécessitent la présence des pollinisateurs.

Outre l'état des activités apicoles qu'elle établie, ainsi que l'évaluation des ressources nutritionnelles disponible pour les abeilles domestiques qu'elle opère dans trois écosystèmes différents de la République Démocratique du Congo, la présente étude évalue pour la première fois la capacité pollinisatrice des abeilles domestiques (*A. mellifera adansonii*, L.) sur la culture du melon africain (*C. manni*, Naudin) dans un écosystème forestier dégradé.

0.2. Hypothèses de travail

Trois hypothèses majeures sont formulées dans le cadre de ce travail :

- Différents écosystèmes présents en République Démocratique du Congo, garantissent des apports nutritionnels de qualités différentes aux colonies d'abeilles domestiques, principaux pollinisateurs du melon africain.
- L'entomogamie est nécessaire à la production des fruits et graines de *C. manni* (Naudin) et l'apport des colonies des abeilles domestiques dans l'environnement de culture de cette plante en période d'épanouissement des fleurs améliorerait le rendement et la taille des graines issues de cette culture ;
- La vulgarisation des pratiques agricoles associant l'apiculture et les cultures entomophiles améliorerait la durabilité économique et écologique des pratiques agricoles dans les zones où l'agriculture s'intensifie au dépend des ressources végétales originelles.

0.3. Objectifs

Dans le cadre de la présente étude, trois objectifs ont été fixés et structurés de façon à valoriser l'ensemble des résultats sous forme de publications scientifiques. Pour rassembler toutes les questions posées sur le thème de recherche, ce travail s'est fixé les objectifs suivants :

1° Faire un état de lieux de la filière apicole en République démocratique du Congo en vue d'acquies une idée sur les infrastructures apicoles existantes (Fédérations, sections, matériels apicoles employés, etc.), sur des techniques apicoles pratiquées par les apiculteurs, sur les races d'abeilles domestiquées, sur les contraintes majeures de la filière apicole en RDC.

2° Evaluer la qualité des miels et pollens dans certaines régions apicoles afin de déterminer la santé des abeilles dans les écosystèmes congolais.

3° Déterminer de manière chiffrée l'impact de la pollinisation des abeilles domestiques sur l'amélioration quantitative et qualitative de la production de *C. manni* (Naudin) à Kisangani.

0.4. Intérêts de l'étude

Cette thèse constitue une recherche pilote sur la filière apicole en RDC. Elle vise à générer des données de référence pour les recherches ultérieures sur l'apiculture au Congo et à mettre en lumière l'intérêt du développement de l'apiculture, trop peu pratiquée dans ce pays, comme

moyen de production à part entière et comme une opportunité en vue de l'amélioration des rendements de certaines cultures d'intérêt économique pour les populations de la RDC en proie à une pauvreté et une insécurité alimentaire en intense.

0.5. Structure du travail

Outre l'introduction et la conclusion générale, le présent manuscrit est subdivisé en deux grandes parties.

La première partie est une revue de la littérature qui établit l'état des connaissances sur l'abeille domestique, la culture du melon africain et la nécessité d'apport des pollinisateurs dans les systèmes de production intensifs des cultures des plantes à pollinisation entomophile.

La deuxième partie présente les résultats sur l'état de lieu de la filière apicole en République Démocratique du Congo établi à l'aide d'une enquête et sur les deux travaux expérimentaux portant sur l'évaluation des ressources nutritionnelles pour les colonies d'abeilles domestiques dans trois écosystèmes différents de la RDC et sur l'évaluation de la capacité pollinisatrice de l'abeille domestique et ses conséquences sur les performances des cultures de melon africain.

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Abeille domestique (*A. mellifera*, L.)

1.1.1. Systématique

Les abeilles appartiennent à la classe des insectes et à l'ordre des Hyménoptères qui comprennent à ce jour 198.000 espèces réparties en 91 familles. L'abeille domestique (*A. mellifera*, L.) est un Aculéate appartenant à la superfamille des Apoïdeae qui regroupe près de 20.000 espèces réparties dans sept familles : Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Melittidae, Anthrophoridae, Megachilidae et Apidae. Cette dernière comprend toutes les abeilles eusociales dont l'abeille domestique (O'Toole & Raw, 1991). Les Apoïdeae se nourrissent principalement de nectar et de pollen et ont par conséquent un rôle primordial dans la pollinisation (Pesson & Louveaux, 1984). La famille des Apidae contient quatre sous-familles, à savoir: Bombinae (bourdons), Euglossinae (abeille des orchidées), Meliponinae (abeilles sans dard) et Apinae. La sous-famille des Apinae comprend un seul genre, *Apis* (abeilles proprement dites) répartie en plusieurs espèces: *Apis florea* (abeille naine), *Apis dorsata* (abeille géante), *Apis cerana* (abeille orientale), *Apis andreniformis*, *Apis koschevnikovi*, *Apis nigrocincta* et *Apis mellifera*, L. (abeille occidentale) (Winston, 1993).

A. mellifera, L. est l'espèce originaire d'Europe et d'Afrique, largement introduite sur d'autres continents comme l'Amérique et l'Océanie. C'est la principale espèce élevée pour la production de miel. Il existe plusieurs races domestiques au sein d'*A. mellifera*, L. : *A. mellifera mellifera* (abeille noire), *A. mellifera carnica* (abeille carniolienne), *A. mellifica caucasica* (abeille caucasienne), *A. mellifera ligustica* (abeille italienne), *A. mellifica unicolore*, *A. mellifera scutellata* (abeille africaine) et *A. mellifera adansonii* (abeille jaune d'Afrique) (Winston, 1993).

A. mellifera adansonii, L. est une race qui est largement répartie en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale. Sa morphologie varie selon les milieux où elle vit. *A. mellifera adansonii*, L. est caractérisée par une taille petite, son poids est en moyenne 85 mg, elle construit 1000 à 1050 alvéoles au dm^2 correspondant en moyenne de 4,7 mm de diamètre par alvéole. Du point de vue biométrique, *A. mellifera adansonii*, L. est une abeille jaune, son deuxième tergite abdominal a une largeur moyenne de 1,55 mm et sa pilosité est très courte (0,15 à 0,17 mm). La longueur de sa langue ne dépasse pas 6 mm. Son index cubital avoisine 2,3. Le développement biologique d'*A. mellifera adansonii*, L. sous les tropiques est rapide, surtout au stade larvaire:

le développement de la reine est de 14 à 16 jours contre 16 jours pour les races européennes, le cycle de vie d'une ouvrière est de 18 à 20 jours contre 21 jours pour les races européennes. *A. mellifera adansonii*, L. est une race très agressive et très essaimeuse. Sa colonie est très active toute l'année sous les meilleures conditions tropicales (Winston, 1993).

1.1.2. Organisation sociale et castes

A. mellifera, L. est un insecte social qui vit en colonies de 20.000 à 50.000 individus (Jean-Prost & Le Comten, 2005). La colonie comporte trois types d'individus: la reine, les mâles (faux-bourçons) et les ouvrières. L'appartenance à l'une des castes dépend de la ploïdie des individus mais également de la nourriture fournie durant les premiers jours de leur développement. Les œufs non fécondés donnent des mâles (par parthénogenèse arrhénotoque) et les œufs fécondés donnent des femelles. La quantité et la qualité de la nourriture donnée aux larves femelles déterminent si elles deviendront des reines ou des ouvrières (Lampeitl, 1987).

La reine est la seule femelle fertile dans la colonie, ce qui fait d'elle une "machine à pondre" (Winston, 1993). Elle se distingue des ouvrières par son abdomen plus développé. Elle ne peut pas récolter elle-même sa nourriture parce qu'elle est totalement dépourvue des organes spécialisés tels que les mandibules dentelées et les organes de récolte du pollen (Louveaux, 1985). Ce sont les ouvrières qui lui fournissent les pollens et les nectars. Les reines ont la plus grande longévité des trois castes des abeilles mellifères, elles vivent généralement de un à trois ans. Cependant, il n'est pas rare de les voir survivre quelques années de plus (Winston, 1993).

Les ouvrières sont des femelles incapables de se reproduire. Elles forment la caste majoritairement représentée dans la colonie. Leurs rôles sont variés et évoluent au cours de leur vie, d'où le concept « polyéthisme d'âge » chez les insectes sociaux (Winston, 1993 ; Louveaux, 1985). Dans un premier temps, elles restent cantonnées au nid, où elles participent à la construction des rayons, au nettoyage des cellules et à l'alimentation des larves, de la reine et des mâles. Ces activités sont effectuées en moyenne jusqu'au XV ou XVIème jour (Dessart, 1994). Ensuite les ouvrières deviennent butineuses et effectuent leur premier vol d'orientation pour récolter les pollens, les nectars et la propolis. Elles s'occupent d'autres tâches telles que la ventilation et la protection contre les intrus à l'entrée de la colonie. La longévité des ouvrières dépend des facteurs saisonniers, de la disponibilité de la nourriture, des activités accomplies durant leur vie... (Winston, 1993).

Les mâles, appelés faux-bourdons, se distinguent des ouvrières par leurs dimensions plus grandes, leur abdomen rectangulaire, leurs yeux contigus et bien développés contenant de 6000 à 7000 facettes (3000 pour les ouvrières) et par leurs pattes dépourvues de structure adaptée au butinage. Leurs langues plus courtes, ne leur permettent de se nourrir eux-mêmes et cette tâche revient aux ouvrières. Le rôle des mâles se limite à la fécondation de la reine, après quoi ils meurent, au bout de 50 jours en moyenne (Jean-Prost, 1987).

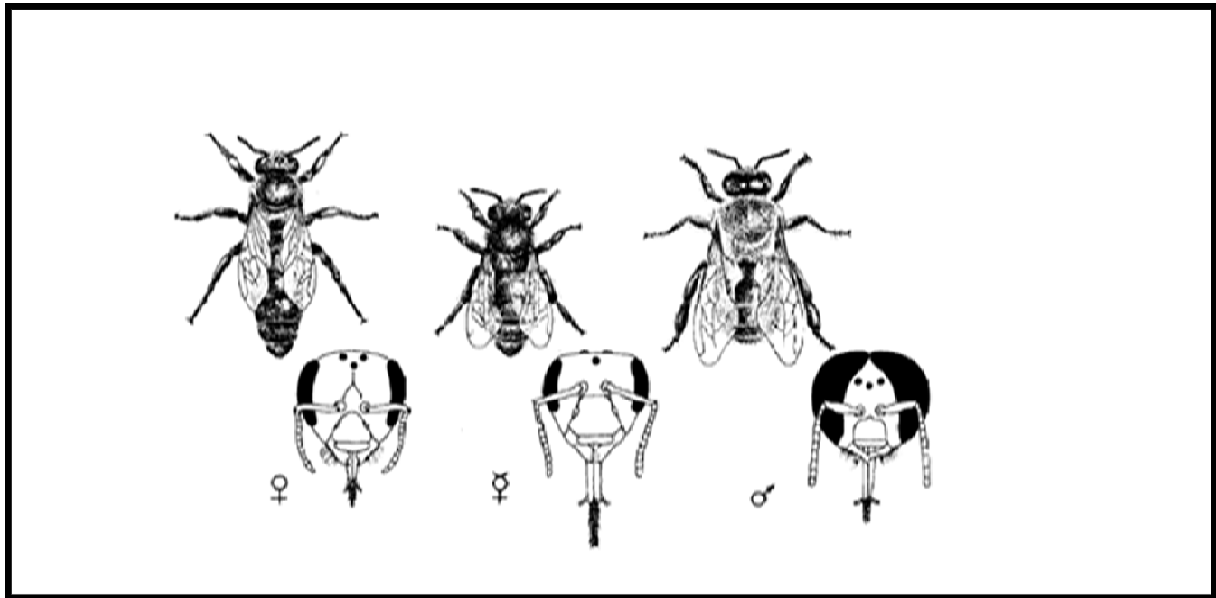


Figure 1. 1: Vue de face et du dessus des trois castes avec, de gauche à droite, la reine, l'ouvrière et le mâle
Source : (Louveaux, 1985)

1.1.3. Anatomie d'abeille domestique

1.1. 3.1. Morphologie externe

Comme tous les insectes, les abeilles domestiques ont un corps comportant trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen (**figure 1.2**).

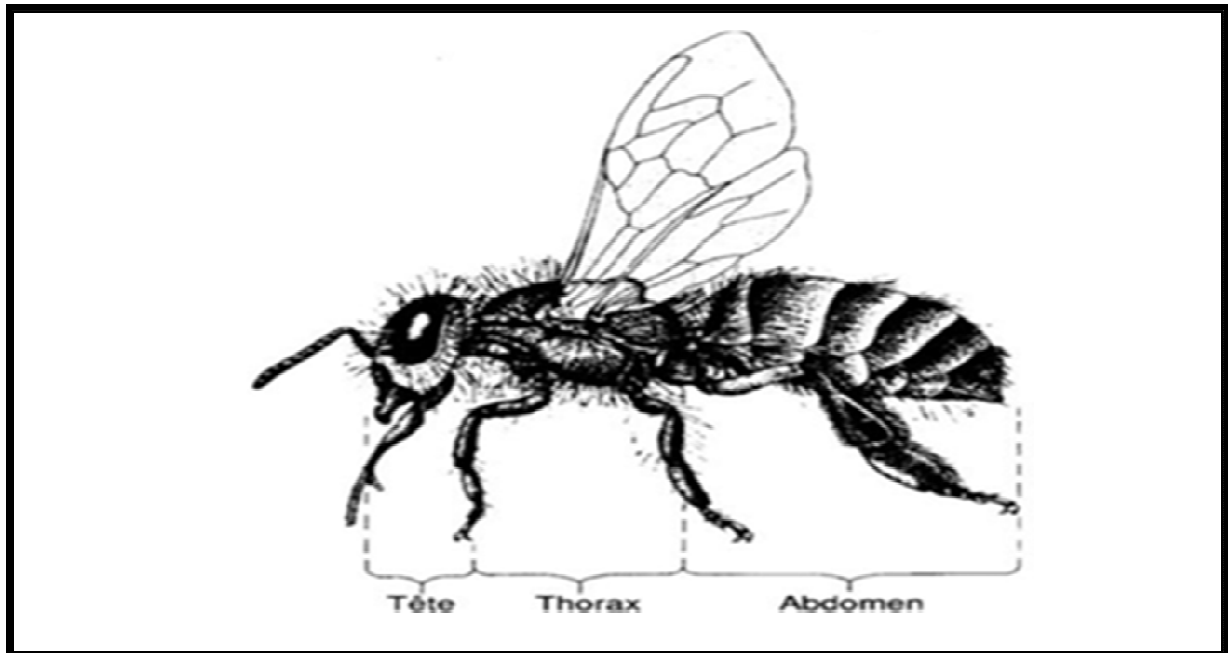


Figure 1. 2: Vue du corps de l'ouvrière montrant les trois régions principales

Source : (Winston, 1993)

La tête porte des organes sensoriels (yeux composés, ocelles et antennes) et les pièces buccales (Chinery, 1976). Les organes sensoriels permettent à l'abeille de mieux appréhender le milieu environnant car ils participent activement à la perception sensorielle. Les deux yeux composés sont des organes complexes capables de diverses fonctions photoréceptrices: reconnaissance des formes et vision des couleurs. Ils facilitent aussi l'orientation en vol. Les trois yeux simples, appelés ocelles, permettent à l'insecte d'évaluer les variations d'intensité lumineuse (Louveaux, 1985). Les antennes sont de véritables récepteurs olfactifs, mécaniques et thermiques (Jean-Prost, 1977 ; Winston, 1993). Cependant, en plus de la sensibilité olfactive, les abeilles ont développé, grâce à leurs antennes, un sens olfactif « toposchimique ». En effet, les abeilles sont capables d'utiliser leur paire d'antennes afin de détecter avec précision la direction d'une odeur en comparant l'intensité des molécules odorantes perçues par chaque antenne (Winston, 1993). D'autres organes sensoriels présents sur les antennes ont pour fonction la perception de l'humidité, du goût et de la température.

L'une des particularités des abeilles est le fait que la tête des ouvrières est constituée d'une paire de mandibules et du proboscis. Grâce aux mandibules et au proboscis, les abeilles peuvent manipuler des matières autant solides que liquides (Winston, 1993). Les mandibules permettent de façonner la cire, d'extraire le pollen des anthères et de récolter la propolis (Louveaux, 1985). Le proboscis, constitué de la trompe et de la langue, participe à l'alimentation liquide (Louveaux, 1985 ; Winston, 1993). La trompe résulte de la réunion des

maxilles et des palpes labiaux. Elle forme un tube dans laquelle coulisse la langue protractile issue de la réunion des glosses. Les pièces buccales des abeilles domestiques sont de type « lécheur-suceur ».

La tête renferme le cerveau relié au système nerveux et les glandes hypopharyngiennes, labiales et mandibulaires qui participent à la digestion des aliments.

Le thorax des abeilles est constitué de trois segments (le prothorax, le mésothorax et le métathorax), chacun portant une paire de pattes (Chinery, 1976). De plus les deux derniers segments portent chacun une paire d'ailes membraneuses servant principalement au vol mais aussi à la ventilation de la ruche (Dessart, 1994). Les organes locomoteurs, constitués de trois paires de pattes et deux paires d'ailes sont situés sur ce thorax.

Les pattes ont toutes la même structure de base avec, en partant du thorax : la hanche, le trochanter, le fémur, le tibia, le tarse et le pretarse. Ce dernier comprend un grand article appelé basitarse prolongé par quatre plus petits (Dessart, 1994). Le dernier tarsomère présente à son extrémité deux griffes et un organe adhésif appelé coussinet-ventouse (Jean-Prost, 1977). Ces structures terminales sont importantes pour la marche, puisque les griffes et les coussinets ventouses permettent le déplacement sur des supports verticaux polis ou rugueux (Jean-Prost, 1977 ; Winston, 1993). Une autre particularité des ouvrières reste l'existence sur leurs pattes d'une structure servant à la récolte et au transport du pollen et de la propolis. La structure de chaque paire de pattes répond aux exigences du travail de l'ouvrière (Louveaux, 1985). Sur les pattes antérieures, une encoche du premier tarsomère sert au nettoyage des antennes. Cette structure sert à maintenir les antennes exemptes de tous matériaux étrangers qui pourraient interférer avec les fonctions sensorielles (Winston, 1993). Les pattes médianes sont principalement utilisées pour le transfert du pollen et de la propolis vers les pattes postérieures pour le retour vers la colonie (Louveaux, 1985 ; Winston, 1993). La paire de pattes postérieures est la plus spécialisée. La face externe du tibia montre une dépression, la corbeille à pollen, où sont logées les pelotes pendant le transport. Sur le bord inférieur du tibia, une rangée de poils raides forme le peigne à pollen. Le basitarse, très élargi, est parcouru sur sa face interne par les dix rangs de poils de la brosse à pollen (Jean-Prost, 1977). L'allure des pattes postérieures varie beaucoup selon les castes. En effet, les pattes postérieures des reines et des faux bourdons ne possèdent ni corbeille, ni brosse et le tibia n'est pas concave (Dessart, 1994). Les ailes des abeilles ne sont pas des appendices vrais

comme les pattes et les pièces buccales. Ce sont de fines excroissances de l'exosquelette qui ont été modifiées pour le vol. Les ailes antérieures sont fixées sur le mésothorax et les postérieures sur le métathorax. Les ailes frontales sont plus grandes que les postérieures.

De puissants muscles alaires, compris dans le mésothorax font vibrer les ailes antérieures. Les ailes postérieures ne font donc que suivre le mouvement des ailes antérieures auxquelles elles sont attachées par des crochets appelés hamuli. Toutes ces caractéristiques permettront aux abeilles de butiner, tout en réduisant les perturbations et turbulences pouvant troubler cette activité (Winston, 1993 ; Dessart, 1994).

L'abdomen est formé d'articles mobiles les uns par rapport aux autres, qui par leurs mouvements, assurent la ventilation du corps de l'insecte. Il constitue le segment le plus volumineux du corps de l'abeille et contient le dard et la grande partie des systèmes internes (système circulatoire, système respiratoire, les systèmes glandulaires et le tube digestif) (Louveaux, 1985).

1.1.3.2. Anatomie interne

- Système nerveux des abeilles domestiques

Il est constitué de plusieurs lobes formant le cerveau: les lobes protocérébraux dorsaux, les lobes optiques, le protocérébron, le deutocérébron et le stomadaeum. Ce cerveau est constitué de cellules associées et de neurones interconnectés dans lesquels s'opèrent les liaisons synoptiques des fibres motrices du ganglion suboesophagien et de la corde nerveuse avec les fibres sensorielles des yeux et des antennes. Le ganglion suboesophagien se situe dans le bas de la tête à proximité du cerveau, auquel il est relié par des connexions circumoesophagiennes. Il est également connecté au premier ganglion thoracique. La corde nerveuse ventrale est la composante du système nerveux situé au niveau du thorax et de l'abdomen. Elle est formée de sept ganglions reliés un à un, à l'image d'un chapelet (Winston, 1993).

- Système digestif des abeilles domestiques

Le tube digestif de l'abeille adulte est composé de trois parties: la partie antérieure, ou stomadaeum, comprend le pharynx, l'œsophage, le jabot, et le proventricule, ou gésier ; la partie centrale, ou ventricule s'ouvre directement sur la partie terminale du tube digestif, ou

proctodaeum, qui est composé de l'intestin antérieur et de l'intestin postérieur, ou rectum (Snodgrass, 1956).

- ***Système circulatoire de l'abeille***

Le système circulatoire de l'abeille est ouvert: les organes baignent dans un fluide appelé hémolymphe, circulant dans un compartiment appelé hémocoèle. L'hémolymphe peut être considérée comme l'analogue du sang, bien qu'elle n'assure pas le transport de l'oxygène (Gullan & Granston, 2004). La fonction circulatoire est assurée par le cœur, situé dans la partie dorsale de l'abdomen. Le cœur de forme tubulaire présente plusieurs ouvertures, et se prolonge à l'avant par l'aorte dorsale qui remonte pour irriguer la tête. L'hémolymphe est également une composante importante du système immunitaire.

- ***Système endocrinien***

Il comprend les hormones qui interviennent dans la régulation de la physiologie de l'abeille à de multiples niveaux (hormone juvénile, hormone de mue, ...). L'hormone juvénile intervient notamment dans l'évolution du système immunitaire chez l'abeille (Amdam *et al*, 2005). La tête comporte plusieurs centres neurosécrétoires des hormones: les corporacardiacs, les corpora allata, ainsi que des cellules neurosécrétrices situées dans le cerveau et le ganglion suboesophagien.

- ***Systèmes glandulaires des abeilles domestiques.***

Les glandes des ouvrières assurent quatre fonctions : (i) la production de cire par des cellules épidermiques modifiées, localisées ventralement du quatrième au septième segment abdominal ; (ii) la communication grâce aux glandes de Nasonov, aux glandes mandibulaires et aux glandes du dard ; (iii) la défense par la glande à poison, glande associée au dard qui délivre le venin et (iv) le traitement des aliments : deux types de glandes interviennent dans le traitement des aliments, celles qui digèrent partiellement la nourriture comme les glandes labiales ou salivaires, et celles qui sont impliquées dans la production de la nourriture du couvain comme les glandes hypopharyngiennes et les glandes mandibulaires (Dibos, 2010).

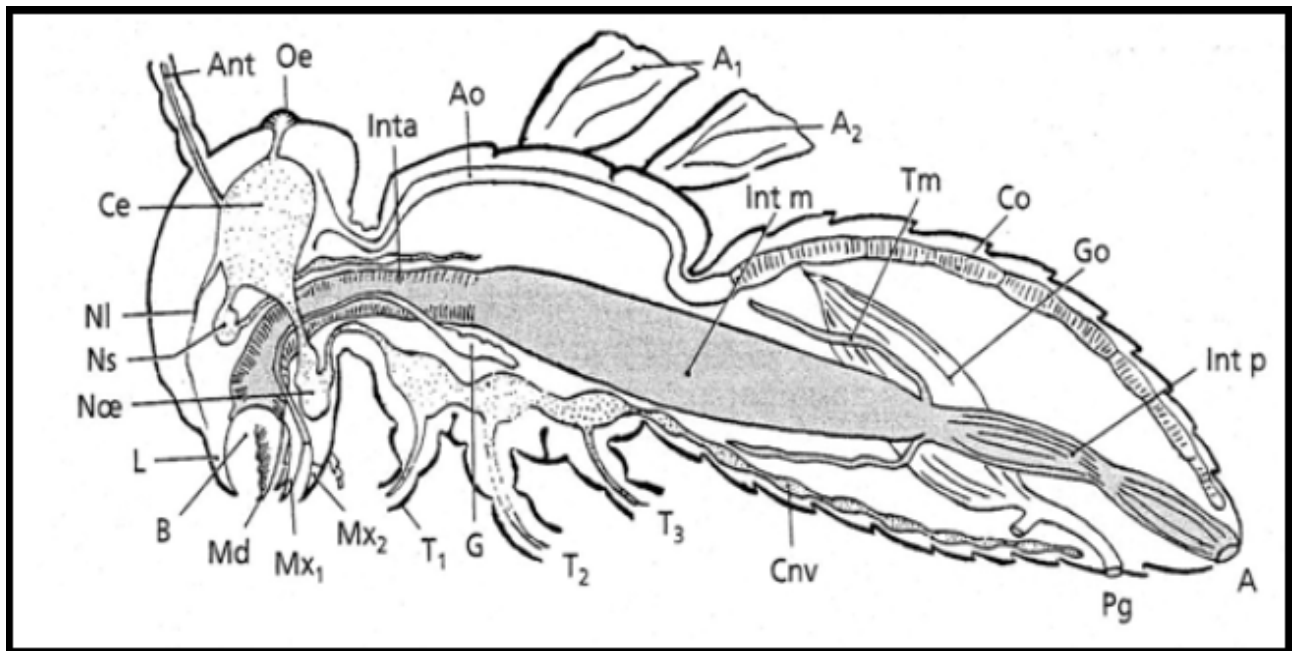


Figure 1. 3: Anatomie interne de l'abeille

A : anus ; Ant : antenne ; A: aorte ; 1: aile antérieure ; A2: aile postérieure ; B: bouche ; Ce: cerveau ; Cnv: chaîne nerveuse ventrale ; Co: cœur ; G: glande salivaire ; Go: glande génitale ; Inta: intestin antérieur ; Intm: Intestin moyen ; Intp: intestin postérieur ; L: labre ; Md: mandibule ; Mx: mâchoires ou maxilles ; Mx₂: lèvre intérieure ; Nl: nerf du labre ; Noe: masse nerveuse sous-œsophagienne, Ns : système nerveux sympathique ; Oe:œil, Pg : orifice génital ; Tm : tube de malpighi;T1,T2 et T3: pattes thoraciques (Alleaume, 2012)

1.1.4. Développement

A. mellifera, L. a un développement holométabole, c'est-à-dire que le développement passe par quatre stades distincts: (i) l'œuf qui, s'il est fécondé se développe en ouvrière ou reine, sinon en mâle, (ii) la larve qui subit cinq mues, (iii) la puppe qui subit une maturation et, (iv) l'adulte. Le cycle de développement depuis la ponte jusqu'à l'émergence pour les abeilles européennes est en moyenne de 16 jours pour la reine, de 21 jours pour les ouvrières et de 24 jours pour les mâles. Ce temps peut varier (entre 16 et 24 jours pour les ouvrières par exemple) en fonction de la température ou de la nutrition (Louveaux, 1985).

Après l'émergence, l'adulte immature finit son développement entre 8 à 10 jours. Sa cuticule se renforce et son système glandulaire finit de se développer. Ce dernier ne peut se faire correctement que si la jeune abeille consomme du pollen en quantité suffisante. La durée de vie des abeilles varie fortement en fonction de la caste et secondairement en fonction des facteurs saisonniers de la disponibilité en nourriture, des activités assurées durant leur vie et de la race. Dans les régions tropicales le cycle de développement des abeilles est le même que pour les abeilles européennes (16 jours pour une reine, 21 jours pour une ouvrière et 24 jours

pour un mâle). En RDC, une reine vit deux à trois ans, tandis que les ouvrières vivent en moyenne deux mois en saison de pluie et trois mois environ en saison sèche (Dubois & Collart, 1950).

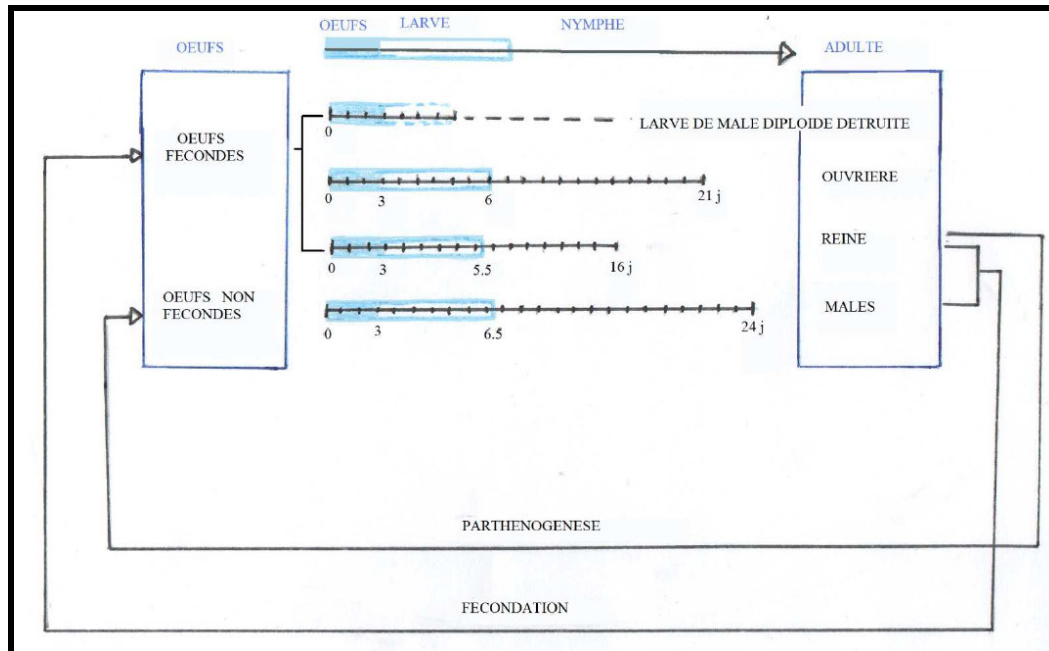


Figure 1. 4: Cycle de vie de trois castes d'*A. mellifera*, L. Source : (Alleaume, 2012)

1.1.5. Besoins nutritionnels

Les trois castes d'abeilles (les reines, les ouvrières et les mâles) ont des besoins nutritionnels différents. Les matériaux utilisés pour combler ces besoins sont le nectar et le pollen. Ils apportent les hydrates de carbone, les protéines, les graisses, les vitamines et de l'eau (Bruneau, 2006). Dans la nature, les sucres utilisés par l'abeille proviennent du nectar produit par les nectaires floraux ou extra floraux. Selon les espèces végétales, le nectar contient de 5 à 80 % de sucres. La concentration du nectar en sucre peut dépendre des conditions climatiques. De plus, le nectar peut contenir de petites quantités de composés azotés, de minéraux, de vitamines et de substances aromatiques. En vue de la conservation de ces sucres, l'abeille fait subir un traitement chimique et physique au nectar. En effet, grâce à des enzymes présentes dans leur salive, les abeilles transforment les sucres présents dans le nectar et modifient leurs concentrations pour les transformer en miel. Les autres éléments présents dans le nectar ne sont pas concernés par cette transformation et se retrouvent en proportions variables dans le miel (Louveaux, 1985).

Cependant, la majorité des nutriments indispensables à l'abeille se trouve dans le pollen. Constitué de 7 à 35 % de protéines, le pollen constitue la principale source de protéines pour

l'abeille (Pernal & Currie, 2000). Dix acides aminés spécifiques sont essentiels à l'abeille (thréonine, valine, méthionine, isoleucine, leucine, phénylalanine, histidine, lysine, arginine et tryptophane) (De Groot, 1953). Ces acides aminés sont requis pour la croissance des larves et des jeunes abeilles. Une ouvrière exige 160 à 180 mg de pollen avec une moyenne de 20 % d'azote durant sa vie (Keller et al., 2005). Le pollen intervient aussi dans le développement des glandes hypopharyngiennes des jeunes abeilles. Si les nourrices ne trouvent pas les protéines nécessaires à leur alimentation, leurs glandes hypopharyngiennes ne se développeront pas complètement et leur production de gelée royale ne permettra pas un développement naturel du couvain et une alimentation correcte de la reine (Bruneau, 2006). En une année, les butineuses d'une colonie de force normale récoltent, dans les régions tempérées, de 30 à 50 kilos de pollen (Louveaux, 1985). Le pollen contient aussi des lipides en quantité variable (1 à 20 %) (Singh, 1999). En règle générale, les lipides ont un rôle énergétique. Ils interviennent dans le fonctionnement des membranes cellulaires et dans l'adipogénèse et la glycogénèse. Certains acides gras peuvent également avoir un rôle antibactérien (Feldlaufer et al., 1993). La présence de nombreuses vitamines, de sels minéraux et oligo-éléments font du pollen un produit présentant une grande richesse nutritionnelle (Dany, 1984 ; Winston, 1993). Les besoins en éléments mineurs restent peu connus mais interviennent dans divers mécanismes vitaux tels la vision, pour laquelle la vitamine A joue un rôle primordial ou encore les réactions enzymatiques dans lesquelles les minéraux sont également indispensables (Goldsmith et al., 1964).

1.1.6. Activités de collecte des ressources alimentaires

Le comportement de butinage est développé chez les ouvrières les plus âgées. Il sert à récolter des ressources nutritives essentielles à la colonie, principalement le nectar, le pollen et l'eau, mais aussi des résines. La collecte d'éléments liquides s'effectue grâce au proboscis. L'abeille place sa langue au contact de la substance et l'aspire par pompage et capillarité. Le liquide collecté est stocké dans le jabot. Quand le jabot est plein, la butineuse retourne au nid pour se décharger auprès des ouvrières manutentionnaires. En ce qui concerne le pollen, l'abeille le collecte en charge humide pour faciliter son agglomération et donc son transport. Elle le mélange à des régurgitations du jabot pour le rendre plus collant. Le pollen peut être collecté à partir des anthères de deux manières, (i) activement par frottement des pattes et du proboscis contre les anthères ou (ii) passivement lors du passage de l'abeille contre les anthères (Throp, 2000). Le pollen est retenu sur le corps de l'abeille par les poils branchus qui le recouvrent.

L'abeille frotte son proboscis avec ses pattes antérieures pour les enduire de régurgitations. Le pollen est ensuite récupéré par frottement des différentes pattes sur le corps puis est transféré sur les brosses des pattes postérieures. Le frottement du peigne sur chaque brosse opposée permet de récupérer et transférer le pollen sur le pressoir. Le pollen est ensuite compacté dans la corbicule par des mouvements de pompage jusqu'à la formation d'une pelote.

Il existe différents types de butineuses pour le nectar et pour le pollen : (i) les butineuses strictes de nectar ; (ii) les butineuses strictes de pollen et (iii) les butineuses mixtes. Les butineuses de nectar ne visitent les fleurs que pour récupérer le nectar. Ainsi, elles peuvent se trouver couvertes de pollen par passage contre les anthères et vont plutôt se nettoyer si ce pollen est présent en trop grande quantité plutôt que de le compacter pour le ramener au nid (Throp, 2000). Les butineuses de pollen, quant à elles, récoltent également du nectar, mais en petite quantité pour consolider les pelotes (Davis, 1997). Enfin, les butineuses mixtes, qui sont minoritaires, récoltent les deux ressources (Free, 1993).

1.1.7. Recrutement

Le concept « recrutement » signifie la communication entre les individus de la colonie lorsqu'une source de nectar ou de pollen est découverte par une exploratrice. Cette communication se fait selon le schéma suivant :

(1) Lorsqu'une source de nectar ou de pollen est découverte par une exploratrice dans les environs de la ruche, cette exploratrice exécutera une « danse en rond » (figure 1.5). Cette danse se fait sur le rayon. Les abeilles inoccupées, sont attirées par l'exploratrice et sortent de la ruche à la recherche de la nourriture annoncée. C'est l'odeur de la nourriture dont l'exploratrice est porteuse qui sert de guide. La danse en rond signifie qu'il existe à proximité de la ruche une plante fleurie et qui porte telle odeur et qui donne du nectar ou du pollen ou les deux à la fois. Aussi longtemps que cette source de nourriture reste exploitable, les butineuses exécuteront leur danse en rond à la ruche ; ce qui entraîne un nouveau recrutement (Pesson & Louveaux, 1984).

(2) La danse frétillante est exécutée à chaque fois que la distance à parcourir est supérieure à 100 mètres. Elle contient une information plus complète que la danse en rond. La danse frétillante signale avec précision la distance à parcourir et la direction de la source.

L'indication de la distance de la ruche à la source est fournie par la fréquence des séries de frétillement de l'abdomen. L'abeille exécutera une danse en forme de 8 et les frétillements se situent au moment où l'abeille décrit la partie droite de la **figure 1.5 (B)**.

La danse frétilante donne également une indication sur la direction de l'objectif. C'est l'orientation de la ligne droite ou l'axe de la danse en huit qui sert d'indication (Pesson & Louveaux, 1984).

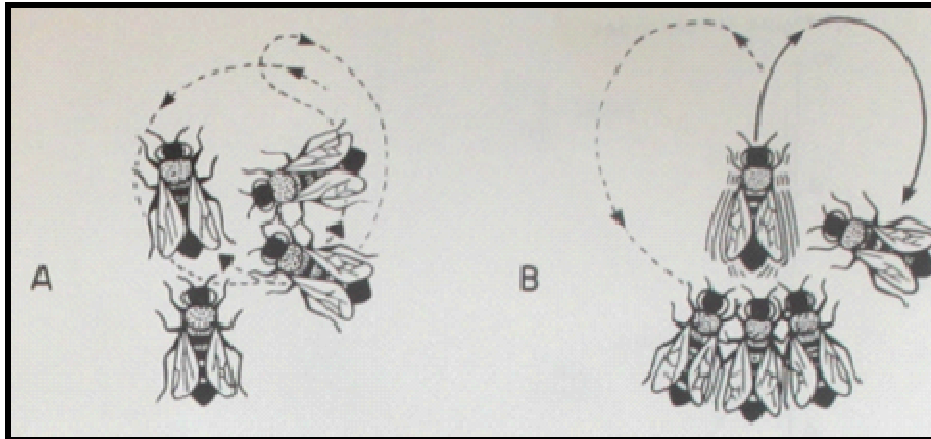


Figure 1. 5: Danse en rond (A) et danse frétilante (B); Source : (Pesson & Louveaux, 1985)

1.1.8. Fonctions des abeilles domestiques

Les abeilles jouent trois rôles principaux : elles assurent la pollinisation des plantes. Elles sont également des bioindicateurs de la santé des écosystèmes et interviennent dans la production apicole.

Fonction pollinisatrice

En tant qu'agent pollinisateur, l'abeille en butinant à la recherche de nectar et de pollen, participe activement à la pollinisation des plantes, favorisant ainsi leur reproduction (Pesson & Louveaux, 1984).

Pour chaque kilogramme de miel produit, les études montrent qu'il faut 50.000 vols effectués (Adam Frère, 1985 ; Toullec, 2008)

Aussi, à travers cette activité de collecte des ressources, les abeilles domestiques pollinisent un grand nombre des plantes entomophiles. Plus de 70% des 127 types de cultures les plus importantes au niveau mondial dont la quasi-totalité des arbres fruitiers, bénéficient de l'activité pollinisatrice des abeilles sauvages et domestiques. La contribution économique des abeilles à l'agriculture mondiale est estimée à 117 milliards de dollars US (Klein et al., 2007).

Fonction de bio-indicateur de la santé des écosystèmes

L'abeille est souvent utilisée comme bio indicateur de la santé de l'écosystème dans lequel elle évolue. En effet, les butineuses explorent une grande zone de plusieurs kilomètres carrés autour de la ruche et y rapportant leur récolte. En observant la mortalité et en détectant les résidus de pesticides, métaux lourds ou molécules radioactives dans les abeilles ou les produits stockés dans la ruche, il est possible d'apprécier le niveau de la pollution de l'environnement. La sensibilité aux molécules toxiques présentes dans l'environnement de cet insecte peut être mis en au service de l'homme (Adam Frère, 1985 ; Haubruge et al., 2006).

Fonction dans la production apicole

Dans le domaine apicole, l'*A. mellifera*, L. joue une fonction majeure pour la production du miel, du pollen, de la cire, de la propolis, de la gelée royale et du venin d'abeille, etc. (Haubruge et al., 2006).

1.2. *Cucumeropsis mannii*(Naudin)(2n = 22)

1.2.1. Introduction

Cucumeropsis est un mot latin qui signifie donc "ressemblant à un concombre". "*mannii*" se référant à G. Mann, qui a collectionné les graines que Naudin a cultivé les spécimens du type.

Synonyme : *Cladosicyosedulis* (Hook.f.) (1871); *Cucumeropsis edulis*(Hook.f.)Cogna. (1881); *Momordica procera* (A. Chev.) (1920).

Noms vernaculaires : White seed melon, dark egusi (Anglais) ; Pistache, melon africain (Français) ; Egusi-itoo (Côte d'Ivoire) ; Mbika, Kokoliko (RDC).

C. mannii (Naudin), est une Cucurbitacée généralement cultivée pour ses graines que l'on transforme en pâte pour épaissir les sauces. Les graines grillées et broyées peuvent être transformées en une pâte servant à épaissir la sauce, ou à extraire de l'huile (Djè et al., 2006 ; Achigan-Dako & Baudouin, 2007). Ses graines sont riches en lipides (46 %) et en protéines (36 %) (Fondio et al., 2000 ; Ndabalishye, 1995 et Scippers, 1997). Les jeunes feuilles de *C. mannii* (Naudin) se consomment parfois comme légume cuit et en soupe. Les tiges feuillées ainsi que les fruits fournissent un fourrage pour les animaux domestiques. En île de Réunion et à l'île Maurice, on emploie une décoction de graines et de racines du melon africain comme diurétique et vermifuge. Cette espèce constitue également un réservoir de gènes de résistance aux maladies (Wang, Zhang, 1988). A ce jour, la culture et la commercialisation de melon

africain constituent des secteurs économiques non négligeables en Afrique tropicale. En Côte d'Ivoire par exemple, les statistiques enregistrées en 2003 montrent que les graines des pistaches nettoyées et séchées se vendaient trois fois le prix de Cacao et sept fois celui du café (Achigan- Dako & Baudouin, 2007).

1.2.2. Classification et aire de dispersion

C. manii(Naudin) est une plante de l'Ordre de *Cucurbitales*, de la famille des *Cucurbitaceae*, de la sous-famille des *Cucurbitoideae*, de la tribu des *Melothriaceae*, de la sous-tribu des *Melothriinae* et du genre *Cucumeropsis*. Dans les annales des Sciences Naturelles série 5, tome 5 (1866), Naudin a montré que *Cucumeropsis* est un genre monospécifique et y a décrit une seule espèce: *C. manii* (Naudin). C'est une espèce indigène de l'Afrique centrale et de l'Ouest (Jeffrey & Okoli, 1990). Sa culture est pratiquée dans toute l'Afrique tropicale. Cette espèce est quasi-absente en Madagascar, en Afrique du Sud et dans les zones arides du Soudan et de l'Ethiopie (Keraudren, 1990). *C. manii*(Naudin) est cultivée dans 11 provinces de la RDC, mais la grande production de cette espèce provient de la Province de l'Equateur. L'importance de *C. manii* (Naudin) est concurrencée aujourd'hui en RDC et en Afrique en générale parce que sa culture est progressivement remplacée par celles de *Citrullus lanatus* (Thanb.) Mats. & Nakai et de *Cucumis melo* var *agrestis*, L. (Azo'oEla & Messi, 2012 ; Zoro Bi, 2003)



Figure 1. 6: Zone de la distribution de la culture de *C. manii* (Naudin)
Source : (<http://database.prota.org/PROTAhtml/Cucumeropsis%20mannii>)

1.2.3. Description botanique

Le *C. manii* (Naudin) est une plante herbacée annuelle possédant un système racinaire pivotant.

La tige est grimpante jusqu'à cinq mètres de long, elle est ramifiée et plus ou moins glabre à poilue. Elle est anguleuse, côtelée en hercier, plus ou moins tordue, assez robuste et vert clair. Elle possède des vrilles qui lui permettent de s'accrocher au support.

Les feuilles sont alternes, en contour ovale, ayant un limbe plus ou moins pentagonal et palmatilobé, avec 3 à 5 lobes. La surface de limbe est gaufrée et luisante. Leurs pétioles ont 3 à 15 cm de longueur, striés en hercier, pubescent-hirsutes à l'état jeune, puis glabrescents. Leurs nervures sont pubérulentes à nervation palmée, avec 3 à 5 nervures basales, les nervures secondaires se raccordent et les tertiaires sont réticulées et plus ou moins sécantes au bord du limbe.

C'est une espèce monoïque à fleurs unisexuées. Les fleurs mâles et femelles sont de couleur jaune et ne présentent pas une distinction morphologique majeure.

Les fleurs mâles sont groupées (7 à 15) en inflorescence axillaire, racémiforme à subombelliforme.

Leurs pédoncules sont plus ou moins grêles, ayant 1 à 5 cm de long et pubérulents. Leurs pédicelles sont étalés, fins, pubérulents et ayant 4 à 18 mm de long.

Leurs bractées sont parfois foliacées ovales et dans la plupart de cas, elles sont absentes.

Leurs réceptacles sont campanulés, arrondis à la base, plus ou moins rétrécis vers la gorge, verdâtres, ayant la partie supérieure pubéscence.

Les calices ont chacun 5 sépales libres, étalés, étroitement ovales à étroitement triangulaires, à sommet aigu, vert jaunâtre et pubérulent.

Les corolles sont pentamères avec de pétales légèrement unis à la base, elles sont ovales, à sommet obtus, jaunes et finement pubérulents sur les deux faces.

L'androcée est trimère avec les étamines insérées sur la partie supérieure du réceptacle. Les étamines sont libres et jaunâtres.

Les anthères sont subsessiles, dorsifixes et plus ou moins elliptiques à obovales. Deux d'anthères sont biloculaires, la troisième est uniloculaire, avec des loges droites, recourbées au sommet, bordées de poils, à déhiscence longitudinale extorse; avec un connectif large, non prolongé au dessus des loges.

Les pistillodes sont cupuliformes, non distincts de la base du réceptacle.

Les fleurs femelles sont solitaires et axillent les inflorescences mâles. Leurs pédicelles ont 1,5 à 5 cm de long et sont pubérulents.

Les réceptacles des fleurs sont plus ou moins cylindriques, verdâtres, ayant une partie supérieure (de l'intérieure) pubescente.

Les calices sont pentamères, avec sépales libres, étalés, étroitement ovales à étroitement triangulaires, à sommet aigu, vert jaunâtres, plus ou moins pubérulents.

Les corolles sont pentamères, avec pétales légèrement unis à la base, ovales, à sommet obtus à plus ou moins aigu et finement pubérulents sur les deux faces.

Les gynécées sont à ovaire infère, fusiforme, uniloculaire, à 3 placentas pariétaux, horizontaux, anatropes. Style en colonne de 2,5 à 4 mm de long et stigmates bilobés de 3 à 5 mm de long, blanchâtres et papilleux.

Les staminodes sont linéaires-triangulaires, ayant plus ou moins 1mm de long, insérés sur le réceptacle.

Les fruits sont des baies pendantes, ellipsoïdales à obovoïdes. Les fruits sont allongés de couleur vert jaunâtre, à peau lisse brillante. Ces fruits sont portés par un pédoncule d'environ 10 cm. Ils ont jusqu'à 8,5 cm de diamètre et 15 cm de longueur. La pulpe est blanche. Les graines sont plates, blanchâtres, lisses et rétrécies à une extrémité. Elles ont 0,73 cm de largeur sur 1,60 cm de longueur. En maturité, les baies tendent à se séparer de leurs pédicelles à la base en raison de la formation d'une zone d'abscission. Le symptôme de la maturité de baies le plus couramment adopté est le changement de couleurs, qui virent de vert à vert jaunâtre (Zoro Bi, 2003).

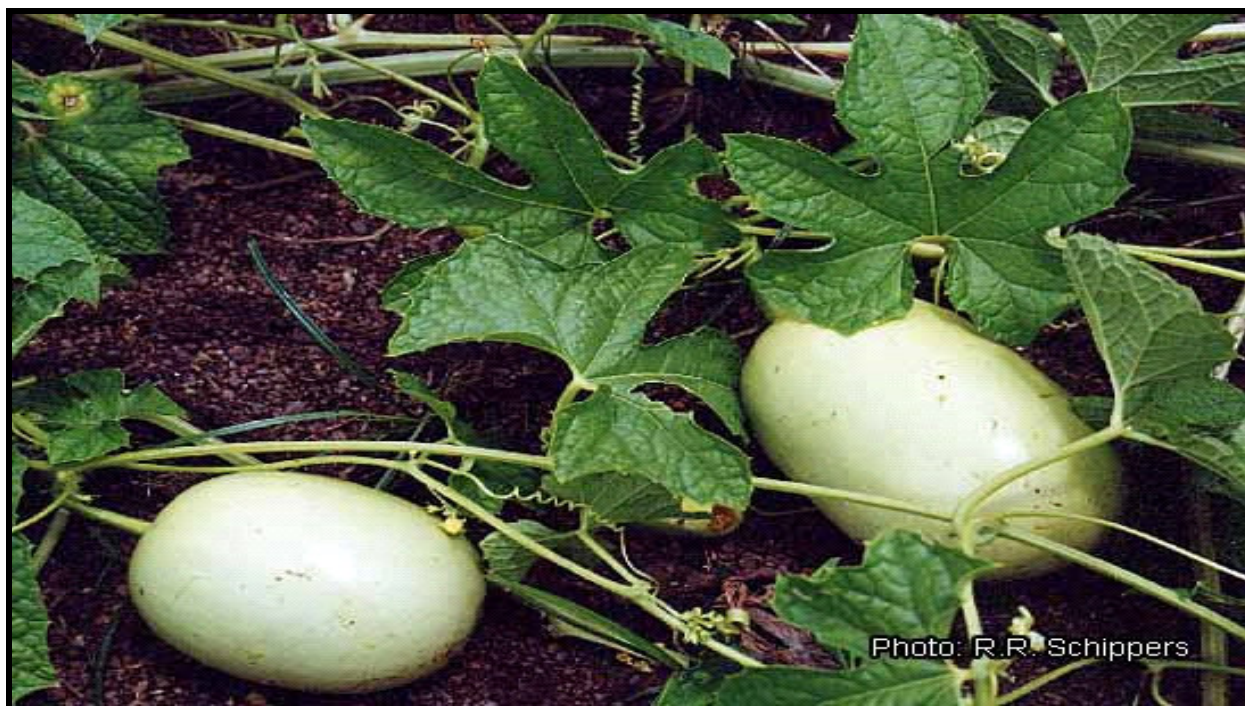


Figure 1. 7: Portion de tige feuillée de *C. manni* (Naudin) portant des baies

1.2.4. Biologie florale

Le *C. manni*(Naudin) est une espèce monoïque à fleurs unisexuées. Les fleurs mâles et femelles ne présentent pas une distinction morphologique majeure. Elles sont généralement de couleur jaune. Les fleurs femelles en nombre beaucoup plus réduit apparaissent 8 à 10 jours après les fleurs mâles. Les fleurs femelles se referment 24 heures après leur épanouissement et le développement de fruit qui dure environ trois semaines commence immédiatement. Les fleurs femelles non fécondées tombent quatre jours après leur épanouissement(Azo'oEla & Messi,2012).

La pollinisation est assurée par les insectes et principalement par les abeilles domestiques (Fomekong *et al.*, 2008). Les abeilles domestiques sont actives dans la pollinisation de *C. manni*(Naudin) le matin entre 7 heure et 10 heures. Cette espèce est ni parthénocarpique, ni apomictique sous les conditions naturelles (Azo'o Ela & Messi ,2012).

Certaines publications révèlent une liste d'autres insectes qui interviennent occasionnellement dans la pollinisation de *C. manni*(Naudin).Ce sont notamment les Vespidae, Acreidae, Pieridae, Coccinellidae, Formicidae et Thripsidae (Pesson & Louveaux, 1984; Fomekong *et al.*, 2008).

En Afrique (Cameroun, RDC, Côte d'Ivoire), certains chercheurs ont suggéré l'utilisation d'*A.mellifera adansonii*, L. pour assurer la pollinisation de *C. man nii*(Naudin). La pollinisation entomophile avait montré au Cameroun un impact positif sur la production en pépins de *C. man nii*(Naudin) (Fomekong *et al.*, 2008; Azo'o Ela & Messi,2012).

1.2.5. Culture

Ecologie

Pour sa croissance et sa production le *C. man nii*(Naudin) a besoin d'un temps chaud, sec et ensoleillé. La plage de température optimale se situe entre 18-28°C. En dessous de 12°C, la croissance est sévèrement ralentie. Le *C. man nii*(Naudin) supporte facilement plusieurs heures par jour de températures très élevées, jusqu'à 40°C. Une humidité élevée réduit la croissance, a des effets nocifs sur la qualité des fruits et favorise les maladies foliaires. Le *C. man nii*(Naudin) pousse mieux sur des sols fertiles limoneux, profonds, bien drainés et bien travaillés, où le pH est entre 6-7. Il ne supporte pas les sols très acides et l'asphyxie racinaire (Odet *et al.*, 2003).

Conduite de cultures

En Afrique,*C. man nii*(Naudin) se cultive en association avec d'autres cultures comme les bananiers, le maïs, le manioc... (Westphall *et al.*, 1981). Il se cultive dans des conditions d'altitudes normales à condition de pratiquer une rotation avec de précédentes cultures non cucurbitacées pour éviter les effets résiduels de maladies transmises par le sol et de nématodes. Lorsqu'on pratique une culture itinérante sur brûlis, les débris laissés servent de support. Dans la savane herbeuse, il est recommandé de procéder au tuteurage pour améliorer la production de fruits. Le sol doit être bien labouré. Le besoin en engrais dépend de la réserve du sol en éléments nutritifs et de la rentabilité de culture. Le besoin en nutriments correspondant à une récolte moyenne (20 tonnes/ha de fruit) est la suivante : 60-120 kg de d'Azote, 9-18 kg de Phosphore, 100-120 kg de Calcium et 10-30 kg de Magnésium. Le *C. man nii*(Naudin)réagit bien aux fumures organiques et la dose optimale recommandée serait de 25-30 tonnes/ha. En ce qui concerne la fréquence d'épandage, il est conseillé qu'un engrais complet soit épandu avant le semis suivi d'une application d'engrais azoté en surface lorsque les tiges atteignent 2-30 cm de long. Les melons africains sont particulièrement sensibles à la carence en Calcium, qui se manifeste souvent au niveau des fruits par un cœur aqueux. Il est

également très sensible en molybdène, lorsque sa culture est pratiquée sur les sols ferrallitiques.

Il convient également de signaler que tous les melons africains manifestent une grande sensibilité aux herbicides, dont l'Atrazine, et des résidus d'herbicides de cultures précédentes.

En général, les melons africains ont une régénération générative. Leur semis est direct avec 2-3 graines par paquet de 2-4 cm de profondeur.

Le semis se fait avec des écartements de 50-60 cm sur la ligne et de 120-200 cm entre les lignes, soit une densité de 8000-16000 plantes à l'ha. Parfois le semis se fait dans des pots en polyéthylène suivi d'un repiquage au champ lorsque les plants séjournent 4 semaines dans les pots de germination. On procède ultérieurement au démariage pour ne laisser croître qu'une seule plante par emplacement. La quantité de semences à l'ha est estimée à 1,5 ou 2 kg des graines (Odet et *al.*, 2003).

Dans les régions subtropicales, on utilise couramment des bâches en polyéthylène noires, transparentes ou argentées, non seulement pour lutter contre les adventices, mais aussi pour élever ou abaisser la température du sol. Sous les tropiques, les matériaux de paillage les plus répandus sont la paille de riz ou de l'herbe et, de plus en plus, le film plastique. Dans les régions où ces matériaux ne sont pas disponibles, il est nécessaire de désherber pour réduire la concurrence des adventices. Le binage ou l'arrachage manuel des grands adventices est une pratique fréquente (Odet et *al.*, 2003).

La récolte n'interviendra que lorsque les baies deviennent totalement mûres c'est-à-dire possédant à l'intérieur les pépins durs et blancs (Odet et *al.*, 2003).

Après la récolte, les baies sont déposées en tas afin de forcer leur décomposition. La durée de décomposition des baies varie de 12 à 15 jours. Les pépins issus des baies décomposées seront finalement triés, lavés et séchés avant leur commercialisation.

Les rendements moyenns de *C. manni*(Naudin) oscillent 100-500 kg de pépins/ha (Mirghani KA. & El Tahir, IM., 1997)

- **Caractéristiques agronomiques**

Les valeurs moyennes de huit caractéristiques agronomiques de *C. manni* (Naudin) sont indiquées dans le tableau 1.1.

Table 1. 1: valeurs moyennes de huit caractéristiques agronomiques de *C. mannii* (Naudin) (Zoro Bi, 2003).

Caractéristiques	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale
Taux de germination (%)	18,00	34,00 ± 12,07	54,00
Poids de 100 graines (mg)	79,84	84,86 ± 4,62	93,49
Forme de graines : Largeur/longueur	0,43	0,45 ± 0,01	0,56
Nombre de graines par fruit	255,00	277,75± 15,66	305
Poids de fruit mature (gramme)	300,00	392,90 ± 51,20	480,00
Durée de fruit pour se décomposer (jour)	12,00	13,83 ± 1,03	15,00
Diamètre du fruit (cm)	7,50	8,01 ± 0,30	8,50
Diamètre de la cavité de fruit (cm)	5,00	5,70 ± 0,34	6,20

1.2.6. Généralités sur les maladies et les ravageurs de melons africains

Plusieurs pathogènes sont responsables de maladies qui affectent les melons africains (Odet *et al.*, 2003 ; Blancard, 1998 ; Mirghani KA. & El Tahir, IM., 1997), dont :

1.2.6.1. Champignons et bactéries pathogènes de Cucurbitacées:

1° *Didymella bryoniae*, est l'agent responsable de la pourriture noire qui provoque le *chancre* de la tige et du pédoncule du fruit ;

2° *Sphaerotheca fuliginea* et *Erysiphe cichoracearum*, sont les agents responsables de l'*oïdium* ;

3° *Colletotrichum lagenarium* est un agent responsable de la *rouille rouge* ;

4° *Pythium* sp. et *Rhizoctonia* sp. sont les agents responsables de la *fonte des semis* qui peut être maîtrisée en traitant les graines avec des fongicides ;

5° *Erwinia tracheiphila*, est l'agent responsable de la *pourriture humide* qu'on contrôle en supprimant les plantes touchées et en contrôlant le vecteur (la chrysomèle rayée du concombre).

6° *Pseudomonas lachrymans* est l'agent responsable de la *maladie des taches anguleuses* qui est surtout une maladie du concombre.

7° *Fusarium oxysporum* f.sp. *melonis*, est l'agent responsable de la *fusariose* qui ne peut être évitée qu'en utilisant les matériels résistants.

8° *Monosporascus cannonballus* est l'agent responsable d'un *Brusque flétrissement*. Il est souvent transmis par le sol et il constitue un problème grave dans les régions à climat subtropical où les températures du sol sont élevées (30°-35°C) et où les sols sont neutres ou alcalins. Il est souvent déconseillé dans ce cas d'envisager de faire le recours au paillage à plastique parce qu'il constitue un risque potentiel de ce flétrissement.

1.2.6.2. Virus de Cucurbitacées fréquemment rencontrés en conditions tropicales

Les virus sont généralement transmis par des insectes comme les Aphididae et Cicadellidae :

1° virus des taches en anneau de la papaye (PRSV-W), anciennement WMV-1, transmis par les pucerons ;

2° virus de la mosaïque du concombre (CMV), transmis par les pucerons, surtout par *Aphis gossypii* ;

3° virus de la criblure du melon (MNSV), transmis par un champignon du sol (*Olpidium* sp) ;

4° virus de la marbrure verte du concombre (CGMMV) transmis par les cicadelles ;

5° virus de la frisolée de la betterave (BCTV), transmis également par les cicadelles.

1.2.6.3. Nématodes parasites de *C. manni*(Naudin)

Parmi les nématodes on citera les nématodes à galles, *Meloidogyne* sp qui peuvent constituer un fléau grave lorsque le *C. manni*(Naudin) est cultivée sur une même parcelle sans rotation appropriée. On peut lutter contre ce problème en procédant à la solarisation du sol et à l'utilisation de fumigant du sol à large spectre, mais ces derniers sont coûteux et comportent des risques pour l'environnement et pour l'opérateur.

1.2.7. Entomofaune associée au *C. manni*(Naudin).

Les études préliminaires sur l'entomofaune associée aux cucurbitacées dans la zone tropicale ont été réalisées par Blancard (1998); Appert & Deuse (1988), Bani (1990) ; Kekeunon *et al.* (2006) et Fomekong *et al.* (2008). Ces chercheurs ont identifié les insectes associés aux cucurbitacées et leurs fonctions biologiques comme ravageurs; pollinisateurs; prédateurs et vecteurs de maladies.

1.2.7.1. Principaux ravageurs

Les principaux ravageurs qui causent des dommages à la culture de *C. manni*(Naudin) sont : Chrysomelidae, Cucurlionidae, Cerambicydae, Tenebrionidea, Cleridae, Pyrrhocoridae, Pentatomidae, Formicidae, Acrididae, Pyrgomorphidae, Gryllidae, Tephritidae (Blancard, 1998 et Fomekong *et al.*, 2008),

1.2.7.2. Pollinisateurs

Les principaux insectes pollinisateurs qui assurent le transfert de pollen des anthères aux stigmates de *C. manni*(Naudin)sont : Vespidae, Apidae, Acreaidae, Pieridae, Coccinellidae, Formicidae et Thripsidae (Fomekong *et al.*, 2008, Pesson & Louveaux 1984) ;

1.2.7.3. Insectes auxiliaires utilisés dans la lutte biologique

Les auxiliaires utilisés dans la lutte biologique contre les ravageurs et qui sont fréquemment associés à la culture de *C. manni*(Naudin)sont : Mantidae, Coccinellidae, Reduviidae et Odonates (Fomekong *et al.*, 2008);

1.2.7.4. Insectes vecteurs de viroses

Enfin, Aphididae et Cicadellidae sont les principaux vecteurs de viroses associées à la culture de *C. manni*(Naudin)dans la zone tropicale (Fomekong *et al.*, 2008; Blancard, 1998).

1.2.8. Interaction abeille – Cucurbitacées.

Les relations des abeilles avec les Cucurbitacées sont établies, perfectionnées et diversifiées sur base de bénéfices réciproques : intérêt alimentaire pour les abeilles et avantage concernant la reproduction pour les Cucurbitacées. Du point de vue intérêt alimentaire, il convient de noter que les besoins journaliers d'une colonie d'abeilles domestiques sont estimés à 200g de pollen. En une année, les butineuses d'une colonie de force normale récoltent dans certaines régions (régions tempérées) 30 à 40 kg de pollen (Zander & Weiss, 1991; Bruneau, 2006). Les Cucurbitacées cultivées sont des plantes entomophiles dont les fleurs sont attractives pour les abeilles tant pour le pollen que pour le nectar. Par exemple, au cours du mois d'été, certains chercheurs ont remarqué que dans une serre de 1000 m² d'une espèce de Cucurbitacée (*Cucumis spp*), les abeilles d'une colonie étaient très attirées par les fleurs et récoltaient quotidiennement jusqu'à 100g de miel (Pesson & Louveaux, 1984). Une fleur mâle de Cucurbitacée (*Cucumis melo subsp agrestis*) peut produire en moyenne 5580 grains de pollen contre 4985 pour la fleur hermaphrodite (Djè *et al.*, 2006).

1.3. Pollinisation entomophile

1.3.1. Contexte général

La pollinisation constitue la première étape d'une série de processus assurant la rencontre des gamètes mâles et femelle dans la reproduction des angiospermes (Kearns *et al.*, 1998). Durant cette étape, les grains de pollen sont transportés des étamines d'une fleur émettrice jusqu'au stigmate d'une fleur réceptrice où aura lieu la fécondation (Pesson & Louveaux, 1984).

Outre l'entomogamie, il existe des agents physiques qui contribuent à la pollinisation. Les principaux agents physiques de la pollinisation sont l'eau (hydrogamie) et le vent (anémogamie) qui interviennent dans le transfert de 30 % du pollen. Les vecteurs biotiques impliqués dans 70% de la pollinisation sont les animaux (zoogamie). Les principaux animaux pollinisateurs sont les oiseaux (pollinisation ornithophile), les chauves-souris (pollinisation chiropterophile), les insectes (pollinisation entomophile) et les mammifères (rongeurs, primates et les marsupiaux, etc.). Parmi les pollinisateurs animaux, les plus actifs sont les insectes (pollinisation entomophile). Dans le règne animal, les abeilles sont les plus impliquées dans la pollinisation de plusieurs espèces végétales (Devy & Davidar, 2003).

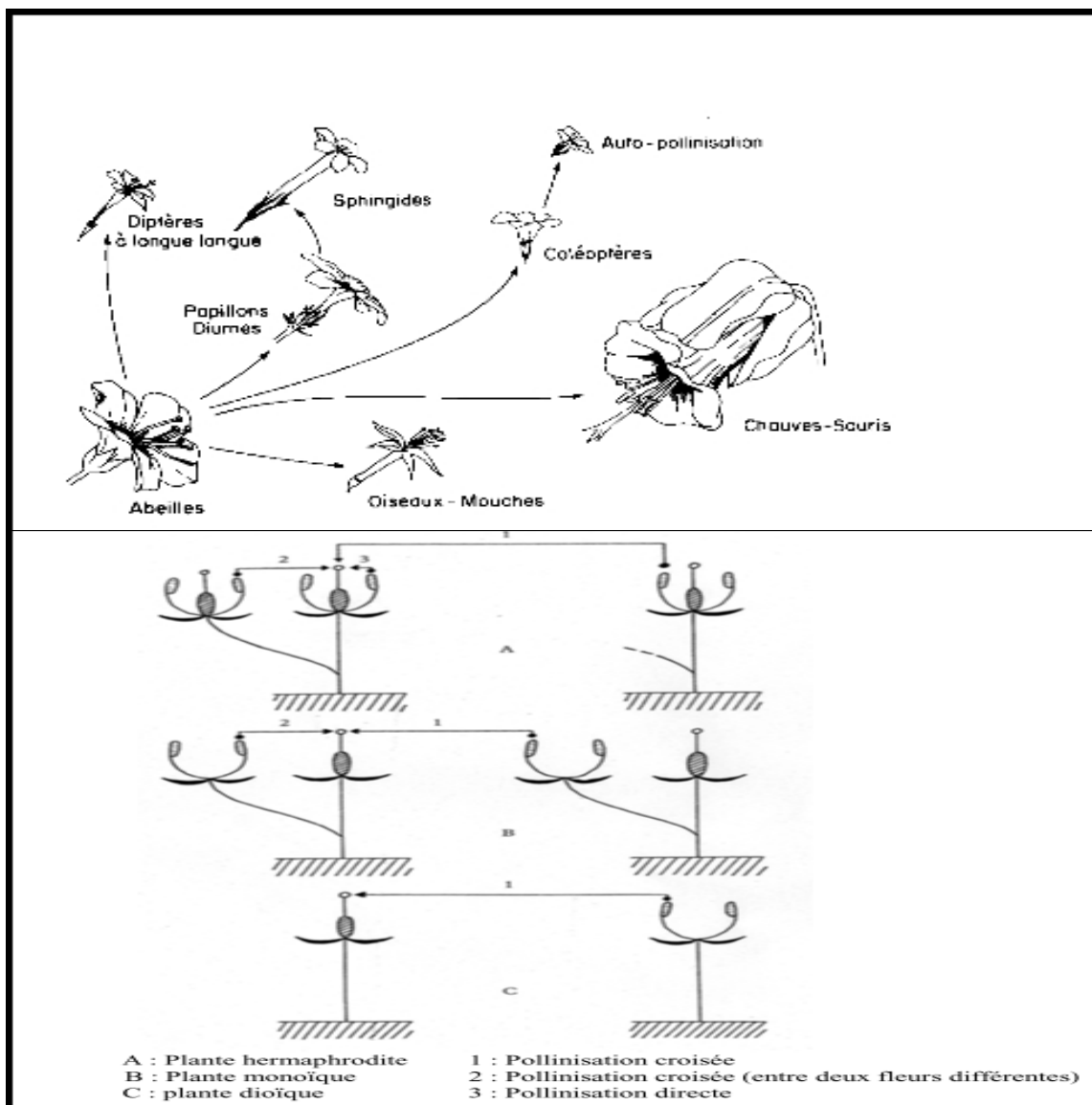


Figure 1. 8: pollinisation chez les plantes ; Source : (Pesson & Louveaux, 1984 ; Alleaume, 2012)

1.3.2. Pollinisation entomophile proprement dite

La pollinisation entomophile constitue un processus clé dans les écosystèmes terrestres, qu'ils soient naturels ou gérés par l'homme (Haubruge *et al.*, 2006). La majorité des phanérogames ne pourrait en effet, accomplir leur cycle de développement sans l'intervention d'insectes pollinisateurs, qui participent de manière prépondérante à la reproduction de nombreux végétaux (Allen-Wardell *et al.*, 1998). Dans les écosystèmes agricoles par exemple, 70 % des cultures de hautes valeurs, qui représentent environ 35 % de la production agricole mondiale sont directement ou indirectement dépendants de l'activité pollinisatrice des insectes (Holden, 2006; Klein *et al.*, 2007).

Pour quantifier le besoin en pollinisateurs dans une région, il est crucial de faire un bilan global de sa flore. Si nous prenons par exemple une région comme la RDC, le dépouillement des données rassemblées par les botanistes fait état de 377 familles, 2.136 genres et 10.531 espèces identifiées. On a dénombré 6 espèces de Gymnospermes et 9.699 espèces d'Angiospermes (92%) dont 1.943 Monocotylédones (25%) et 7.756 Dicotylédones (75%). Avec ses 10.531 espèces végétales, la flore congolaise est parmi les plus riches du monde (Boyemba, 2011). Dans certaines régions tropicales d'Afrique telles que la RDC, il a été démontré par Bawa (1990) que 99 % de phanérogames sont pollinisés par les animaux et particulièrement les insectes. Ce qui revient à conclure que plus de 90 % des espèces qui forment la flore congolaise sont dépendantes de l'activité pollinisatrice des insectes.

1.3.2.1. Insectes pollinisateurs

Pour qu'un insecte soit pollinisateur, il est nécessaire (i) qu'il soit intéressé par les ressources florales et (ii) qu'il transporte du pollen (Pesson & Louveaux, 1984).

Quatre ordres d'insectes remplissent principalement les conditions citées ci-dessus, bien que quelques insectes appartenant à d'autres ordres puissent également avoir une activité pollinisatrice. Parmi les insectes qui visitent les fleurs et qui participent à la pollinisation on retrouve des représentants de quatre principaux ordres, à savoir des Coléoptères, des Diptères, des Lépidoptères et majoritairement des Hyménoptères (Pesson & Louveaux, 1984).

Les Coléoptères sont considérés comme les pollinisateurs primitifs. Ils assurent une pollinisation qualifiée de « Mess-and-Soil » par Faegri et Van der Pijl (1971). Ils déambulent autour des fleurs et consomment toutes les parties florales. Du pollen se dépose sur leurs corps lorsqu'ils se déplacent dans une zone contenant des anthères et est déposé sur les

stigmates d'autres fleurs. Les fleurs visitées par les Coléoptères sont des fleurs ouvertes avec des anthères bien exposées et sentant les fruits fermentés. Les Coléoptères participant à la pollinisation ont des adaptations structurales comme la projection en avant de leurs parties buccales ou l'élongation de leur prothorax, leur permettant d'atteindre les nectaires dans les fleurs profondes et d'extraire le nectar plus rapidement (Kevan & Baker, 1983).

Les Diptères sont également considérés comme les pollinisateurs primitifs à cause de leurs pièces buccales du type lécheur-suceur. Ils visitent les fleurs principalement pour le nectar même si certains se nourrissent de pollen. Les fleurs visitées doivent être facilement accessibles et ne pas être profondes (Kevan & Baker, 1983). La plupart des Lépidoptères se nourrissent de nectar, mais également d'autres liquides. Généralement, ils ne peuvent boire que les nectars les moins visqueux, bien que certains Lépidoptères secrètent de la salive pour diluer les nectars plus sirupeux. Les papillons diurnes visitent des fleurs de couleur vive avec des corolles tubulaires. Les papillons nocturnes visitent plutôt des fleurs pâles se distinguant facilement du feuillage foncé et fortement parfumé pour pouvoir les localiser (Kevan & Baker, 1983).

Les Hyménoptères constituent l'ordre qui renferme le plus d'insectes pollinisateurs. Ils se nourrissent de nectar, de pollen et d'autres parties florales. Au sein de cet ordre, les Apoïdes sont les pollinisateurs les plus importants et les plus adaptés. Leurs pièces buccales sont structurées pour la récolte de nectar et leur corps poilu adapté pour la collecte de pollen. Leur comportement est adapté à la connaissance et à la manipulation des fleurs (Kevan & Baker, 1983). On regroupe sous le terme « abeille » ou « Apoïdes » divers genres tels que *Apis* et *Bombus* qui ont une organisation sociale, mais également des abeilles solitaires telles que les *Osmies*, les *Mégachiles*, les *Andrènes*, les *Xylocopes* qui sont les plus nombreuses. Le mutualisme qui lie les Apoïdes aux fleurs conduit à la coévolution et à la diversité des espèces que l'on connaît aujourd'hui. Plus de 20.000 espèces d'abeilles dans le monde contribuent à la reproduction sexuée, et donc à la survie et à l'évolution de plus de 80% des plantes à fleurs (Rasmont *et al.*, 1995; Michener, 2007).

1.3.2.2. Pollinisateurs introduits

Lorsque des pollinisateurs sont importés dans une culture, il convient de faire une distinction entre la pollinisation libre, réalisée par les pollinisateurs sauvages présents dans les environs, de la pollinisation dirigée, réalisée par les pollinisateurs introduits.

Les pollinisateurs introduits sont des espèces élevées par l'homme pour accroître la valeur commerciale des cultures et, dans le cas de l'abeille mellifère, pour la production de miel. Ces espèces ont la caractéristique essentielle de pouvoir être gardées, élevées et reproduites en masse (Pesson & Louveaux, 1984).

Le pollinisateur introduit le plus largement utilisé à travers le monde pour la pollinisation de plusieurs cultures est l'abeille mellifère. Du point de vue pollinisation dirigée, *A. mellifera*, L. agent pollinisateur très efficace, est facile à élever et à déplacer. Durant un même vol de récolte, elle a une forte tendance à se spécialiser vis-à-vis d'une espèce végétale unique et permet ainsi d'optimiser le transfert de pollen entre plantes de la même espèce. Sa vitesse de butinage varie de 10 à 14 fleurs par minute, dépendant de la température et souvent des aléas climatiques (Jacob-Remacle, 1990).

Le deuxième pollinisateur le plus utilisé est probablement le bourdon *Bombus terrestris*, qui fait l'objet d'un élevage industriel qui gagne en popularité. Un très petit nombre d'espèces d'abeilles solitaires sont de plus en plus élevées commercialement pour la pollinisation. Les plus connues sont l'abeille charpentière (*Xylocopa virginica*), l'abeille maçonne (*Osmia lignaria*), l'abeille à corne japonaise (*Osmia cornifrons*) et, enfin, la mégachile de la luzerne (*Megachile rotundata*), qui est facilement aménageable et qui peut être élevée d'année en année.

1.3.2.3. Différentes étapes d'une pollinisation entomophile dirigée

Les opérations d'une pollinisation entomophile dirigée sont multiples et variables selon les productions considérées. Pesson & Louveaux (1984) distinguent généralement quatre étapes pour réaliser une pollinisation entomophile dirigée.

Première étape : élevage des pollinisateurs

En fonction des pollinisateurs utilisés, les fournisseurs ou apiculteurs accomplissent des travaux d'élevage ou de préparation des insectes pollinisateurs. Dans le cas d'*A. mellifera*, L., les apiculteurs fournisseurs exécutent les travaux ci-après :

Aménagement de rucher, acquisition de matériels apicoles, acquisition de colonies d'abeilles et conduite de rucher.

Deuxième étape : osmoguidage

La technique d'osmoguidage n'est pas une étape obligatoire dans une pollinisation entomophile dirigée. Elle consiste à nourrir les abeilles avec des solutions sucrées, fabriquées à partir de la macération des fleurs de la plante à polliniser dans l'idée d'attirer les abeilles vers ces fleurs. Cette méthode n'a donné que des résultats très discutables et bien contradictoires. Les essais réalisés récemment en France n'ont pas abouti à de conclusions significatives et ont été abandonnés.

Mais, d'autres approches sont mises au point pour le développement d'une autre technique, qui est celle des distributeurs de pollen. Les scientifiques entreprennent actuellement la construction d'un distributeur à pollen, qui, placé à l'entrée d'une ruche, qui permet aux abeilles butineuses de se charger de pollen au passage, qu'elles déposent ensuite sur les stigmates lors du butinage (Pesson & Louveaux, 1984).

Troisième étape : introduction de ruches dans le champ.

Avant l'introduction de ruches dans la culture, plusieurs questions sont préalablement posées : « quand, combien et comment les ruches sont installées dans la culture? »

Quand est-ce que les ruches sont installées dans la culture ?

La livraison des colonies s'effectue selon les exigences du calendrier des floraisons de différentes cultures. D'une manière générale, il faut introduire les ruches dès le début de la floraison (quand 10 % de pieds fleurissent). Il est fortement recommandé de ne pas déposer les ruches dans la culture avant la floraison car les butineuses pourraient se fixer sur des fleurs compétitives situées à proximité. Il ne faut pas non plus introduire les ruches trop tard, car la pollinisation risquerait d'avoir lieu après la période de réceptibilité de gynécée. Pour les cultures fruitières, les ruches sont installées dans les vergers au stade F1 de la fécondation. Dans le cas de Cucurbitacées, il est conseillé d'installer les ruches dans la culture lorsque 10 % de pieds ont fleuri (Pesson & Louveaux, 1984).

Combien de ruches installées à l'hectare ?

Le nombre de ruches à l'hectare est variable en fonction des floraisons, de l'attractivité de la plante à polliniser et des conditions météorologiques et de la topographique. Néanmoins, une moyenne de 2-4 ruches à l'hectare peut couvrir les besoins de la plupart des cultures.

Cependant, pour certaines cultures à floraison abondante telles que les poiriers, l'actinidia, on augmentera parfois le nombre jusqu'à 8 voir 12 ruches à l'hectare.

Comment sont installées les ruches dans la culture ?

Bien que la mise en place des colonies d'abeilles puisse varier en fonction des cultures, de leur orientation, on peut mettre en avant quelques principes.

Le gradient de pollinisation d'une colonie d'abeilles varie (quelques centaines à quelques dizaines de mètres) selon les conditions météorologiques et se réduit beaucoup par temps froid, d'où l'intérêt évident de disperser les ruches notamment dans la culture. Cette répartition s'effectue en fonction du plan de plantation, et de la proximité immédiate des rangées de plantes. Pour des raisons pratiques et économiques, cette dispersion s'effectue par groupe de quatre ruches au minimum réparties d'une manière uniforme sur les parcelles à polliniser. Quand les haies fruitières ne sont pas trop longues (une cinquantaine de mètres) les ruches sont placées au bout de ligne. Elles ne doivent jamais être déposées le long des rangées extérieures.

En cultures grainières sur grande surface, si le terrain ne permet pas de disposer les ruches dans un endroit abrité des vents dominants et bien fourni en repères divers pour les abeilles, il est recommandé de placer les ruches par lots de quatre avec des entrées opposées tournées vers l'extérieur et à des intervalles de 2 m minimum entre eux. Cette disposition faciliterait bien le repérage.

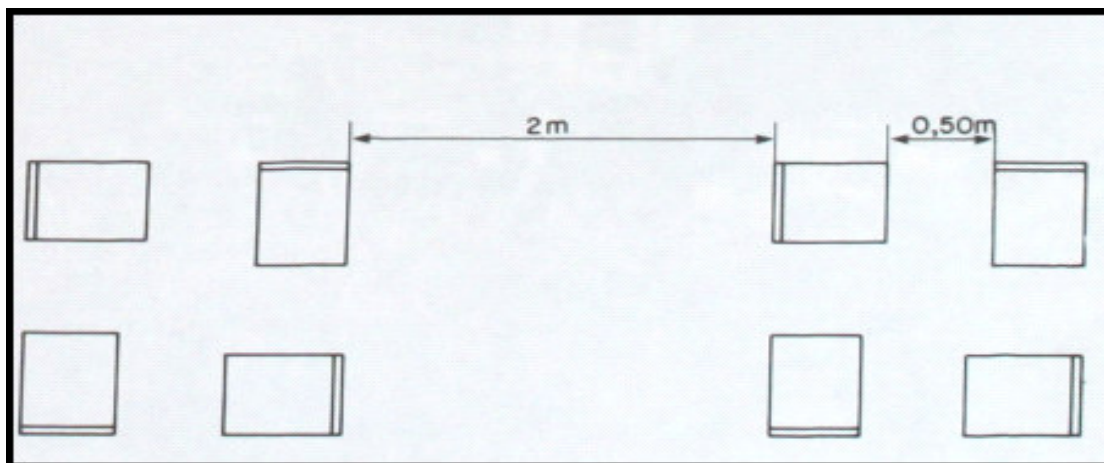


Figure 1. 9: Disposition de ruches dans un essai de pollinisation entomophile dirigée (Source : Pesson & Louveaux, 1984)

Quatrième étape : retrait des ruches

La durée du séjour des ruches dans les cultures est toujours débattue entre le fournisseur de pollinisateur (apiculteur) et l'agriculteur, car chaque partenaire cherche toujours à tirer le maximum de profit lors de la cohabitation «culture – abeille». Pour cette question, il faut préciser que les colonies sont généralement retirées dès que la floraison terminée et avant les traitements pesticides nécessités par la protection des cultures contre les ravageurs.



Figure 1. 10: Pollinisation dirigée des abeilles domestiques (*A. mellifera adansonii*, L.) sur la culture de melon africain à Kisangani.

1.3.2.4. Quelques inconvénients de la technique d'introduction des pollinisateurs dans les écosystèmes

Dans chaque écosystème, il existe des interactions entre les organismes impliqués. Ces interactions sont mises en œuvre par les processus de coévolution (Chapman & Reiss, 1992). La compréhension des interactions qui peuvent se produire entre les abeilles introduites et l'entomofaune locale est limitée en raison de la subtilité de leur mode de vie (Chagnon, 2008). Les abeilles introduites peuvent interagir positivement ou négativement avec l'entomofaune associée à la culture pollinisée. Bien que l'introduction d'abeilles améliore les rendements des cultures; dans certains pays comme l'Australie, les impacts négatifs de la mise en place de l'abeille introduite sur les abeilles sauvages ont été démontrés (Paini & Robert 2005). En effet, la présence des abeilles introduites dans l'écosystème agricole peut mener à une concurrence possible des ressources florales et des sites de nidification entre les abeilles et les pollinisateurs locaux (Barthell & Thorp, 1995, Barthell *et al.*, 1998, Thorp *et al.*, 2000 et Le Feon *et al.*, 2010). En plus de la compétition pour les ressources florales et les sites de

nidification, les abeilles pourraient être impliquées dans la prolifération et dans la transmission des pathogènes (Ghazoul, 2005). Les travaux de Hurgor-Burtz (1997), Smith *et al.* (2004), Kato *et al.* (1999) et Roubik (1978) ont révélé que l'introduction de pollinisateurs peut parfois occasionner l'introduction involontaire d'ennemis naturels (pathogènes, ravageurs) de l'entomofaune et des cultures locales.

1.3.3. Adaptation des plantes entomophiles

En fonction du mode de pollinisation, les plantes ont développé des caractères spécifiques, notamment au niveau de leurs organes reproducteurs pour optimiser leur pollinisation. Ainsi, les plantes entomophiles ont développé des caractéristiques pour être vues de leurs vecteurs et pour être attirantes. Elles possèdent ainsi des pièces florales très voyantes. Elles secrètent des parfums pour être repérées et produisent du nectar et du pollen pour fournir une récompense au pollinisateur. Au niveau de leurs structures reproductrices, elles ont le ratio pollen-ovule faible car la dispersion du pollen n'est plus aléatoire mais orientée. Ce pollen est souvent de plus grande taille, et aussi plus lourd. Il est ornementé et recouvert de pollenkitt pour pouvoir adhérer au corps des vecteurs (Culley *et al.*, 2002).

1.3.4. Attractivité aux pollinisateurs

L'attractivité qu'une fleur exerce sur un insecte pollinisateur est une notion complexe et multifactorielle. Elle dépend tout à la fois de la plante entomophile, de l'insecte pollinisateur ainsi que de l'impact de l'environnement sur chacun d'eux (Alleaume, 2012).

(a) Par rapport à la plante, l'attractivité d'une fleur par les pollinisateurs s'exprime principalement à trois niveaux: la morphologie des fleurs, la qualité de nectar et de pollen produits, la facilité d'accéder aux nectars et aux pollens ainsi que la localisation de la plante par rapport au site de nidation (Alleaume, 2012).

(b) Par rapport à l'insecte pollinisateur, il existe deux variables qui influencent l'attraction d'une butineuse à une plante à savoir la motivation de la butineuse et l'optimisation d'énergie de recherches de ressources alimentaires par la butineuse (Seeley *et al.*, 1995).

(c) Par rapport à l'environnement, les conditions environnementales influent de façon prépondérante sur l'attractivité d'une plante vis-à-vis des pollinisateurs. Parmi les facteurs de milieu influençant l'attraction aux pollinisateurs, on peut citer les conditions météorologiques, les conditions pédologiques, la richesse spécifique de la végétation

environnante, l'incidence de maladies de pollinisateurs dans le milieu... (Picard-Nizou *etal.*, 1992).

Globalement, pour une saison active, un mauvais temps prolongé limite l'activité des butineuses. Pour aller récolter le nectar et le pollen dans l'environnement, les butineuses doivent attendre les conditions climatiques qui leurs conviennent. Les butineuses préfèrent les journées ensoleillées et chaudes et gardent une activité très réduite durant les journées de pluies ou de vent fort (Pesson & Louveaux, 1984, Winston, 1993).

La production de nectar, objet de l'attraction des butineuses pour la fleur, varie de façon importante selon les facteurs environnementaux mais aussi les facteurs intrinsèques à la plante. La production du nectar par une plante est conditionnée par la température du milieu, l'hygrométrie du milieu (humidité de l'air), l'humidité du sol, l'ensoleillement et la vitesse de vent. Par exemple, des températures élevées sont favorables à l'ouverture des fleurs, mais peuvent être néfastes si elles atteignent les niveaux caniculaires (phénomène de défloraison) (Picard-Nizou *etal.*, 1992). L'incidence de maladies au sein d'une colonie de butineuses peut également modifier le comportement de butinage et réduire par conséquent leurs fréquentations sur les plantes entomophiles locales (Colla *etal.*, 2006)

La végétation de l'environnement peut influencer l'attraction d'une plante vis-à-vis des butineuses. Le choix d'une ressource est en théorie l'expression de préférence de tels pollens ou nectar, qui constituent les récompenses d'un conditionnement social utilisant les divers signaux.

1.3.5. Critères développés par les pollinisateurs pour repérer les plantes pollinisées.

La mémorisation d'une plante pollinisée par une butineuse se fait selon trois critères, à savoir les critères visuels, les critères olfactifs émis par les pollinisateurs eux-mêmes et les signaux de communication émis par la plante (Alleaume, 2012).

Les critères visuels pris en compte par les abeilles sont la couleur et la forme. La vision de la couleur et de la forme des plantes pollinisées se fait grâce aux deux yeux composés.

Pour le critère olfactif, il y a lieu de noter que l'autre critère déterminant dans la reconnaissance des fleurs par l'insecte est celui de perception des mélanges de dizaines de molécules semiochimiques émises par l'ouvrière pour orienter ses consœurs.

D'autres signaux de communication émis par la plante tels que les parfums constituent un critère déterminant pour la reconnaissance des fleurs par l'insecte pollinisateur. Les parfums floraux sont des mélanges de dizaines de molécules propres à chaque espèce. L'abeille les perçoit grâce aux sensilles réceptrices situées aux antennes.

1.3.6. Les théories de la distribution spatiale des pollinisateurs dans la culture entomophile

Les travaux de Calabuig (2000) et de Morandin et Winston (2005) ont mis en évidence deux théories qui expliquent la distribution spatiale des pollinisateurs dans une culture entomophile. Il s'agit de la «théorie de la distribution libre idéale de Fretwell et Lucas (1970)» et de la «théorie de l'approvisionnement optimal de Greenleaf *et al.* (2007)».

Théorie de la distribution libre idéale de Fretwell & Lucas (1970) ou « effet de bordure »

Cette théorie s'énonce comme suit: «l'abondance des pollinisateurs suit la répartition spatiale des densités des fleurs (ressources) dans le champ». Selon la «théorie d'effet de bordure», la densité des fleurs augmente linéairement de la bordure vers le centre de champ. De ce qui précède, l'abondance globale des pollinisateurs est plus faible en bordure qu'à l'intérieur de champ. Calabuig (2000) avait montré dans ses études que l'abondance des bourdons augmentait linéairement de la bordure vers le centre de champ de Colza.

Théorie de l'approvisionnement optimal de Greenleaf *et al.* (2007)

Selon cette théorie: «les pollinisateurs tendent à rentabiliser énergétiquement leur comportement entre gain acquis par la collecte de ressource et coût pour l'acquérir » Ce coût est fortement lié à la dépense énergétique au déplacement et donc à la capacité de vol, elle-même corrélée avec la taille chez les abeilles. Cette théorie révèle que l'abondance de pollinisateur diminue au fur et à mesure qu'on éloigne de leur site de nidation. Dans une culture, les pollinisateurs sauvages ont comme site de nidation, la végétation environnante de champ tandis que, dans le cas des pollinisateurs introduits tel que *A. mellifera*, L. le site de nidification est la ruche. Les résultats de Calabuig (2000) ont révélé que l'abondance des abeilles solitaires diminue de façon exponentielle des bordures vers le centre de champ de colza.

DEUXIEME PARTIE : RESULTATS OBTENUS

CHAPITRE 2: ETUDE EXPLORATOIRE DE L'APICULTURE EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

2.1. Présentation d'étude

La domestication proprement dite des abeilles en RDC remonte à la période de l'occupation coloniale. La Belgique était tributaire de l'étranger en ce qui concerne son approvisionnement en miel, et le gouvernement belge avait envisagé d'exploiter les ressources apicoles de son ancienne colonie et d'en développer la production dans les régions estimées les plus favorables. En 1947, les tonnages de miels exportés par la RDC étaient chiffrés à 211,797 tonnes. Depuis 1948, la RDC n'exporte plus le miel ; bien que ce pays regorge de potentialités apicoles incontestables (Dubois & Collart, 1950).

L'apiculture devrait offrir un grand intérêt économique, mais paradoxalement elle n'est pas conduite de façon à constituer une occupation continue. Elle est susceptible d'être pratiquée à titre accessoire. Pourtant, l'exploitation rationnelle d'un rucher pourrait apporter aux apiculteurs un supplément de revenu appréciable et permettrait de réduire la pauvreté d'une couche de la population rurale congolaise (CIFOR, 2008).

Avant d'essayer de revaloriser cette filière et d'envisager de lancer des projets apicoles de grande envergure, il serait crucial de mener en amont des études exploratoires sur l'apiculture congolaise.

Le but de cette étude était de montrer l'intérêt de la production apicole et d'attirer l'attention des décideurs et des investisseurs sur la valeur du miel trop peu exploité jusqu'à présent en RDC.

Les résultats consignés dans cette étude permettront aux scientifiques, aux investisseurs et aux décideurs qui voudraient s'adonner à l'apiculture au Congo de bien connaître les potentialités apicoles de quelques provinces, les infrastructures apicoles existantes, les races d'abeilles domestiquées, les modèles de ruches utilisés et les contraintes de l'apiculture en RDC.

A notre connaissance, durant ces quatre dernières décennies, très peu de publications ont traité de l'apiculture moderne et traditionnelle en RDC. Pour cela, nous souhaitons que ces investigations soient constamment répétées dans le territoire congolais car pour pouvoir bien traiter l'apiculture congolaise il faut d'une part une activité sédentaire permettant l'entretien et

l'observation des ruchers pendant plusieurs années et d'autre part, une vie itinérante (Dubois & Collart, 1950).

Néanmoins, nous espérons que la présente étude aura son utilité et suscitera les recherches dans un domaine où nos connaissances sont limitées.

Après une combinaison de trois approches pour collecter des données, à savoir (1) la recherche bibliographique, (2) les interviews et (3) les entretiens structurés avec les apiculteurs, les résultats obtenus ont été organisés sous forme d'un article qui constitue le chapitre 2 de ce travail.

2.2. Exploratory study of beekeeping in the Democratic Republic of Congo

Posho Ndola Boniface^{1,2}, Eric Haubruge¹, Frederic Francis¹, Bach Kim Nguyen¹

1. Functional and Evolutionary Entomology, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech; 2 Passages des déportés 5030 Gembloux, Belgium.
2. Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, B.P 1232 Kisangani, R.D.C

Email address for correspondence: poshoboni@yahoo.fr ; entomologie.gembloux@ulg.ac.be

Tél: +32 (0) 81622287, Fax: +32 (0) 81 62 22 87

ABSTRACT

The aim of the present study was to investigate beekeeping in Democratic Republic of Congo (DRC), taking ecological factors into account. Three methods were used: (1) submission of questionnaires to beekeepers, (2) visits to apiaries and (3) literature searches. Whilst Congolese beekeeping is generally semi-traditional, the country has huge potential for bee related activities. Beekeeping in DRC meets the requirements in the tropics regarding to the beekeeping calendar, techniques, infrastructure, race of honeybee and challenges for beekeepers. Considering the results of this study, some improvements in terms of adapted technologies will be proposed to increase the incomes of small beekeepers to contribute to the reduction of poverty, unemployment and food insecurity in DRC.

Keywords: Beekeeping potential, infrastructure, ecology, DRC.

2.2.1. Introduction

Bees belong to the insect class and the Hymenoptera order which currently includes 198,000 species divided into 91 families (Le Conte, 2006). Honeybees (*A. mellifera*, L.) are *Aculeata* belonging to the superfamily Apoidea, which includes nearly 20,000 species divided into seven families – *Colletidae*, *Andrenidae*, *Halictidae*, *Melittidae*, *Anthrophoridae*, *Megachilidae* and *Apidae*. The latter includes all eusocial bees of which one is the honeybee (Winston, 1993). Honeybees live in colonies consisting of 50–80,000 individuals. The social structure of the colony is developed, with individuals divided into caste and distribution functions (Alleaume, 2012). The colony consists of three types of individuals: the queen, the males (drones) and workers. The three castes of bees have different nutritional needs including nectar and pollen (Pham-Delegue, 1999). The honeybee has a holometabolous development, i.e. the development of the three castes of bee goes through four stages: (i) the egg, which, if fertilized, produces worker or queen, if not male; (ii) the larva, which undergoes five molts; (iii) the pupa; and (iv) the adult (Clément, 2002).

Bees play three key roles in the world. They play a role in the pollination of plants. They are also bio-indicators of ecosystem health and are involved in beekeeping (Haubruge *et al.*, 2006). As pollinator agent, the bee foraging in search of nectar and pollen participates actively in the pollination not only of wild plants but also cultivated flora thereby promoting plant breeding. More than 70% of the 127 most important crops worldwide, including almost all fruit trees, enjoy the pollination activity of wild and domestic bees (Klein *et al.*, 2007). The economic contribution of bees to world agriculture is estimated at US \$117 billion (Constaza *et al.*, 1997, Gazoul, 2005).

The bee can be used as a bio-indicator of the health of the ecosystem in which it operates. Indeed, the foragers explore a large area of several square kilometers from the hive. Through mortality observation and detecting pesticide residues, heavy metals and radioactive molecules in bees or products stored in the hive, it is possible to assess the level of pollution of the environment. The sensitivity to toxic substances in the environment of this very common insect can be of use to mankind (Haubruge *et al.*, 2006).

In beekeeping, man domesticated *A. mellifera*, L. to produce honey, pollen, beeswax, propolis, royal jelly and bee venom. In ecological terms, beekeeping allows the exploitation of natural resources without damaging the environment (Jean-Prost and Le Conte, 2005). If the consumption of honey by humans dates back more than ten thousand years, the bee has

remained relatively wild until the eighteenth century. Its domestication began when Janscha made the discovery that coupling was performed in flight. This insect is found in wild colonies on every continent except Antarctica (Moritz *et al.*, 2005).

In the DRC, beekeeping involves the manipulation and management of a colony of bees mainly to produce honey and sometimes other bee products such as wax and mead. Historically the Congolese collected wild honeys but destroy the colonies. Over time, Congolese beekeepers have adopted traditional hives made of plaited straw or bark, which are deposited on tree branches. But real beekeeping has appeared since colonial times, when numerous attempts were made to modernize beekeeping, especially after the introduction of Kenyan beehives and European honeybees (Dubois & Collart, 1950). The DRC had been planning since the colonial era to exploit the beekeeping resources of its provinces and to develop production in the most favorable regions. During this period, the DRC exported a quantity of bee products. In 1947, the tonnage of exported honey from the DRC amounted to 212 tons. Since 1948, the country has not exported bee products (Dubois & Collart, 1950). The activity is usually traditional, yet this country is full of flora and has huge climatic potential for better beekeeping production (CIFOR, 2008; Ngongo, 2009).

The current level of Congolese beekeeping is low with few documented scientific resources. Therefore, before rationally exploiting this sector in the DRC, it is crucial to start with an investigation into beekeeping in this country. The exploratory study on Congolese beekeeping currently has many shortcomings, because it first requires sedentary activity for maintenance and observation of hives for several years, and second, an itinerant lifestyle. The aim of the present study was to make an inventory of beekeeping potential and infrastructure in the DRC, taking ecological factors into account. The applied purpose of this study is to highlight the interest in Congolese beekeeping and to draw attention to the value of honey as an economic resource, not enough exploited so far in the DRC.

2.2.2. Materials and methods

Locations of study

The beekeeping data were collected from 1st February to 15th March 2010 at three sites of honey production in the DRC. These include Kisangani, Mampu and Kavwaya.

The DRC is a vast country straddling the equator between latitudes 5° 10' north and 13° 00' south and longitudes 11° 30' east and 31° 00' east (Geodate, 1995). The country has several different climatic zones. Unlike in remote areas of equator where the seasons vary with temperature, it is primarily the rainfall which creates seasonal differentiation in most of the country (Ngongo et al., 2009). Average monthly temperature varies between 22.4 and 29.3°C, with an average of 25.0°C. Annual rainfall varies between 1500 and 2000 mm, with an average of 1750 mm (Boyemba, 2011).

The DRC has more than one million square kilometers of tropical forests, home to many plant and animal species. It has 23.3% of African tropical forest and 60.0% of Central Africa forest area which represents approximately 9.2% of the global area of tropical rain forests (FAO, 2009). The flora is characterized by a diversity of plant formation (Di Gregorio and Jansen, 2000; Vancutsen *et al.*, 2006) whose classification is based on African vegetation types developed by agreements of Yangambi (1956) (Boyemba, 2011).

According to the latest data of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2009) and National Institute of Statistics (INS, 2009), the Congolese population has increased from 29.0 million to 60.2 million in 2006 and is expected to reach 108.0 million by 2025. The agriculture, mainly traditional is the main activity (Doumenge *et al.*, 2003).

Kisangani is an area located in the east of DRC at geographic coordinates 25° 11' E longitude, 0° 33' N latitude and at 390–410 meters altitude. It is dominated by rainforest and a hot and humid tropical climate corresponding to *Af* of Köppen classification (Ngongo, 2006).

Mampu, an area founded on the plateau Batéké in the western part of DRC at geographic coordinates 16° 17' 51" E longitude, 04° 18' 52" S latitude and at 720 meters altitude. It is dominated by replanted forest of *Acacia* and *Eucalyptus*, with a tropical climate corresponding to *Aw4* of Köppen classification characterized by a pronounced dry season which runs from May to September (Biloso, 2008).

Kavwaya, an area located in the western region of Bas-Congo at geographic coordinates 15° 06' E longitude, 5° 13' S latitude and at 525 meters altitude. It is grassland savanna with some forest galleries, with a tropical climate corresponding to *Aw4* of Köppen classification, characterized by a pronounced dry season which runs from May to September (Biloso, 2008).

These three ecosystems, differing by their climate and vegetation, correspond to variations in bee activities in DRC.

Methods

Three methods were used to carry out the exploratory study on beekeeping in Congo. These were: (i) Surveys were organized as structured questionnaire that we submitted to beekeepers. The questionnaires were distributed depending on the availability of apiaries and beekeepers at each investigated site. Seventy four beekeepers of whom 26 were in Mampu, 25 in Kisangani and 23 in Kavwaya were interviewed. This method allowed us to identify information related to the infrastructure used, adopted techniques, local potential for beekeeping, strains of domesticated bees, models of hives used, local honey plants, diseases and predators, number of harvests per year and the difficulties faced by beekeepers in each province surveyed;

(ii) Visits to the apiaries were also carried out to verify information, for example, relating to models of hives used and species of honeybee used, etc;

(iii) Literature searches were performed to accurately complete some data that seemed difficult to collect from local beekeepers such as the ones related to the botanical composition of honey and the marketing of honey.

Statistical analysis

Statistical analysis were performed using the analysis of variance tools of Minitab software with a significance level of 95% because the normality test (test of Anderson-Darling) revealed an abnormal distribution in all parameters analysed (Dagnelie, 1998).

2.2.3. Results and discussion

Organization of beekeepers

Most of Congolese beekeepers (54%) were grouped into associations (Figure 1). This percentage was similar to the results from CIFOR (2008) that concluded that a majority (56%) of beekeepers surveyed in 2008 in DRC wanted to work in some kinds of partnerships. According to our investigations, the level of organization of beekeepers varies by site depending on the presence (or not) of beekeeping support agencies on site. Indeed, at sites where all beekeeping support agencies were concentrated, such as in Mampu and in Kavwaya, it was found that 85% and 72% of interviewed beekeepers respectively worked in associations. In contrast, in Kisangani, where quite no support of beekeeping occurred, all of interviewed beekeepers noted to work independently.

Particularly, 19 beekeeper associations were identified in Mampu and in Kavwaya during our study (namely in FAIDEC, RAMA, COAPMA, ASALU, COABAC, CAF APDEN, ACENCO, APEMA, LUZOLO, PED, APDK, AAPES, COABAC, APDEAKA, ASALU, AFEBO, CHARITE, PLATE FORME ZONE NORD). These structures were supported by five beekeeping support agencies: European Union (Project Mampu), Centre d'Appui au Développement Intégral de Mbakana (CADIM), Office of Development of Armée du Salut, Centre de Développement Familial (EDEF) and Association pour la Promotion de la Femme et la Petite Fille de Kisantu (APFPFK).

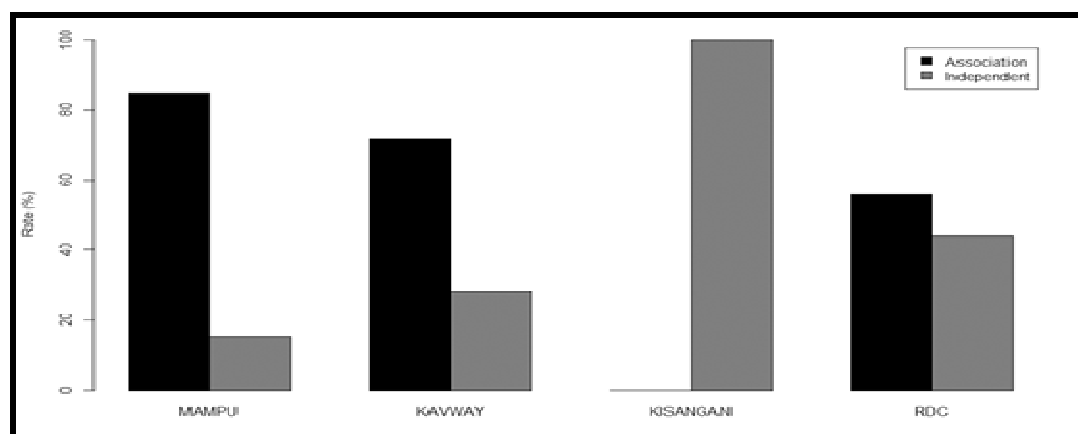


Figure 2.1: Organization of beekeepers

Potentiality for beekeeping in the DRC

The potentiality for beekeeping at the three sites surveyed in the DRC is presented (Table 2.1). The number of hives used by Congolese beekeepers ranged from 2 to 120 with an average of 14 similar to the range of 6–51 previously described by Hussein (2001) for African beekeepers. The number of hives per beekeeper in Mampu was significantly higher than in Kisangani and Kavwaya and directly related to the unequal distribution of beekeeping support organizations between the three sites studied.

Honey production per colony and per harvest was estimated to 1.0 to 25.0 liters with an average of 10.3 liters that corresponded to higher honey production rates presented by Hussein (2001) (range of 1.3 to 10.1 liters as african average). However, this level of production was lower than that from Madagascar (estimated to 15.0 liters per colony) and from European countries such as Switzerland (with 20.0 liters per colony per harvest) (PPRR, 2007). Production per domesticated colony in Mampu was significantly higher than in Kisangani mainly because many plantations of Acacia and Eucalyptus occurred in this region.

Congolese beekeepers generally harvest the honey once or twice per year. Fifty five percents of beekeepers surveyed harvest one crop a year while 45% harvest two. In Kisangani, 100% of beekeepers harvest honey twice per year, while in Kavwaya, 100% of beekeepers harvest honey once per year. In Mampu, the scheduled number of honey harvests per year varies between beekeepers. This difference was mainly due to the climatic conditions prevailing at each site (Winston, 1993).

Results on beekeeping infrastructure

Congolese beekeeping practiced using two types of hives. An average of 95.9% of beekeepers used Kenyan hives (hives with bars not suitable for honey extraction by centrifugation) and 4.0% adopted Langstroth (hives with frames adapted to honey extraction by centrifugation). The choice of hive type was linked to the revenue of each beekeeper. These results were significantly different from those published by Hussein (2001) who revealed that the number ratios of modern hives were half of the traditional African countries. Variations between sites were noticed, all Langstroth hives were counted in Kisangani (apiaries from missionaries).

All honeybee colonies in DRC consisted only of *A. mellifera adansonii*, L. 1758. These results corresponded to the geographical distributions of bee races as described by Ruttner (1988).

Table 2.1: Results on potential beekeeping and beekeeping infrastructure in DRC

Potential beekeeping	Parameters		Kisangani	Mampu	Kavwaya
			(N=23)	(N=26)	N=25)
Potential beekeeping	Honey production per colony and harvest (liters)	Minimum	1	5	7
		Mean	2,96 ± 1,43 a	14,39 ± 6,48 b	12,80 ± 3,18 b
		Maximum	7	25	20
	Number of hives per beekeeper	Minimum	2	3	2
		Mean	(4,61 ± 2,74) a	26,15 ± 29,70 b	(9,68 ± 6,54) b
		Maximum	15	120	25
	Number of harvest /year	Min	1 (0% beekeeper)	1 (62% beekeeper)	1 (100% beekeeper)
		Max	2 (100% beekeeper)	2 (38% beekeeper)	2 (0% beekeeper)
	Used hive		Kenyan (86.96% beekeeper)	Kenyan (100% beekeeper)	Kenyan (100% beekeeper)
		Langstroth (13.04% beekeeper)			
Beekeeping infrastructure	Domesticated breed	<i>Apis mellifera adansonii</i> ,L.(100%)	<i>Apis mellifera adansonii</i> ,L.(100%)	<i>Apis mellifera adansonii</i> ,L.(100%)	

The letters (a, b) represent which sites are different (or similar) by statistical test with a significance of p= 0.05

Results on beekeeping techniques

The aim was to show different beekeeping techniques in RDC.

Results on beekeeping techniques are shown in Table 2.2

Table 2.2: Results on beekeeping techniques in DRC

<i>Techniques</i>	<i>Kisangani(N=23)</i>	<i>Mampu (N=26)</i>	<i>Kavwaya (N=25)</i>
<i>Technique for populating hives</i>	+ <i>Trapping natural swarms</i> (100 % beekeepers)	+ <i>Trapping natural swarms</i> (100% beekeepers)	+ <i>Trapping natural swarms</i> (100 % beekeepers) + <i>Artificial swarming</i> (20% beekeepers)
<i>Technique for honey extracting</i>	+ <i>Manual extraction</i> (86.96 % beekeepers) + <i>Centrifugation technique</i> (13, 04 % beekeepers)	+ <i>Manual extraction</i> (100 % beekeepers)	+ <i>Manual extraction</i> (100 % beekeepers)
<i>Techniques used in the apiaries</i>	+ <i>Modern technique</i> (13,04%beekeepers) + <i>semi-modern technique</i> (86,96 % beekeepers)	+ <i>semi-modern technique</i> (100 % beekeepers)	+ <i>semi-modern technique</i> (86,96 % beekeepers)
<i>Technique for controlling natural swarming</i>	+ <i>Destroy the royal cells</i> + <i>Increase the number of frames when higher densities of bees</i> + <i>Amputate the wing of the queen to reduce its flight capacity</i>	+ <i>Destroy the royal cells</i> + <i>Increase the number of frames when higher densities of bees</i>	+ <i>Destroy the royal cells</i> + <i>Increase the number of frames when higher densities of bees</i> + <i>Induce artificial swarming</i>
<i>Techniques for controlling hive abandonment</i>	+ <i>Carefully check the enemies of bees in the apiary</i> + <i>Provide an additional amount of water near the hives during drought;</i> + <i>Carefully treat hives;</i> + <i>Do not stress the bees in apiaries (bushfires, no much noise);</i>	+ <i>Carefully check the enemies of bees in the apiary</i> + <i>Provide an additional amount of water near the hives during drought;</i> + <i>Carefully treat hives;</i> + <i>Do not stress the bees in apiaries (bushfires, no much noise);</i>	+ <i>Carefully check the enemies of bees in the apiary</i> + <i>Provide an additional amount of water near the hives during drought;</i> + <i>Carefully treat hives;</i> + <i>Do not stress the bees in apiaries (bushfires, no much noise);</i>

Techniques used in the apiaries

From our investigations, the techniques of beekeeping in the DRC are semi-modern (that is halfway between modern technology and traditional techniques). Ninety six percents of respondents practiced semi-modern techniques, while a minority (4%) adopted modern technology, the latter being wholly concentrated in Kisangani (Table 2.2). The choice of beekeeping technique was directly related to the equipment used. Indeed, the adoption of Kenyan hives by most of Congolese beekeepers forces scientific opinion to classify Congolese beekeeping as behaving by mixing modern and traditional issues. These results were significantly different from those published by CIFOR (2008), where 46.5 % of beekeepers in the western part of the DRC applied modern beekeeping techniques.

The technique for extracting honey was directly related to the models of used hive. According to our survey, 96% of Congolese beekeepers have adopted manual extraction of honey, while 4% of beekeepers (having Langstroth hives) have adopted centrifugation techniques for extracting honey. These results differ from those of CIFOR (2008).

Technique for populating hives and controlling natural swarming

Whole beekeeper community used the technique of **trapping natural swarms** to populate their hives. This technique consists in installing small hives in places that is supposed to have a large number of bees (near rivers and nectar plants). In Kavwaya (Bas-Congo), 20% of beekeepers also used the technique of '**artificial swarming**' to populate their hives. This technique divides the populous colony into two parts. This strategy is possible when queen cells appear in the hives. According to our investigations, strategies to limit the swarming of domesticated colonies varied between the surveyed sites. In general, there are four strategies to fight against swarming in the DRC:

- Destroy the royal cells;
- Increase the number of frames when there are higher densities of bees;
- Amputate the wing of the queen to reduce her flight capacity;
- Induce artificial swarming to keep the number of livestock in the apiary.

The wing amputation was exclusively applied by beekeepers in Kisangani, while the artificial swarming was a practice specific to beekeepers in Kavwaya (Table 2.2).

Techniques to control hive abandonment

According to this study, 100% of beekeepers surveyed used four strategies to reduce the abandonment rate in their apiaries (Table 2.2):

- Provide an additional amount of water near the hives during drought;
- Carefully check the enemies of bees in the apiary;
- Treat hives carefully;
- Do not stress the bees; avoid bush fires and noise in the apiaries.

Results on honey plants in the DRC

The names of most common honey plants in the three study sites were presented (Tables 2.3-A and 2.3-B). To our knowledge, accurate information on the botanical composition of Congolese honeys were low and insufficient because geo-botanical studies of honey plants in the DRC were not sufficiently performed with a rigorous scientific approach. According to our ethnobotanical survey based on interviews of beekeepers, it was revealed that in the DRC, there is a remarkable diversity of honey plants. The botanical composition of Congolese honey varies depending on the sites surveyed. This botanical composition of Congolese honey approximates to those obtained by Dubois and Collart (1950) and Habakaramo (2008) in RDC.

Table 2.3-A: List of wild honey plants

<i>Sites</i>	<i>Wild honey plants</i>
<i>Kavwaya</i>	<i>Isoberlinia baumii</i> HARMS, <i>Brachystegia spicaeformis</i> BENTH, <i>Cryptosepalum fruticosum</i> HUTCH, <i>Cryptosepalum pseudotaxus</i> BAKER, <i>Daniellia alsteeniana</i> DUV., <i>Burkea africana</i> L, <i>Berlinia giorgii</i> DE WILD, <i>Pseudolachnostylis maprouneifolia</i> , <i>Dialium englerianum</i> HENRIQUEL, <i>Erythrophleum africanum</i> , <i>Anisophylle apoggei</i> ENGL, <i>Combretum zeycheri</i> (SOND), <i>Terminalia sericea</i> BURCH, <i>Pterocarpus angolensis</i> DC, <i>Uapaca nitida</i> MUELL ARG, <i>Uapaca gossweileri</i> HUTCH, <i>Paivacusa dactylophylla</i> WELW, <i>Brachystegia robynsi</i> DE WILD, <i>Caliandra sp.</i> , etc.
<i>Kisangani</i>	<i>Asteraceae</i> , <i>Fabaceae</i> , <i>Solanaceae</i> , <i>Rubiaceae</i> , <i>Acanthaceae</i> , <i>Malvaceae</i> , avec les genres et espèces dominants comme <i>Acacia</i> , <i>Eucalyptys</i> , <i>Piptodena</i> , <i>Pterocarpus</i> , <i>Cynometra</i> , <i>Macrolobium</i> , <i>Damelliaoliveri</i> , <i>Harungana montana</i> , <i>Harungana madascariensis</i> , <i>Galiniara coffoeoides</i> , <i>Grevillea robustae</i> , etc.
<i>Mampu</i>	<i>Stands of Acacia and Eucalyptys and other plants not yet identified</i>

Table 2.3-B: List of cultivated honey plants

<i>Sites</i>	<i>honey crops</i>
<i>Kavwaya</i>	<i>.Cucurbitaceae, Citris, Mangifera indica, Musa, Carica papaye, Persea americana, Dacryodes edulis, Manihot, Fabaceae, Elaeis, Poaceae, etc.</i>
<i>Kisangani</i>	<i>Cucurbitaceae, Citris, Mangifera indica, Dacryodes edulis, Coffea, Maracuja, Elaeis, Mussa, Manihot, Helianthus, Fabaceae, Poaceae, Persea americana, Carica papaye, etc.</i>
<i>Mampu</i>	<i>Citris, Cucurbitaceae, Mangifera indica, manihot, Mays, Mussa, Elaeis, Fabaceae, Poacea, Persea americana, Dacryodes edulis, Carica papaye, etc.</i>

Constraints on beekeeping activities in the DRC

The diversity of constraints on beekeeping in DRC was presented and revealed that the bee diseases were not a major constraint on Congolese beekeeping according to statements collected from 100% of beekeepers surveyed (Table 2.4). These results approach those of Hussein (2001) and Dubois and Collart (1950), stating that bee diseases are less common in tropical regions of Africa than in Europe or other part of the world.

The main predators, parasites and pathogens of honeybees in the DRC are *Galleria melonella*, *Mustelidae*, *Agamidae*, *Meropidae*, *Vespidae*, *Formicidae*, *Phelanthe*, *Manidae* and *Squamata*. These results were in accordance with those from Hussein (2001) and Dubois and Collart (1950) who argued that *G. melonella* and other aggressors were a major constraint on the health of honeybees in tropical Africa.

Our investigations allowed showing that the professional problems of beekeepers varied within the sites. In Kisangani, the main constraint on beekeeping remains attacks by *G. melonella*; while in Mampu, the main constraint on beekeeping was the absence of an organized market for honey, and the deforestation was the main factor in Kavwaya for beekeepers. In general, the common problems of beekeepers in the DRC were the needs for beekeeping equipment, for training, the lack of financial resources, the deforestation, and the low incomes related to bee products and attacks by *G. melonella*.

Table 2.4: Different constraints of beekeeping in DRC

Contraintes	Kisangani (N=23)	Mampu (N=26)	Kavwaya (N=25)
<i>Bee diseases</i>	<i>not reported by 100% of beekeepers</i>	<i>not reported by 100% of beekeepers</i>	<i>not reported by 100% of beekeepers</i>
<i>Identified Predators of bees in DRC</i>	<i>Galleria melonella, Formicidae</i>	<i>Galleria melonella, Formicidae, Meropidae, Agamidae, Vespidae, Mustelidae, Squamates.</i>	<i>Galleria melonella, Formicidae, Manidae, Squamates.</i>
<i>Professional constraintsof beekeepers</i>	<i>+Attacks Galleria melonella. + Need for hardware, +Need training. + Lack of financial resources.</i>	<i>+Poor sale of bee products, + Need for hardware, +Need training. + Lack of financial resources.</i>	<i>+ Deforestation + Poor sale of bee products, + Need for hardware, +Need training. + Lack of financial resources.</i>
<i>Solutions to improve beekeeping</i>	<i>+ Financial support +Training of beekeepers +Control of predators (Galleria melonella)</i>	<i>+ Establishment of a structured market of honey, + Financial support +Training of beekeepers</i>	<i>+Reforestation and prohibition, + Establishment of a structured market of honey, + Financial support +Training of beekeepers</i>

2.2.4. Conclusions

In ecological terms, unlike mining and agriculture, beekeeping allows the Congolese to exploit natural resources (bees, honey plants) without damaging the environment (Jean-Prost and Le Conte, 2005). The breeding of *A. mellifera adansonii*, L. is of considerable economic importance, since this insect not only produces honey, but also pollinates many useful plants (Haubruge *et al.*, 2006). In the colonial era, the first beekeeping tests already contributed significantly to the economy of the DRC, with more than 214 tons of exported honey in 1947 (Dubois et Collart, 1950). The objective of the present study was to investigate beekeeping in DRC, taking ecological factors into account and to display the potentiality of beekeeping in DRC. We hope that the present study will inspire further researches in an area where our knowledge is still limited and to be spread over time and space by integrating physiology of plants, variation of climatic seasons and biology of bees. We remain optimistic that beekeeping could constitute an effective tool for a part of the development in DRC if those peoples currently involved in development show willingness to direct efforts towards large beekeeping projects.

2.2.5. Acknowledgments

We thank the members of the associations of beekeepers for their collaboration. They facilitated our study by answering our questions and most importantly made their apiaries available for investigation.

CHAPITRE TROIS : EVALUATION DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE DES ABEILLES DOMESTIQUES (*Apis mellifera adansonii*, L. 1758 : Hymenoptera, Apidae) DANS LES TROIS SITES APICOLES DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

3.1. Présentation d'étude

Les trois castes d'abeilles (les reines, les ouvrières et les mâles) ont des besoins nutritionnels différents. Les produits utilisés pour combler ces besoins sont le nectar et le pollen. Le pollen est la principale source de plusieurs nutriments essentiels pour les abeilles comme les protéines, les minéraux, les lipides et les vitamines (Dibós, 2010). Dans la nature, les sucres utilisés par l'abeille proviennent du nectar produit par les nectaires floraux ou extra floraux. Le besoin annuel en miel pour une colonie d'abeilles normale est de 30 à 50 kg (Louveaux, 1985).

Diverses études multifactorielles enregistrées dans le monde ont répertorié la qualité des ressources alimentaires, comme l'une des causes probables de la mortalité des abeilles dans les écosystèmes terrestres (Haubruge *et al.*, 2006). Les abeilles domestiques ont besoin d'une nourriture de qualité afin de pouvoir mener leur développement larvaire correctement mais également pour permettre d'optimiser leur cycle d'activité (Somerville, 2001). Haydak (1934) avait déjà démontré qu'après l'éclosion d'*A. mellifera*, L., la teneur en azote dans les jeunes abeilles augmente en moyenne de 64 % au cours de cinq premiers jours. Les jeunes abeilles ont besoin des protéines pour le développement de leurs tissus et de leurs organes comme les glandes nourricières, les corps adipeux, etc. Lorsqu'on prive les jeunes abeilles domestiques des aliments protéiniques, leur espérance de vie en est diminuée (Maurizio, 1950).

Dans les conditions optimales d'Europe, une colonie d'abeille normale nécessite annuellement 30 à 40 kg de pollens avec une teneur en protéines équivalente de 20 %. Pendant la miellée, les besoins de la colonie augmenteraient et seraient entre 25% à 30 % de protéines. Une ouvrière exige au cours de sa vie 160 à 180 mg de pollen (Keller *et al.*, 2005)

La composition chimique du miel et du pollen varie d'un échantillon à l'autre en fonction de la composition botanique, du climat, du sol, et de l'état physiologique des colonies (Viuda - Martos *et al.*, 2008 ; Heil, 2011).

La République démocratique du Congo est divisée en plusieurs régions géographiques qui sont hétérogènes du point de vue climat, végétation et sol (Boyemba 2011). Les particularités

écologiques constatées dans chaque région géographique peuvent avoir une influence sur la qualité des ressources alimentaires des abeilles (Roulston *et al.*, 2000).

Pour relancer la filière apicole en RDC avec des projets apicoles de grande envergure, il serait souhaitable de mener en amont des études de faisabilité qui permettront de déterminer la santé des abeilles dans les différentes régions apicoles du Congo.

L'évaluation de la qualité des ressources nutritionnelles des abeilles est l'une des approches importantes pour déterminer les indicateurs de la survie des abeilles dans le monde.

L'objectif de cette étude était premièrement d'évaluer la qualité de miels et de pains d'abeille collectés en RDC et secondairement d'étudier le lien existant entre l'environnement et la qualité des ressources alimentaires d'abeilles en RDC (Maurizio 1941, Wille *et al.*, 1985 ; Bogdanov *et al.*, 1997).

Pour ce faire, les échantillons de pain d'abeilles et de miels ont été prélevés du 01/février au 15 mars/2009 dans trois sites apicoles qui sont écologiquement différents les uns les autres. Le choix de la période de prélèvement des échantillons a été motivé par le fait que c'est le moment de l'année où les apiculteurs congolais organisent leurs activités de récolte de miel dans les trois sites d'étude.

Pour évaluer les échantillons de pain d'abeille et de miels, des analyses physico-chimiques ont été réalisées. Les résultats de ses investigations sont présentés dans ce chapitre.

3.2. Assessment of nutritional resources quality from honeybees (*Apis mellifera adansonii*, L. 1758: Hymenoptera, Apidae) in three beekeeping sites of the Democratic Republic of Congo

Boniface Posho Ndola^{1,2}, Paul Malumba³, Bernard Wathelet⁴, Eric Haubruge¹, Frederic Francis¹, Bach Kim Nguyen¹

1. Unit of Functional and Evolutionary Entomology, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech; 2 Passages des déportés, 5030 Gembloux, Belgium.
2. Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, B.P 1232 Kisangani, R.D.C
3. Department of Agro-Industrial Chemistry, University of Kinshasa, BP 127 Kinshasa, DRC

4. Unit of biological and industrial chemistry, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech; 2 Passages des déportés 5030 Gembloux, Belgium.

E-mail address for correspondence: poshoboni@yahoo.fr; entomologie.gembloux@ulg.ac.be

Tél: +32 (0) 81622287, Fax: +32 (0) 81 62 22 87

ABSTRACT

Food products from honeybees are commonly used in Africa as in other part of the world. The composition of bee related food is important for consumers but also to illustrate the feeding quality for the bees. The present study was aimed at the assessment of the quality of bee bread and honeys for the survival of *A. mellifera adansonii*, L. 1758 in the DRC. Several environments were selected, namely a rainforest in Kisangani, a savannah in Kavwaya and a restored forest in Mampu. Bee breads were assessed according to their richness in proteins and essential amino acids. Honeys were evaluated considering the water content, the sugar rates, the amount of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde (HMF), the acidity (pH) and conductivity. The average content of protein from pollens collected in the DRC was $14.11 \pm 5.27\%$. The protein content was low compared to the food needs of bees (and to the European breeds). No significant difference was observed between Kisangani, Mampu and Kavwaya in terms of protein content of beebread ($P \geq 0.05$). The concentrations of ten essential amino acids for bees were within the optimum range of food needs for honeybees (set for European bee races). Beebreads collected in the rainforest of Kisangani were significantly richer in isoleucine, leucine, valine, arginine, lysine and phenylalanine than those from the savannah of Kavwaya. However, beebreads harvested in Kisangani were not significantly different from those from the replanted Mampu forest. The analysis of honey samples revealed that the Congolese honeys had good nutritional quality for bees. Indeed, reducing sugar content of the collected samples ranged from 63.40 to 73.80%, the content of sucrose ranged from 0.30 to 1.90%, the content of water varied from 16.80 to 22.00%, the pH of the analyzed honey samples ranged from 4.22 to 4.53. The average of the electrical conductivity was $47.74 \pm 13.93 \mu\text{S/cm}$ and the concentration of HMF varied from 1.75 to 31.38 mg HMF/kg of honey. The honeys collected in the rainforest of Kisangani were significantly richer in minerals and moisture than those from the savannah of Kavwaya ($P < 0.05$). However, the honeys collected in the last savannah were richer in sucrose and HMF than those collected in the Kisangani rainforest and the restored forest of Mampu ($P < 0.05$). These results would only be applied for

the time at which the samples were collected (January-February) but are an interesting data set for further use of bee related product in DRC.

Keywords: *A. mellifera adansonii*, L., honey, bee bread, quality, nutrition, bee ecology, DRC.

3.2.1. Introduction

Various multifactorial studies emerged and cited pesticides, diseases, climate change, pollutants, and reduction of nutritional resource quality among others, as probable causes for the decline in honeybee populations (Haubruge *et al.*, 2006). The physicochemical qualities of the nutritional resources stored by bees are considered as one of the most important factor that may depend on their ecosystem and that largely influence the bee population dynamic (Estevinho *et al.*, 2011).

Assessment of the nutritional resource quality of honeybees is one of the first exploratory studies of the survival of honeybees (*A. mellifera adansonii*, L.) in DRC. The quality of beebreads and honeys is the best indicator for determining the health of honeybees in the Congolese ecosystems (DRC).

According to the chemical characteristics of flowering plants present in the bee ecosystem and their environmental parameters, resources stored by bees in their hives may vary, as they are required to have a long-standing relationship with angiosperms present in the ecosystems. Understanding the causes of parallel declines of bees and their host plants requires identifying the various components that make bee-flower interactions both complex and fragile, the extent of their mutual dependence, and the signals that mediate their interactions (Dötterl & Vereecken, 2010). Indeed, according to their age and life cycle, bees have different dietary needs, which may change with the seasons as well as with foraging activity (Winston, 1993). To meet these dietary needs, nectar and pollen are the two most important resources stored by bees inside their hives (Dibos, 2010). Depending on the plant species from which they are harvested, nectar and pollen may have chemical compositions that can influence both the bee's health and the quality of honey recovered as food for humans.

In the hive, the sugars used are mainly produced from the nectar or honeydew of aphids, which bees collect, transform, and combine with their own specific substances, before storing them and leaving them to ripen in honeycombs. A bee harvests around 40 mg of nectar, which will provide 10 mg of honey. The annual need of honey for a bee normal colony is from 160

to 180 kg of honey (Alleaume, 2012). The chemical composition of honey varies depending on the floral origin, the apiary climate, the soil, the race of bees and the physiological state of the colonies (Viuda-Martos *et al.*, 2008; Heil, 2011). Pollen is the main source of several essential nutrients for bees. It is a major source of proteins, minerals, lipids and vitamins (Dibos, 2010). These proteins and amino acids are required for the growth of larvae and young bees, and are involved in the development of bee hypopharyngeal glands (Kleinschmidt, 1986). Each year, bees of a normal colony harvest around 40 kg of pollen and a worker needs 160 to 180 mg of pollen during his life (Keller *et al.*, 2005). The chemical composition of pollen also depends on the pollen source and the sampling time (Roulston *et al.*, 2000). As stated by Nogueira *et al.* (2012), beebreads or bee pollen, commonly designated the “the life-giving dust”, result from the agglutination of flower pollen, nectar or honey and bees’ salivary substances.

To assess both the influence of ecosystem variability on bee health and the beekeeping potentiality of an area, chemical characterisation of resources stored by bees in their hives may be used as one of the objective criteria. To assess the influence of ecosystem on nutritional resource stored by honeybees and to promote beekeeping in the DRC, it is crucial to determine the quality of honeys and pollens, which are excellent nutritional resources of bees and the major products that ensure the profitability of beekeeping (Dibos, 2010). The Democratic Republic of Congo which straddles the equator is divided into several geographical regions which are heterogeneous in terms of climate, vegetation and soil (Boyemba, 2011). Depending on geographical regions, there are features which may influence the quality of nutritional resources of honeybees (Roulston *et al.*, 2000). The objectives of the present study was first to determine the existing link between the environment and the quality of food resources for honeybees in DRC and second to assess the nutritional resources quality of honeybees (honey and bee bread) in the DRC with reference to the criteria of wealth in protein and amino acids (Maurizio, 1941, Wille *et al.*, 1985), and using the methods of routine control of honeys.

3.2.2. Materials and methods

3.2.2.1. Areas of study and sample analysed

In this study, samples harvested in three beekeeping areas of DRC were analysed. These include Kisangani, Mampu and Kavwaya. These three beekeeping areas were selected

because they differ in terms of forest and climate. Their ecological differences may influence the quality of pollen and honey in regions (Estevinho *et al.*, 2011)

Kisangani, an area located in the Eastern region of DRC with the geographical coordinates 25°11'E longitude, 0°33' N latitude and 390-410m altitude, is dominated by rainforest and a hot and humid tropical climate corresponding to *Af* of Köppen classification (Ngongo, 2006).

Its annual average temperature is 25 ° C, while the annual rainfall ranges from 1500 mm to 2000mm with an average of 1700 mm (Vandenput, 1981)

In Kisangani, most upper horizons present the general characteristics of old lateritic covers, that has good physical properties due to micro aggregate structure of the elementary constituents (kaolinite, gibbsite, hematite, goethite, quartz). The chemical fertility in this area seems however very limited (low cation exchange capacity - CEC: usually between 2 and 8 meq per 100 g, acidity: PH between 3.5 and 5.5, abundance of exchangeable aluminum: about 40-70% or even 80% of CEC, high retention of phosphorus on Iron Oxides) (Calembert 1995)

Two types of vegetation cover the forest region of Kisangani: dense humid forest on land and dense humid forests on waterlogged soils. The dense rainforest on land include evergreen and semi-deciduous forests. Both types of forests are the two variants of the ecosystem-climax tropical forests in this part of the Congo Basin (Hawthorne 1995).

The semi-evergreen forests of Kisangani are the monodominant forests. *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Leonard and *Brachystegia laurentii* (De Wild.) Louis J. Leonard are the main dominant evergreen species in the Kisangani region.

The dense forests on hydromorphic soils, mainly located along the river system coming from poorly drained soils and / or frequent flooding encountered (Boyemba, 2011)

Mampu, an area founded in the “plateau de Batéké” at the western part of DRC, on geographical coordinates 16°17'51" E longitude, 04°18'52" S latitude and 720 m of altitude. The most dominant climate in Mampu belongs to *Aw4* according to Köppen classification, characterised by a pronounced dry season which runs from May to September. Its annual average temperature is 25 ° C and the average annual rainfall varies from 120 to 3000mm (Biloso, 2005).

The vegetation of Mampu is dominated by a replanted forest of *Acacia* and *Eucalyptus*, with Mampu's soils is constituted by fine sand (50-60%), with low clay content (20%) and belong to Kalahari type.. Mampu's soil has very fragile structure with low water holding capacity and therefore is very sensitive to erosion.

Kavwaya, an area located in the western region of Bas-Congo, at the geographical coordinates are 15°06'E longitude, 5°13'S latitude and 525m altitude is a grassland savannah with some forest galleries. The climate prevailing at Kavwaya belongs to *Aw4* type according of Köppen classification.

Rainfall varies from 1200 to 1400 mm of water per year (Anonymous 2009). Its soils are sandy clay or silty clay weakly leached. The pH of these soils are between 6 and 6.5 (Biloso, 2005).

3.2.2.2. Analysis of beebreads

Analyses were carried out on samples of beebreads collected from 01/02/2009 to 15/03/2009 in the three ecological sites. The choice of these dates was motivated by the fact that it corresponds to the period of year in at the Congolese beekeepers plan their activities to harvest honey in the three studied areas. Twenty apiaries distributed in the three sites were followed in this study: eight at Kisangani, eight at Mampu and four at Kavwaya (Bas-Congo). Five grams of beebreads were carefully removed from each visited apiary to perform the considered analyses. Beebreads were collected in the honeycombs. Their removal was performed after the agreement of surveyed beekeepers. After collection, the samples were stored in the laboratory at -20°C in a plastic bag appropriately labelled (date, location and reference of hives).

After extraction, all breads from the same apiary were pooled and packaged in Petri dishes at -20°C before analysis. As beebreads are mainly considered a source of protein for bees, their nitrogen content (N) was determined using the standard Kjeldahl procedure and the Crude Protein content was calculated using the factor 6.25 (Rabie *et al.*, 1983). Amino acid composition of beebreads was obtained after hydrolysis under nitrogen with 6 N HCl at 110°C for 24 h (Kaiser, Gehrke, Zumbalt, & Kuo 1974). The analysis of the amino acids in a Stein and Moore High Performance Liquid Chromatography (HPLC, Biochrom 20 Plus, Pharmacia, Cambridge, UK). Norleucine (500 nM) was added as an internal standard. The hydrolysates were injected into a cation-exchange column. The amino acids, separated by

elution with suitable buffers of increasing pH, were detected with ninhydrin in a continuous flow photometric analytical system at 570 and at 440 nm (only for proline) and quantified by references (Sigma) used as calibration standards.

Sulphur amino acids (cysteine and methionine) were determined as cysteic acid and methionine sulphone, respectively, by a Biochrom 20 Plus (Pharmacia, Cambridge, UK) amino acid analyzer. Before the acid hydrolysis, a performic oxidation was done.

Tryptophan was determined after alkaline hydrolysis of the proteins and SP 8800 HPLC (Spectra physics, San Jose, CA, USA) analysis at 280 nm, with a XTERRA RP18 (4.6 · 150 mm; 3.5 μ m) column. The temperature of the column was kept at 45°C and the injection volume was 5 μ l. Flow rate was 1 ml/min with a mixture of solvent A (760 ml of sodium acetate buffer (0.07 M)/tri-ethanolamine (0.025% v/v) adjusted to pH 4.5 with glacial acetic acid + 40 ml of methanol) and solvent B (acetonitrile containing 0.05% (w/v) trifluoroacetic acid). The following gradients (solvent A/solvent B/min) were used: 0/100/0; 0/100/10; 50/50/5; 50/50/5; 0/100/5; 0/100/5. Separated tryptophan was quantified by using a-methyl-tryptophan as reference.

3.2.2.3. Analysis of collected honeys

- *Harvesting of samples*

Samples of honeys were collected from 01 February to 15th march2009 from the three sites in DRC. Twenty-two samples were collected in twenty-two apiaries whereseven at Kisangani, thirteen at Mampu and two at Kavwaya. These samples were extracted using the craft method and stored at a temperature lower than 15°C in pots.

In this study, specific criteria related to the quality of honeys were listed as follows: content of water, content of reducing sugar, content of sucrose, content of 5-(Hydroxy Methyl) 2-furfural (HMF), acidity (pH) and electrical conductivity. Duplicate analysis was performed for each sample.

Soluble sugars were quantified via HPLC. Samples were homogenized with water for 24 h and centrifuged at 2790g for 30 min at 25°C. The extracts were filtered through 0.45 μ m Millipore filters and a 25 μ l sample was injected for current HPLC analysis of sugars. DX500 HPLC system was used with a 250-4 mm column.

Reducing sugars and sucrose were analyzed via a High-Performance Anion Exchange Chromatography fitted with a high performance pulsed amperometric detector (HPAEC-PAD, Dionex). Eluted sugars were quantified by the Dionex ICS3000, using a Carbopac PA-100 (4*250 mm). The nature and concentration of sugars were determined by comparison with controls (external standards) injected at known concentrations (Bogdanov, 1997). Three standards were used: glucose (Merck), fructose (Fluka) and sucrose (Aldrich). The mobile phase consisted of sodium hydroxide in concentrations varying from 0 to 500 mM at a flow rate of 1 ml/min. The injection volume was 20 µl, and the detection of components was compared to an external standard with a regression factor equal to or greater than 0.999.

The Moisture content of samples was determined by an "Abbe Refractometer" which was thermostated at 40°C. The refractive index is an optical measure which varies with the concentration of the analysis and the temperature.

Electrical conductivity and pH were determined, respectively, after reading a conductimeter and a pH-meter (Bogdanov, 2005).

The HMF concentration was determined using the HPLC method initiated by Zappalà *et al.* (2004). Five grams of honeys were diluted in 50ml of distilled water, filtered through a sieve with a 45 microns diameter mesh, and immediately injected for HPLC. The HPLC tool used was fitted with the Agilent Zorbax (300SB-C18) column maintained at 30°C during analysis. For the release of HMF and 2F, the elution solvent consisted of 90% water with 1% acetic acid and 10% methanol, with the run isocratic method: 1ml/minute. The standard HMF 5-hydroxymethyl furfural was 98% (across organics) and calibration lines were established by serial dilutions in distilled water.

3.2.2.4. Statistical analysis beebread

The bee products collected from the three RDC locations were compared. For the purpose, statistical analysis was performed using the analysis of variance tools of Minitab software with a significance level of 95%, because the distribution of studied parameters was normal. The normality test of Anderson-Darling revealed an abnormal distribution in all five parameters studied to assess the Congolese honeys. Thus, a comparison of medians values between beekeeping sites was performed using the Kruskal-Wallis test (Dagnelie, 1998). This enabled the identification of sites which differ significantly from each.

3.2.3. Results and discussion

3.2.3.1. Analysis of protein in beebread

The protein content of recovered beebread varied from 1.66 to 21.91% with an average of $14.11 \pm 5.27\%$ (Table 3.1). These results were within the range of 2.3 to 61.7% described by Keller *et al.* (2005). Analyzing eight beebreads from Spain and Portugal, Nogueira *et al.* (2012) observed a crude protein content within the range of 8 to 25%. Protein contents in stored beebread analyzed seemed slightly lower than that observed in commercial pollens by Estevinho *et al.* (2011) which ranged between 24.23% and 34.18%. These differences can be explained by the fact that pollen stored in the hive, as analyzed in the present study, resulted from the agglutination of flower pollen, nectar or honey and bees' salivary substances. The presence of these foreign materials in beebread could induce a slight decrease in its protein concentration. The average protein content of pollen recovered is lower than the 20 % required to ensure the optimal development of bees in Europe (Kleinschmidt, 1986). According to the latter, in optimal conditions in Europe, one colony of bee requires pollens with a protein content equivalent to 20%. During the honey age, the needs of the colony would increase and would range from 25% to 30% of protein when the honey ages are intense. Unfortunately, there are no previous studies which have focused on the feeding behavior of *A. mellifera adansonii*, L. which is a smaller race and is different to European ones (Winston 1993).

Despite their presumable moisture content, pollens from the rainforest of Kisangani were related to the richer beebread in protein content ($16.10 \pm 3.13\%$) than that from the savannah of Kavwaya ($8.83 \pm 7.98\%$) and the restored forest of Mampu ($14.76 \pm 4.17\%$), (Table 3.1). It seems like forest ecosystems, which are characterised by high relative environment humidity and high average temperatures, provide pollens with higher protein contents than savannah ecosystems, which are drier (Almeida-Muradian *et al.*, 2005). Differences in the protein richness of the pollen collected would also depend on the botanical composition of the analyzed beebreads (Estevinho *et al.*, 2011; Roulston *et al.*, 2000; Wille *et al.*, 1985). When comparing the three studied sites (table 3.1), the protein contents of beebread were similar between the rainforest of Kisangani, the savannah of Kavwaya and the restored forest of Mampu ($p \geq 0.05$).

Table 3.1: Results of analysis of protein content (in dry basis) in samples of Congolese beebread.

Sites	N	Water (%)	Concentration of protein (%)		
			Average	Maximum	Minimum
Kavwaya	4	23,82±1,53	8.83±7.98a	15.89	1.66
Kisangani	8	26,31±2,44	16.10±3.13a	20.00	11.31
Mampu	8	23,70±1,07	14.76±4.17a	21.91	9.20
Average		24,77±2,16	14.11±5.27	21.91	1.66

The letters (a, b) represent which bee breads are different (or similar) by statistical test with a significance of p= 0.05

3.2.3.2. Amino acid composition of beebreads

The amino acid compositions of beebread are presented (Table 3.2): 18 amino acids were present in all samples of beebread after hydrolysis. Also, ten essential amino acids (isoleucine, leucine, valine, arginine, lysine, phenylalanine, threonine, histidine, methionine and tryptophan) were present in all collected beebread samples. These results confirmed the conclusions of Wille *et al.* (1985), according to which there were no qualitative differences in the amino acid composition of the various selected pollens and most of them contained all ten amino acids that are essential for bees. Furthermore, when we considered the score of each amino acid compared to a standard beebread composition, the concentrations of the ten essential amino acids observed in the present study were in the range of amino acid content recommended by De Groot (1953) for the safe development of honeybees in Europe (Table 3.3).

Given that the majority of bee livestock in the DRC is formed exclusively of the species *A. mellifera adansonii*, L., which has a different morphology and feeding behavior than the European species, it is not possible to make an accurate modeling between the concentrations of essential amino acids in pollen and the development of bees, because no previous studies that have been focused on assessment of the essential amino acids required for the safe development of *A. mellifera adansonii*, L. exist.

When comparing the three studied sites, the beebreads from the rainforest of Kisangani were significantly richer in isoleucine, leucine, valine, arginine, lysine and phenylalanine than those of the savannah of Kavwaya (Figure 3.1). These differences would depend on the botanical composition of the analysed beebreads (Estevinho *et al.*, 2011, Roulston *et al.*,

2000, Wille *et al.*, 1985). The restored forest of Mampu and the rainforest of Kisangani showed a similarity in their content for all ten essential amino acids of bees ($p \geq 0.05$) (Figure 3.1 and Table 3.2). This similarity between the restored forest and the rainforest reveals the positive impact of reforestation on improving the nutritional resource quality of honeybees.

Table 3.2: Composition and concentrations of amino acids in beebreads

Concentration of aminoacids (%)				
Amino acids	Kisangani	Mampu	Kavwaya	Average
Isoleucin (Ile)	0.84±0.17a	0.81±0.20a	0.48±0.22b	0.76±0.23
Leucin (Leu)	1.30±0.25a	1.24±0.30a	0.76±0.33b	1.17±0.34
Valin (Val)	1.11±0.18a	1.08±0.23a	0.70±0.28b	1,02±0.27
Arginin (Arg)	1.00±0.22a	0.91±0.25a	0.48±0.14b	0.86±0.29
Lysin (Lys)	1.33±0.26a	1.26±0.26a	0.72±0.20b	1.18±0.34
Phenylalanin (phe)	0.79±0.18a	0.78±0.21a	0.43±0.21b	0.71±0.24
Threonin (Thr)	0.81±0.16a	0.77±0.18a	0.47±0.21a	0.73±0.21
Histidin (his)	0.58±0.14a	0.55±0.12a	0.53±0.18a	0.56±0.22
Methionin (met)	0.26±0.02a	0.28±0.08a	0.27±0.01a	0.27±0.05
Tryptophan (TRP)	0.21±0.01a	0.21±0.06a	0.24±0.04a	0.22±0.04
Aspartic acid	1.82±0.36a	1.82±0.36a	1.09±0.45b	1.67±0.47
Serin	0.94±0.17a	0.89±0.21a	0.56±0.24b	0.85±0.24
Glutamic acid	1.91±0.41a	1.84±0.41a	1.14±0.45b	1.73±0.50
Prolin	0.95±0.13a	1.04±0.17a	0.61±0.27b	0.92±0.24
Glycin	0.82±0.15a	0.77±0.18a	0.48±0.21b	0.73±0.21
Alanin	0.97±0.16a	0.90±0.21ab	0.59±0.26b	0.87±0.24
Tyrosin	0.54±0.13a	0.50±0.15ab	0.28±0.15b	0.47±0.16
Cystein	0.22±0.01a	0.23±0.06a	0.23±0.01a	0.23±0.04

The letters (a, b) represent which bee breads are different (or similar) by statistical test with a significance of $p = 0.05$

Table 3.3: Comparison of concentrations of essential aminoacids obtained after hydrolysis and the recommended dosage to meet optimal development of bees in Europe (De Groot, 1953).

Essential aminoacids	Kisangani obtained doses (g/16gN)	Mampu obtained doses (g/16 g N)	Kavwaya obtained doses (g/16 g N)	Minimum doses (g/16 g N) according to de Groot (1953)
isoleucin	5.22	5.49	5.44	4.00
leucin	8.07	8.40	8.61	4.50
valin	6.89	7.32	7.93	4.00
arginin	6.21	6.17	5.44	3.00
lysin	8.29	8.54	8.15	3.00
phenylalanin	4.91	5.28	4.87	1.50
threonin	5.03	5.21	5.32	3.00
histidin	3.60	3.73	6.00	1.50
methionin	1.61	1.90	3.06	1.50
tryptophan	1.30	1.42	2.72	1.00

Converting the amino acid concentration is calculated by the following formula: $(g / 16 g N) = \% A \times 100 / \% P$
 (g / 16 g N): concentration of amino acid expressed by g / 16 g N; % A: Percentage of amino acid; % P: percentage of protein; N: Azote

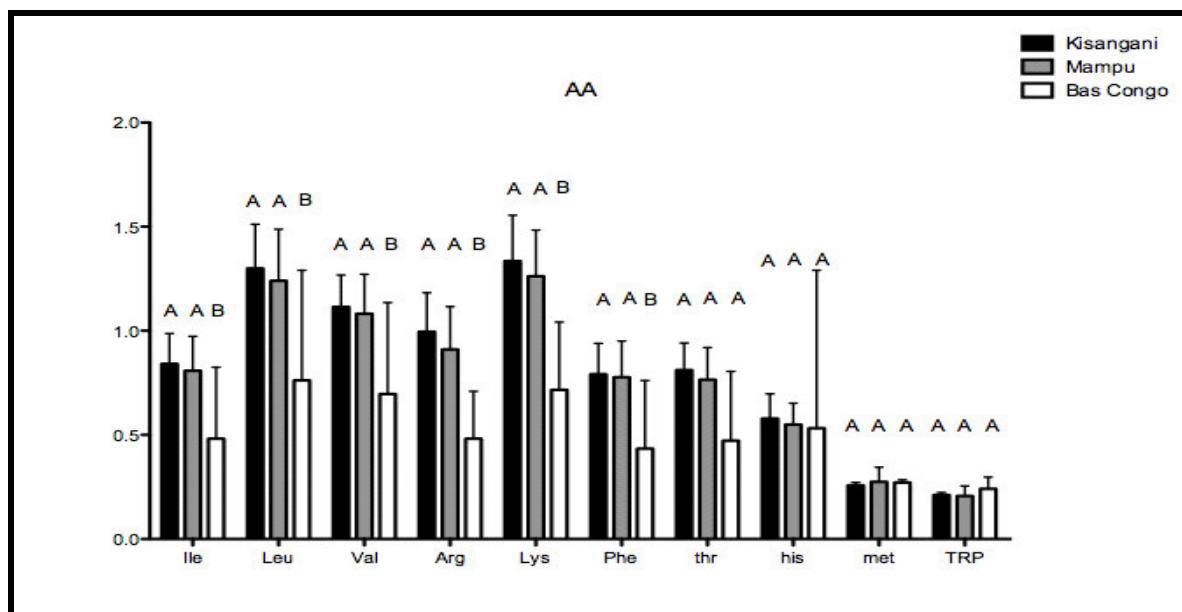


Figure 3.1: Distribution of values contains essential amino acids in pollen (%) on the sites.

LEGENDS: Isoleucin (Ile), Leucin (Leu), Valin (Val), Arginin (Arg), Lysin (Lys), Phenylalanin (phe), Threonin (Thr), Histidin (his), Methionin (met) and Tryptophan (TRP). The letters (A, B) represent which bee breads are different (or similar) by statistical test with a significance of $p=0.05$.

3.2.3.3. Results of honey analysis

The mean values of the physicochemical parameters measured in different honey samples are shown (Table 3.4). The median values obtained at each site were compared in order to highlight the effect of the characteristics of each ecosystem or site on the qualities of Congolese honeys. The analyzed samples of Congolese honeys contain honey of good qualities stored by bees for their consumption (Bogdanov *et al.*, 1999). First, the content of reducing sugars of various analyzed honey samples ranged from 63.40 to 73.80%, with an average of $68.17 \pm 3.49\%$. This was within the optimum range ($\geq 65\%$) set by CODEX Alimentarius. Secondly, the sucrose content varied between 0.3 and 1.9% with an average of $1.00 \pm 0.41\%$. These values are included in the optimum range ($\leq 5\%$) (Bogdanov *et al.*, 1999). Then, the content of water in honeys ranged from 16.80 to 22.00% with an average of $18.80 \pm 1.74\%$, which is within the recommended thresholds ($\leq 21\%$) of CODEX Alimentarius. However, honeys collected in forest area of Kisangani, seem slightly richer in moisture content $21.29 \pm 0.47\%$. This could involve some difficulties in their conservation, since some microbial fermentation can appear when honey has higher moisture content. Also, the pH of the honey samples analyzed ranged from 4.22 to 4.53, with an average of 4.36 ± 0.10 , which is within the range of 3.5 to 5.5 (Bogdanov *et al.*, 1999). The average electrical conductivity obtained for all 22 samples collected in the DRC was 47.74 ± 13.93 mS/cm,

which was well within the optimal range of Codex Alimentarius (≤ 0.8 mS/cm) (Bagdanov *et al.*, 2005). The average concentration of HMF in honey samples ranged between 1.75 and 31.38 mg HMF/kg of honey, with an overall average of 13.97 ± 8.40 mg/kg; this was in the range of 0-80mg/kg set by CODEX Alimentarius (Zappalà *et al.*, 2004). Finally, the concentration of HMF of the 22 samples ranged from 1.75 to 31.38 mg HMF/kg of honey, with an overall average of 13.97 ± 8.40 mg HMF/kg of honey.

Considering the CODEX Alimentarius standards (1998) for the physicochemical properties of honey, it can be concluded that the twenty-two Congolese samples of honeys corresponded to the six criteria of quality established by the International Commission of honey. However, special attention should be given to honeys from Kisangani. The average humidity of that was above 20% (Bagdanov *et al.*, 1999). Between the studied sites, the honeys collected in the rainforest of Kisangani were richer in reducing sugar (70.87%) and humidity (21.29%) than those collected in the savannah of Kavwaya (reducing sugars = 66.1%, water = 16.8%). Statistically, the content of reducing sugars in honeys was similar between the rainforest of Kisangani, the savannah of Kavwaya and the restored forest of Mampu ($p \geq 0.05$). The electrical conductivity of Kisangani honeys (39.24 ± 0.54) was larger than those of the samples from Mampu and Kavwaya ($C = 36.45$ mS/cm). This electrical conductivity predominantly depends on the mineral content of honey (Andrede *et al.*, 1999)

Nonetheless, samples of honeys collected in the savannah of Kavwaya were richer in HMF and in sucrose (17.11 mg HMF/kg honey and 1.90% sucrose) than those of the rainforest of Kisangani (4.21 mg HMF/kg honey and 0.53% sucrose) and the restored forest of Mampu (**Figure 3.2**). These differences are due to the botanical composition of honeys and the climates that predominate in each of the studied areas (Philippe *et al.*, 1999).

In terms of climate, Kisangani is located ($0^{\circ}33'N$) closer to the equator than Mampu ($4^{\circ}18'52''S$) and Kavwaya ($5^{\circ}13'S$). Therefore, it is warmer in Kisangani than at Kavwaya and Mampu. According to Lichtenberg-Kraag (2012), the rate of degradation of sucrose present in the honey directly depends on the storage temperature of the honey. The results of Lichtenberg-Kraag (2012) also revealed that the rate of degradation of sucrose showed a positive correlation with the invertase activity, pH, electrical conductivity, glucose content and fructose content.

Table 3.4 : Mean values of physicochemical parameters of honey samples from the DRC.

<i>Parameters</i>	<i>Sites</i>	<i>Average</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Thresholds of CODEX</i>	<i>PValue</i>
% sucrose	<i>Kisangani</i>	0.53±0.11	0.30	0.60	≤ 5.00	<i>P</i> < 0.005
	<i>Mampu</i>	1.11±0.18	0.90	1.40		
	<i>Kavwaya</i>	1.85±0.07	1.80	1.90		
	<i>Average</i>	1.00±0.41	0.30	1.90		
% Reducing sugars	<i>Kisangani</i>	70.87±2.87	66.30	73.80	≥ 65.00	0.110
	<i>Mampu</i>	67.85±3.32	63.40	72.70		
	<i>Kavwaya</i>	66.10±0.28	66.00	66.20		
	<i>Average</i>	68.17±3.49	63.40	73.80		
pH	<i>Kisangani</i>	4.47±0.05	4.40	4.53	3.50 – 5.50	<i>P</i> < 0.005
	<i>Mampu</i>	4.28±0.03	4.22	4.35		
	<i>Kavwaya</i>	4.47±0.06	4.42	4.51		
	<i>Average</i>	4.36±0.10	4.22	4.53		
Electric conductivity	<i>Kisangani</i>	67.97±4.74	59.80	74.10	≤800µS/cm	<i>P</i> < 0.005
	<i>Mampu</i>	39.24±0.54	38.10	40.40		
	<i>Kavwaya</i>	36.45±0.78	35.90	37.00		
	<i>Average</i>	47.74±13.93	35.90	74.10		
% water	<i>Kisangani</i>	21.29±0.47	20.40	22.00	≤ 21.00	<i>P</i> < 0.005
	<i>Mampu</i>	17.84±0.34	17.40	18.40		
	<i>Kavwaya</i>	16.80±0.00	16.80	16.80		
	<i>Average</i>	18.80±1.74	16.80	22.00		
HMF (mg/Kg)	<i>Kisangani</i>	4.21±1.81	1.75	8.37	<80.00mg/Kg	<i>P</i> < 0.005
	<i>Mampu</i>	22.17±3.63	18.63	31.38		
	<i>Kavwaya</i>	17.11±0.95	15.94	18.27		
	<i>Average</i>	13.97±8.40	1.75	31.38		

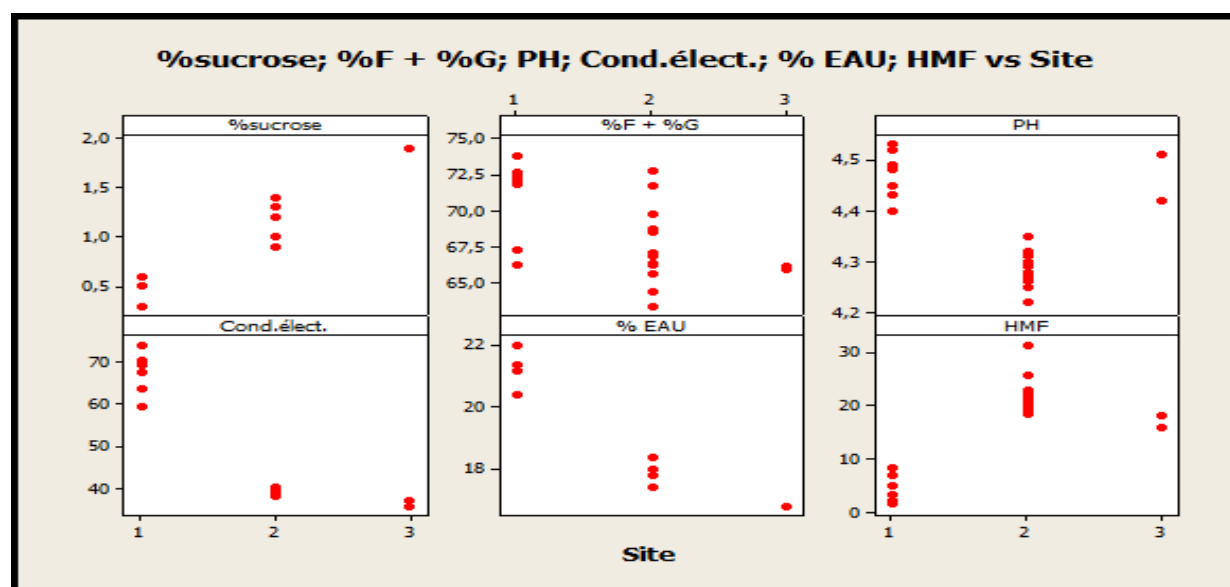


Figure 3.2: Distribution of values of six physicochemical parameters of honeys based on the sites.

Key 1: Kisangani, 2: Mampu, 3: Kavwaya, F: fructose and G: glucose.

3.2.4. Conclusion

Preservation of the health of *A. mellifera adansonii*, L. has considerable economic importance, since this insect produces not only honey, but also pollinate many useful plants (Haubruge *et al.*, 2006).

The objective of the present study was to assess the quality of beebread and honeys in DRC. In addition to this objective, we determined the influence of environmental factors (forest and climate) on the quality of food resources for bees. We used the criteria of wealth in proteins and essential amino acids for assessing the quality of bee bread collected by bees, while the honey qualities were assessed on the basis of six quality criteria established by CODEX Alimentarius.

Our investigations have led to conclude that:

- The average of content of protein in pollens was $14.11 \pm 5.27\%$. This value is lower than the 20% required ensuring optimal development of bees in Europe (Kleinschmidt 1986). Given these results, we do not recommend Congolese beekeepers using European species of bees in their apiaries. Statistically, this study showed that the protein content of bee bread was similar between the rainforest of Kisangani, the savannah of Kavwaya and the restored forest of Mampu ($p \geq 0.05$) (**Table 3.1** and **Figure 3.1**).
- All of the pollen samples collected from three beekeeping sites in the DRC have a similar amino acid composition and all of the samples analyzed contain 10 essential amino acids in adequate doses to ensure the optimal development of European bees (De Groot, 1953, Wille *et al.*, 2000). Statistically, the forest of Kisangani offered bee breads that were richer in essential amino acids than the savannah of Kavwaya, except for tryptophan, methionine, histidine and threonine (**Table 3.2** and **Figure 3.2**). However, the restored forest of Mampu and the rainforest of Kisangani showed similarities in their doses of all ten essential amino acids for bees ($p \geq 0.05$) (**Figure 3.2** and **Table 3.2**). This similarity between Kisangani and Mampu clearly shows that the reforestation of the forest has a positive effect on the quality of food resources of bees.

All honey samples comply to the six quality criteria established by CODEX Alimentarius (**Table 3.4**). This confirms the hypothesis that the quality of energy resource of honeybees is not a constraint for beekeeping in DRC. However, honeys from the forest region of Kisangani were richer in minerals and reducing sugars than those of the savannah of Kavwaya. In

contrast, the samples of honeys collected from the savannah of Kavwaya were richer in HMF (17.11 mg HMF/kg of honey) and in sucrose (1.90%) than those of the rainforest of Kisangani (**Figure 3.3** and **Table 3.4**)

In the current context, where there is no published evidence for the correlation between the quality of food resources (pollen and honey) and the optimal development of bees in the DRC, it is less easy to draw a definitive conclusion on the nutritional quality of bees in the DRC. The results of this study cannot be extrapolate, as they are specific to the time interval from January to March, because analyses performed were carried out on samples collected from 01/02/2009 to 15/03/2009 in three ecological sites. To get an overall idea of the annual food availability for bees in all ecosystems of the DRC, we suggest that further studies in this area be spread over time and space by integrating the physiology of plants, variations of the climatic seasons and biology of bees.

3.2.5. Acknowledgments

We thank the members of the Laboratory of Biological chemistry at the University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech for their contribution to the chemical analysis and commentary on the manuscript.

CHAPITRE QUATRE : EFFET DE LA POLLINISATION DES ABEILLES INTRODUITES (*Apis mellifera adansonii*, L. 1758 (Apidae: Hymenoptera) SUR LE RENDEMENT DE *Cucumeropsis mannii*(Naudin)A KISANGANI, REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

4.1. Présentation d'étude

Pollinisation entomophile est un processus clé dans les écosystèmes naturels et agricoles (Haubruget *et al.*, 2006). Plusieurs publications ont révélé que 87 des 124 cultures principales destinées à la consommation humaine dans 200 pays à travers le monde dépendent de différents niveaux de la pollinisation entomophile (Klein *et al.*, 2007; Holden, 2006).

C. mannii (Naudin) est une Cucurbitacée généralement cultivée pour ses graines que l'on transforme en pâte pour épaissir les sauces. Les graines grillées et broyées peuvent être transformées en une pâte servant à épaissir la sauce, ou à extraire de l'huile (Djè *et al.*, 2006 ; Achigan- Dako & Baudouin, 2007). Ses graines constituent une bonne source en lipides (46 %) et en protéines (36 %) (Ndabalishye, 1995 et Scippers, 1997). Elle est cultivée en association avec d'autres grandes cultures telles que le manioc, le maïs et la banane. Maintenant, sa culture est devenue un secteur économique important en Afrique (Djè *et al.*, 2006).

La pollinisation de *C. mannii* (Naudin) est souvent assurée par des insectes et principalement des abeilles domestiques (Klein *et al.*, 2007). L'abondance et la biodiversité des abeilles (*Apis mellifera*) sont des facteurs importants pour améliorer le rendement de *C. mannii* (Naudin) (Fomekonget *et al.*, 2008).

Le but de cette étude était d'évaluer l'impact de la pollinisation des abeilles introduites (*A. mellifera adansonii*, L.) sur le rendement de *C. mannii* (Naudin) à Kisangani. Les influences de la distance au rucher et de l'orientation des vols des ouvrières sur le rendement de *C. mannii* (Naudin) ont été également investiguées. Pour ce faire, les essais de pollinisation ont été réalisés dans deux sites expérimentaux. Deux champs expérimentaux séparés de 3 km de distance ont été installés dans chaque site. Deux colonies d'abeilles ont été installées au milieu du premier champ expérimental pendant la floraison (stade où il y avait 10 % des plantes fleuries). Un second champ expérimental, sans colonies d'abeilles, constituait le témoin. L'impact de la pollinisation des abeilles introduites sur le rendement de *C. mannii* (Naudin) a été évalué sur base de cinq composantes du rendement (nombre de graines par fruit, le

nombre de fruits par plante, poids des graines extraites par baie, la longueur moyenne et la largeur moyenne des graines).

Les résultats de cette étude ont été organisés sous-forme d'article et présentés dans le chapitre 4 de notre manuscrit.

4.2. Effects of *Apis mellifera adansonii*, L. 1758 (Apidae: Hymenoptera) pollination on yields of *Cucumeropsis mannii*(Naudin)in Kisangani, Democratic Republic of the Congo
Posho Ndola Boniface^{1,2}, Yves Brostaux³, Guillaume Le Goff⁴, Marie-Lucie Susini⁵, Eric Haubruge¹, Frederic Francis¹, Bach Kim Nguyen¹

1. Unit of Functional and Evolutionary Entomology, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech; 2 Passages des déportés , 5030 Gembloux, Belgium
2. Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, B.P 1232 Kisangani, R.D.C
3. Unit of Statistics, Informatics and Math applied to bioengineering, University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 8 Avenue de la faculté, 5030 Gembloux, Belgium
4. Earth and life institute, Biodiversity research centre, Catholic University of Louvain-la-Neuve, Place Croix du sud 4-5, 1348 Louvain la Neuve, Belgium
5. Belgian Focal Point to the Convention on Biological Diversity (CBD), Royal Belgian Institute of Natural Sciences. 29-Rue de Vautier, B-1000 Brussels, Belgium

E-mail address for correspondence: poshoboni@yahoo.fr ; entomologie.gembloux@ulg.ac.be

Tél: +32 (0) 81622287, Fax: +32 (0) 81 62 22 87

ABSTRACT – The honeybees play an important role in the pollinations of many field crops. Here, we assessed the effect of the presence of honeybee colonies, *A. mellifera adansonii*, L. 1758 (Apidae: Hymenoptera) in the production of African melon crop, *C. mannii*(Naudin)(Cucurbitaceae) in Kisangani, Democratic Republic of Congo. The influences of distance to the apiary and flightorientationwere also investigated. Generally, four fields of one hectare were cultivated in two study sites. At each site, both fields of one hectare were separated by more than 3 kilometers to avoid interference between treatments. Two honeybee colonies were installed in the middle of the first experimental field at each site (T₁) during flowering (when there were 10% of flowering plants). A second experimental field, without

honeybee colonies, was the control (T_0). Each experimental field (with or without colonies) was divided into three concentric subplots around the apiary (P1: 0-10 meters to the apiary, P2: 10-30 meters, and P3: 30-50 meters to the apiary). The impact of pollination of honeybees on the yield of *C. manni*(Naudin) was assessed on five components of yield (average number of seeds per fruit, average number of fruits per plant, average weight of seeds extracted per fruit, average length and average width of the seeds). The results of this study have shown that the pollination of introduced honeybees significantly improved the number of seeds per fruit by 83.78%, while the number of fruits per plant and the weight of seeds per fruit were improved by 422.89% and 185.61%, respectively. Indeed, the seed size was positively influenced by the presence of the apiary in the field. According to the funding in this study, the spatial distribution of plants (distance to apiary and orientation) did not influence the yield and the size of seeds in the field of *C. manni*(Naudin). The association "apiary - culture of *C. manni*(Naudin) " could be integrated in the arsenal of strategies to enhance symbiotic interactions *Apis mellifera*, L with *C. manni*(Naudin) in DRC.

Keywords: *Apis mellifera adansonii*, L., pollination, *Cucumeropsis manni*(Naudin), yield, Kisangani, RDC.

4.2.1. Introduction

Entomophilous pollination is a key process in natural and agricultural ecosystems (Haubruge *et al.*, 2006). In agricultural ecosystems, it has been displayed that 87 of the 124 major crops for human consumption in 200 countries around the world depend on different levels of pollination by insects (Klein *et al.*, 2007; Holden, 2006). The abundance and biodiversity of pollinators are important factors for improving the performance of fruit crops in agricultural ecosystems. Hence, the needs for different current global partners reflect on the initiatives promoting the maintenance and mechanical protection of biodiversity of pollinators in the world (Allen-Wardell *et al.*, 1998).

The pollination of crops often depends on insects, mainly honeybees. Nevertheless, many researchers have indicated that there has been a decline in the numbers of insect pollinators in agroecosystems (Biesmeijer *et al.*, 2006). For example, in 1990, American researchers published reports about the loss of pollinators' biodiversity in North America (e.g. Allen-Wardell *et al.*, 1998). A similar loss in the abundance of insect pollinators (particularly the honeybee species) was also observed in European countries. In 1980, the researchers

estimated a loss of 40% in Britain and 60% in the Netherlands. Several studies demonstrated that this decline in the numbers of pollinators may influence the entire planet and agriculture (Rasmont *et al.*, 2006; Ghazoul, 2005; Steffan-Dewenter *et al.*, 2005).

Also many other factors including parasites, disease, climate change, agricultural intensification, urbanization growth, infrastructure installation, effects of pesticide and local and industrial pollution could be responsible for the decline of pollinators (Le Féon *et al.*, 2010; Haubruge *et al.*, 2006). Different agricultural practices may be taking into account to protect the biodiversity (Richards, 2001; Kremen & Ricketts, 2000; Kearns *et al.*, 1998; Pesson & Louveaux, 1984). Previous studies have shown that the introduction of honeybee colonies in crops helped to improve the production of these crops, and good maintenance of pollinator biodiversity in these ecosystems (Azo'Oela *et al.*, 2010; Mesquida & Renard, 1981). The latter authors observed that pollination of honeybees improved the production of fruits and seeds in the farming of rape and the African melon (*Citrullus lanatus*). Another crop, *Cucumeropsis mannii*(Naudin) (Cucurbitaceae) is considered as a nutritional source for the majority of African populations (Zoro Bi *et al.*, 2003). It is cultivated in small fields in association with other major crops such as cassava, maize and banana. Now, this crop is a significant economic sector in Africa (Djè *et al.*, 2006).

The impact of honeybee pollination on the production of *C. mannii*(Naudin) crop has not yet been well documented in the Democratic Republic of Congo (DRC). The aim of the present study was first to evaluate the effect of the introduction of honeybee colonies on the production of *C. mannii*(Naudin) seeds and second to determine the effect of distance to the apiary and flight orientation on the yield and size of *C. mannii*(Naudin) seeds.

4.2.2. Materials and methods

Study site

This study was conducted in two outlying villages of Kisangani in DRC.

Bagbagama site is located at Kilometre 10, on the road Kisangani - Yangambi and on the left bank of the Congo River. This site belongs to Lubuyabera sector in Kisangani situated at the latitude 0 ° 31'N and the longitude 25 ° 11' E. Experimental field was installed in a fallow and surrounded by fields of cassava, rice, pepper, tomato and banana.

Bambane site is located at Kilometre 19 on road Kisangani - Buta. This site also belongs to Lubuyabera sector in Kisangani. It located at Latitude 0°33' N and longitude 25°11'E. As for the first site, the experimental field was placed in a fallow and surrounded by fields of cassava, rice, cassava and banana.

The two experimental sites are all located in Kisangani and belong to the Lubuyabera community. They all may be considered as having similar ecological conditions (climate, soil, hydrography, flora and fauna) as that prevailing in Kisangani.

Kisangani is dominated by rainforest and a hot and humid tropical climate corresponding to *Af* of Köppen classification (Ngongo, 2006). Its annual average temperature is 25 ° C, while the annual rainfall ranges from 1500 mm to 2000 mm (Vandenput, 1981)

In Kisangani, most upper horizons of soil present the general characteristics of the old lateritic covers with good physical properties due to micro aggregate structure of the elementary constituents (kaolinite, gibbsite, hematite, goethite, quartz) (Calembert, 1995)

Two types of vegetation cover the forest region of Kisangani: dense humid forest on land and dense humid forests on waterlogged soils. The dense rainforest on land include evergreen and semi-deciduous forests. Both types of forests are the two variants of the ecosystem-climax tropical forests in this part of the Congo Basin (Hawthorne, 1995).

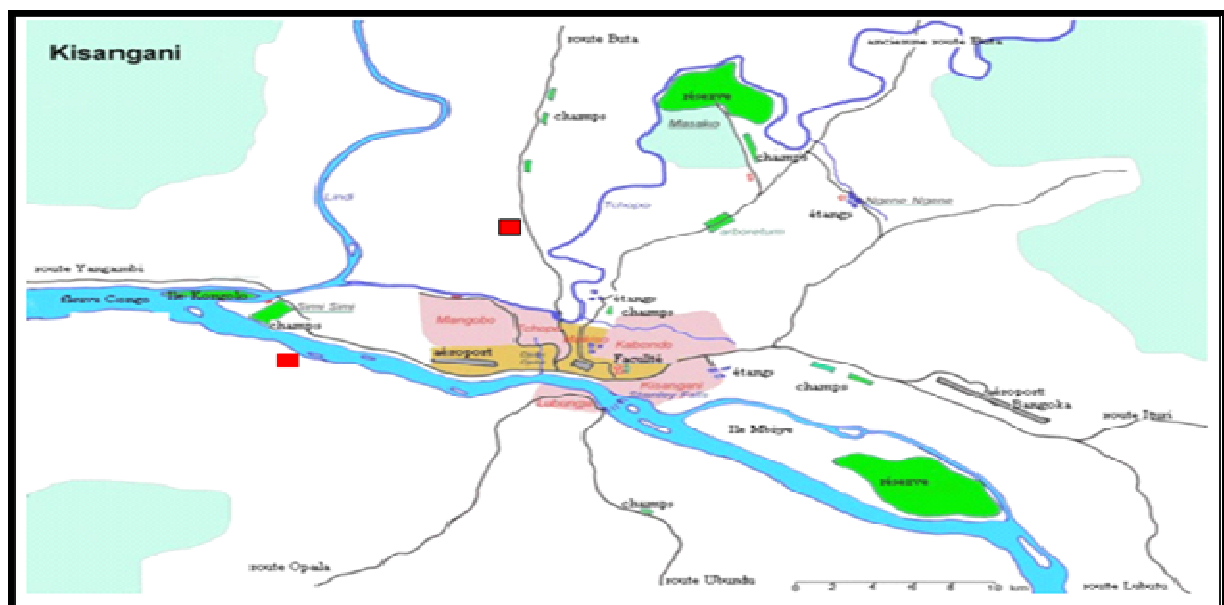


Figure 4.1: Map of Kisangani and the location of the experimental site symbolized by ■, source: Nshimba, 2008

Biological material

The plant material used in this study consisted in seeds of *C. mannii*(Naudin)also called African melon, purchased locally from Kisangani's farmers. Its pollination is entomophilous and the bee remains a very effective pollinator (Zoro Bi *et al.*, 2003). Pollinators introduced as part of our study consisted of four colonies of *A. mellifera adansonii*, L. that were captured by the trapping technique and domesticated in the Langstroth at Kisangani.

Experimental design

The observations were conducted at two different sites. Four fields of one hectare each were cultivated in two study sites. Two experimental fields were installed in each site and separated by more than 3 kilometers to avoid interference between treatments. In tropical conditions, the radius operating of wild bee colonies is estimated at 3 kilometers(Winston, 1993). At each site, two honeybee colonies were introduced into the middle of the treated fields (T1) during flowering (when there were 10% of flowering plants), while the second experimental field without an apiary was considered a control (T0). Generally, we introduced four honeybee colonies at two treated fields (plots containing apiaries). Each experimental field (with or without colonies) was divided into three concentric subplots around the apiary (P1: 0-10 meters to the apiary, P2: 10-30 meters and P3: 30-50 meters to the apiary). From the apiary, we charted four axes which were oriented to the four cardinal directions. Different distances used in the sampling and observations were also measured for each direction. These measurements were performed using topofil. For the study, the observations were performed at 5, 25 and 45 m from the apiary. The experimental design is schematically presented in the figure below (Figure 4.2).

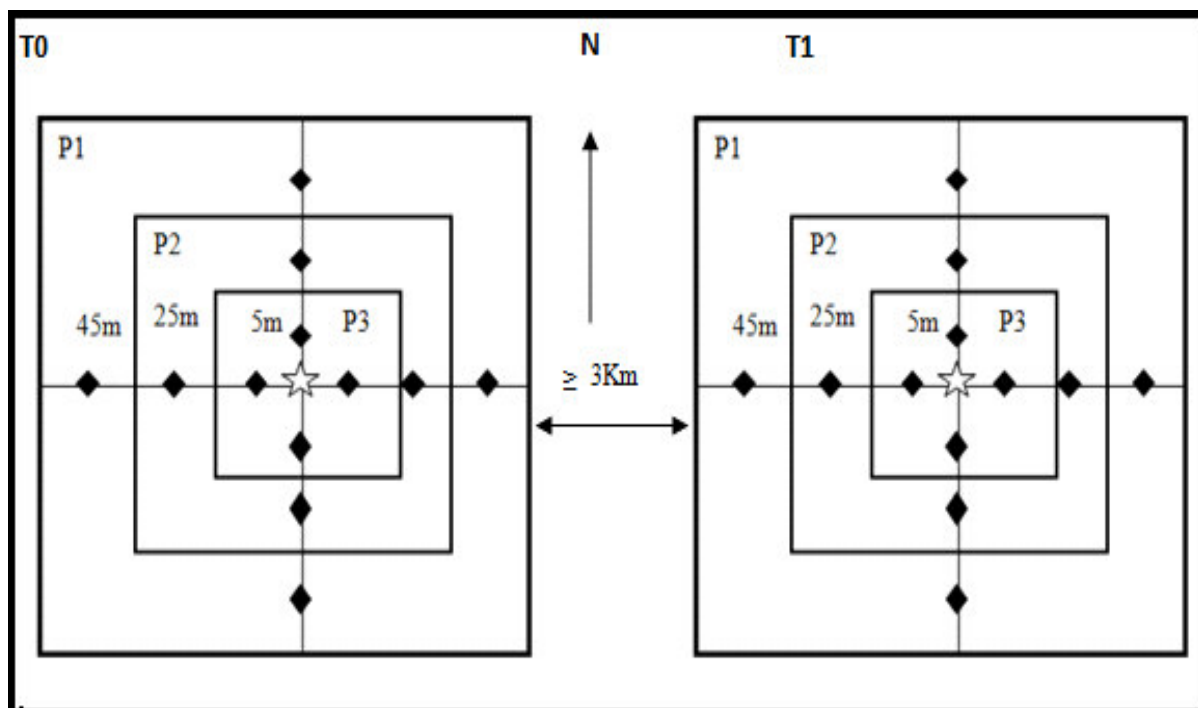


Figure 4.2: Schema of the experimental design.

- ☆ : Location of apiary or center;
- ◆ : sampling location;
- T₀ : Plot without apiary;
- T₁ : Plot with apiary;
- P₁, P₂, P₃: Subplots;
- N : Geographic North.

Influence of honeybee pollination on *C. mannii* (Naudin) yield

Three months after flowering (corresponding to the harvest and maturity of seeds), the influence of honeybee pollination on the yield of *C. mannii* (Naudin) was evaluated using five yield parameters: (1) the average number of fruits per plant, (2) the average weight of seeds extracted per fruit, (3) the average number of seeds per fruit, (4) the average seed length and (5) the average seed width. The number of fruits per plant was determined by the framing method: data were collected from a sample of plants randomly selected in frames of 10 x 10 meters, which were placed 5, 25 and 45 meters from the apiary on each axis. The sub-sampling technique was used to measure parameters such as the average number of seeds per fruit, the average seed length, the average seed width and the average weight of seeds extracted per fruit. Measurements of these parameters were realized on sub-samples of 10 fruits or 10 seeds that were randomly selected in batches of fruits or seeds.

Statistical analysis

All statistical analyses were performed using R version 2, 14. 1. 2011. Three ways analysis of variance was used to compare the differences and similarities of yield components between the three different factors: pollination (with or without apiary); distances to the apiary (P1, P2, P3) and orientation (N, S, E, W). Data were transformed ($\sqrt{x + 0.5}$ and arcsine) before parametric tests in order to normalize the data.

4.2.3. Results

Influence of honeybee pollination on the yield of *C. mannii* (Naudin)

The data on influence of honeybee pollination on the yield of *C. mannii* (Naudin) are presented (Table 4.1). The data indicate that the presence of honeybee colonies has statistically improved the three quantitative components of the yield of *C. mannii* (Naudin) ($P < 0.001$). The average number of seeds per fruit was 250.73 ± 126.96 in plots provided with apiaries compared to 136.43 ± 97.16 for control plots (without apiaries), which is an improvement in the production of seeds per fruit of 83.78% more than the control ($P < 0.001$).

The average number of fruits per plant was 4.34 ± 2.79 in plots containing apiaries against 0.83 ± 0.94 for the control plots, representing a growth of 422.89% ($P < 0.001$). The average weight of seeds extracted per fruit was 44.67 ± 31.79 g in plots pollinated by honeybees compared to 15.64 ± 14.22 g for control plots, which represents an increase of 185.61% of yield ($P < 0.001$).

The presence of honeybee colonies positively influenced seed size (Table 4.1) : the average seed length was 1.95 ± 0.13 cm in plots equipped with apiaries against 1.87 ± 0.14 cm for control plots (without apiaries), which was an improvement in the production of seeds per fruit of 4.28% more than the control ($P < 0.001$). The average seed width was 1.00 ± 0.09 cm in plots equipped with apiaries against 0.97 ± 0.09 cm for control plots (without apiaries), indicating an improvement in the production of seeds per fruit of 3.09% more than the control ($P < 0.001$).

Table 4.1: Impact of honeybee pollination on the yield and seed size of *C. mannii*(Naudin)

Sites	Parameters	N	Bee pollination		Pr (< F)
			With apiary	Without apiary	
Yangambi	Weight of seeds (g) per fruit	90	69.02 ± 28.93 a	25.22 ± 19.60 b	<0.001***
	Number of seeds per fruit	90	44.67 ± 31.79	15.64 ± 31.79	<0.001***
	Number of fruit per plant	90	4.31 ± 2.26 a	0.53 ± 0.55 b	<0.001***
	Seed length	90	1.95 ± 0.13 a	1.82 ± 0.13 b	<0.001***
	Seed width	90	1.04 ± 0.10 a	0.92 ± 0.07 b	<0.001***
Bamanga	Weight of seeds (g) per fruit	90	20.67 ± 10.48 a	12.71 ± 10.18 b	<0.001***
	Number of seeds per fruit	90	153.55 ± 70.37 a	107.04 ± 75.76 b	<0.001***
	Number of fruit per plant	90	5.47 ± 3.23 a	1.33 ± 1.19 b	<0.001***
	Seed length	90	1.96 ± 0.11 a	1.96 ± 0.12 a	0,9
	Seed width	90	0.97 ± 0.08 a	1.02 ± 0.09 b	<0.001***
Overall mean	Weight of seeds (g) per fruit	90	44.67 ± 31.79 a	15.64 ± 14.22 b	<0.001***
	Number of seeds per fruit	90	250.73 ± 126.96 a	136.43±97.16 b	<0.001***
	Number of fruit per plant	90	4.34 ± 2.79 a	0.83 ± 0.94 b	<0.001***
	Seed length	90	1.95 ± 0.13 a	1.87 ± 0.14 b	<0.001***
	Seed width	90	1.00 ± 0.09 a	0.97 ± 0.09 b	<0.001***
Significative codes : 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 'ns' 0.1 '*' 1					
***: very highly significant difference; **: very significant difference, *: significant difference and ns: no significant difference.					

Influence of distance to the apiary and flight orientation on the performance of *C. mannii*(Naudin)

The three components of the yield were statistically similar between the three levels of distance to apiaries (P > 0.05). Thus, the distance to the apiary does not influence the performance during our trials. Seed length and width were statistically different between the three levels of distance to the apiary (P <0.05). However, the trends of seed length and the seed width were not consistent and varied between size parameters (Table 4.2).

Table 4.2: Impact of distance to the apiary on the yield and seed size of *C. mannii* (Naudin).

Sites	Parameters	Distance to the apiary			Pr (<F)
		0 to 10m	10 to 30m	30 to 50m	
Yangambi	N	20	80	80	
	Weight of seeds (g) per fruit	44.92 ± 34.88 a	53.87 ± 31.58 a	56.66 ± 34.88 a	0.466
	Number of seeds per fruit	243.9 ± 120.8 a	299.6 ± 124.0 a	313.7 ± 135.0 a	0.164
	Number of fruit per plant	1.10 ± 0.74 a	2.60 ± 2.78 a	2.86 ± 2.48 a	0.150
	Seed length	1.85 ± 0.18 a	1.90 ± 0.15 a	1.89 ± 0.13 a	0.365
	Seed width	0.98 ± 0.07 a	0.99 ± 0.13 a	0.97 ± 0.08 a	0.322
	N	20	80	80	
Bamanga	Weight of seeds (g) per fruit	16.94 ± 10.69 a	16.30 ± 11.92 a	17.08 ± 10.22 a	0.909
	Number of seeds per fruit	154.67 ± 98.63 a	122.75 ± 73.42 a	133.10 ± 73.21a	0.266
	Number of fruit per plant	2.10 ± 2.42 a	2.00 ± 0.11 b	3.38 ± 3.08 a	0.346
	Seed length	1.90 ± 0.12 a	1.01 ± 0.09 a	1.92 ± 0.11 a	<0.001***
	Seed width	0.99 ± 0.09 a	1.01 ± 0.09 a	0.99 ± 0.09 a	0.186
Overall mean	N	20	80	80	
	Weight of seeds (g) per fruit	30.11 ± 28.51 a	32.72 ± 29.34 a	34.26 ± 31.15 a	0.756
	Number of seeds per fruit	196.70 ± 117.0 a	200.1 ± 132.0 a	210.7 ± 137.3 a	0.761
	Number of fruit per plant	2.70 ± 2.00 a	5.53 ± 2.81 a	4.90 ± 2.73 a	0.6699
	Seed length	1.87 ± 0.15 a	1.95 ± 0.14 b	1.91 ± 0.12 b	<0.001***
	Seed width	0.98 ± 0.08 a	1.00 ± 0.11a	0.98 ± 0.09 a	0.072

Significative codes : 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 'ns' 0.1 ' ' 1
 ***: very highly significant difference; **: very significant difference, *: significant difference and ; ns: no significant difference

All performance parameters were statistically different between the four directions (North, South, East and West) of experimental fields, except for the weight of seeds per fruit ($P < 0.05$). However, the observed trends for all performance parameters between the four orientations were not consistent and varied between components themselves (Table 4.3).

Table 4.3: Influence of flight orientation on the yield and seed size of *C. mannii*(Naudin)

Sites	Parameters	Orientation				P (<F)
		North	South	East	West	
Yangambi	N	160	160	160	160	
	Number of seeds per fruit	258.8 ± 119.0 a	310.2 ± 128.6 a	313.3 ± 122.7 a	343.7 ± 136.4a	0.05
	Number of fruit per plant	2.05 ± 1.82 a	2.10 ± 1.94 a	3.80 ± 2.86 a	3.20 ± 3.43 a	0.042*
	Weight of seeds (g) per fruit	51.29 ± 34.88 a	53.38 ± 32.52 a	54.87 ± 31.76 a	61.56 ± 34.59 a	0.05
	Seed length (cm)	1.86 ± 0.13 a	1.88 ± 0.17 ab	1.90 ± 0.12 ab	1.95 ± 0.12 b	0.033
	Seed width (cm)	0.97 ± 0.06 ab	0.96 ± 0.14 a	1.03 ± 0.11b	0.98 ± 0.10 ab	0.05
Bamanga	N	160	160	160	160	
	Number of seeds per fruit	103.3 ± 80.9 a	121.9 ± 56.0 a	150.7 ± 61.3 a	135.3 ± 84.4 b	0.038
	Number of fruit per plant	4.55 ± 3.66 ab	2.10 ± 1.33 a	4.80 ± 4.09 b	2.80 ± 2.55 ab	0.013**
	Weight of seeds (g) per fruit	13.10 ± 10.05 a	13.38 ± 8.90 a	20.87 ± 10.81 b	19.25 ± 12.61 ab	0.04*
	Seed length (cm)	1.95 ± 0.12 a	1.94 ± 0.14 a	1.95 ± 0.10 a	2.01 ± 0.10 a	0.01*
	Seed width (cm)	1.00 ± 0.08 ab	0.99 ± 0.10 ab	0.97 ± 0.08 a	1.04 ± 0.08 b	0.01*
Overall mean	N	160	160	160	160	
	Number of seeds per fruit	168.3 ± 124.6 a	216.1 ± 136.7 a	211.0 ± 118.5 a	226.5 ± 151.0 a	0.107
	Number of fruit per plant	3.30 ± 3.12 ab	2.10 ± 1.65 a	4.37 ± 3.60 b	3.00 ± 2.99 ab	0.002**
	Weight of seeds (g) per fruit	29.30 ± 30.09 a	33.10 ± 30.97 a	33.48 ± 26.66 a	38.12 ± 32.55 a	0.522
	Seed length (cm)	1.90 ± 0.13a	1.91 ± 0.16 a	1.93 ± 0.11ab	1.98 ± 0.12 b	<0.001***
	Seed width (cm)	0.99 ± 0.07 a	0.98 ± 0.12 a	0.99 ± 0.10 a	1.01 ± 0.09 a	0.377

Significative codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 'ns' 0.1 ' ' 1 ,***: very highly significant difference; **: very significant difference; *: significant difference; and ns: no significant difference

4.2.4. Discussion

Influence of honeybee pollination on the yield of *C. mannii*(Naudin)

The attempt was to assess the effect of honeybee pollination on the yield of *C. mannii*(Naudin). The data show positive effects of the introduction of honeybee pollination on the yield of *C. mannii*(Naudin). The analysis of variance revealed that the presence of honeybee colonies statistically improved the average number of seeds per fruit, the average weight of seeds extracted per fruit and the average number of fruits per plant. The increase in these three components was considered by Bergeg & McGregor (1999) as a quantitative improvement of the yield of *C. mannii*(Naudin). These results confirmed the findings of Azo'Oela *et al.* (2010) and Mesquida & Renard (1981). These authors observed that the pollination of honeybees improved the production of fruits and seeds in the farming of rape and the Cucurbitaceae (particularly *C. lanatus*). This study has shown that the pollination of

the introduced honeybees positively influenced the seed size. These results differ from the findings of Mesquida & Renard (1981), who reported on the farming of rape. These authors observed a decrease in the size of seeds when honeybees were provided during the farming of rape. The variation in experimental conditions could explain these differences (eg cultivated species, climate, soil).

Influence of distance to apiary on the yield of *C. mannii*(Naudin)

The aim was to assess the effect of distance to apiary on the yield of *C. mannii*(Naudin). The data demonstrated that all of the observed components of the yield were statistically similar between the three levels of distance to apiary. In this study, distance to the apiary did not affect the yield of *C. mannii*(Naudin). These results differ from those of Manning and Wallis (2005), who showed that the seed yield of rape was relatively heterogeneous between plants located in remote bands of 30 metres. The lack of pollination gradient observed in our study may be due to the relatively small size of our experimental plots (one hectare) compared to the operational areas of wild bee colonies in tropical conditions (radius operating estimated at 3 km) (Winston, 1993). Our results showed that seed size was statistically different between the three levels of distance to the apiary. However, the trends of seed length and seed width were not consistent and varied between components themselves. Therefore, distance to apiary did not influence seed size in our study. These results did not differ from those obtained by Quiévy (2008) on the farming of rape.

Influence of flight orientation on the yield and seed size of *C. mannii*(Naudin)

The attempt was to assess the effect of flight orientation of honeybee on the yield of *C. mannii*(Naudin). The results demonstrated that flight orientation of honeybees did not affect yield and seed size of *C. mannii*(Naudin) because the trends of all performance parameters were not consistent and varied between sites and components themselves. These results correspond to the ecological conditions of Kisangani where the average wind speed varies from 0 to 10 km/hour (Boyemba, 2011). The choice of direction is necessary in ecosystems where the wind speed is higher. Beyond 45km/hour, wind negatively influences the mobility and the activity of honeybees (Pesson & Louveaux, 1984).

4.2.5. Conclusions

Honeybee pollination is an important factor for improving the yield of fruit crops in agricultural ecosystems (Klein *et al.*, 2007). The seed yield of Cucurbitaceae grown in Africa

is directly or indirectly dependent on the pollination insect activity, especially that of honeybees (Fomekong *et al.*, 2008; Enoch, 2006). The purpose of this work was to investigate the impact of pollination of introduced honeybees on the yield of *C. manni*(Naudin) in Kisangani. Three months after flowering (corresponding maturity of seeds), the impact of honeybee pollination on the yield of *C. manni*(Naudin) was significant. This study showed that the pollination of introduced honeybees positively influenced the yield and the seed size of *C. manni*(Naudin). Moreover, the distance to the apiary and the flight orientation did not affect the yield and seed size of *C. manni*(Naudin). The lack of pollination gradient observed in our study may be due to the relatively small size of our experimental plots (one hectare) compared to the operational areas of wild bee colonies in tropical conditions (Winston, 1993). Low wind speed in Kisangani significantly reduced the effects of the flight orientation of bee on yield of *C. manni*(Naudin). The association "apiary–*Cucumeropsis manni*(Naudin)crop" could be successfully used to improve the pollination efficiency and increase *C. manni*(Naudin) yield in ecosystems where a loss of species diversity in the community of pollinators has been reported.

4.2.6. Acknowledgments

We thank the members of Laboratory of Functional and Evolutionary Entomology of University of Liège, Gembloux Agro-Bio Tech for their contribution to reading and commenting on the manuscript.

DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES

DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le rôle économique des insectes pollinisateurs, et notamment celui des abeilles, est de mieux en mieux appréhendé. Ces insectes pollinisateurs rendent un service important dans le monde en contribuant de manière prépondérante à la reproduction sexuée de 87 sur 124 principales espèces cultivées pour la consommation humaine dans 200 pays du monde (Klein *et al.*, 2007).

Plusieurs publications ont mis en évidence une régression anormale du nombre de pollinisateurs dans les écosystèmes mondiaux. Cette régression occasionne actuellement des effets très fâcheux dans la sécurité alimentaire car 35 % du tonnage mondial d'aliments d'origine végétale proviennent de cultures dépendant en partie des pollinisateurs (Gallai *et al.*, 2008).

Pour palier ce problème, les abeilles domestiques (*A. mellifera*, L.) sont souvent introduites dans les cultures pour améliorer quantitativement et qualitativement la production des cultures fruitières. Pour les Cucurbitacées africaines et le *C. mannii*(Naudin) en particulier, la pollinisation est essentiellement entomophile. L'*A.mellifera adansonii*, L.en est le principal pollinisateur en Afrique (Azo'oEla & Messi, 2012). Outre la participation dans le transfert de pollen des plantes cultivées, l'abeille domestique est parmi les Hyménoptères capables d'assurer la production de miel, de cire, de propolis, de venin et de gelée royale (Haubruge *et al.* 2006).A ce jour l'apiculture en RDC demeure un secteur de production pour lequel très peu d'informations sont disponibles.

L'objet de cette étude était l'évaluation de la capacité pollinisatrice des abeilles domestiques (*A. mellifera adansonii*, L.) sur la culture de *C. mannii*(Naudin) et état des lieux de la filière apicole en RDC.

Les différents chapitres de ce travail ont mis l'accent sur l'étude exploratoire de la filière apicole en RDC, sur l'évaluation de la qualité nutritionnelle de pollens et de miels pour la survie des abeilles en RDC et sur l'étude de l'impact de la pollinisation des abeilles domestiques sur l'amélioration quantitative et qualitative de la production de *C. mannii*(Naudin) à Kisangani.

L'étude d'état des lieux de la filière apicole en RDC

Une combinaison d'approches pour collecter des données a été utilisée, à savoir, les interviews structurées avec des apiculteurs, la recherche documentaire et des observations sur les ruchers.

Nous avons procédé par un choix raisonné de sites d'étude en tenant compte de critères de contraste écosystemique (forêt tropicale de Kisangani, savane de kavwaya et forêt reboisée de Mampu). Il nous a fallu donc assurer le choix parmi les apiculteurs œuvrant dans l'élevage des abeilles de manière permanente dans les trois sites choisis afin de nous permettre d'effectuer les interviews, le suivi de prélèvement des données apicoles et aussi une observation succincte des conditions d'élevage des abeilles en RDC.

Les résultats concernant l'étude exploratoire sur l'apiculture en RDC laissent apparaître que :

- l'apiculture congolaise reste encore semi traditionnelle;
- 54 % des apiculteurs congolais travaillent en coopérative;
- 100% du cheptel apicole congolais est constitué d'*Apis mellifera adansonii*, L. dont la majorité des colonies a été obtenue par piégeage ou par essaimage artificiel;
- 96% des apiculteurs utilisent les ruches Kenyanes et ils effectuent par conséquent l'extraction manuelle de leurs miels;
- Le nombre de ruches utilisé par un apiculteur congolais varie entre 2 et 120 avec une moyenne de 14 ruches par apiculteur ;
- La production d'une colonie par récolte oscille entre 1 et 25 litres de miel avec une moyenne de 10 litres de miel par colonie ;
- La production annuelle par apiculteur est évaluée entre 10 et 900 litres de miel avec une moyenne de 168 litres par apiculteur ;
- Le nombre de récoltes de miel effectué par an varie de 1 à 2, et il dépend des conditions écologiques de chaque site;
- Les principaux problèmes de l'apiculture congolaise sont : les attaques de *Galleria melonella* et des autres prédateurs (*Mustelidae*, *Agamidae*, *Meropidae*, *Vespidae*,

Formicidae, Manidae, Squamates); les difficultés matérielles et financières; le manque de formation sur la gestion apicole; la déforestation; l'absence d'un marché de miel structuré.

- La composition botanique de miel varie selon les sites. Elle est constituée d'une grande diversité d'espèces mellifères sauvages et cultivées;

Au regard des résultats de cette étude, il y a lieu de demeurer à ce jour optimiste sur le fait que la filière apicole pourrait constituer un des piliers efficaces pour l'économie de la RDC si les acteurs actuels de développement affichent une bonne volonté d'orienter les efforts de développement vers les projets apicoles de grandes envergures et surtout élaborer pour la filière apicole, des technologies permettant aux petits apiculteurs d'améliorer leurs revenus afin de réduire la pauvreté, le chômage et l'insécurité alimentaire dans ce pays (Dubois & Collart, 1950, CIFOR, 2008).

Pour y parvenir, il faut d'une part favoriser les initiatives apicoles locales en apportant aux apiculteurs des appuis en matériels, en formation et en commercialisation des produits apicoles et d'autre part soutenir les recherches axées principalement sur la gestion apicole, sur l'amélioration de la qualité des produits apicoles et sur les stratégies de contrôle des ennemis d'abeilles en RDC (CIFOR, 2008)

Nous espérons que la présente étude aura son utilité et pourra engendrer de nouvelles recherches dans un domaine où les connaissances sont encore limitées.

Pour avoir une idée globale de l'apiculture dans tous les écosystèmes de la RDC, nous suggérons que d'autres études dans ce domaine soient étalées dans le temps et l'espace en y intégrant les aspects liés à la physiologie des plantes mellifères, à la variation climatique et enfin à la biologie des abeilles.

L'évaluation de la qualité nutritionnelle de pollens et de miels pour la survie des abeilles en RDC

Le chapitre 3 de ce travail a été consacré à l'évaluation de la qualité de pains d'abeille et de miels pour la survie d'*A.mellifera adansonii*, L. 1758 en RDC. Les échantillons ont été prélevés dans trois sites apicoles écologiquement différents, à savoir la forêt tropicale de Kisangani, la savane de Kavwaya et la forêt reboisée de Mampu. Les pains d'abeilles ont été évalués en fonction de leur richesse en protéines et en acides aminés essentiels, tandis que

l'évaluation des miels a été réalisée sur base de leurs teneurs en eau, de leurs pourcentages en sucres réducteurs, de la teneur en saccharose, de leurs concentrations en 5 - (hydroxyméthyl) - 2- furaldéhyde (HMF), de l'acidité (pH) et de leurs conductivités électriques.

Il convient de signaler que les résultats de cette étude ne sont applicables qu'à la période de l'année pendant laquelle les échantillons ont été prélevés, c'est-à-dire de Janvier à Février qui correspond à la période de pointe d'activités apicoles sur les trois sites enquêtés.

Les résultats de cette étude ont montré que :

- La teneur moyenne en protéines de différents échantillons de pains d'abeilles récoltés en RDC était $14,11 \pm 5,27$ %. Cette teneur moyenne est inférieure à 20% recommandé comme la valeur optimale pour couvrir les besoins en protéines des abeilles européennes (Kleinschmidt, 1986). Tous les échantillons de pains d'abeille issus de trois sites d'études (la forêt de Kisangani, de la savane de Kavwaya et de la forêt reboisée de Mampu) ne sont pas différents en ce qui concerne leur richesse en protéines ($p \geq 0,05$).
- Tous les échantillons de pains d'abeilles congolais étaient constitués de dix acides aminés essentiels. Leurs teneurs étaient incluses dans la fourchette optimale recommandée pour obtenir un développement optimal des abeilles en Europe (Wille et al., 1985, De Groot, 1953). Cependant, les pains d'abeille issus de la forêt tropicale de Kisangani étaient plus riches en Isoleucine, Leucine, Valine, arginine, lysine et phénylalanine que ceux de la savane de Kavwaya ($p < 0,05$).
- Du point de vue de la composition et de la richesse en acides aminés essentiels de pains d'abeilles, cette étude a révélé une similitude entre la forêt tropicale de Kisangani et la forêt reboisée de Mampu ($p \geq 0,05$). Cette similitude atteste que le reboisement a un impact positif sur la biodiversité végétale et animale.
- Les analyses physico-chimiques ont révélé que tous les échantillons congolais de miels congolais analysés répondent convenablement aux cinq critères de qualités nutritionnelles définis par Codex Alimentarius tant pour la nutrition humaine que pour les abeilles (Bogdanov et al, 1999). Il a été démontré expérimentalement que la teneur en sucres réducteurs des échantillons de miel congolais oscillait entre 63,40 et 73,80 % ; la teneur en saccharose de 22 échantillons congolais était comprise entre 0,30 et 1,90 % ; la teneur en eau des échantillons congolais analysés variait de 16,80 à 22,00 % ; le pH de 22

échantillons de miels congolais analysés oscillait entre 4,22 à 4,53 ; la conductivité électrique moyenne des échantillons de miel analysés était $47,74 \pm 13,93$ S / cm et la concentration de HMF des échantillons de miels variait de 1,75 à 31,38 mg / kg de HMF miel.

- Les miels qui proviennent de la forêt tropicale de Kisangani sont plus riches en minéraux et en humidité que ceux de la savane de Kavwaya ($p < 0,05$). Cependant, les miels issus de la savane de Mampu s'avèrent plus riches en saccharose et en HMF que ceux de la forêt tropicale de Kisangani et de la forêt reboisée de Mampu ($p < 0,05$).

Au stade actuel, il est trop tôt pour tirer une conclusion définitive sur la qualité nutritionnelle des miels et des pains d'abeilles congolais parce qu'à notre connaissance il n'existe pas de publications attestant la corrélation entre la qualité des ressources alimentaires (pollens et miels) et le développement optimal des abeilles en RDC.

Nous suggérons à cet effet que les recherches sur la nutrition *d'A.mellifera adansonii*, L. soient menées en Afrique tropicale afin d'établir une corrélation entre la qualité nutritionnelle des ressources (pollen et miels) et le développement biologique des abeilles.

Il serait également judicieux que des études similaires soient répétées sur toutes les saisons climatiques de la RDC afin de déterminer les influences d'environnement sur la qualité nutritionnelle du pollen et du miel.

Notre étude ayant été focalisée que dans trois sites apicoles, nous proposons que les études similaires soient menées dans toutes les régions de la RDC, afin d'identifier les entités potentiellement favorables à l'implantation de grands projets apicoles.

Au regard des résultats sur la richesse en protéines de pains d'abeille, nous proposons que les importations de races européennes soient limitées en RDC afin de réduire le risque de mortalité des abeilles lié à la mauvaise qualité des ressources alimentaires (pollens) (Kleinschmidt, 1986).

L'impact de la pollinisation des abeilles domestiques sur la production de C. manni (Naudin) à Kisangani

Le chapitre 3 avait pour objectif d'étudier l'impact de la pollinisation des abeilles introduites, *Apis mellifera adansonii*, L. 1758 sur le rendement de *C. manni* (Naudin) à Kisangani. Les

influences de la distance au rucher et de l'orientation du vol des ouvrières sur l'amélioration qualitative et quantitative de la production de *C. manni*(Naudin) ont également été investiguées dans ce chapitre.

Les résultats de ce chapitre ont permis de révéler que la pollinisation des abeilles introduites dans le champ améliore de manière significative le nombre de graines par fruit de 83,78 %. Aussi, le nombre de fruits par plante et le poids de graines par fruit ont été également améliorés respectivement de 422,89 % et 185,61 % par rapport au témoin. De telles améliorations ont été également signalées sur le colza et autres Cucurbitacées par Mosquida et Renard (1981) et par Azo' Oela et ses collaborateurs (2010). La taille des graines est positivement influencée par la présence du rucher dans le champ. Cependant, la distance au rucher et l'orientation de vol des ouvrières n'ont pas exercé une influence significative sur le rendement et la taille de pépins (Quièvy, 2008).

Au regard de ces résultats, nous suggérons que l'association " apiculture - culture de *C. manni* (Naudin) " soit intégrée dans l'arsenal de stratégies visant à améliorer la production agricole et contribuer ainsi à la réduction d'insécurité alimentaire en RDC (Pesson & Louveaux, 1984).

La présente étude ouvre la porte à de nouvelles perspectives de recherches dans un domaine où nos moyens étaient limités. Pour avoir une connaissance plus avancée sur les interactions réciproques abeille - *C. manni* (Naudin) à Kisangani, il peut être proposé que les recherches concernant l'influence de *C. manni* (Naudin) sur le développement d'*A.mellifera adansonii*, L. soient réalisées afin de chiffrer l'évolution des colonies d'abeilles en présence de cette culture. Les résultats obtenus pourraient fournir des données apicoles qui permettront d'établir des graphiques montrant l'évolution des différentes surfaces des composantes de la ruche (couvain, pollen et miel) en fonction du temps d'interaction entre d'*A.mellifera adansonii*, L.et *C. manni* (Naudin).

BIBLIOGRAPHIES

BIBLIOGRAPHIES

1. **Achigan-Dako E. & Baudouin JP. 2007.***Cucumis melo* L. Subsp. *agrestis* (Naudin) Pangalo (Cucurbitaceae): nécessité de clarification sur le statut de la sous-espèce. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 11(4), 283-286.
2. **Adam Frère 1985.** Les croisements et l'apiculture de demain. Paris : SNA, 127p.
3. **Alleaume C. 2012.** Abeille domestique (*Apis mellifera*, L.). Exemple pour l'étude de l'attractivité des plantes cultivées sur les insectes pollinisateurs. *Thèse de doctorat, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort* (France), 95p.
4. **Allen-Wardell G., Bernhardt P., Bitner R., Burquez A., Buchmann S., Cane J., Cox P.A., Dalton V., Feinsinger P., Ingram M., Inouye D., Jones C.E., Kennedy K., Kevan P., Koopowitz H., Medellin R., Medelin-Morales S., Nabhan G.P., Pavlik B., Tepedino V., Torchio P. & Walker S. 1998.** The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, 12, 8-17.
5. **Almeida-Muradian L.B., Pamplona L.C., Coimbra S. & Barth O.M. 2005.** Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(1), 105-111.
6. **Amdam G.V, Aase A.L.T.O., Seehuus S.C., Kim Fondrk M., Norberg K. & Hartfelder K. 2005.** Social reversal of immunosenescence in honey bee workers. *Experimental gerontology*, 40, 939-947.
7. **Andrede P.B., Amaral M.T., Isabel P., Caryalho J.C.M.F., Seabra R.M. & Proenca Da Cunha A. 1999.** Physicochemical attributes and pollen spectrum of portuguese heather honeys. *Food chemistry*, 66, 503-510.
8. **Annand P N. 1926.** Thysanoptera and the pollination of flowers. *American Naturalist*, 60, 177-182.
9. **Appert J. & Deuse J. 1988.** Insectes nuisibles aux cultures vivrières et maraîchères. Le Technicien d'agriculture tropicale. – ACCT, CTA, *Editions Maisonneuve et Larose*, 267p.
10. **Azo'oEla M., Messi J., Tchuengem Fohour F N., Tamasse J L., Kekeunou S. & Pando J B. 2010.** Foraging behaviour of *Apis mellifera adansonii*, L. and its impact on

pollination, fruit and seed yields of *Citrullus lanatus* at Nkolbisson (Yaounde, Cameroon). *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 6(1), 41-48.

11. Azo'oEla M. & Messi J. 2012. Yield responses of *Cucumeropsis mannii*(Cucurbitaceae) to the presence or absence of the insect foraging activity at Nkolbisson in Cameroon. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 13(3), 1791-1799.

12. Bäckman J.P.C. & Tiainen, J. 2002. Habitat quality of field margins in a finnish farmland area for bumblebees. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 89, 53-68.

13. Baní G. 1990. Stratégies de lutte contre le criquet puant *Zonocerus variegatus* (L) (Orthoptera : Pyrgomorphidae) au Congo. *Journal of African Zoology*, 104, 69-76.

14. Barthell J.F. & Throp R.W. 1995. Nest usurpation among females of an introduced leafcutter bee, *Megachile apicalis*. *South western Entomologist*, 20(2), 117-124.

15. Barthell J.F, Frankie G.W. & Throp R.W. 1998. Invader effects in a community of cavity nesting Megachilid bees (Hymenptera: Megachilidae). *Environmental entomology*, 27(2), 240-247.

16. Bawa K.S. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21, 399-422

17. Bernard C. 2000. Le GAUCHO®, reconnu tueur officiel des abeilles, 450000 ruchers ont disparu depuis 1996. *Libération*, 9 octobre 2000.

18. Biesmeijer JC., Roberts SPM., Reemer M., Ohlemüller R., Edwards M., Peeters T., Schaffers AP., Potts SG., Kleukers R., Thomas CD., Settele J. & Kunin WE. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313, 351-354.

19. Biloso A. 2008. Valorisation des produits forestiers non ligneux des plateaux de Batéké peripherie de Kinshasa (RDCongo). *Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles* (Belgique), 150p.

20. Blancard D. 1998. Maladies des Cucurbitacées. *Ed INRA*, Paris, 301p.

21. Bogdanov S., Martin P. & Lüllmann C. 1997. Harmonised methods of the European Honey Commission. *Apidologie* (Extra issue) 1-59.

- 22. Bogdanov S., Lüllmann C., Martin P., Von Der Ohe W., Russmann H., Vorwohl G., Persano Oddo L., Sabatini A.G., MarcazzanA G.L., Piro R., Flamini C., Morlot M., Lheritier J., Borneck R., Marioleas P., Tsigouri A., Kerkyliet J., Ortiz A., Ivanov T., D'Arcy B., Mossel B. & Vit P. 1999.** Honey quality, methods of analysis and international regulatory standards, review of the work of the International Honey Commission. *Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 90, 108-125.
- 23. Bogdanov S. 2005.** Miels mono floraux suisses.Ed. Station de recherche agro scope liebefeld. *Posieux ALP forum*, 23, 55p.
- 24. Boucher C. & Desjardins F. 2002.** Etat de santé des abeilles en 2001. *Bulletin zoosanitaire RAIZO* 35, 1-4.
- 25. Boyemba F. 2011.** Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. *Thèse de doctorat : Université Libre de Bruxelles* (Belgique). 182p.
- 26. Bruneau E. 2006.** – Nutrition et malnutrition des abeilles. Biodiversité des plantes : une clé pour l'alimentation et la survie des abeilles. Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France, Séance du 14 juin 2006, 10p.
- 27. Calabuig I. 2000.** Solitary bees and bumble bees in a Danish agricultural landscape. *Dissertation : University of Copenhagen, Zoological Institute* (Denmark).
- 28. Calembert J. 1995.** Gestion des sols en régions chaudes (contribution au cours de pédologie tropicale). *Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques*, Gembloux (Belgique), 28p.
- 29. CIFOR 2008.** Etude de base de la filière apicole dans les provinces de Bas Congo et de Kinshasa (RDC), 66p. (<http://www.beesfordevelopment.org/>; 17/07/2012)
- 30. Chagnon M. 2008.** Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier. *Fédération Canadienne de la Faunes*. Bureau régional du Québec
- 31. Chpman J.L & Reiss M.J. 1992.** Ecology: principles and applications, *University press*, Cambridge, 294p.
- 32. Chinery M. 1976.** Les insectes d'Europe en couleurs. *Elsevier Séquoia*, Bruxelles, 380p.

- 33. Clément H. 2002** Le traité Rustica de l'apiculture. *Editions Rustica*, Paris.
- 34. Codex Alimentarius Draft Revised For Honing at Step 6 of the Codex Procedure. 1998.** CX 5/10, 2, CL 1998/12-S
- 35. Colla S. R., Otterstatter M.C., Gegear R. J. & Thomson J. D. 2006.** Plight of the bumble bee: pathogen spillover from commercial to wild populations. *Biological Conservation*, 129, 461-467.
- 36. Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Rifkin R.G., Sutton O. & Van Den Belt M. 1997.** The value of the world's ecosystem and natural capital. *Nature (London)*, 387, 253-260.
- 37. Culley F. J., Pollott J. & Openshaw P. J. 2002.** Age at first viral infection determines the pattern of T cell-mediated disease during reinfection in adulthood. *Journal of Experimental Medicine*, 196, 138-1386. <http://dx.doc.org/10.1084/jem>.
- 38. Dagnelie P. 1998.** Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférence statistique à une et à deux dimensions. *De Boeck et Larcier*, Paris et Bruxelles, 659p.
- 39. Dany D. 1984.** La récolte moderne du pollen. *Editions Européennes Apicoles*, Bruxelles, 140p.
- 40. Dawson D. 1994.** Are habitat corridors conduits for animals and plants in a fragmented landscape? A review of the scientific evidence. *English Nature Research Report* No. 94. Peterborough: English Nature
- 41. De Groot AP. 1953.** Protein and amino acid requirements of the honey bee (*Apis mellifera*, L.). *Physiologia Comparata Oecologia*, 3, 197-283.
- 42. Dessart P. 1994.** L'abeille. *I.R.Sc.N.B.*, Bruxelles, 120p.
- 43. Devy M.S. & Davidar P. 2003** Pollination systems of trees in Kakachi, a mid-elevation wet evergreen forest of Western Ghats, India. *American Journal of Botany*, 90, 650-657 (supporting data <http://ajbsupp.botany.org/v90/>).
- 44. Djé Y., Kouonon LC., Zoro Bi AI., Gnamien GY. & Baudoin JP. 2006.** Étude des caractéristiques botaniques, agronomiques et de la biologie florale du melon africain

(*Cucumis melo* L. var. *agrestis* Naudin, Cucurbitaceae). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 10(2), 109-119.

45. Dibos C., 2010. Interactions plante – pollinisateur. Caractérisation de la qualité du pollen de deux Cucurbitacées durant son ontogenèse, sa présentation et son transport sur le corps de l'abeille domestique. *Thèse de doctorat : Université d'Avignon et des pays de Vaucluse* (France), 174p.

46. Di Gregorio A. & Jansen J.M. 2000. Land Cover Classification System (LCCS). Classification, concepts and user manual. *Food and Agriculture Organisation of the United Nations*, Rome.

47. Dötterl S. & Vereecken N.J. 2010. The chemical ecology and evolution of bee–flower interactions: a review and perspectives. *Canadian Journal of Zoology*, 88, 668–697

48. Doumenge C., Ndinga A., Fomete Nembot T., Tchanou Z., Micha Ondo V., Ona Nze N., Bourobou H. & Ngoye A. 2003. Conservation de la biodiversité forestière en Afrique centrale Atlantique. II. Identification d'un réseau de sites critiques. *Bois et Forêts des Tropiques*, 276(2), 43-58.

49. Dubois L. & Collard E. 1950. Apiculture au Congo Belge et au Ruanda-Urundi. *Imprimerie Industrielle et financière* (Soc. An.) Rue du Haublon. 47 Bruxelles, 230p.

50. Estevinho L., Rodrigues S., Pereira A. & Feas X. 2011. Portuguese bee pollen: palynological study, nutritional and microbiological evaluation. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 429-435.

51. Faegri K & Van Der Pijl L. 1971. The principles of pollination ecology. 2nd rev. Ed. *Pergamon Press*, New York, NY. 291p.

52. FAO 2009. Situation des forêts du monde. *Food and Agriculture Organisation of the United Nations* (eds), Rome, 152p. (<http://www.fao.org>; 7/07/2012).

53. Feldlaufer M.F., Knox D.A., Lusby W.R. & Shimanuki H. 1993. Antimicrobial activity of fatty acids against *Bacillus* larvae, the causative agent of American foulbrood disease. *Apidologie*, 24, 95-99.

- 54. Fomekong A., Messi J., Kekeunou S., Tchuenguem FFN. & Tamesse JL. 2008** Entomofaune of *Cucumeropsis mannii* Naudin, its impact on plant yield and some aspects of the biology of *Dacus bivittatus* (Diptera : Tephritidea). *African Journal of Agricultural Research*, 3(5), 363-370.
- 55. Free J.B. 1993.** Insect Pollination of Crops. 2nd Ed., *Academic Press*, London, 684pp.
- 56. Fretwell S.D. & Lucas H. L. 1970.** On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. *Acta Biotheoretica*, 19, 16-36.
- 57. Gallai N., Salles J.M., Settele J. & Vaissière B.E. 2009.** Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, 810-821.
- 58. Génissel A., Aupinel P., Bressac C., Taséi J.N. & Chevrier 2002.** Influence of pollen origin on performance of *Bombus terrestris* micro-colonies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104, 329-336.
- 59. Ghazoul J. 2005.** Buzziness as usual ? Questionning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 367-373.
- 60. Goldsmith T.H. & Warner L.T. 1964.** Vitamin A in the Vision of Insects. *The Journal of General Physiology*, 47, 433-441.
- 61. Greenleaf S.S., Williams N., Winfree R. & Kremen C. 2007.** Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153, 589-596.
- 62. Habakaramo M.P. 2008.** Enquêtes ethnomellisologiques et études de différents produits de la ruche de l'île d'Idjwi, Sud Kivu en RDC. Mémoire inédit : *Université Officielle de Bukavu* (RDC). (<http://www.memoireonline.com> 17/07/2012).
- 63. Haubruge E., Nguyen B K., Widart J., Thome J-P., Fickers P. & Depauw E. 2006.** Le dépérissement de l'abeille domestique, *Apis mellifera* L. 1758 (Hymenoptera : Apidea) : faits et causes probables. *Notes faunistiques de Gembloux*, 59(1), 3-21.
- 64. Hawthorne W.D. 1995.** Ecological profiles of Ghanaian forest trees. *Tropical forestry papers 29. Oxford Forestry Institute*, Oxford, UK.

- 65. Haydak M.H. 1934.** Changes in total nitrogen content during the life of the imago of the worker honeybee. *Journal of Agricultural Research*, 49(1), 21-28.
- 66. Heil M. 2011.** Nectar: Generation, regulation and ecological functions. *Trends in plant Science*, 16, 191-200.
- 67. Holden C. 2006.** Report warns of looming pollination crisis in North America. *Science*, 314-397p.
- 68. Hussein M. H. 2001.** L'apiculture en Afrique. I. Les pays du nord, de l'est, du nord-est et de l'ouest du continent. *Apiacta*, 1/2001, 34-48.
- 69. Jacob-Remacle A. 1990.** Abeilles sauvages et pollinisation. *Ministère de la Région Wallonne, Service de la Conservation de la Nature, Namur. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Zoologie Générale et Appliquée, Gembloux, 40p.*
- 70. Jean-Prost P. 1977.** L'apiculture : Connaître l'abeille. Conduire le rucher. *éditions J.-B. Baillière, Paris, 459p.*
- 71. Jean-Prost P & Le Conte Y. 2005.** Connaître l'abeille. Conduire le rucher. © *Ed. Techniques et documentation. Lavoisier, Paris, 685p.*
- 72. Jeffrey C. 1990.** Systematics of the Cucurbitaceae: an overview. In Bates DM., Robinson W. & Jeffrey C. *Biology and utilization of the Cucurbitaceae. Cornell University, New-York, (USA), 3-9p.*
- 73. Johnson S.D. 2004.** An overview of plant-pollinator relationships in southern African. Special issue of *Insect Science and Its Application*, for the African Pollinator Initiative.
- 74. INS 2009.** Bulletin des statistiques générales, 2ème trimestre 2009 (R.D.C)
- 75. Kaiser F.E., Gehrke C.W., Zumwalt, R.W. & Kuo K.C. 1974.** Amino Acid analysis: hydrolysis, ion-exchange cleanup, derivatization and quantitation by gas-liquid chromatography, *Journal of Chromatography*, 94, 113-133.
- 76. Kato M., Shibata A., Yasui T. & Nagamosu H. 1999.** Impact of introduced honey bee, *Apis mellifera*, Upon native bee communities in the Bonin (Ogasawara) Island. *Researches on Population Ecology*, 41(2), 217-228.

- 77. Kearns C.A., Inoue T., Tezuka, T. & Maeta Y. 1998.** Endangered mutualism: the conservation of plantpollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 83-112.
- 78. Kekeunou S., Messi J., Weise S. & Tindo M. 2006.** Insect pests' incidence and the variations due to forest landscape degradation in the humid forest zone of southern Cameroon: farmers perceptions and need for adopting an integrated pest management strategy. *African Journal of Biotechnology*, 5(7), 555-562.
- 79. Keller I., Fluri P. & Imdorf I. 2005.** Le pollen et le développement des colonies chez l'abeille mellifica-première partie. Site web Station de Recherche Agroscope Liebefeld – Posieux ALP – Centre de Recherche Apicole (Belgique), 13p.
- 80. Kevan P. G. & Baker H. G. 1983.** Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*, 28, 407-453.
- 81. Kevan P.G. 1999.** Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 373-393.
- 82. Klein A.M., Vaissière B. E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C. & Ricketts T. 2000.** Global Perspectives on pollination disruptions. *Conservation Biology*, 14, 1226-1228.
- 83. Klein A.M., Steffan-Dewenter I. & Tscharntke T. 2003.** Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B*, 270, 955.
- 84. Klein AM., Vaissière BE., Cane JH., Steffan-Dewenter I., Cunningham SA., Kremen C. & Tscharntke T. 2007.** Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 274, 3-313.
- 85. Kleinschmidt G.J. 1986.** Nutrition for long life bees. Research paper 3.5.7, Queensland Agricultural College, Lawes, Queensland Department Of plant protection and the Queensland Beekeepers association
- 86. Kombele F.B.M. 2004.** Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette central congolaise: cas des series Yangambi et Yakonde. *Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux* (Belgique), 421p.

- 87. Kremen C. & Ricketts T. 2000.** Global Perspectives on pollination disruptions. *Conservation Biology*, 14, 1226-1228.
- 88. Lampeitl F. 1987.** Apiculture d'aujourd'hui, *éditions européennes apicoles*, Bruxelles, 192p.
- 89. Le Conte Y. 2006.** Mieux connaître l'abeille & la vie sociale de la colonie. *In* Le traité Rustica de l'apiculture. *Rustica édition*, 2è éd. 12-83p.
- 90. Le Féon V., Schermann-Legionnet A., Delettre Y., Aviron S., Billeter R., Bugter R., Hendrickx F. & Burel F. 2010.** Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: A large scale study in four European countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137, 143-150.
- 91. Léonard J. 1953.** Les forêts du Congo belge. *Les naturalistes belges*, tome XXXIV, 3(4), 53-65.
- 92. Lichtenberg – Kraag B. 2012.** Saccharose degradation over time in stored honey: influence of time, temperature, enzyme activity and botanical origin. *Journal of Food Nutrition Research*, 51, 217-224
- 93. Louveaux J. 1985.** Les abeilles et leur élevage, *2e édition*. Edition Hachette, Paris, 265p
- 94. Magurran A.E. 2004.** Measuring Biological Diversity. Malden, Mass.: *Blackwell Publishers*.
- 95. Manning R. & Wallis IR. 2005.** Seed yields in canola (*Brassica napus* cv. Karoo) depend on the distance of plants from honeybee apiaries. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45, 1307-1313.
- 97. Marshall E.J.P., West T.M. & Klein D. 2006.** Impacts of an agri-environment field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 36-44.
- 97. Maurizio A. 1941.**Über ein Massensterben Von Bienen, Verursacht durch pollen Von *Ranunculus puberulus* Koch. *Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, 149-150.

- 98. Maus C., Curé G. & Schmuck R. 2003.** Safety of imidacloprid see dressings to honey bees : a comprehensive overview and compilation of the current state of knowledge. *Bulletin of Insectology*, 56,51-57.
- 99. Mesquida J. & Renard M. 1982.** Etude de la dispersion du pollen par le vent et de l'importance de la pollinisation anémophile chez le colza (*Brassicinapus L. var oleifera Metzger*). *Apidologie*, 13, 353
- 100. Michener C.D. 2007.** The bees of the world, 2nd ed. John Hopkins University Press.
- 101. Mirghani K.A & El Tahir I.M. 1997.** Indigenous vegetables of Sudan: production, utilization and conservation. In: Guarino, L. (Editor). Traditional African vegetables. Proceeding of the the IPGRI international workshop on genetic resources of traditional vegetables in Africa: conservation and use, 29-31 August 1995, ICRAF, Nairobi, Kenya. *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*, 16, 117-121
- 102. Morandin L.A. & Winston M.L. 2005.** Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecological Applications*, 15, 871-881.
- 103. Moritz RFA., Härtel S., Neumann P. 2005.** Global invasion of the wasteren honeys bee (*Apis mellifera*) and the consequence for biodiversity. *Ecoscience*, 12, 289-301
- 104. Mouvement Mondial pour les Forêts Tropicales 2002.** Mangroves : substance locale vs profits des entreprises, *MMFT*, Montevideo, 68p.
- 105. MSDA 2004.** Produits apicoles, A 23 miel ; revue par le groupe d'expertes 31p.
- 106. Ndabalishye I. 1995.** Agriculture vivrière Oust africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire. *Monographie, Institut DES Savanes*, (Côte d'Ivoire), 320p.
- 107. Ngongo M.L., Van Ranst E., Baert G., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M. 2009.** Guide des sols en R.D. Congo. Tome I : Etude et Gestion. *Universiteit Gent – Hogeschool Gent – Université de Lubumbashi*, 262p.
- 108. Nogueira C., Iglesias A., Feas X. & Estevinho L.M. 2012.** Commercial Bee Pollen with Different Geographical Origins: A Comprehensive Approach. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 11173-11187

- 109. Nshimba H. 2008.** Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, RD. Congo. *Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles* (Belgique), 272p.
- 110. Quievy S. 2008.** Etude de l'influence réciproque entre le colza d'hiver (*Brassica napus* L.) et l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.). *Mémoire de fin d'études, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux* (Belgique), 55p.
- 111. Odet J. 1991.** Le melon. *CTIFL*, Paris 293p.
- 112. Paini D.R. & Robert J.D. 2005.** Commercial honey bees (*Apis mellifera*) reduce the fecundity of an Australian native bee (*Hylaeus alcyoneus*). *Biological conservation*, 132(1), 103-112.
- 113. Pauly A., Braet Y., Tchibozo S., Aikpé C. & Boevé J.L. 2009.** Hymenoptera Apoidea et Braconidea de quelques forêts sacrées du Sud-Bénin. *Bulletin et annales de la société royale entomologique de Belgique/K.B.V.E.*, 145, 121-129.
- 114. Pernal S.F. & Currie R.W. 2000.** Pollen quality of fresh and 1-year-old single pollen diets for worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 31, 387-409.
- 115. Pesson P. & Louveaux J. (éds) 1984.** Pollinisation et productions végétales. *INRA*, Paris, 663p.
- 116. Pham-Delegue M.H & Cluzeau S. 1999.** Effets des produits phytosanitaires sur l'abeille; incidence du traitement des semences de tournesol par Gaucho sur les disparitions de butineuses. Rapport final de synthèse au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- 117. Picard – Nizou A.L., Kerguelen V., Pham-Delegue M.H and INRA 1992.** Analyse des séquences du butinage sur colzas transgéniques et témoins. *Apidologie*, 25(5), 483-484.
- 118. PPRR 2007.** Synthèse filière miel région Analanjirofo (2007). Ministère de l'Agriculture de l'élevage et de la pêche. Antananarivo.
- 119. Rabie A.L., Wells J.D. & Dent L.K. 1983.** The nitrogen content of pollen protein. *Journal of apicultural research*, 22(2), 119-123.
- 120. Rasmont P., Ebmer A., Banaszak J. & Van Der Zanden G. 1995.** Hymenoptera Apoidea Gallica – Liste taxonomique des abeilles de France, de Belgique, de Suisse et du

Grand-Duché de Luxembourg. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 100 (Hors Série), 1-98p.

121. Rasmont P., Pauly A., Terzo M., Patiny S., Michez D., Iserbyt S., Barbier Y. & Haubruge E. 2006. The survey of wild bees (Hymenoptera, Apoidea) in Belgium and France. *In : Status of the World's Pollinators. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (eds)*, Rome, 18p.

122. Richards A.J. 2001. Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? *Annals of Botany*, 88, 165-172.

123. ROUBIK D.W. 1978. Competitive interactions between neotropical pollinator and Africanized honey bees. *Science*, 201(4360), 1030-1032.

124. Roulston T. & Cane J.H. 2000. Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Systematic and Evolution*, 222, 187-209.

125. Ruttner F. 1988. Biogeography and taxonomy of honeybees. *Berlin: Springer Verlag, Heidelberg*, Berlin, New York, 284p.

126. Scippers R.R. 1997. Workshop proceedings of African indigenous vegetables. *Jenuary 13 – 18, Limbe, Cameroon*, ODA, IPGRI & NRI.UK & Kenya.

127. Seeley T. 1995. The wisdom of the hive: The Social Physiology of Honeybee Colonies. *Harvard University Press*, Cambridge. 295p.

128. Singh S., Saini K & Jain K.L. 1999. Quantitative comparison of lipids in some pollens and their phagostimulatory effects in honey bees. *Journal of apicultural research*, 38, 87-92.

129. Smith FG. 1957. Bee botany in East Africa. *East African Agricultural and Forestry Journal*, 23, 119-126.

130. Snodgrass R.E. 1956. Anatomy of the honeybee. *Ithaca, Comstock Publishing Associates*, 334p.

131. Somerville D.C. 2001. Nutrition value of bee collected pollens. *Rural Industries Research & development corporation, NSW Agriculture*, 166p.

- 132. Steffan-Dewenter I., Potts S.G. & Packer L. 2005.** Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 651-652.
- 133. Tang J., Wice J., Thomas V.G. & Kevan P.G. 2007.** Assessment of Canadian federal and provincial legislation to conserve native and managed pollinators. *International Journal of Biodiversity Science and Management*, 3(1), 46-55.
- 134. Thorp R.W., Wenner A.M. & Barthell J.F. 2000.** Proceeding of the Fifth California Islands Symposium.
- 135. Toullec A. 2008.** Abeille noire, *Apis mellifera mellifera*, historique et sauvegarde. *Thèse de doctorat : Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (France)*, 150p.
- 136. Vancutsem C., Pekel J-F., Evrard C., Malaisse F. & Defourny P. 2006.** Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo au 1 : 3 000 000. Université Catholique de Louvain, *Presses Universitaires*, Louvain, 30p.
- 137. Viuda-Martos M., Ruiz-Navajas Y., Fernandez-Lopez J. & Perez-Alvarez J.A. 2008** Antibacterial activity of different essential oils obtained from spices widely used in Mediterranean diet. *International Journal of Food Science & Technology*, 43, 526-531
- 138. Wang M. & Zhang X. 1988.** Studies on watermelon germplasm sources resistant to fusarium wilt disease at the seedling stage. *Cucurbit Genetics Cooperative Reports*, 11, 68p.
- 109. Weibull A.C., Ostman O. & Granqvist A. 2003.** Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity Conservation*, 12, 1335-1355.
- 140. Westphall E., Embrechts J., Mbouemboue P., Mouzong-Boyomo & Westphal – Stevels J.M.K. 1981.** L'agriculture autochtone au Cameroun. *Miscellaneous papers 20 – Landbouwhogeschool Wageningen the Netherlands*, 175p.
- 141. Wille H., Wille M., Kilchenmann Y., Imdorf A. & Bühlmann G. 1985.** Pollenernte und Massenwechsel von drei *Apis mellifera*- Völkern auf demselben Bienenstand in Zwei aufeinanderfolgenden Jahren. *Revue Suisse de Zoologie*, 92, 897-914.
- 142. Winston M.L. 1993.** La biologie de l'abeille. *Nauwelaerts, Beauvechain. Frison-Roche*, Paris. 276p.

143. Zander E. & Weiss K. 1964. Das leben der biene. *Ulmer: Stuttgart*. 189p.

145. Zappalà M., Fallici B., Arena E. & Verzera A. 2004.Method for the determination of HMF in honey: a comparison.*Food control*, 16, 273-277.

146. Zoro Bi I.A., Koffi K.K. & DJE Y. 2003.Caractérisation botanique et agronomique de trois espèces de Cucurbites consommées en sauce en Afrique de l'Ouest: *Citrullus sp.*,*Cucumeropsis manni*Naudin et *Lageraria siceraria* (Molina) Standl. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 7(3-4), 189-199.