

Etude de la pollinisation et de la dispersion des graines de Milicia excelsa

Auteur : Coenraets, Edouard

Promoteur(s) : Doucet, Jean-Louis; Francis, Frédéric

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/7662>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ETUDE DE LA POLLINISATION ET DE LA DISPERSION DES GRAINES DE *MILICIA EXCELSA*

EDOUARD COENRAETS

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNEE ACADEMIQUE 2018-2019

CO-PROMOTEURS: J-L, DOUCET & F, FRANCIS

Copyright © Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de l'Université de Liège – Faculté Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

ETUDE DE LA POLLINISATION ET DE LA DISPERSION DES GRAINES DE *MILICIA EXCELSA*

EDOUARD COENRAETS

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNEE ACADEMIQUE 2018-2019

CO-PROMOTEURS: J-L, DOUCET & F, FRANCIS

Université de Liège/Faculté Gembloux Agro-Bio Tech

Unité de Gestion des Ressources Forestières et des Milieux Naturels – Laboratoire de Foresterie des Régions Tropicales et Subtropicales.

Passage des Déportés, 2
5030 Gembloux – Belgique



Société d'exploitation forestière Pallisco-CIFM
Siège Social : 478, Avenue des Cocotiers
BP 394 Douala
CAMEROUN



Nature +, asbl. s/c Laboratoire de Foresterie des Régions Tropicales et Subtropicales / Unité de Gestion des Ressources Forestières et des Milieux Naturels / ULg – GxABT.
Rue Bourgmestre Gilisquet, 57
B- 1457 Walhain – Belgique



REMERCIEMENT

Au terme de ce mémoire et de ces années d'études, Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé à ce projet ou m'ont soutenues.

Tout d'abords je tiens à remercier ma famille et particulièrement Céline pour leur précieux soutient et aide.

J'aimerai ensuite remercier mes co-promoteurs et encadrants : Jean-Louis DOUCET et Frédéric FRANCIS pour leurs conseils et leurs précieuses relectures. Un tout grand merci à Quentin EVRARD pour son appui tout au long de ce travail.

Ensuite je tiens à remercier le personnel de Gembloux Agro-Bio tech pour leur aide, je pense notamment à Kasso, Jean-Yves, Frutueux, Arnaud, Jeannine.

Ma mission au Cameroun fut mémorable. Je tiens à remercier Paul Lagoute et le personnel de Pallico pour leur accueil irréprochable. Notamment à Yannick, Ismaël, Blaize et Edouard et à ceux qui m'ont accompagné sur le terrain, malgré les conditions parfois difficile qui rend l'aventure si excitante. Je pense à Rostand et Samuel, que je considère désormais comme de bons amis. Je remercie également les deux grimpeurs qui m'ont permis de réaliser un rêve, de visiter la canopée de la forêt tropicale d'Afrique centrale. Je tiens également à remercier Oriana pour son aide au Cameroun.

Un grand merci à François DE SMET pour son aide précieuse lors de l'élaboration du Vacuum-trap.

Pour terminer je tiens à remercier la faculté de Gembloux et l'ASBL Nature+.

Résumé - Abstract

COENRAETS E., 2019. Etude de la pollinisation et de la dispersion des graines de *Milicia excelsa*. Mémoire : Université de Liège/Gembloux Agro-Bio Tech, 22 p.

Résumé

L'Iroko, (*Milicia excelsa*) est une espèce ligneuse à haute valeur commerciale. Elle figure parmi les dix essences les plus exploitées d'Afrique centrale. *M. excelsa* est une espèce héliophile, dioïque et présente en population de faible densité. La régénération naturelle et la pérennité des populations d'arbres dépend des flux de gènes. Le présent travail s'attèle à décrire les flux de gènes de *M. excelsa*, en analysant (i) dissémination du pollen et la (ii) dispersion des graines, ainsi que (iii) l'impact de l'exploitation forestière sur les populations d'Iroko. L'étude des vecteurs de dispersion du pollen s'est réalisée à l'aide de pièges à insectes combinés à des Raspicams installés dans la canopée de *M. excelsa*. 985 insectes furent capturés et une analyse palynologique a permis d'émettre l'hypothèse d'une dispersion du pollen par le vent. L'étude des vecteurs de dispersion des graines a été réalisé par l'installation de pièges photographiques dans la canopée et au sol, elle a permis d'identifier un grand nombre de dispersers de graine potentiels. Les principaux dispersers seraient les groupes des Muridae et des Pteropodidae. En vue de ces résultats on peut supposer que *M. excelsa* ne serait pas trop impacté par l'exploitation sélective, tant que le diamètre minimum d'exploitation et au-dessus du diamètre de fructification régulière de l'Iroko.

Mots-clefs : Flux de gènes, pollinisation, dispersion, *Milicia excelsa*.

Abstract

Milicia excelsa is a woody species with high commercial value. It is one of the ten most exploited species in Central Africa. *M. excelsa* is a heliophilic, dioecious species present in low-density populations. Natural regeneration and the sustainability of tree populations depends on gene flows. This work aims to describe *M. excelsa*'s gene flows by analysing (i) pollen and (ii) seed dispersal, moreover (iii) the impact of logging on Iroko populations. The study of pollen dispersal vectors was carried out using insect traps combined with Raspicams set in the canopy of *M. excelsa*. 985 insects were captured and a palynological analysis suggested that pollen may be dispersed by wind. The study of seed dispersal vectors was carried out by the installation of camera traps in the canopy and on the ground. We were able to identify a large number of potential seed dispersers. The main seed dispersers would be the Muridae and Pteropodidae groups. In view of these results, we are able to assume that *M. excelsa* would not be affected by selective exploitation, as long as the minimum diameter of exploitation is above the regular fruiting diameter of the Iroko.

Keywords: Gene flow, pollination, dispersion, *Milicia excelsa*.

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	9
1.1	GESTION DURABLE ET CERTIFICATION DES FORETS D'AFRIQUE CENTRALE	9
1.2	FLUX DE GENES DES ARBRES TROPICAUX	10
1.3	INTERACTIONS PLANTES-ANIMAUX	12
1.4	POLLINISATION ET INSECTES POLLINISATEURS	13
1.5	DISPERSION DES GRAINES ET ANIMAUX DISPERSEURS.....	15
1.6	OBJECTIFS	16
2	MATERIELS ET METHODES.....	17
2.1	MODELE BIOLOGIQUE	17
2.2	ZONE D'ETUDE	19
2.3	CAPTURE ET IDENTIFICATION DES VISITEURS FLORAUX DE <i>M. EXCELSA</i>	21
2.3.1	<i>Prospection.....</i>	21
2.3.2	<i>Les pièges à insectes</i>	22
a)	Les pièges à papillons.....	22
b)	Les pièges lumineux	22
c)	Les pièges jaunes	23
d)	Le Vacuum trap	23
e)	Les Raspicams	23
2.3.3	<i>Récolte des insectes et conditionnement.....</i>	24
2.3.4	<i>Détermination des visiteurs floraux et analyse des données.....</i>	24
2.3.5	<i>analyses palynologiques.....</i>	25
2.4	IDENTIFICATION DES DISPERSEURS POTENTIELLE DES GRAINES DE <i>M. EXCELSA</i>	26
2.4.1	<i>Pièges photographiques</i>	26
2.4.2	<i>Analyse des données.....</i>	28
3	RESULTATS	29
3.1	POLLINISATION	29
3.1.1	<i>Analyse du Pollen de M. excelsa.....</i>	29
3.1.2	<i>Pré-inventaire de l'entomofaune circulante</i>	30
3.1.3	<i>Raspicam</i>	31
3.1.4	<i>Insectes capturés avec le Vacuum-trap</i>	33
3.1.5	<i>Analyse palynologique</i>	33
3.2	DISPERSION DES GRAINES	34
3.2.1	<i>Résultats piége photographiques</i>	34
3.2.2	<i>Consommation des fruits et patterns d'activité.....</i>	35
3.2.3	<i>Comparaison de la diversité spécifique entre Pallisco et la RBD.....</i>	37
4	DISCUSSION	38
4.1	POLLINISATION	38
4.1.1	<i>Le mode de dispersion du pollen de M. excelsa</i>	38
4.1.2	<i>Pré-inventaire de l'entomofaune circulante</i>	39
4.1.3	<i>Raspicam et Vacuum-trap</i>	40
4.2	DISPERSION DES GRAINES	41
4.2.1	<i>Technique d'observation</i>	41
4.2.2	<i>Les potentiels disperseurs de graines de M. excelsa</i>	41
a)	Rongeurs	41
b)	Chauves-souris frugivores ou Pteropodidae	42
c)	Céphalophes	42
d)	cercocèbes agiles	43
e)	Eléphant et gorille	43
f)	Oiseaux	43
4.2.3	<i>Réseau de disperseurs</i>	44
4.2.4	<i>Comparaison entre milieu exploité et protégé</i>	44
5	CONCLUSION.....	45
6	BIBLIOGRAPHIE.....	46
7	ANNEXES	53
	Annexe 1 : Critères FSC	53
	Annexe 2 : Répartition des familles au sein des Ordres	54
	Annexe 3 : Liste des échantillons de l'analyse palynologique	55
	Annexe 4 : Le Vacuum-trap	56

Table des figures

Table des figures

Figure 1: cycle de la reproduction sexuelle des plantes	10
Figure 2: l'exploitation sélective au sein d'une population naturelle (illustration de gauche) réduit la densité d'arbres matures (représentés par des fruits dans leur cime) ce qui risque de perturber les flux de gènes (représentés par les flèches)(illustration de droite). Illustrations issues de Hardy et al. (2019).....	11
Figure 3: (A): Fleur pistillée. (B): Fleur staminée. (C) : Fleur hermaphrodite. (1) : Pistil. (2) : Ovaire. (3) : Étamine. (4) : Corolle. (5) : Réceptacle.	13
Figure 4: Répartition géographique de <i>Milicia excelsa</i> issus des bases de données du CJB.....	17
Figure 5: image des organes sexuels de <i>Milicia excelsa</i> : (A) fleur mâle ; (B) fleur femelle mature ; (C) graines ; (D) bourgeon ouvert ; (E) Fruits mature.....	18
Figure 6 : Structure de population de l'Iroko au sein de la parcelle de la préserve du Dja	19
Figure 7: Structure des populations d'Iroko au sein de la concession Pallisco, pour les 6 UFA, issues de (Philippart et al., 2012).....	20
Figure 8 : Phytogéographie de la zone d'étude (d'après LETOUZEY, 1985) issus du travail de E.FORNI, 199720	
Figure 9: <i>Milicia. excelsa</i> géoréférencés dans l'UFA 10.044 de la concession Pallisco.....	21
Figure 10 : Iroko équipés de pièges à insectes au sein de la concession Pallisco.....	22
Figure 11 : Position des Irokos équipés de pièges photographiques au sein de la concession Pallisco.....	27
Figure 12 : position des Irokos équipés de pièges photographiques dans la Réserve de Biosphère du Dja	27
Figure 13 : Grain de pollen de <i>Milicia excelsa</i> ; A: grain de pollen en vue équatoriale; B: grain de pollen en vue polaire; C: Illustration d'un grain de pollen	29
Figure 14 : Graphique reprenant le temps d'interactions total par famille observée.....	31
Figure 15 : Images capturées depuis les vidéos issues des caméras Raspicam ; A : <i>Meilopna</i> ; B : <i>Melipona</i> ; C : Curculionidae.....	32
Figure 16 :Pattern d'activité des Apidae et des Reduviidae. Le rayon du cercle représente le nombre d'observation de ces derniers, la circonférence représente les heures de la journée.	32
Figure 17 : Taxons et nombres d'observations enregistrés par les pièges photographiques installés sur les <i>M. excelsa</i> en canopée (en bleu) et au sol (en jaune). Donnée issues de la Réserve de Biosphère du Dja et de la concession Pallisco en 2016 et 2019.	34
Figure 18 : Pattern d'activité de <i>Cricetomys emini</i> et des Muridae indet.	36
Figure 19 : Pattern d'activité des Pteropodidae.....	36
Figure 20: Histogramme du nombre d'observation par taxon pour la concession de Pallisco en bleu et la RBD en vert.....	37

Table des tableaux

Tableau 1: Ensemble des Irokos équipés de pièges à insectes et la proportion de fleurs matures et immatures et de fruits immatures	21
Tableau 2 : Indice de diversité de Shannon et de dominance de Simpson pour la totalité des insectes capturés et les Ordres des coléoptères, des hyménoptères et des lépidoptères.	30
Tableau 3 : Par type de piège : nombre de famille et de morpho-espèces différentes capturés, avec l'abondance absolue, relative, les indices de Shannon et de Simpson.	30
Tableau 4 : Nombre d'observations, temps totaux et le temps moyens d'interaction	31
Tableau 5 : Liste des Taxons dont le pollén a été extrait et analysé, selon leur abondance absolue et leur abondance relative	33
Tableau 6: Ensemble des espèces observées par pièges photographiques dans la concession de Pallisco en 2016 et 2019 et dans la Réserve de Biosphère du Dja en 2019 (les pourcentages correspondent aux abondances relatives, r-bar représente l'agrégation de l'activité).....	35

1 INTRODUCTION

1.1 GESTION DURABLE ET CERTIFICATION DES FORETS D'AFRIQUE CENTRALE

L'Afrique centrale abrite le second plus grand bloc de forêts tropicales au monde, couvrant une superficie de près de 170 millions d'hectares (Ernst et al., 2013). Les services rendus par les écosystèmes tropicaux sont considérables et certains d'entre eux, comme la séquestration du carbone (Lewis et al., 2009) et la régulation du climat, sont d'une importance à l'échelle mondiale (de Wasseige et al., 2015). Les forêts tropicales abritent près de deux tiers de la biodiversité terrestre et sont donc considérées comme particulièrement riches en terme de biodiversité (Pimm et al., 2000). On estime, qu'environ 60 millions de personnes dépendent directement des ressources et services que procure ce massif forestier (de Wasseige et al., 2015). En dépit de cela, l'Afrique centrale subit une déforestation de l'Ordre de 0,16% par an suite principalement à la conversion agricole et ce depuis de nombreuses années (Duveiller et al., 2008). Avec près de 60 millions d'hectares (30%) concédées aux entreprises forestières, l'exploitation du bois d'œuvre représente ainsi la première occupation des sols d'Afrique centrale (Karsenty et al., 2018).

Actuellement, des mesures nationales imposent aux concessions forestières de concevoir des plans d'aménagement visant une exploitation durable des ressources, à l'instar d'un diamètre minimal d'exploitation pour chaque essence d'arbre, ou encore des inventaires d'aménagements (Karsenty et al., 2018). Des organismes concernés par la gestion durable des forêts, tels que le *Forest Stewardship Council* (FSC), ont également poussé plusieurs entreprises forestières, exploitant actuellement 600.000 km², à adopter des mesures d'exploitation précises (Laporte et al., 2007; Tadjuidje, 2009). Une partie de ces concessions forestières visent une exploitation sur le long terme, grâce à la mise en place de plans d'aménagements (44% de la surface totale concédée) et 11% de la surface totale concédée est certifié FSC (Delvingt et al., 2001; OFAC, 2013).

La certification FSC repose sur un référentiel de normes très variées touchant les trois piliers de la gestion durable : l'économique, le social et l'environnemental. Concernant ce dernier, on retrouve un certain nombre de critères traitent de la régénération et des flux de gènes, ils sont consultable en annexe 1. Ces normes sont très exigeantes et finalement pas à la portée d'une entreprise forestière dont le corps de métier est avant tout l'exploitation.

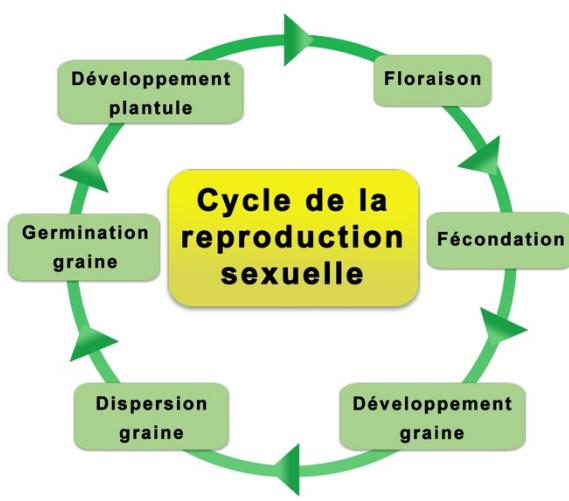
L'étude des flux de gènes nécessite de s'entourer des compétences des centres de recherches et c'est dans ce cadre particulier que s'inscrit ce mémoire de fin d'étude.

Introduction

1.2 FLUX DE GENES DES ARBRES TROPICAUX

Le terme « flux de gènes » inclut tous les mécanismes responsables des échanges de gènes entre différentes populations d'une même espèce (Slatkin, 1985). Chez les plantes, les flux de gènes correspondent à la pollinisation et la dispersion des graines. Les deux aspects sont très importants dans la dynamique des populations (Hardy et al., 2019). Car ils permettent d'assurer leur pérennité, voire la survie de l'espèce (Kremer et al., 2012).

Les plantes, étant incapables de se déplacer, ont mis au point des stratégies afin d'assurer l'échange de leur matériel génétique et donc de se propager. On distingue généralement deux types de reproduction chez les plantes : la reproduction asexuée et sexuée, durant laquelle deux gamétophytes, mâle et femelle fusionnent afin de générer un nouvel individu. Le mode de reproduction le plus commun chez les plantes tropicales est la reproduction sexuée (Bertin et al., 1993; Dick et al., 2008) elle implique les étapes illustrées à la figure 1. Chacune de ces étapes dépendent d'une série de facteurs biotiques, comme les agents de dispersion de pollen et /ou de graines ainsi que la préation des graines et des plantules, et abiotiques, par exemple, les conditions environnementales amorçant la floraison, favorisant le développement des fruits (Abrol, 2012).



Le rôle des fruits est de permettre la dispersion des graines vers des milieux propices à leur germination et à la viabilité de la plantule. C'est à ce stade que les arbres sont les plus vulnérables, il est donc indispensable que la graine germe dans un environnement optimal à la survie de la plantule et à sa croissance (Clark et al., 2006).

Dans les forêts tropicales, la faune joue un rôle capital aussi bien lors de la pollinisation que lors de la dispersion des graines. En effet, environ 80% des espèces seraient zoogames et entre 45% et 90% zoochores (Abrol, 2012; Garber & Lambert, 1998).

Figure 1: cycle de la reproduction sexuelle des plantes.

Les flux de gènes sont donc largement dépendant de la faune, laquelle est affectée par les activités anthropiques dont l'exploitation forestière (Forest et al., 2000)

La fragmentation des forêts et la diminution des densités de population des arbres causées par l'exploitation forestière (Malhi et al., 2014), provoque une augmentation de l'isolation spatiale des individus et des populations (Lowe et al., 2005), cela a pour conséquence d'augmenter le taux de consanguinité et à terme de réduire le fitness et la viabilité de ces derniers, mais aussi de restreindre leur capacité d'adaptation à un environnement qui change (Lowe et al., 2005; Jump et al., 2008).

Les arbres des forêts tropicales peuvent se montrer très vulnérable à la dégradation de leur habitats, en cause : la faible densité d'individu matures, l'existence de nombreuses barrières s'opposant à l'autofécondation et les interactions intimes avec les pollinisateurs et les disperseurs (Lowe et al., 2005). D'après la littérature (Lowe et al., 2005; Bizoux et al., 2009; Hardy et al., 2019), les conséquences de l'exploitation sur la dynamique des flux de gènes est peu connue en région tropicale. Or, il est primordiale de la comprendre pour la gestion des populations des arbres exploités. Néanmoins, toujours d'après Lowe et al. (2005) la sévérité de la dépression de consanguinité dépend de l'intensité de la dégradation de l'habitat.

Introduction

En Afrique centrale l'exploitation forestière est sélective (Doucet et al., 2007; Hardy et al., 2019), elle se focalise sur un nombre réduit d'espèces. XX espèces interviennent pour XX% de la production globale de bois d'œuvre (frm 2018). Si l'impact de cette exploitation sur le couvert est limité, elle peut néanmoins engendrer à terme, une réduction notable des populations d'arbres exploités (Karsenty et al., 2006). De plus, les coupes se focalisent sur les espèces et les pieds de qualité supérieur ce qui risque d'aboutir à un écrémage génétique (Doucet et al., 2007).

Selon Hardy et al. (2019) l'exploitation sélective peut impacter la régénération naturelle de plusieurs façons (voir figure 2) :

-L'isolation entre individus d'une même espèce peut limiter l'échange de pollen (a) et donc favoriser l'autopollinisation (b) entraînant l'avortement des ovules et la production de graines de moins bonne qualité (c).

-La coupe des arbres matures peut entraîner une diminution de la quantité de graines produites et une diminution de la probabilité de trouver des sites favorables à leur croissance (d).

-Les perturbations de l'habitat liés à l'exploitation peuvent impacter de manière positive ou négative la régénération et les donc investissements énergétiques des organes reproducteurs des arbres.

-L'augmentation de la pression de la chasse, facilitée par l'ouverture des routes peut fortement affecter l'efficacité de dispersion des graines (d).

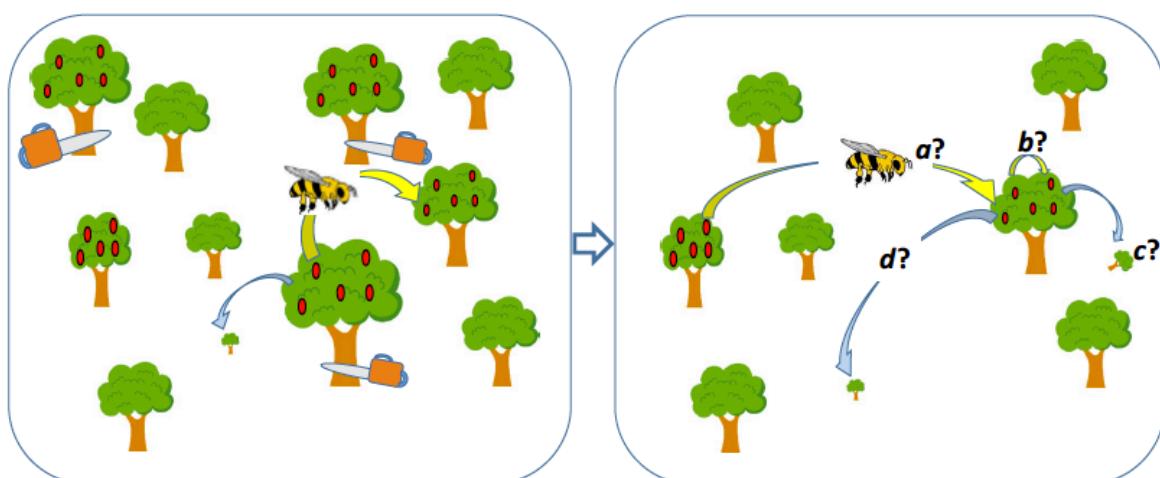


Figure 2: l'exploitation sélective au sein d'une population naturelle (illustration de gauche) réduit la densité d'arbres matures (représentés par des fruits dans leur cime) ce qui risque de perturber les flux de gènes (représentés par les flèches)(illustration de droite). Illustrations issues de Hardy et al. (2019)

Introduction

1.3 INTERACTIONS PLANTES-ANIMAUX

Au cours de l'évolution, animaux et plantes se sont adaptés en réponse aux pressions exercées d'une part par leur environnement, et d'autre part par leurs interactions avec les autres organismes (Abrahamson, 1989). Ces interactions peuvent influencer significativement la morphologie, le comportement et l'écologie des organismes vivants ainsi que la structure et la dynamique des communautés (Abrahamson, 1989; Kanowski et al., 2004). Ces relations s'apparentent souvent à des réseaux complexes d'interactions, impliquant de nombreuses espèces différentes, de sorte qu'une espèce de plante aura souvent tendance à interagir avec plusieurs espèces animales et inversement (Rodríguez-Rodríguez et al., 2017).

Différents types d'interactions sont généralement définies selon que leur effet soit bénéfique, neutre ou nuisible vis-à-vis de chaque organisme impliqué (Abrahamson, 1989). De ce fait, les interactions plantes-animaux sont fréquemment classées en trois catégories principales: le mutualisme, le commensalisme et la préation. Tout d'abord, lorsqu'une interaction s'avère être bénéfique pour chaque individu, il s'agit d'une relation mutualiste (Abrahamson, 1989; Anderson, 2012). C'est le cas de la relation entre les plantes et leurs polliniseurs ou les animaux responsables de la dispersion de leurs graines. Ensuite, lorsqu'une espèce bénéficie d'une autre espèce sans nuire à cette dernière, on parle de relation commensale (Abrahamson, 1989; Anderson, 2012). A titre d'exemple, les animaux qui consomment les fruits d'un arbre sans influencer le potentiel de germination des graines. Enfin si une espèce tire des bénéfices au détriment d'une autre espèce, comme c'est le cas des rongeurs qui se nourrissent des graines de certaines plantes, alors il est question de préation (Abrahamson, 1989; Lewinsohn et al., 2006). Cependant, la distinction entre ces trois types d'interaction n'est pas toujours aussi claire. Ceci est particulièrement vrai dans le cas du commensalisme, car il est très difficile d'évaluer avec certitude si une interaction a un effet totalement neutre sur l'une des espèces en cause, ou non (Abrahamson, 1989; Anderson, 2012).

1.4 POLLINISATION ET INSECTES POLLINISATEURS

Chez les plantes à fleurs, la pollinisation est l'étape de la reproduction qui assure la fécondation grâce au déplacement du pollen depuis les organes reproducteurs mâles, les étamines, vers les organes reproducteur femelles, les pistils (Abrol, 2012). Le grain de pollen, correspond au gamète mâle, il est produit par les anthères situées sur les étamines, et transporte la moitié du code génétique de l'individu duquel il est issu. Son rôle est de se rendre jusqu'à l'ovule d'un individu de la même espèce, afin de le féconder (Abrol, 2012).

Au cours de leur évolution, les plantes se sont adaptées à la contrainte de ne pas se mouvoir en utilisant leur environnement afin de disperser leur pollen, via des facteurs abiotiques tel que le vent (anémogame) et l'eau (hydrogame), et / ou via des facteurs biotiques tel que les insectes pollinisateurs (zoogame). Environ 80% des plantes seraient zoogames (Abrol, 2012). Bien que l'importance du rôle des pollinisateurs soit connue on observe un déclin global et avec lui une diminution du service écosystémique de pollinisation (Potts et al., 2010).

Une fleur peut être unisexuée femelle, on dit alors qu'elle est pistillée, c'est-à-dire qu'elle ne porte que les organes reproducteurs femelle (Abrol, 2012). Elle peut aussi être unisexuée mâle, en d'autres termes staminée, et elle ne porte donc que les organes reproducteurs mâle (Abrol, 2012). En revanche, une fleur présentant à la fois les organes reproducteurs mâles et femelles sur la même inflorescence est dite hermaphrodite (Abrol, 2012). Une plante, peut être monoïque et présente alors des fleurs mâles et des fleurs femelles sur un même pied, elle peut aussi être dioïque, c'est-à-dire composée de pieds strictement mâles et de pieds strictement femelle. On peut retrouver au sein d'une même espèce de plante, des individus monoïques et dioïques (Abrol, 2012).

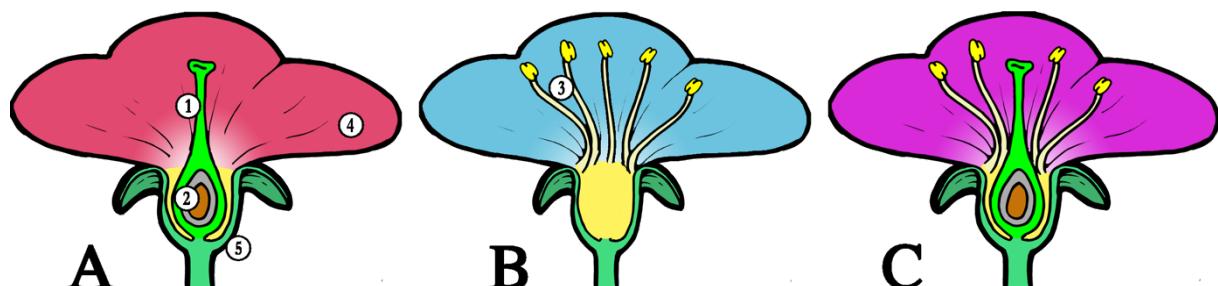


Figure 3: (A): Fleur pistillée. (B): Fleur staminée. (C) : Fleur hermaphrodite. (1) : Pistil. (2) : Ovaire. (3) : Étamine. (4) : Corolle. (5) : Réceptacle.

La majorité des plantes (75%) présentent des fleurs hermaphrodites. Cela leur permet de bénéficier des deux types de stratégies de fécondation : l'autofécondation et la fécondation croisée. Ainsi en l'absence de partenaire sexuelle, la plante peut se reposer sur l'autogamie pour assurer la production de graine (Abrol, 2012). L'autogamie devient problématique sur le long terme, augmentant la proportion d'homozygotes (dépression de consanguinité) et diminuant la résilience d'une population (Charlesworth et al., 1987).

Introduction

Les plantes ont donc tendance à favoriser la fécondation croisée, pour cela elles ont mis en place toute une série de barrière ayant pour but de réduire la proportion de graines autofécondées. (Charlesworth et al., 1987). Tout d'abord, l'autogamie est impossible chez les espèces dioïques. Ensuite, la Dichogamie est la séparation temporelle des organes mâles et femelles. On la retrouve chez les plantes monoïques qui produisent généralement les fleurs mâles et femelles à différentes périodes de l'année. Ainsi qu'au sein même des fleurs hermaphrodites dont les organes sexuels mâles et femelles ne sont généralement pas matures aux mêmes périodes (Bertin et al., 1993; Dick et al., 2008). Enfin, une autre forme de barrière, induite par le génotype de l'individu, rend l'autofécondation ou la fécondation par un individu apparenté impossible (Matton et al., 1997).

Introduction

1.5 DISPERSION DES GRAINES ET ANIMAUX DISPERSEURS

La dispersion des graines, c'est-à-dire leur mouvement ou leur transport loin de la plante mère, est une étape cruciale de l'écologie des plantes. Elle leur permet surtout de trouver des zones propices à la germination et au développement des plantules (Willson et al., 2000). En particulier, elle assure la stabilité des populations en favorisant la diversité génétique et en stimulant la dynamique et la succession des communautés végétales (Willson et al., 2000).

Les plantes peuvent compter sur différents vecteurs de dispersion de leurs graines. D'une part, ces vecteurs peuvent être abiotiques, tel que l'eau (hydrochorie), le vent (anémochorie) ou encore la gravité (barochorie) (Parolin et al., 2013). D'autre part, les vecteurs biotiques sont généralement les animaux (zoochorie) qui transportent les graines, soit sur leur pelage ou plumage (epizoochorie), soit en ingérant les graines (endozoochorie) ou encore lorsque l'animal va volontairement cacher des graines en espérant les consommer ultérieurement (synzoochorie) (Gómez et al., 2019).

L'endozoochorie correspond à une interaction de type mutualiste. Dans les forêts tropicales, elle est d'ailleurs utilisée par 45 à 90% des espèces de plantes dont les fruits possèdent des adaptations leur permettant d'attirer les frugivores (Garber et al., 1998). Par exemple, certains fruits dit « charnus » présentent des adaptations morphologiques récompensant les animaux avec de la nourriture et favorisant la dispersion de leurs graines par la même occasion (Jordano et al., 2003; Traveset et al., 2007). Plusieurs études suggèrent que les caractéristiques d'un fruit peuvent être différentes selon que la graine est plutôt dispersée par les oiseaux ou les mammifères (Corlett, 1998; Shanahan et al., 2001). Ainsi, les fruits odorants et peu colorés sont généralement associés à une dispersion par les mammifères (Corlett, 1998) et plus spécifiquement, les chauves-souris (Whittaker et al., 1994; Hodgkison et al., 2006). Les fruits fortement colorés, en revanche, ont plutôt tendance à être dispersés par les oiseaux (Corlett, 1998). L'efficacité de la dispersion des graines dépend fortement de l'anatomie et du comportement des animaux disperseurs (Schupp, 1993).

Le succès de germination des graines dispersées par endozoochorie dépend de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques (Traveset et al., 2007). La taille des fruits, leur forme, leur composition chimique et autres spécificités sont spécifique à la morphologie et la physiologie du tractus digestif des animaux disperseurs, ce qui affecte la viabilité et la germination des graines de différentes façons. Par exemple il n'est pas rare que la chaire des fruits inhibe la germination de la graine (Evenari, 1949). Dans d'autres cas, l'inhibition est induite par l'endocarpe, la scarification de ce dernier, lors de son passage dans le tractus digestif, permet de lever cette inhibition. Néanmoins, la durée de rétention et l'efficacité du système digestif de l'animal est à prendre en compte (Traveset et al., 2007; Ruxton et al., 2012). Une longue durée de rétention peut être désavantageuse, en exposant plus longtemps les graines aux fluides digestifs. Ceci risque d'altérer l'embryon et donc de diminuer leur viabilité (Janzen et al., 1985; Ruxton et al., 2012). Cependant, les graines de petites tailles ont plus de chances d'échapper aux processus de mastication et de rester intacte après le passage dans le tractus digestif (Houngbegnon et al., 2019; Thiry et al., 2019).

En plus de lever la dormance, le disperseur éloigne les graines du semencier et leur permet de coloniser de nouveaux habitats favorables à leur germination et au développement de la plantule. L'hypothèse de Janzen-Connell, suggère que les chances de survies et de développement des diaspores augmentent à mesure qu'elles s'éloignent du semencier (Hyatt et al., 2007). Cependant, les diaspores de grande taille seront dispersé exclusivement par des animaux de grandes tailles (Illius et al., 1992) les graines de petites tailles peuvent potentiellement être dispersées par une communauté de disperseur plus diversifiée.

Introduction

1.6 OBJECTIFS

Le présent travail s'attèle à décrire les flux de gènes d'une espèce d'arbre à haute valeur commerciale, l'Iroko (*Milicia excelsa*).

Cette espèce est un cas d'étude idéal pour quantifier les impacts de l'exploitation sur les populations d'arbres. Elle est en effet dioïque et donc particulièrement sensible à l'espacement croissant entre arbres fertiles, induit par l'exploitation forestière.

Selon Daïnou (2012), les flux de gènes sont importants au sein des populations d'Iroko et la structuration génétique est en conséquence particulièrement faible. Il l'attribue à une dispersion des graines par les chauves-souris frugivores. Toutefois, il s'est essentiellement basé sur des observations directes pour tirer cette conclusion. Or, cette méthode peut engendrer différents biais liés à la présence de l'observateur, elle est aussi très énergivore. Aujourd'hui, l'utilisation de pièges photographiques est devenue un puissant outil d'identification des animaux disperseurs. En les utilisant, il sera possible de vérifier si les chauves-souris sont les seuls disperseurs de graines de *M. excelsa*.

Par ailleurs l'autre composante du flux de gènes, la pollinisation, n'a pas été étudiée, Daïnou, (2012) suppose que l'espèce est anémogame et ce sur base de la littérature et de la morphologie des fleurs. L'étude de la pollinisation se réalise avec l'utilisation de pièges à insectes. Néanmoins les pièges utilisés sont destinés à établir des inventaires de l'entomofaune. Un nouveau type de piège a donc été développé pour cette étude (annexe 4), orienté sur une capture plus sélective des visiteurs floraux.

En conséquence l'objectif de ce travail est d'identifier les agents biotiques et abiotiques intervenant dans les flux des gènes de l'Iroko afin d'évaluer les impacts de l'exploitation forestière et de proposer des recommandations de gestion.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MODELE BIOLOGIQUE

Milicia excelsa (Welw.) C.C. Berg (Moraceae), communément appelé Iroko est une espèce d'arbre native d'Afrique subsaharienne. Son aire de répartition s'étend du Libéria à l'Éthiopie, et du Mozambique à l'Angola (White, 2016). Le terme Iroko désigne deux espèces du genre *Milicia* (*Milicia excelsa* et *Milicia regia*). Dans le présent travail, nous traiterons uniquement de *Milicia excelsa*.

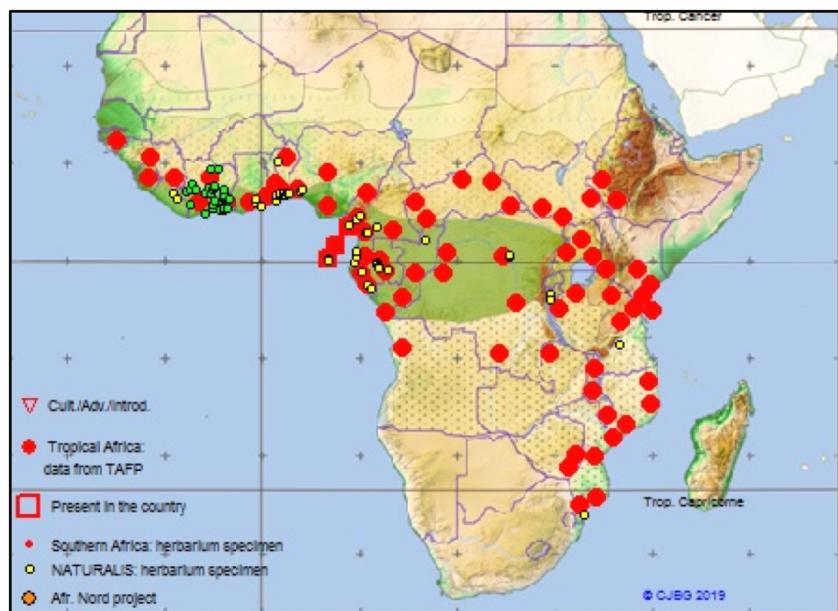


Figure 4: Répartition géographique de *Milicia excelsa* issus des bases de données du CJB

Milicia excelsa est une espèce héliophile longévive (Daïnou, Doucet, et al., 2011; Aubréville, 2014; Meunier et al., 2015). Son habitat recouvre plusieurs types forestiers, allant des mosaïques de forêts-savanes, jusqu'aux forêts denses humides sempervirentes. Néanmoins, elle présente une densité de population plus élevée dans les forêts semi-décidues secondaires (Bizoux et al., 2009; Meunier et al., 2015; Nichols et al. cité par Ofori & Cobbinah, 2007; White, 2016).

L'espèce est décidue, perdant ses feuilles une fois par an. La floraison survient au même moment que la nouvelle feuillaison, c'est à dire à la fin de la saison sèche (Bizoux et al., 2009). Il faut approximativement 5 à 6 semaines de la fécondation des fleurs à la maturation des fruits (Nyong'o et al., 1994a). *Milicia excelsa* est dioïque, les pieds mâles sont en floraison une à deux semaines environ avant les pieds femelles (Daïnou et al., 2012). Les fleurs sont arrangées en inflorescences condensées en pseudanthium dépourvu de pétales et non odorantes, situées à l'aisselle des jeunes feuilles (Brantjes, 1981; Nyong'o et al., 1994b; Aubréville, 2014). Les inflorescences mâles (figure 5A) sont longiformes pouvant atteindre 17cm, ayant l'allure de chatons. Les inflorescences femelles (figure 5B) sont plus courtes, jusqu'à 8cm, et plus épaisses, de couleur verte-jaune, avec des pistils saillants répartis sur toute la surface de l'inflorescence (Aubréville, 2014). L'infrutescence (figure 5E), ressemble étroitement à l'inflorescence, sans les pistils et plus volumineuse. Il s'agit d'un faux fruit, charnu, d'une longueur comprise entre 4 et 8 cm selon les individus et de 2cm de diamètre. Les nombreux akènes des infrutescences, contiennent une graine de petite taille (environ 2mm)(figure 5C) (Daïnou, Doucet, et al., 2011). Ils sont entre 78 et 109 par infrutescence pulpeuse (Bizoux et al., 2009; Aubréville, 2014).

Matériels et méthodes

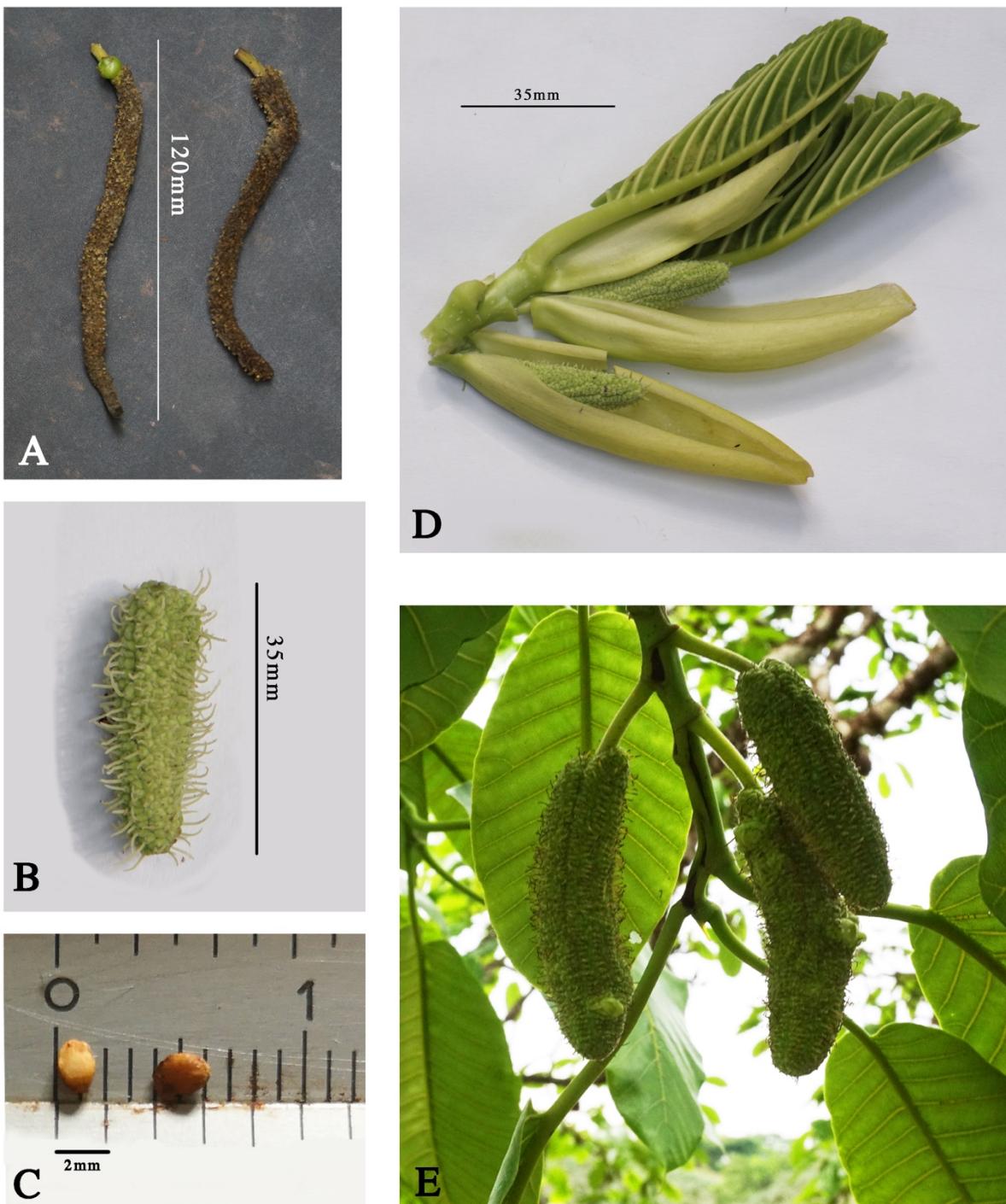


Figure 5: image des organes sexuels de *Milicia excelsa*: (A) fleur mâle ; (B) fleur femelle mature ; (C) graines ; (D) bourgeon ouvert ; (E) Fruits mature.

Il s’agit de la neuvième essence la plus exploitée d’Afrique centrale (ATIBT, 2016). Surnommé « chêne d’Afrique », l’Iroko est depuis longtemps commercialisé et exporté (Ofori et al., 2007; Meunier et al., 2015). Son bois, dur et résistant notamment aux termites, d’une densité de 640 kg/m³ est de « classe 3 » (Ofori et al., 2007; Meunier et al., 2015; White, 2016). Il est prisé en menuiserie d’intérieur et d’extérieur ainsi qu’en ébénisterie (Meunier et al., 2015).

Milicia excelsa est généralement présent en faible densité. Dans le Sud du Cameroun par exemple, on retrouve en moyenne 2 à 20 arbres/km² pour un diamètre à hauteur de poitrine (DBH) supérieur ou égale à 30cm (Feteke et al. cité par Bizoux et al., 2009).

Matériels et méthodes

2.2 ZONE D'ETUDE

L'étude de la pollinisation et de la dispersion des graines de *Milicia excelsa* s'est déroulée au Cameroun du 15 février au 25 avril 2019. Au sein du site d'exploitation et de transformation du bois de la société Pallisco-CIFM localisée à Mindourou ($3^{\circ}56'77.73''N$, $13^{\circ}40'74.97''E$). Cette société exploite une surface de 388.949 hectares de forêts tropicales de façon durable respectant les normes établies par la *Forest Stewardship Council* (FSC) depuis 2008.

Une partie de la recherche a été exécutée en parallèle, dans la Réserve de Biosphère du Dja dans une parcelle de 400 hectares ($12^{\circ}78'089''N$, $3^{\circ}25'910''E$). La Réserve du Dja, créée en 1950, couvre 526.000 hectares et fait partie de l'un des plus grands espaces protégés de forêts tropicales d'Afrique (McGinley cité par Djuiukouo, Doucet, Nguembou, Lewis, & Sonké, 2010) dont 90% est considéré intacte (UNESCO cité par Bruce et al., 2017). La Réserve présente un biome exceptionnellement riche et diversifié avec 109 espèces de mammifères répertoriés, comprenant des espèces rares et en danger d'extinction (Bruce et al., 2017).

Ces deux études ont été effectuées en parallèle afin d'établir une comparaison des disperseurs de graines de *Milicia excelsa* entre un milieu exploité et un milieu protégé. Les deux sites d'étude se situent dans la province de l'Est, avec un climat de type équatoriale guinéen comprenant deux saisons sèches et deux saison des pluies (Forni, 1997). L'humidité reste élevée tout au long de l'année, avec une précipitation annuelle moyenne de l'Ordre de 1550mm et une température annuelle moyenne de $24^{\circ}C$. (Daïnou, Dubart, Bracke, & Doucet, 2017; F. White, 1983; Yasuda, 2007; DMNC, cité par Daïnou et al., 2011). Le début de notre étude (15 février) correspond à la fin de la grande saison sèche, qui a lieu de décembre à février, suivi de la petite saison des pluies de mars à juin (Kouadio et al., 2013). Au sein de la concession forestière Pallisco-CIFM, la floraison des pieds femelles débute dès le mois de janvier et haut taux de pieds femelles présentant des fleurs ou des fruits durant le mois de mars, (Daïnou et al., 2012).

Dans la Réserve du Dja, la forêt tropicale est en grande partie semperfivente (figure 8) (Forni, 1997; Djuiukouo et al., 2010), recouverte principalement par trois grands types forestiers : les forêts à essences mixtes sur sol bien drainé, les forêts monodominante de Limbali (*Gilbertiodendron dewevrei*, famille : *Caesalpiniaceae*) et les forêts périodiquement inondée (Sonké cité par : Djuiukouo et al., 2010).

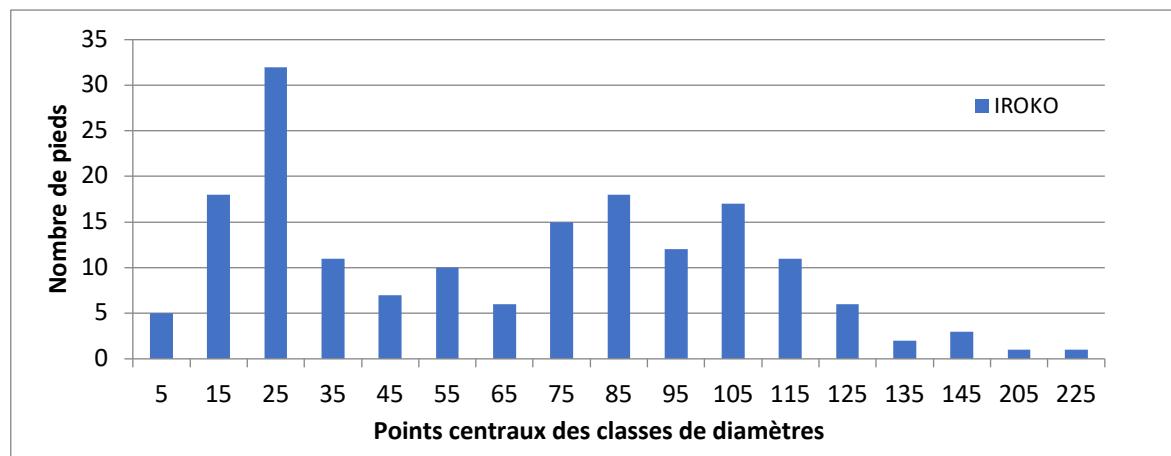


Figure 6 : Structure de population de l'Iroko au sein de la parcelle de la réserve du Dja

Matériels et méthodes

Les forêts de la concession Pallisco sont majoritairement des forêts de transition entre les types sempervirentes et semi-caducifoliés (figure 8). Elles sont caractérisées par la présence de nombreuses Olacaceae et Euphorbiaceae et la rareté des Caesalpiniaceae (Forni, 1997; Kouadio et al., 2013; Daïnou et al., 2017)

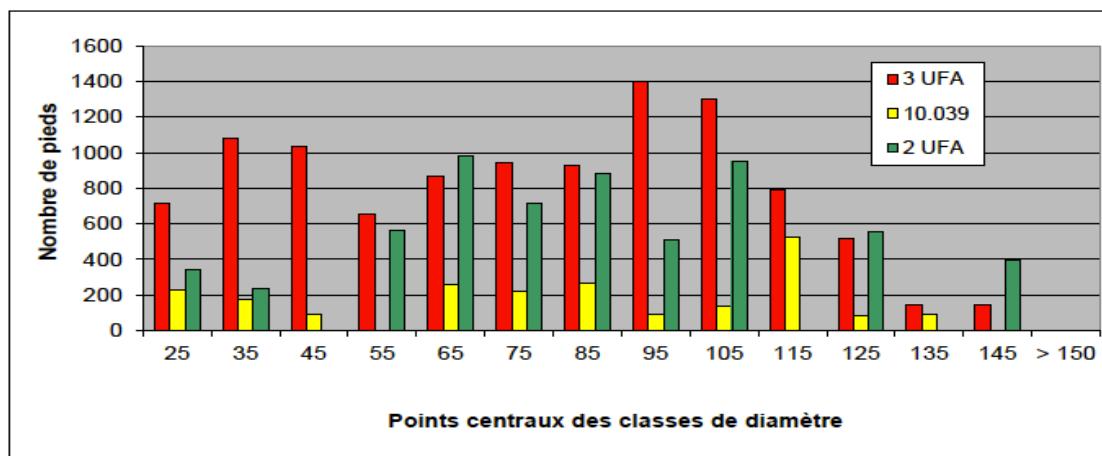


Figure 7: Structure des populations d'Iroko au sein de la concession Pallisco, pour les 6 UFA, issues de (Philippart et al., 2012)

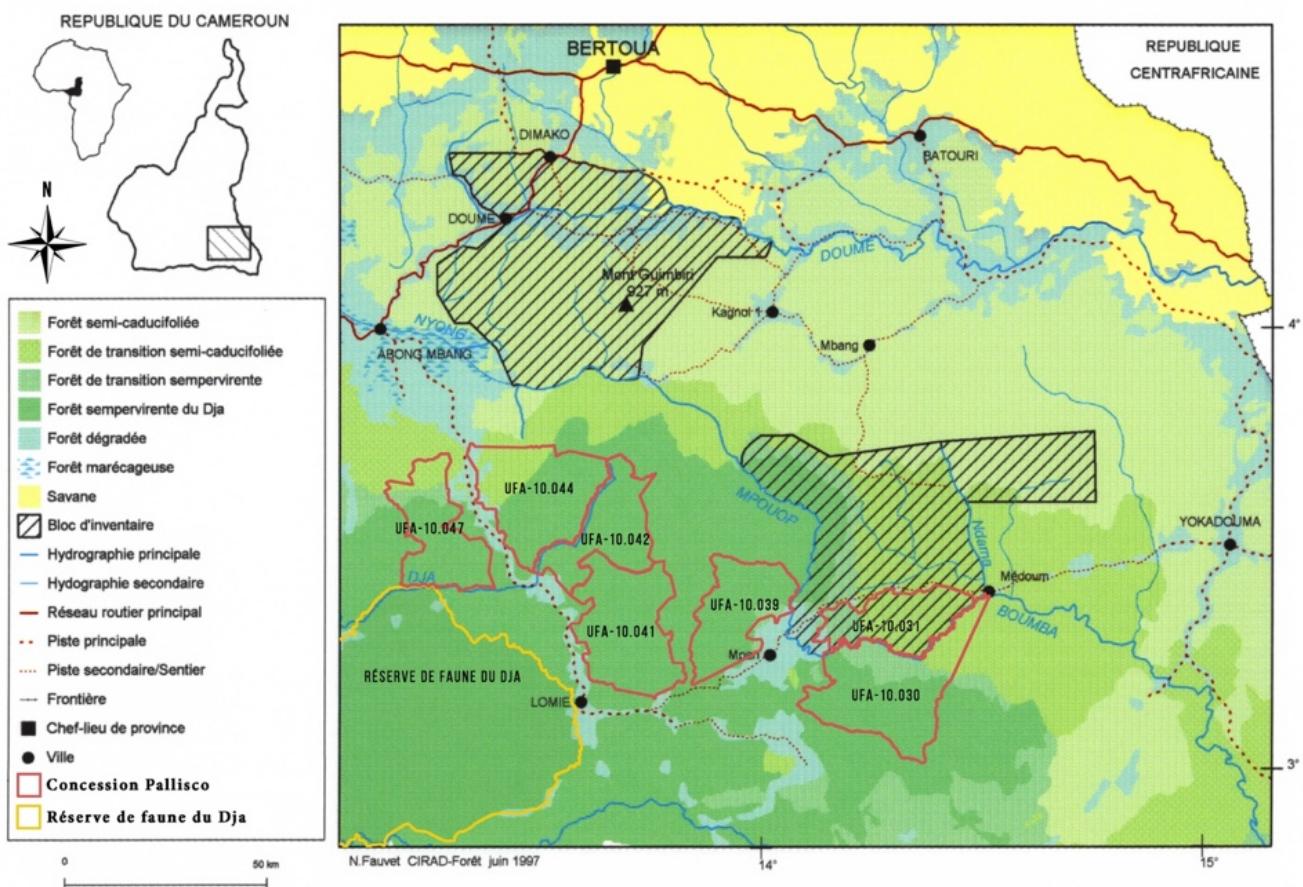


Figure 8 : Phylogéographie de la zone d'étude (d'après LETOUZÉY, 1985) issus du travail d'E.FORNI, 1997

Matériels et méthodes

2.3 CAPTURE ET IDENTIFICATION DES VISITEURS FLORAUX DE *M. EXCELSA*

2.3.1 PROSPECTION

Une pré-sélection des pieds femelles de *M. excelsa* ayant un diamètre de plus de 65cm à 1,3m du sol, au sein de la concession Pallisco, a été établie à partir de fichier GIS (Système d'Information Géographique). A un tel diamètre, les Irokos sont plus susceptibles d'être en fleur (Daïnou et al., 2012). Les données sont ensuite enregistrées dans un GPS. (figure 9)

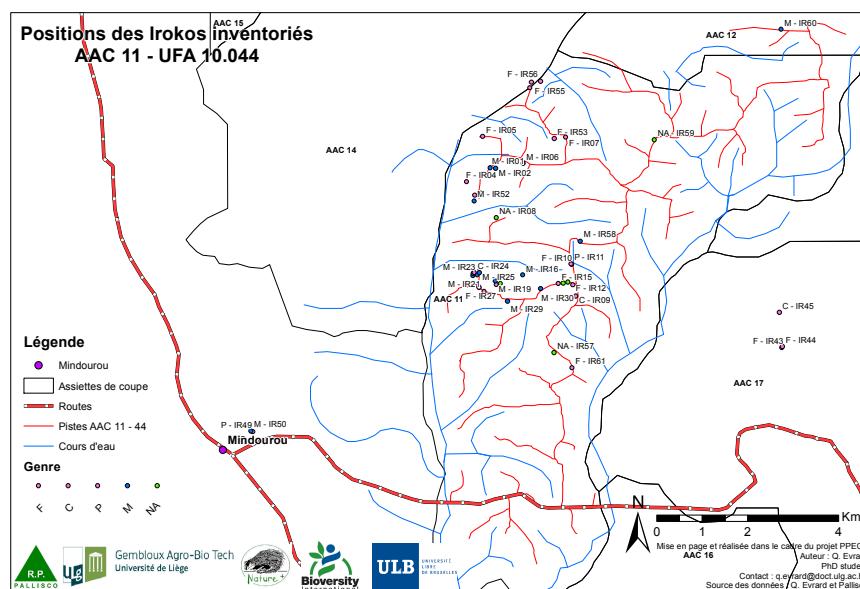


Figure 9: *Milicia excelsa* géoréférencés dans l'UFA 10.044 de la concession Pallisco

Au total 46 pieds ont été prospectés, et pour chacun d'eux, la proportion de jeunes feuilles, inflorescences et infrutescences (tableau 1) a été évaluée depuis le sol à l'aide de jumelles. A partir de cette évaluation, les pieds de *M. excelsa* présentant les plus haut taux d'inflorescences sont retenus pour l'installation des pièges à insectes et plus tard, des pièges photographiques.

Au total, 5 pieds ont été équipés (figure 10) de pièges à insectes, dont 3 ont été équipés deux fois.

Tableau 1: Ensemble des Irokos équipés de pièges à insectes et la proportion de fleurs matures et immatures et de fruits immatures

Date d'installation	Numéro Iroko	Stade de la floraison	UFA	Latitude (Nord)	Longitude (Est)
18/02/19	IR49	100% Fleurs matures	10.044	322805	394642
19/02/19	IR14	100% Fleurs immatures	10.044	329617	397868
21/02/19	IR11	60% Fleurs immatures 40% Fleurs matures	10.044	329792	398287
25/02/19	IR38	100% Fleurs matures	10.042	347367	386255
27/02/19	IR49	10% Fleurs matures 90% Fruits immatures	10.044	322805	394642
28/02/19	IR14	100% Fleurs matures	10.044	329617	397868
28/02/19	IR11	30% Fleurs immatures 60% Fleurs matures 10% Fruits immatures	10.044	329792	398287

Matériels et méthodes

28/03/19

IR05

100% Fleurs matures

10.044

322805

401064

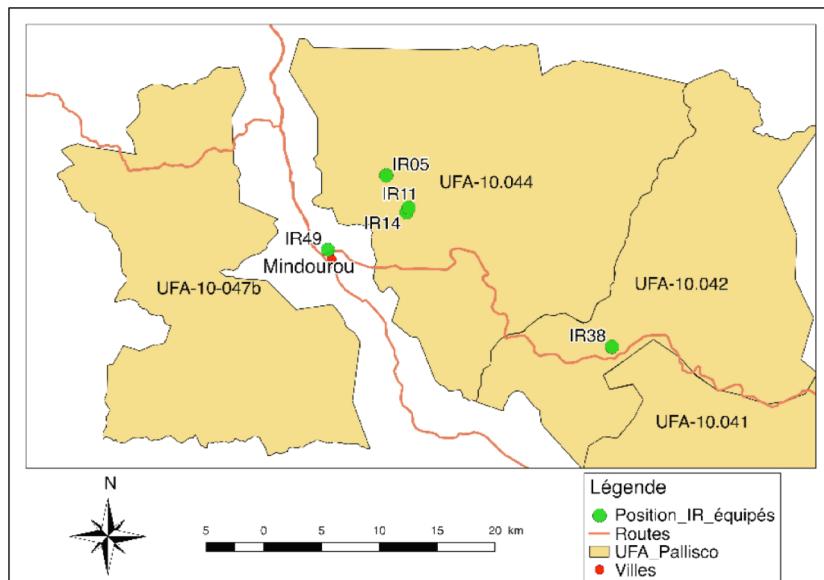


Figure 10 : Iroko équipés de pièges à insectes au sein de la concession Pallisco

Au cours de la prospection des pieds mâles ont également été visités, afin de collecter les inflorescences. Cela nous a permis d'en extraire le pollen dans le but d'établir une description précise des grains de pollen de *Milicia excelsa*.

2.3.2 LES PIEGES A INSECTES

Afin d'identifier les potentielles pollinisateur et visiteurs floraux, quatre types de pièges ainsi que des caméras spécialement conçues : les « Raspicams », ont été installés dans la canopée des *M. excelsa* en fleurs. L'utilisation combinée du piége jaune, du piége à papillons et du piége lumineux ainsi que l'élaboration des ceux-ci, a déjà été effectuée dans le cadre d'une étude préliminaire traitant de la pollinisation de *Baillonella toxisperma* Pierre, *Afzelia bipindensis* Harms et *Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan lors du mémoire d'Arnaud Segers en 2018.

Une ascension dans la canopée des *M. excelsa* est nécessaire pour l'installation des pièges au plus près des fleurs. La technique utilisée lors de l'ascension, est dite « sur simple brin », cette technique a fait ses preuve lors de précédentes missions de collecte de données dans la canopée d'arbres tropicaux et permet une ascension sans blesser ce dernier (Houle et al., 2004).

a) LES PIEGES A PAPILLONS

Comme son nom l'indique, les piéges à papillons ciblent les lépidoptères, aussi bien diurnes que nocturnes, mais également les hyménoptères, diptères et autres insectes attirés par l'appât qui est constitué de sucre de cannes et de bananes fermentées (Lucci Freitas et al., 2014). Ce dernier est disposé sur un petit support situé en dessous d'un cylindre en toile de polyester de 100cm et 38cm de diamètres munie d'une embouchure conique censé emprisonner les insectes (Shuey, 1997).

b) LES PIEGES LUMINEUX

Le piége lumineux a été confectionné lors du mémoire d'Arnaud Segers en 2018, afin de répondre aux contraintes liées à l'installation de piéges dans les grands arbres des forêts tropicales. Ce piége permet la capture d'insectes de jour et de nuit grâce aux plaques de plexiglass qui interceptent les insectes, la nuit, une bande LEDs permet en plus d'attirer les insectes nocturnes (Infusino et al.,

Matériels et méthodes

2017). Il est constitué de deux plaques de plexiglass entrecroisées, en-dessous desquelles est fixé un entonnoir en plastique entouré du sac de récolte en toile de polyester. La source lumineuse est fixée à la jonction des plaques, il s'agit d'une bande de 40 LEDs d'une longueur d'onde comprise entre 395 et 405mm pour une puissance de 9,6Watts (Steiner et al., 2010; Brehm, 2017), alimenté par une batterie à l'acide de plomb de 12V d'une capacité de 7 Ampères-heures pesant 2,65kg et équipée d'un minuteur réglé afin d'activé la source lumineuse de 19h30 à 01h30.

« Un tel dispositif permet d'avoir une autonomie de 6h15 si on utilise les batteries à 80% de leur capacité pour ne pas les endommager. Son minuteur était donc réglé sur les horaires de 19h30 à 01h30 ce qui correspond aux heures où les insectes nocturnes sont les plus actifs. Les insectes ciblés par ce type de pièges sont les Coléoptères, les Lépidoptères, les Hémiptères, les Orthoptères, et autres Ordres mineurs (Touroult et al. 2017). » cité par (Segers, 2018)

c) LES PIEGES JAUNES

Les pièges jaunes sont constitués d'un récipient peint en jaune contenant de l'eau et un agent réducteur de tension qui empêche les insectes de s'échapper. Il s'agit du type de piège le plus utilisé pour les recensements de pollinisateurs (Roulston et al., 2007). La couleur jaune incite la visite des insectes floricoles tel que les hyménoptères, les diptères et certains coléoptères (Touroult, 2019). Comparativement à d'autres couleurs, la couleur jaune est celle qui attire le plus d'insectes floricoles (KIRK, 1984; Leong et al., 1999).

Les pièges ont été fabriqués à partir de bouteilles de 10L en plastiques coupées en deux, peintes en jaune et perforées de trous afin de laisser s'échapper l'eau de pluie. L'agent réducteur de tension utilisé lors de cette mission est du savon de vaisselle.

d) LE VACUUM TRAP

Dans le cadre de ce travail de fin d'étude, un nouveau type de piège a été développé, surnommé le Vacuum-trap. L'objectif était de créer un piège plus sélectif dans la capture des visiteurs floraux. Il a également été conçu pour être facilement transportable et être installé dans la canopée des grands arbres. Comme son nom l'indique, ce piège permet d'aspirer et de capturer tous visiteurs floraux dans un récipient à l'instar d'un aspirateur domestique. L'aspiration se fait à partir d'un ventilateur centrifuge qui créer une aspiration dans un tube en PVC dont l'extrémité est positionnée en face des fleurs ciblées. Du propylène glycol est versé dans le récipient permettant de tuer et de conserver les insectes capturés. Ce liquide est très peu volatile, non toxique, et suffisamment visqueux afin d'empêcher le mélange de pollen entre les individus (Thomas, 2008). Un minuteur permet d'enclencher le moteur aux heures désirées. Lors de cette mission, le minuteur était réglé de 7h30 à 9h30 et de 17h à 18h.

La fiche technique et le protocole d'installation du Vacuum-trap se trouvent en annexe 4.

e) LES RASICAMS

La « Raspicam » est le nom donné à un prototype de caméra développé par Vincent Droissart (IRD/ULB) & Vincent Deblauwe (UCLA/IITA/CBI/ULB). La caméra se compose d'un micro-ordinateur de type Raspberry PI connecté à un objectif équipé d'une lumière infrarouge, alimenté par une batterie portable de 20 Ampère-heure, le tout placé dans une boîte étanche. Ces caméras permettent de filmer une ou des inflorescences à une très courte distance avec une haute résolution. Ce qui permet d'identifier et analyser le comportement des insectes qui entrent en interaction avec la ou les inflorescences. L'enregistrement des vidéos est continu, les facteurs limitant la durée d'enregistrement est soit la batterie, soit l'espace de stockage.

Une ascension dans la canopée de *M. excelsa* est nécessaire pour l'installation des Rasicams. A l'aide d'un bras articulé fermement fixé sur une branche, la caméra est orientée vers les inflorescences, l'objectif de la caméra est située à une distance entre 10 et 30 centimètres de ces dernières la mise au point et le déclenchement de l'enregistrement se fait à partir d'un smartphone.

Matériels et méthodes

Quatre Raspicams ont été installées au même moment, sur le même arbre (IR05). Les caméras filmaient entre 3 et 5 fleurs à la fois. Plus de 79h de vidéos ont été générées pour un stockage total de 59GB.

L'analyse des vidéos générées par les Raspicams a également permis de faire une pré-sélection des potentiels polliniseurs parmi les insectes capturés à l'aide des pièges, ceci a pour but d'alléger les analyses palynologiques. Les arthropodes de trop petites tailles pour être identifiables à l'image, ainsi que les fourmis aptères en déplacement continu sur les inflorescences et le reste de l'arbre, n'ont pas été pris en compte dans l'inventaire.

L'ensemble des manipulations sont reprises dans l'annexe 5.

2.3.3 RECOLTE DES INSECTES ET CONDITIONNEMENT

Les pièges à insectes sont installés pour une durée de 24h. Lors de la récupération, les pièges à papillons et les pièges lumineux ont été soigneusement enfermés dans des sacs plastiques afin d'assurer leur transport le même jour jusqu'au congélateur situé à la base vie de la concession Pallisco. Le congélateur permet de tuer les insectes calmement et de les conserver. La totalité des insectes contenus dans les pièges jaunes sont directement versés dans un récipient de 50ml contenant de l'éthanol à 70%. Pour le Vacuum-trap, la présence de propylène glycole dans le fond du piège assure la conservation des insectes.

Les insectes morts, après un séjour au congélateur ou issus du Vacuum-trap, sont triés et mis dans des Eppendorfs de 2,5ml ou 5ml selon leur taille. Les insectes issus du même pièges sont regroupés par morpho-espèce dans un même eppendorf, rempli d'éthanol à 70% (Krogmann et al., 2010). Les lépidoptères ont été conditionnés individuellement dans des papillotes en papier, stockées au congélateur pour la durée de la mission.

L'ensemble des insectes capturés seront stockés au sein de l'unité d'entomologie de Gembloux Agro-Bio Tech.

2.3.4 DETERMINATION DES VISITEURS FLORAUX ET ANALYSE DES DONNEES

La quasi-totalité des insectes capturés ont été identifié jusqu'au niveau taxonomique de la famille, à partir de la clé d'identification « Delvavrel » (Delvare et al., 1989), des boîtes à insectes de SEGERS, A., de CHARLOTEAUX, L. et de la collection du Musée Royale d'Afrique Centrale de Tervuren (Belgique).

Les indices de diversité de Shannon (H') et de Simpson (1-D) ont été réalisés à l'aide du logiciel Past 3.24 ®. Ils ont été calculés pour la totalité des insectes capturés, l'Ordre des coléoptères, des hyménoptères et des lépidoptères à partir des effectifs des familles taxonomiques.

Les statistiques circulaires ont permis de mesurer le temps d'activité moyen pour les familles des Reduviidae et des Apidae, en utilisant le package « CircStats » du logiciel R 3.0.2 ®. Un test de Rayleigh a été effectué afin de vérifier si l'activité de l'animal n'est pas due au hasard (Davies et al., 1999; Berens, 2009)

Matériels et méthodes

2.3.5 ANALYSES PALYNOLOGIQUES

Afin d'identifier les potentiels polliniseurs, il convient d'évaluer si les insectes capturés et observés, sur les vidéos des Raspicams, transportent du pollen de *M. excelsa*. L'extraction des grains de pollen commence par le rinçage des insectes capturés, afin de décrocher un maximum de graines. Le contenu du rinçage est ensuite versé dans des tubes Falcon de 50 ml. L'extraction se fait via une suite de manipulations qui alternent, rinçages et centrifugations des tubes Falcon, et également une acétolyse, qui permet d'éliminer tout résidus dans le but de préserver uniquement l'exine intacte du grain de pollen (Shivanna et al., 2014). Après ces manipulations, le contenu final est monté sur une lame et analysé au microscope dans le but d'identifier les grains de pollens (Punt et al., 2007; Shivanna et al., 2014) .

2.4 IDENTIFICATION DES DISPERSEURS POTENTIELLE DES GRAINES DE *M. EXCELSA*

2.4.1 PIEGES PHOTOGRAPHIQUES

Dans le but d'identifier les potentiels disperseur de graines de *Milicia excelsa*, huit pieds ont été équipés de deux pièges photographiques chacun, une dans la canopée et une au sol. Quatre pieds issus de la concession forestière Pallisco et quatre de la Réserve de Biosphère du Dja. Les 16 caméras utilisées sont des Bushnell équipées de cartes mémoires de 32 GB. Une ascension dans la canopée de l'arbre permet l'installation des pièges photographiques, orientés vers des branches présentant le plus d'infrutescences possible se trouvant à une distance entre un et trois mètres de la caméra. Au sol, le choix de la position des caméras se fait selon une zone se trouvant en dessous des branches présentant un maximum d'infrutescences, cette branche a été identifiée soit à partir du sol à l'aide de jumelles, soit lors de l'ascension qui a permis l'installation de la première caméra. Il a également été pris en compte la présence d'autres arbres produisant des fruits susceptibles de tomber dans la zone couverte par la caméra. De plus, au sol, la zone est défrichée et parsemée de fruit matures et immatures ramassés au sol. Le défrichage de la zone d'observation permet d'identifier les fruits tombés au sol et plus précisément d'identifier les fruits manipulés par les animaux lors du visionnage des vidéos (Trolliet et al., 2014).

Les pièges photographiques sont des Bushnell, modèle Agressor paramétrés de façon à faire des vidéos de 10 secondes avec un intervalle minimum de 2 secondes. La sensibilité du capteur a été réglé sur « haute » avec une qualité de 1280 x 720 pixels, se déclenchant à l'aide de détecteur de mouvements. Les vidéos ont été privilégiées aux photos, afin de pouvoir identifier les animaux rapides tel que les chauves-souris mais également afin d'observer et de confirmer la manipulation du fruit par ces derniers (Scheibe et al., 2008; Trolliet et al., 2014).

Le choix des individus équipés de pièges photographiques est basé sur plusieurs critères : des pieds présentant le plus de fruits, se situant loin des routes et distant d'au moins 500 mètres entre eux, cette distance est basée sur l'amplitude du territoire occupé les espèces animales de la zone (Babweteera et al., 2010). Une pré-sélection a eu lieu durant la prospection des pieds en fleurs. La sélection définitive s'est fait à partir d'une deuxième observation, au pied des individus, de la présence de fruits immatures ou matures. Alors que certains pieds présentaient de nombreuses inflorescences, il n'en était pas de même pour les infrutescences. Ces derniers peuvent être victimes de prédation par la faune, de chutes causées par les intempéries ou simplement avortés par l'individu lui-même (Matton et al., 1997).

Les pièges photographiques ont été installés au sein de la concession Pallisco (figure 11), du 7 mars au 30 mars 2019, équivalent à 808 caméra.jour et ont générés 1643 vidéos. Au sein de la Réserve du Dja (figure 12) , les pièges photographiques ont été installées du 14 mars au 14 avril 2019, équivalent de 976 caméra.jour et ont générés 816 vidéos. La consommation de fruit par un animal est validée lorsque l'on peut clairement observer, l'animal en train d'ingérer un fruit.

Au jeu de données issu des caméras et élaboré lors de cette mission, s'ajoutent les données collectées par Quentin EVRARD et Fructueux HOUNGBEGNON (325 photos et vidéos prises entre le 23 février et le 18 avril 2016) lors d'une mission précédente réalisée en 2016 dans la concession forestière Pallisco. Au total 10 pieds ont été équipés de pièges photographiques dans la concession, dont 4 avec des caméras en canopée.

Matériels et méthodes

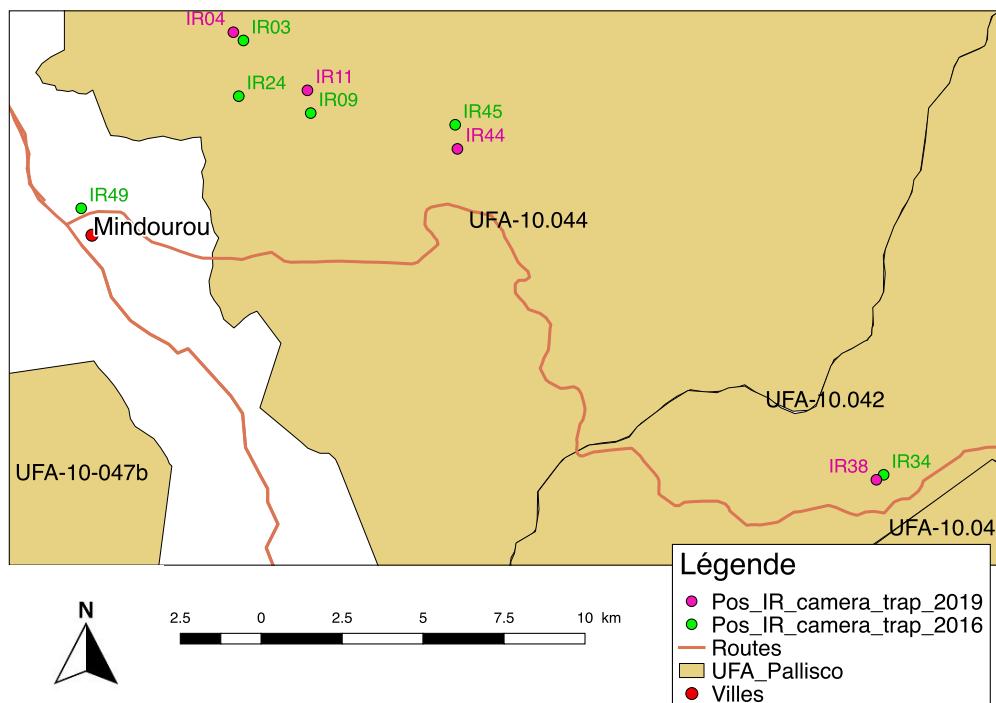


Figure 11 : Position des Irokos équipés de pièges photographiques au sein de la concession Pallisco

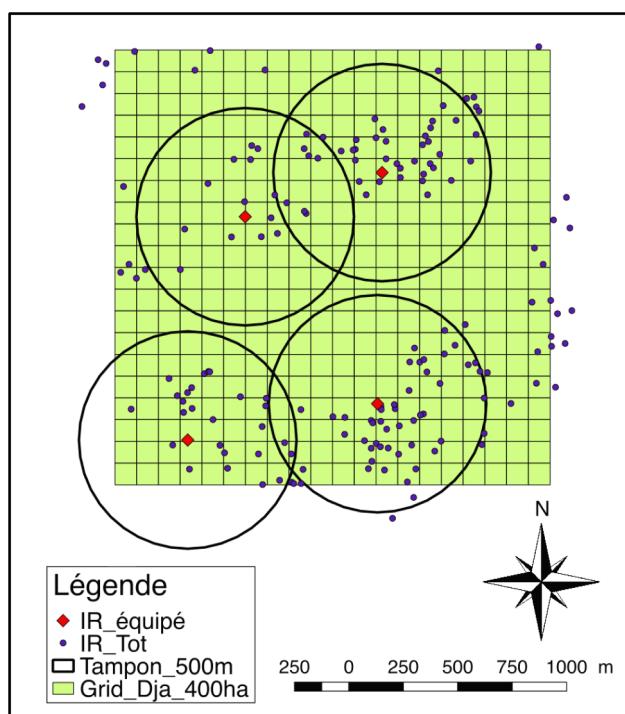


Figure 12 : position des Irokos équipés de pièges photographiques dans la Réserve de Biosphère du Dja

Matériels et méthodes

2.4.2 ANALYSE DES DONNEES

Les données issues des pièges photographiques ont été encodées en reprenant l'heure, la date, la position GPS, l'espèce animale et son comportement vis-à-vis des fruits. Afin de garantir l'indépendance des observations, ces dernières ont été réunies en un unique évènement de détection lorsque une espèces animale était observée à plusieurs reprises et au même endroit sur une période de 30 minutes et au même endroit (Cadman et al., 2012).

Lorsqu'il n'est pas possible de procéder à une identification jusqu'au niveau taxonomique de l'espèce, les individus sont regroupés par genre. Si même le genre n'est pas identifiable, alors ils sont classés à la famille. C'est par exemple le cas pour l'identification des chauves-souris frugivores regroupées à la famille des Pteropodidae (Kingdom, 2015).

Les statistiques circulaires ont permis de mesurer le temps d'activité moyen des espèces les plus observées, en utilisant le package « CircStats » du logiciel R 3.0.2 ®. Un test de Rayleigh a été effectué afin de vérifier si l'activité de l'animal n'est pas due au hasard (Davies et al., 1999; Berens, 2009)

Les indices de diversité de Shannon (H') et de Simpson (1-D) ont été réalisés à l'aide du logiciel Past 3.24 ® et un test χ^2 d'indépendance en utilisant le package « vegan » sur le logiciel R 3.0.2 ®. Afin de comparer la diversité spécifique de la faune observée au sol, entre le site de Pallisco et celui de la Réserve de Biosphère du Dja pour l'année 2019. Pour le test χ^2 , les individus présentant moins de 5 observations ont été regroupé en tant que espèce rare (sp_rare) par site.

Résultats

3 RESULTATS

3.1 POLLINISATION

3.1.1 ANALYSE DU POLLEN DE *M. EXCELSA*

Au total, 17 inflorescences mâles provenant de quatre pieds de *M. excelsa* ont été collectées. L'extraction de leur pollen a permis de décrire précisément les grains en vue de statuer ultérieurement sur le rôle de pollinisateur des visiteurs floraux.

Les grains de pollen de *M. excelsa* (voir Figure 9) sont larges en moyenne de $15,5 \mu\text{m}$ (figure 9A) et longs de 17 micromètres (Figure 9B) (Gosling et al., 2013). Ils sont de forme sphéroïdale et isopolaire. Sur chaque pôle se trouve un aperture légèrement proéminent sur le plan équatorial (Punt et al., 2007; Shivanna et al., 2014), conférant ainsi au grain de pollen l'apparence d'un citron. L'exine présente une texture psilate, relativement lisse lorsqu'elle est observée au grossissement maximum (x400) (Punt et al., 2007).

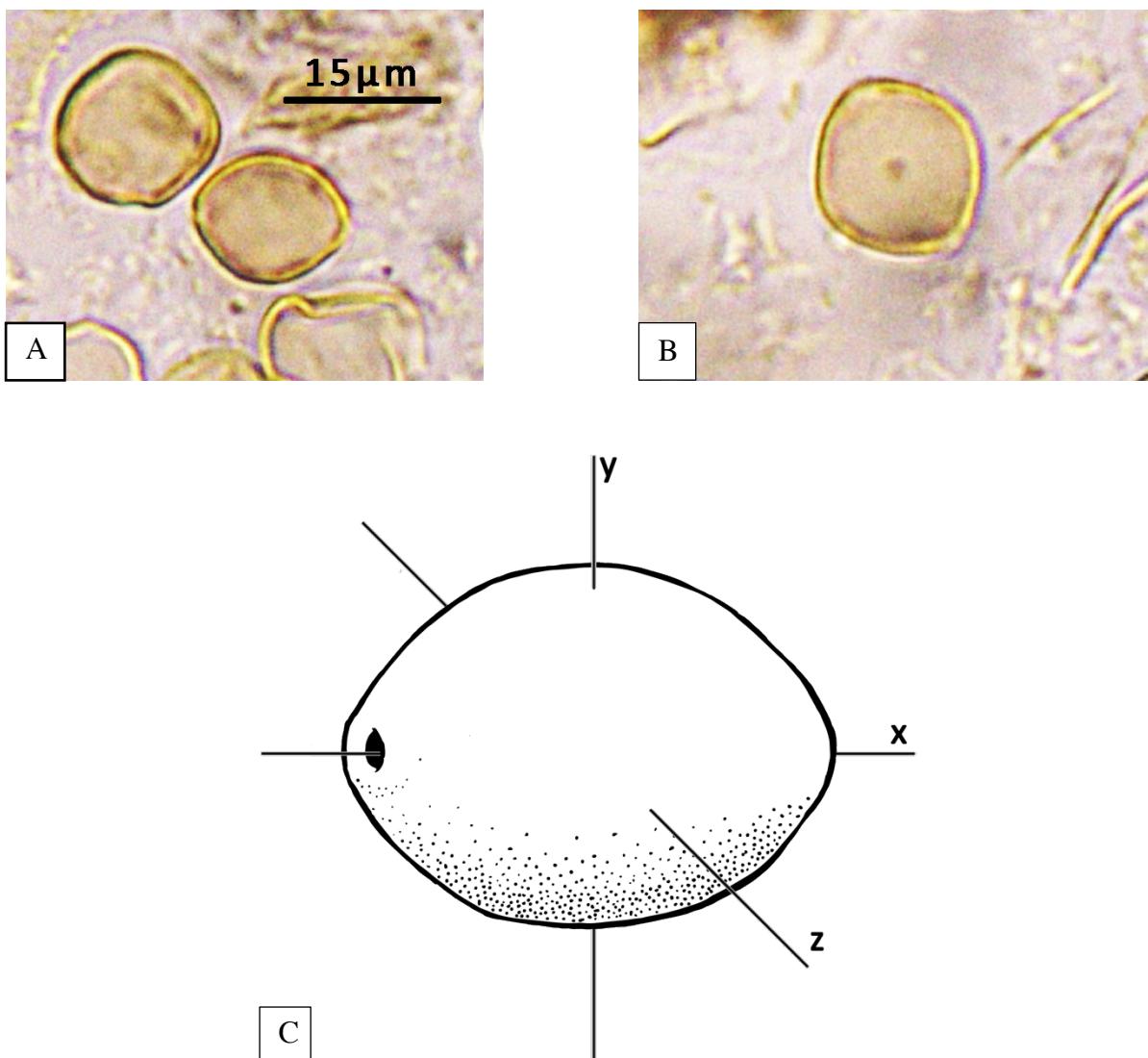


Figure 13 : Grain de pollen de *Milicia excelsa* ; A: grain de pollen en vue équatoriale; B: grain de pollen en vue polaire; C: Illustration d'un grain de pollen

Résultats

3.1.2 PRE-INVENTAIRE DE L'ENTOMOFAUNE CIRCULANTE

Les pièges à insectes ont été installés à huit reprises dans la canopée. Ils ont permis la capture de 985 insectes répartis en 257 morpho-espèces, 85,1% ont été identifiés jusqu'à la famille. Le Tableau 2 synthétise les résultats obtenus pour les trois principaux Ordres : les coléoptères, les hyménoptères et les lépidoptères. Les différentes familles capturées dans chaque Ordre, ainsi que leur abondances absolues et leur abondances relatives sont reprises en annexe 2.

Tableau 2 : Indice de diversité de Shannon et de dominance de Simpson pour la totalité des insectes capturés et les Ordres des coléoptères, des hyménoptères et des lépidoptères.

	TOTAL	COLEOPTERA	HYMENOPTERA	LEPIDOPTERA
FAMILLE	54	17	6	9
ABONDANCE	985	188	539	167
ABONDANCE RELATIVE	100%	19,08%	54,72%	16,95%
SIMPSON (1-D)	0,73	0,79	0,17	0,75
SHANNON (H)	2,31	1,99	0,43	1,67

La plupart des individus capturés (55 %) sont des hyménoptères. En considérant les indices de diversité de Simpson et de biodiversité de Shannon-Weaver réalisés par rapport au niveau taxonomique de la famille. On constate cependant que cet Ordre est le moins diversifié car il n'est représenté que par six familles (voir annexe 2). En revanche, les coléoptères capturés sont moins abondants mais nettement plus diversifiés avec un total de 17 familles identifiées (voir annexe 2). Tant en termes d'abondance que de diversité, les lépidoptères ont des indices comparables à ceux des coléoptères.

Tableau 3 : Par type de piège : nombre de famille et de morpho-espèces différentes capturés, avec l'abondance absolue, relative, les indices de Shannon et de Simpson.

TYPE DE PIÈGE	NB FAMILLE	NB MORPHO-SP	ABONDANCE ABSOLUE	ABONDANCE RELATIVE	INDICE DE SHANNON (H')	INDICE DE SIMPSON (1-D)
PIÈGE JAUNE	14	27	141	14,3%	1,87	0,71
PIÈGE LMINEUX	46	205	592	60,1%	4,19	0,93
PIÈGE À PAPILLONS	15	31	164	16,6%	1,84	0,66
VACUUM-TRAP	3	5	88	8,9%	0,4	0,16
TOTAL	/	/	985	100,0%	/	/

Le tableau 3 reprend la diversité spécifique d'insectes capturé, par familles et par morpho-espèces en fonction du type de piège. Ainsi que l'abondance absolue et relative, les indices de diversités de Shannon-Weaver et de Simpson ont été calculés à partir des morpho-espèces.

Le piège lumineux représente 60% des captures, avec l'indice de diversité de Shannon-Weaver le plus élevé (4,19) et également l'indice de dominance de Simpson les plus élevé, suggérant qu'il

Résultats

n'y a pas de morpho-espèce dominante. Contrairement au Vacuum-trap qui présente les deux indices les plus bas. Le piège jaune et le piège à papillon présentent des tendances similaires.

3.1.3 RASPICAM

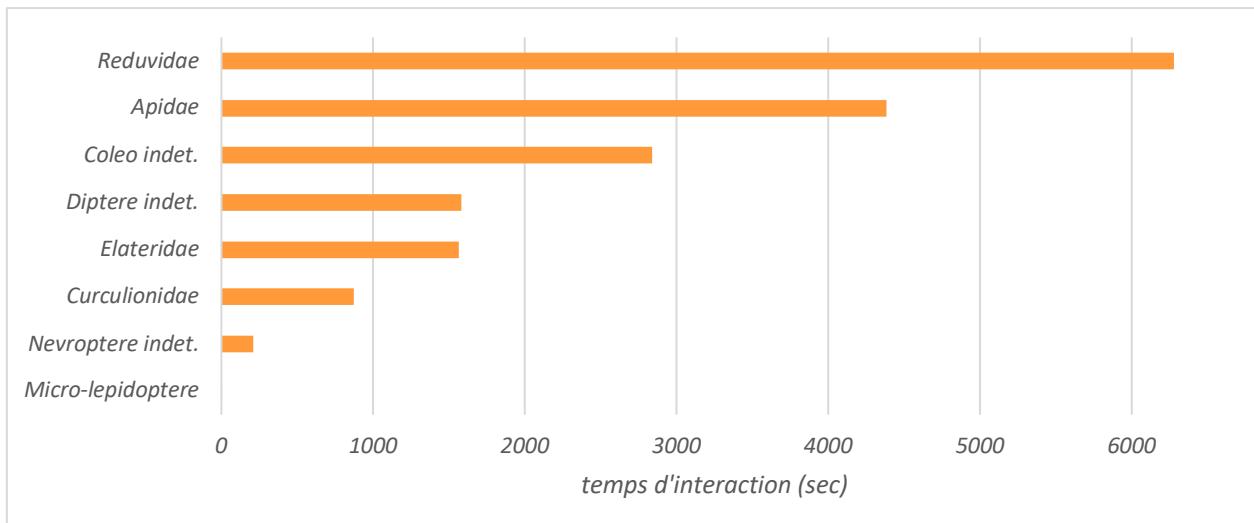


Figure 14 : Graphique reprenant le temps d'interactions total par famille observée.

TAXON	MICRO-LEPIDO.	NEVRO INDET.	CURCU.	ELATER.	DIPTERE INDET.	COLEO INDET.	APIDAE	REDUVIDAE	TOTAL
NB OBSERVATION	1	4	1	2	9	13	38	15	83
TEMPS MOYEN (SEC)	3	53	874	783	176	219	115	419	214

Tableau 4 : Nombre d'observations, temps totaux et le temps moyens d'interaction

Le visionnage de la totalité des vidéos a permis de déterminer les différents arthropodes ayant interagi avec les inflorescences de *M. excelsa*. La durée cumulée de ces visites a été de 4h55min (6,2% du temps total) tandis que le temps moyens d'interaction a été de 214 secondes. Au total, 83 observations de visiteurs floraux appartenant à six Ordres distincts ont été relevé (Figure 14). Les principales familles concernées sont les Reduviidae (Hemiptera), les Apidae (Hymenoptera), les Elateridae et Curculionidae (Coleoptera) (Tableau 4). Un mircro-lépidoptère, quatre névroptères ainsi que plusieurs coléoptères et diptères ont également été observés en train d'interagir avec les inflorescences de *M. excelsa* mais la résolution de l'image et leur taille n'a pas permis de pousser l'identification jusqu'à la famille. Par ailleurs, 100% des Apidae observées sont de la tribu des Meliponini (Fabre Anguillet et al., 2015).

Résultats

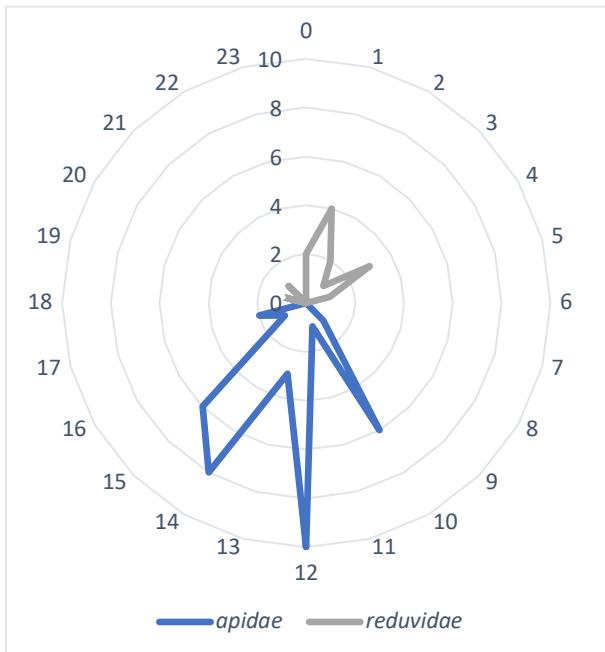


Figure 16 : Pattern d'activité des Apidae et des Reduviidae. Le rayon du cercle représente le nombre d'observation de ces derniers, la circonference représente les heures de la journée.

Les Reduviidae ont été observés fréquemment et pendant de longues périodes sur les inflorescences de *M. excelsa*. Les visites des Apidae étaient près de trois fois moins logues que celles des Reduviidae mais environ deux fois plus fréquentes. Par ailleurs, l'activité des Apidae est strictement diurne, avec un pic entre 12 et 14h tandis que celle des Reduviidae, est nocturne avec un pic d'activité entre 1 et 3 h (Figure 12).

Le test de Rayleigh a montré une activité significative pour les Apidae et les Reduviidae dont l'heure moyenne d'activité se situe à 12h54 et 1h48 respectivement. Le r-bar qui représente l'agrégation des valeurs est de 0,99 pour les deux familles.

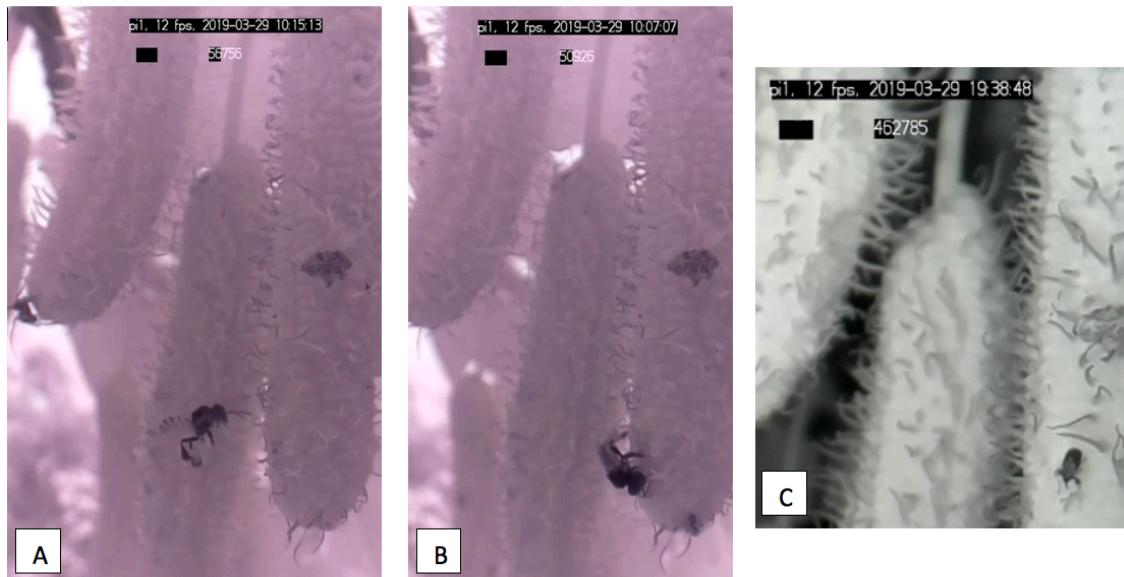


Figure 15 : Images capturées depuis les vidéos issues des caméras Raspicam ; A : Meilopna ; B : Melipona ; C : Curculionidae.

Résultats

3.1.4 INSECTES CAPTURES AVEC LE VACUUM-TRAP

Le piège « Vacuum-trap » a été installé pour une période totale de 7 jours et tournait 3h par jour. Il a permis la capture de 88 insectes comprenant 87 hyménoptères, dont 85 appartenant à la tribu des *Meliponini* (Fabre Anguilet et al., 2015) et 2 hyménoptères non identifiés, ainsi qu'un hétéroptère non identifié.

3.1.5 ANALYSE PALYNOLOGIQUE

L'utilisation combinée des Raspicam, des pièges à insectes et des analyses palynologiques a permis d'identifier, de sélectionner et de tester les potentiels pollinisateurs de *M. excelsa*. Parmi les 985 insectes capturés, les tests palynologiques ont été appliqués à 429 insectes, répartis en 55 échantillons et du pollen a été observé sur 19 d'entre eux. Néanmoins, aucun pollen analysé ne correspondait à celui de *M. excelsa*. Le Tableau 4 reprend l'ensemble des taxons ayant été analysés. L'annexe 3 reprend l'ensemble des échantillons analysés, ceux pour lesquels du pollen a été observé, sont surlignés en jaune.

Tableau 5 : Liste des Taxons dont le pollen a été extrait et analysé, selon leur abondance absolue et leur abondance relative

Taxon	Abondance absolue	Abondance relative
<i>Apidae</i>	378	88,1%
<i>Curculionidae</i>	4	0,9%
<i>Elateridae</i>	39	9,1%
<i>Heteroptera indet.</i>	6	1,4%
<i>Reduviidae</i>	1	0,2%
<i>Nevroptera indet.</i>	1	0,2%
Total général	429	100,0%

Résultats

3.2 DISPERSION DES GRAINES

3.2.1 RESULTATS PIEGE PHOTOGRAPHIQUES

8 pièges photographiques ont été installés au sein de la concession Pallisco, du 7 mars au 30 mars 2019 (12,6 caméra/jour) et ont générés 1643 vidéos dont 557 issues des caméras installées en canopée. Les 8 pièges photographiques de la Réserve du Dja ont été installés du 14 mars au 14 avril 2019 (15,2 caméra/jour) et ont générés 816 vidéos dont 352 issues des caméras installées en canopée. A ce jeu de données s'ajoutent les données collectées par Quentin EVRARD et Fructueux HOUNGBEGNON (325 photos et vidéos) dans la concession Pallisco en 2016. Les photos comme les vidéos ont permis d'observer si il y avait consommation de fruits.

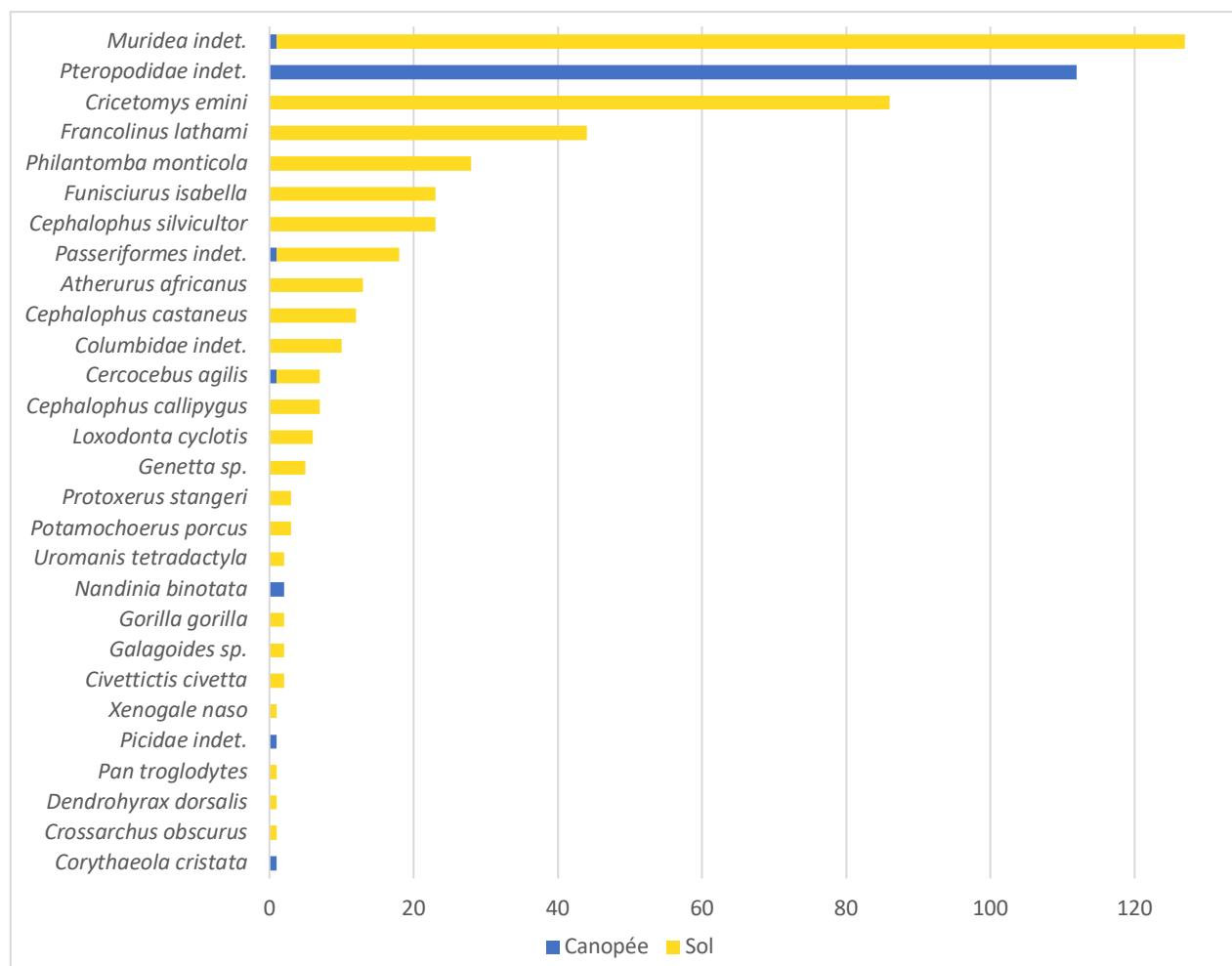


Figure 17 : Taxons et nombres d'observations enregistrés par les pièges photographiques installés sur les *M. excelsa* en canopée (en bleu) et au sol (en jaune). Donnée issues de la Réserve de Biosphère du Dja et de la concession Pallisco en 2016 et 2019.

La figure 16 présente les taxons identifiés sur les vidéos capturées par les pièges photographiques, au sol et en canopée, pour 2016 et 2019. L'Ordre des rongeurs est le plus représenté. Le groupe des *Muridae* affiche le plus grand nombre d'observations, 127 au total. Il s'agit probablement de plusieurs espèces mais leur identification s'est avérée impossible. *Cricetomys emini* (rat palmiste) occupe la troisième place avec 86 observations. *Funisciurus isabella* (Sciuridae, Funisciure de Gray) a été observé à 23 reprises. Avec moins de 20 observations, viennent ensuite : *Atherurus africanus* (Hystricidae, athérure) et *Protoxerus stangeri* (Sciuridae, écureuil géant).

Résultats

Bien que la famille des Pteropodidae (Chiroptera) n'ait été observée que en 2019, elle occupe la deuxième place avec 112 observations. Il s'agit de chauves-souris observées exclusivement dans la canopée.

La sous-famille des *Cephalophinae* (*Bovidae*, *Cetartiodactyla*) représentée par 4 espèces (*Philantomba monticola*, *Cephalophus silvicultor*, *Cephalophus castaneus* et *Cephalophus callipygus*) affichent 70 observations dont 28 pour le *Philantomba monticola* (céphalophe bleu). Dans le même Ordre, *Potamochoerus porcus* (*Suidae*, potamochère) a été noté à 3 reprises.

D'autres mammifères ont aussi été observés, avec par Ordre d'abondance décroissant : *Cercocebus agilis* (Cercopithecidae, cercocèbe agile), *Loxodonta cyclotis* (Elephantidae, éléphant de forêt), *Genetta* sp. (Viverridae, genette), *Manis tetradactyla* (Manidae, pangolin à longue queue), *Nandinia binotata* (Nandiniidae, nandinie), *Gorilla gorilla* (Hominidae, gorille), *Galagoidea* (Galagonidae, galagos), *Civettictis civetta* (Viverridae, civette), *Herpestes naso* (Herpestidae, mangouste à long museau), *Pan troglodytes* (Hominidae, chimpanzé), *Dendrohyrax dorsalis* (Procaviidae, daman des arbres) et *Crossarchus obscurus* (Herpestidae, Mangouste brune).

Enfin, parmi les oiseaux, ce sont surtout des francolins qui ont été observés (*Francolinus lathami*, Gallinaceae). Divers Passeriformes, Columbiformes, Piciformes et le touraco géant (*Corythaëola cristata*, Musophagidae) ont aussi été notés.

3.2.2 CONSOMMATION DES FRUITS ET PATTERNS D'ACTIVITE

Tableau 6: Ensemble des espèces observées par pièges photographiques dans la concession de Pallisco en 2016 et 2019 et dans la Réserve de Biosphère du Dja en 2019 (les pourcentages correspondent aux abondances relatives, r-bar représente l'agrégation de l'activité).

Taxon	Pallisco (2016 & 2019)	RBD (2019)	Consommation fruit	Statut IUCN	heure moyenne d'activité	r.bar	p-value
<i>Atherurus africanus</i> (2,39%)	12	1	oui	LC	22h58	0,988	***
<i>Cephalophus callipygus</i> (1,28%)	0	7	/	LC	16h55	0,995	NA
<i>Cephalophus castaneus</i> (2,20%)	3	9	/	NT	23h40	0,988	***
<i>Cephalophus silvicultor</i> (4,23%)	9	14	oui	NT	21h28	0,993	***
<i>Cercocebus agilis</i> (1,28%)	7	0	oui	LC	11h04	0,996	NA
<i>Civettictis civetta</i> (0,36%)	2	0	/	LC	22h34	0,999	NA
<i>Columbidae</i> indet. (1,84%)	10	0	/	-	11h36	0,998	NA
<i>Corythaëola cristata</i> (0,18%)	1	0	/	LC	8h24	1	NA
<i>Cricetomys emini</i> (15,8%)	83	3	oui	LC	23h49	0,987	***
<i>Crossarchus obscurus</i> (0,18%)	0	1	/	LC	23h	1	NA
<i>Dendrohyrax dorsalis</i> (0,18%)	0	1	/	LC	5h30	1	NA
<i>Francolinus lathami</i> (8,10%)	44	0	/	LC	9h59	0,998	***
<i>Funisciurus isabella</i> (4,23%)	23	0	oui	LC	8h22	0,998	***
<i>Galagoidea</i> sp. (0,36%)	2	0	/	-	2h34	0,999	NA
<i>Genetta</i> sp. (0,92%)	5	0	/	-	21h10	0,992	**
<i>Gorilla gorilla</i> (0,36%)	0	2	/	CR	9h54	0,999	NA
<i>Loxodonta cyclotis</i> (1,10%)	0	6	/	VU	19h32	0,988	NA
<i>Muridea</i> indet. (23,3%)	127	0	oui	-	1h16	0,989	***
<i>Nandinia binotata</i> (0,36%)	0	2	/	LC	20h45	0,999	NA
<i>Pan troglodytes</i> (0,18%)	0	1	/	EN	17h36	1	NA
<i>Passeriformes</i> indet. (3,31%)	16	2	oui	-	10h38	0,997	***
<i>Philantomba monticola</i> (5,15%)	5	23	/	LC	13h12	0,997	***
<i>Picidae</i> indet. (0,18%)	0	1	/	-	12h18	1	NA
<i>Potamochoerus porcus</i> (0,55%)	0	3	/	VU	6h42	0,996	*
<i>Protoxerus stangeri</i> (0,55%)	2	1	/	LC	8h46	0,999	**
<i>Pteropodidae</i> indet. (20,6%)	106	6	oui	NT/LC/LC	23h33	0,985	***
<i>Uromantis tetradactyla</i> (0,36%)	2	0	/	VU	21h42	1	NA
<i>Xenogale naso</i> (0,18%)	0	1	/	LC	2h18	1	NA
Total	459	84					

Résultats

L'activité de 13 taxons présente une activité significative selon le test de Rayleigh.

Parmi les consommateurs avérés, plusieurs sont diurnes : *Cercocebus agilis* (11h04), *Funisciurus isabella* (8h22) et les Passeriformes (10h38). D'autres sont nocturnes : *Atherurus africanus* (22h58), *Cephalophorus sylvicultor* (21h28), *Cricetomys emini* (23h49), *Muridae* (1h16), *Pteropodidae* (23h33).

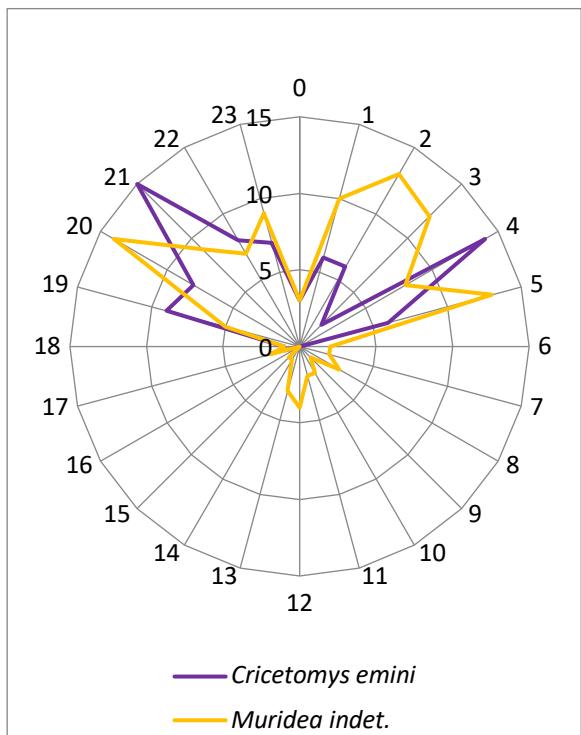


Figure 18 : Pattern d'activité de *Cricetomys emini* et des *Muridea indet.*

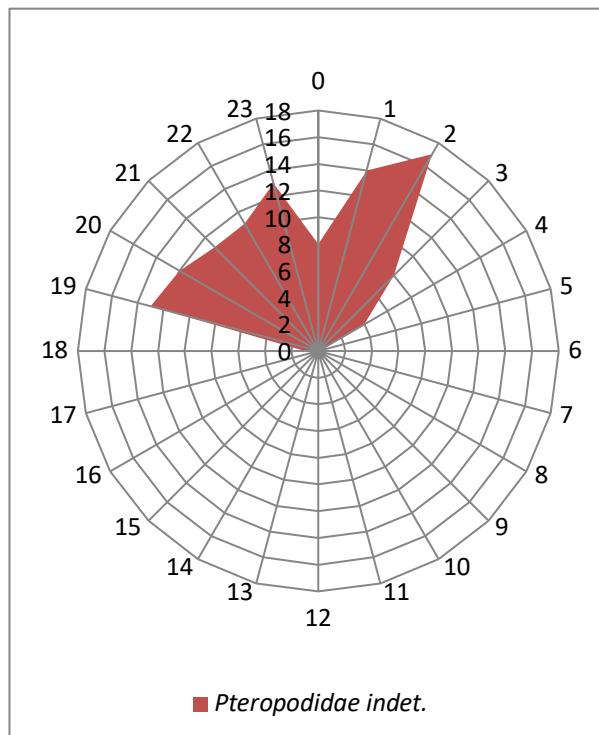


Figure 19 : Pattern d'activité des *Pteropodidae*.

Le pattern d'activité des *Muridae* indet. et des *crycetomis emini* (figure 18) indique une tendance majoritairement nocturne, sauf quelques individus de *Muridae* indet. qui ont été observé de jours. Leur activité s'étend de 19h à 5h plus ou moins.

Le pattern d'activité des *Pteropodidae* indet. se concentre essentiellement de nuit, le nombre d'observation reste relativement constant de 19h à 2h.

Résultats

3.2.3 COMPARAISON DE LA DIVERSITE SPECIFIQUE ENTRE PALLISCO ET LA RBD

La figure 17 compare les taxons identifiés au sol ainsi que leurs abondances entre la Réserve de Biosphère du Dja et la concession Pallisco en 2019. Pour rappel, les nombres de camera.jours étaient comparables et respectivement de : 976 et 808.

La richesse spécifique au sein de la RBD était plus élevée avec 15 taxons observés contre 8 dans la concession de Pallisco. Les communautés diffèrent significativement entre les deux sites ($\chi^2=56,855$; $dF=7$; $p\text{-value}=6,388 \cdot 10^{-10}$) et une plus grande diversité est observable dans la Réserve du Dja (tableau 6). Les différences sont particulièrement importantes au niveau des Cephalophinae qui sont beaucoup plus observés aux pieds des Irokos dans la RBD.

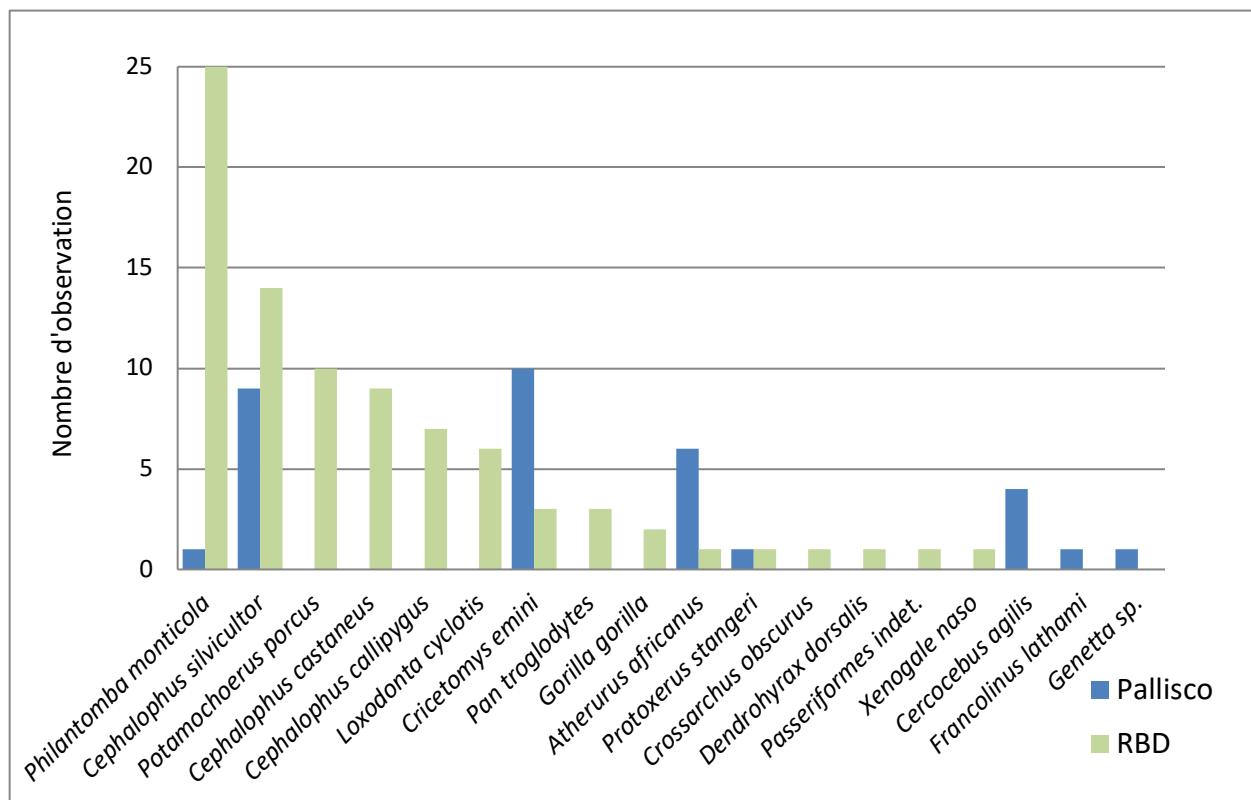


Figure 20: Histogramme du nombre d'observation par taxon pour la concession de Pallisco en bleu et la RBD en vert.

Tableau 6: Indices de diversité pour la concession Pallisco et la RBD en 2019

	Pallisco	RBD
Taxon	8	15
abondance	33	85
Simpson 1-D	0,7824	0,8457
Shannon H'	1,706	2,177

Discussion

4 DISCUSSION

4.1 POLLINISATION

4.1.1 LE MODE DE DISPERSION DU POLLEN DE *M. EXCELSA*

Les différentes approches mises en œuvre pour étudier la pollinisation de *M. excelsa* semblent toutes indiquer que le mode principal de dispersion du pollen de cette espèce serait l'anémogamie. En effet, plusieurs observations concordent avec une dispersion par le vent : (i) le caractère dioïque (Vamosi et al., 2003), (ii) la morphologie des inflorescences (Abrol, 2012). (iii) la morphologie des grains de pollen, de forme sphéroïdale, de petite taille, et de texture relativement lisse (Osmaston, 1965; Abrol, 2012). De plus, les analyses palynologiques menées n'ont pas permis de révéler la présence des grains de pollen de *M. excelsa* sur les insectes capturés à l'aide des pièges. Par ailleurs, l'anémogamie de *M. excelsa* a déjà été suggérée (Osmaston, 1965; Brantjes, 1981; Nyong'o et al., 1994a; Bizoux et al., 2009). Bizoux et al. (2009) ont estimé une distance de dispersion des gènes de *M. excelsa*, allant de 1 à 7,1 km. De telles distances seraient plutôt caractéristiques des plantes anémogames, car les arbres tropicaux zoogames auraient des distances de dispersion de gènes estimées entre 100 et 500 m (Hardy et al., 2006; Born et al., 2008; cité par : Bizoux et al., 2009)

De futures études sur la pollinisation de *M. excelsa* devraient néanmoins être menées afin de confirmer l'anémogamie. Ainsi, de pièges à pollen pourraient être installés à des distances croissantes d'arbres en fleur, la vérification de leur contenu permettra donc de confirmer cette hypothèse (Sjögren et al., 2008). Par ailleurs, Cruden (1976) suggère que le ratio entre les nombres de grains de pollen et d'ovules produits, pourrait servir de bon indicateur du mode de dispersion du pollen. En effet, comparativement aux plantes zoogames les plantes hydrogames et anémogames auraient des ratios supérieurs.

Discussion

4.1.2 PRE-INVENTAIRE DE L'ENTOMOFAUNE CIRCULANTE

Les pièges à insecte ont permis d'établir un pré-inventaire de l'entomofaune circulante de la canopée de *M. excelsa* (Annexe 2). L'identification s'est limité majoritairement au rang taxonomique de la famille. Néanmoins si l'identification aurait été poussée jusqu'à l'espèce, l'indices de diversité Shanon-Weaver aurait considérablement augmenté.

Les hyménoptères représentent l'Ordre avec le plus de capture, 54,7% des captures totales. Dans cette Ordre, la famille des *Apidae* représente 90,9% des captures. Les *Apidae* sont connu pour leur rôle de pollinisateur (Southwick et al., 2015). Dans cette famille, 59,3% appartiennent au genre *Apis* et 29,8% appartiennent à la tribu des *Meliponini*. Or ayant conclu que l'Iroko est anémogame, leur présence ne serait pas lié aux fleurs mais plutôt à la présence d'une ruche ou d'autres arbres en fleur à proximité des Irokos équipés, en effet, les pièges de l'Iroko n°14, sont responsables de la capture de 225 *Apidae* (45,9% des captures d'*Apidae*) avec 82,6% appartenant au genre *Apis*, présente en grand nombre dans la canopée en au pied de l'arbre.

La comparaison des différents type de pièges a permis de constater l'efficacité du piége lumineux, qui totalise 60% des captures présentant une grande diversité de morpho-espèces. Ces observations sont similaires avec celles de Segers (2018).

Segers (2018) a capturé une majorité de lépidoptères qui représentent 42,3% de ses captures totales. Les hyménoptères représentent 25,7% des captures. Bien que l'installation des pièges eurent lieux aux mêmes périodes, on remarque des communautés d'insectes capturés différentes entre l'Iroko et les arbres zoogame (Doussié, Moabi et Tali) de l'étude de Segers, (2018). Néanmoins les indices de dominance de Simpson présentent les mêmes tendances pour les lépidoptères et les coléoptères. Tandis que pour les hyménoptères, Segers, (2018) a obtenu : $(1-D)=0,73$ lors de cette étude, $(1-D)=0,17$. Cette différence s'explique par la très forte dominance des *Apidae* (90,9%) capturées lors de cette étude.

Discussion

4.1.3 RASPICAM ET VACUUM-TRAP

Sur les 83 visiteurs floraux observés à l'aide des Raspicams, 45,7% sont des hyménoptères appartenant toutes à la tribu des Meliponini. Les autres insectes furent principalement observés la nuit tel que les Reduviidae (Hémiptères) et les curculionidae (Coléoptères). En comparaison, sur les 88 insectes capturés à l'aide du Vacuum-trap, 90,9% appartiennent à la tribu des Meliponini. Le Vacuum-trap était paramtré pour tourner en journée uniquement.

L'utilisation des Raspicams a permis d'observer précisément, et de façon non-invasive, la communauté de visiteurs floraux de l'Iroko. Combinées à ces observations, la capture d'insectes à l'aide des pièges a permis de déterminer la présence ou l'absence de pollen sur le corps des visiteurs floraux, afin d'étudier la pollinisation de cette essence. Il apparaît ainsi que la communauté d'arthropodes capturées pendant la journée par le Vacuum trap concorde le plus à celle observée sur les vidéos des Raspicam qui filmaient de jour, comme de nuit. En effet, les Meliponini sont les insectes ayant été le plus fréquemment observée sur les fleurs d'Iroko durant la journée et elles correspondent aussi à la quasi-totalité des insectes capturés dans le Vacuum trap. En définitive, le recours à ce type de méthode de récolte active permet un échantillonnage plus sélectif manifestement, plus adapté à l'identification de la communauté de pollinisateurs que les pièges passifs et attractifs qui ont, cependant, l'intérêt d'offrir un rendement élevé.

Discussion

4.2 DISPERSION DES GRAINES

4.2.1 TECHNIQUE D'OBSERVATION

La faune observée durant cette étude diffère de celle observée par Daïnou *et al.* (2012). Ceci s'expliquerait par les différentes méthodes d'observations utilisées. En effet, Daïnou *et al.* (2012) ont pratiqué l'observation directe de jour et de nuit à l'aide de jumelles infra-rouges. Cette technique présente quelques inconvénients. Tout d'abord, c'est une méthode très énergivore (Boyer-Ontl *et al.*, 2014; Gessner *et al.*, 2014) car un ou des observateurs doivent rester sur place pendant toute la durée de l'observation qui est certes plus intense mais s'opère sur des durées souvent plus courtes. Par exemple, Daïnou *et al.* (2012) observent les pieds étudiés à deux reprises pour une durée de 24h. Ensuite, la présence du ou des observateurs peut impacter le comportement de la faune environnante, ce qui risque de biaiser les observations.

Les pièges photographiques quant à eux, une fois installés peuvent être laissés sur place aussi longtemps que l'autonomie des piles ou l'espace de stockage le permet, dans des zones difficiles d'accès (Boyer-Ontl *et al.*, 2014; Gessner *et al.*, 2014). De plus, ils exercent un effet très restreint sur la faune et son activité (Gessner *et al.*, 2014). Finalement, Gessner *et al.* (2013) démontrent que les pièges photographiques sont particulièrement efficaces pour l'observation des espèces rares et nocturnes. Ils sont donc des outils puissants pour établir des inventaires faunistiques et étudier les activités tant nocturnes que diurnes de la faune (Gessner *et al.*, 2014).

Néanmoins, l'observation directe permet d'analyser une zone plus vaste qu'avec des pièges photographiques. Lors de notre étude, les caméras installées en canopée n'ont pas filmé les mêmes espèces que Daïnou *et al.* (2012) et dans les mêmes proportions. En effet, les observations directes permettent une vue plus globale de la canopée et donc des différentes strates qui la composent. Il a été observé au sein de celles-ci une grande variabilité de la répartition spatiale de la faune (Ekman *et al.*, 1984; Voigt, 2010). Dans notre étude, la zone filmée par les caméras se limitait à une branche portant un maximum d'infrutescences se trouvant généralement au centre de la cime. Voigt (2010) constate que les oiseaux et les chauves-souris frugivores n'occupent pas les strates de la canopée de la même façon. Les chauves-souris circulent à travers l'ensemble de la canopée tandis que les oiseaux occupent des zones spécifiques en fonction des espèces.

Dès lors, bien que les pièges photographiques soient des outils très efficaces dans la réalisation d'inventaires, l'établissement de modèles de distribution et des patrons d'activité d'espèces animales nocturnes ou diurnes (Gessner *et al.*, 2014), les observations directes restent un excellent moyen d'analyser le comportement de la faune (Boyer-Ontl *et al.*, 2014; Gessner *et al.*, 2014). La combinaison de ces deux méthodes pourrait donc permettre d'obtenir des informations précises concernant la faune sauvage.

4.2.2 LES POTENTIELS DISPERSEURS DE GRAINES DE *M. EXCELSA*

Les études antérieures sur la dispersion des graines d'Iroko suggèrent que les chauves-souris frugivores seraient les principales espèces impliquées dans la dispersion des graines (Daïnou *et al.*, 2012). Or nous avons relevés, grâce aux pièges photographiques, davantage d'espèces au pied et dans la canopée des arbres en fruits. Nous pouvons en conséquence suggérer qu'il existe un véritable réseau de disperseurs de cette espèce.

a) RONGEURS

Les rongeurs totalisent 46% des observations issues des pièges photographiques, ce qui suggère qu'ils jouent un rôle crucial dans la dynamique de population de *M. excelsa*. Les Muridae et le rat

Discussion

palmiste (*C. emini*) représentent 87% des observations de rongeurs et sont majoritairement observés de nuit tout comme le porc-épic (*Atherurus africanus*). Deux espèces d'écureuils, *F. isabella* et *P. stangeri*, actifs en journée ont également été observés. A l'exception de *P. stangeri* l'ensemble de ces rongeurs ont été observés en train de consommer les fruits de l'Iroko.

Bien que les rongeurs soient connus pour la prédatation des diaspores (Evrard et al., 2017) ils peuvent également jouer un rôle dans leur dispersion, notamment par synzoochorie, lorsqu'ils oublient certaines graines dans leurs caches (Evrard et al., 2017; Algrain, 2019). De plus, il a été démontré que certains rongeurs cachent leurs graines dans des milieux ouverts (Muñoz & Bonal, 2011; Steele et al., 2011 cité par Evrard et al., 2017), qui peuvent se montrer favorables au développement des espèces héliophiles telles que *Milicia excelsa*. Enfin, ce dernier étant doté de petites graines, on peut s'attendre à une dispersion endozoochore par certains rongeurs (Norconk, Grafton, & Conklin-britain, 1998 cité par: Evrard et al., 2017).

b) CHAUVES-SOURIS FRUGIVORES OU PTEROPODIDAE

Dans la famille des *Pteropodidae* sont regroupées les chauves-souris frugivores dont la répartition géographique correspond avec la zone d'étude (Kingdom, 2015). Elles représentent un peu plus de 20% des observations totales, bien que ces dernières n'aient été effectuées qu'en 2019, grâce aux caméras installées en canopée. Les vidéos ont permis l'observation de ces chauves-souris en train de prélever des fruits de *M. excelsa*. La rapidité de déplacement couplé à des vidéos de nuit rend l'identification spécifique difficile. Cependant, l'espèce *Eidolon helvum* Kerr. semble être la plus représentée.

D'après Osmaston (1965) et Daïnou *et al.* (2012), *E. helvum* est le disperseur de *M. excelsa* le plus important. Cette espèce est en outre dotée d'une digestion rapide et est capable de parcourir de longues distances. Certains spécimens de *Pteropodidae* peuvent parcourir jusqu'à 50km quotidiennement à la recherche de nourriture (Shilton et al., 1999). De plus, d'après l'étude effectuée par Daïnou *et al.* (2012), les graines issues des fèces de *E. helvum*, présentent 93,9% de succès de germination contre 46,8% pour les graines recrachées et 45,3% pour celles issues de fruits frais.

c) CEPHALOPHES

Les céphalophes font partie des espèces animales les plus chassées (FAO, 2010). Les espèces suivantes ont été observées : *Philatomba monticola* Thunberg, *Cephalophus silvicultor* Afzelius, *Cephalophus castaneus* arrhenii Lönnberg et *Cephalophus callipygus* Peters. Elles interviennent ensemble pour 13% des observations totales. *C. silvicultor* présente une activité nocturne contrairement à *P. monticola* qui lui est diurne, *C. castaneus* est majoritairement nocturne mais présente également une activité en journée. Leur régime alimentaire se compose jusqu'à 90% de fruits (Houngbegnon *et al.*, 2019), ce qui les prédispose à être de bons disperseurs de graines. Cependant, leur système digestif long et complexe associé à l'efficacité de leur mastication risquent de diminuer la viabilité des graines ingérées (Illius *et al.*, 1992; Newing, 2001). Les graines peuvent être dispersées par les céphalophes de deux manières : évacuées dans les fèces ou recrachées lors de la ruminat qui se produit généralement dans leurs lieux de repos (Gautier-Hion *et al.*, 1985). Seul *C. silvicultor* a été observé en train de consommer des fruits d'Iroko. Les autres espèces de céphalophe observées ont passé beaucoup de temps à fouiller et à se nourrir, sans que l'on puisse identifier correctement la nourriture ingérée. Toutefois, on peut supposer qu'elles aient aussi consommé des fruits. Grâce à leurs tailles réduites, les graines pourraient échapper aux processus de mastication pour ensuite être digérées entières (Houngbegnon *et al.*, 2019) et se retrouver dans les fèces. Les travaux en cours de Houngbegnon (comm. pers.) confirment cette assertion puisqu'il a observé des germinations d'Iroko dans les unités fécales de céphalophes.

Discussion

d) CERCOCEBES AGILES

Dans la concession de Pallisco, les caméras ont filmé des cercocèbes agiles (*Cercocebus agilis* Milne-Edwards) dans la canopée et au sol. Parmi eux, un individu a été observé en train de manger des fruits de *M. excelsa*, au sol. Leur régime alimentaire est majoritairement composé de fruits (Quris, 1975; Kingdom, 2015). D'après la littérature, les espèces de la sous-famille des Cercopithecinae, dont fait partie le cercocèbe agile, sont considérées comme d'importants disperseurs de graines (Kaplin et al., 1998; Albert et al., 2014), certaines espèces fourniraient même d'importants services au sein d'habitats dégradé en Afrique et en Asie (Agmen et al., 2010). On pourrait donc supposer que d'autres espèces de cette sous-famille pourraient aussi être impliquées dans la dispersion.

e) ELEPHANT ET GORILLE

Les caméras installées dans la Réserve de Biosphère du Dja ont filmé des éléphants de forêt (*Loxodonta cyclotis* Matschie) et des gorilles des plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla* Savage), en train de se nourrir d'éléments ramassés au sol. Un éléphant a passé près de 12h d'affilée au pied du même arbre. Cependant, à cause de l'orientation des caméras, nous n'avons pas pu confirmer la consommation de fruits de *M. excelsa* par ces deux espèces.

Le caractère hautement frugivore du régime alimentaire des éléphants de forêt (Theuerkauf et al., 2000; Blake et al., 2009) et du gorille des plaines de l'Ouest (Haurez, 2015), ainsi que leur importante masse corporelle, confèrent à ces deux espèces un rôle important dans la dispersion des graines de nombreuses espèces végétales.

D'après White et Abernethy, (1996), au Gabon, des gorilles ont été observés en train de se nourrir des feuilles et de l'écorce des jeunes rameaux de *M. excelsa* et des fruits pendant la saison sèche en période de disette (White et al., 1996).

On peut donc raisonnablement penser que ces deux espèces sont des disperseurs de *M. excelsa* même si elles ne le consomment que de façon occasionnelle.

f) OISEAUX

Daïnou *et al.* (2012) observent un cortège de six espèces d'oiseaux qui se nourrissent de fruits immatures et/ou matures dans la canopée de *M. excelsa*. A l'opposé, durant notre étude, seul un passereau a été aperçu en train de consommer des fruits d'Iroko au sol et peu d'oiseaux ont été observés en canopée, parmi eux, aucun ne correspond avec ceux observés par Daïnou *et al.* (2012). D'après la littérature, les oiseaux jouent un rôle majeur dans la dispersion des graines de nombreuses espèces végétales (Barnea *et al.*, 1992). Cela suggère que *M. excelsa* jouit d'un cortège varié d'oiseaux, qui sont potentiellement des disperseurs bien que ceux-ci n'aient pas été observés lors de notre étude.

Francolinus lathami (Hartlaub) est la troisième espèce la plus observée. Peu de documentation existe sur ce dernier. Cependant, les recherches sur le genre *Francolinus* affirment que leur régime alimentaire se compose principalement d'arthropodes (Gautier-Hion *et al.*, 1985). Ils peuvent également se nourrir de graines ce qui en fait un disperseur potentiel. Néanmoins, leur présence sur les vidéos pourrait s'expliquer par une abondance d'arthropodes se nourrissant des infrutescences tombées au sol.

Discussion

4.2.3 RESEAU DE DISPERSEURS

Les différentes approches mises en œuvre pour étudier la dispersion des graines de *M. excelsa* semblent toutes indiquer que l'espèce jouit d'un réseau de disperseurs complexe, dans lequel de nombreuses espèces animales seraient impliquées. De plus, d'après la littérature : « Les disperseurs de ces semences ont été partiellement étudiés en Afrique de l'Ouest (Okon, 1975; Taylor et al., 1999) et en Ouganda (Osmaston, 1965). Ces trois études ont montré le rôle principal joué par la chauve-souris *Eidolon helvum Kerr 1792*, tandis que Aubréville (1959) et Nyong'o et al. (1994) désignaient plutôt des oiseaux comme principaux disperseurs de l'Iroko en Afrique de l'Ouest. White et al. (1996) suggèrent que les primates et les oiseaux sont les principaux disperseurs au Gabon, tandis que Tondeur (1939) signalait l'implication d'antilopes et rongeurs dans cette fonction en R.D. du Congo. » cité par Daïnou (2011).

Des études plus approfondies pourraient permettre de comparer l'efficacité de ces disperseurs, en analysant la quantité de graines dispersées ainsi que la viabilité des graines et des plantules après leur transport. Il serait également fondamental de s'intéresser aux sites de dépôt. En effet, *M. excelsa* étant une espèce héliophile, ce sont les espèces animales qui fréquentent les milieux ouverts qui pourraient être les disperseurs les plus efficaces (Babweteera et al., 2010).

4.2.4 COMPARAISON ENTRE MILIEU EXPLOITE ET PROTEGE

L'étude comparative de la diversité de la Réserve de Biosphère du Dja (RBD) et de celle de Pallisco a permis de mettre en évidence la différence significative de communauté animale fréquentant les pieds des Irokos. En effet, du point de vue de la richesse spécifique, 15 espèces ont été observées dans la RBD contre 8 espèces à Pallisco. L'utilisation combinée des indices de diversité de Shannon et de Simpson ($H'=2,177$ et $1-D=0,8457$) et Pallisco ($H'=1,706$ et $1-D=0,7824$) semblent confirmer que la biodiversité est deux fois plus importante dans la forêt protégée du Dja que dans la forêt exploitée de Pallisco. Bien que les deux sites n'ont pas bénéficié du même nombre de caméras installées par jours, ces observations sont similaires aux résultats obtenu par Fonteyn (2017) sur les deux zones, ce qui semblent confirmer nos observations.

Cette différence de biodiversité, pourrait s'expliquer par un braconnage plus important au sein des concessions forestières et/ou par des types forestiers différents. En effet, l'exploitation forestière engendre la construction de routes facilitant l'accès aux braconniers à des zones reculées (Kleinschroth et al., 2019). D'après Haurez (2015), les frugivores font partie du groupe taxonomique le plus impacté par la chasse (Wright et al., 2007). Parmi eux, les premières victimes de la chasse, de la perte et de la dégradation des habitats sont les animaux de grandes tailles tels que l'éléphant et le gorille. En outre, les services de dispersion rendus par de ces derniers sont difficilement remplaçables car ce sont les seuls à pouvoir ingérer des graines de grande taille et de les transporter sur de longues distances (Kurten, 2013). Toujours d'après Haurez (2015), les espèces végétales zoochores produisant de petites graines sont moins impactées par la pression de la chasse car elles bénéficiaient d'un réseau de disperseur plus diversifié (Beckman et al., 2016). Il est donc possible que les rongeurs, oiseaux et chauves-souris compensent efficacement la moindre abondance de grands mammifères dans le cas de la dispersion de *M. excelsa*.

La concession étudiée étant certifiée FSC, elle met activement en œuvre un plan de gestion de la faune visant à limiter le braconnage (Maréchal et al., 2012). Il est donc possible que des facteurs écologiques puissent aussi expliquer la différence en termes de communautés animales. Sonké (1998) considère la forêt du Dja comme une forêt essentiellement sempervirente alors que la forêt de Pallisco est une forêt semi-décidue (Fayolle et al., 2016). Les espèces végétales caractéristiques de ces deux types sont différentes et leur assemblage pourrait influencer la communauté animale

Conclusion

5 CONCLUSION

Selon Hardy et al. (2019) les distances de dispersion du pollen entre les arbres des forêts tropicales sont de l'Ordre de 0,5 à 14 km. Selon Dick et al. (2008) la dispersion de pollen par les insectes dépasse rarement 300m dans les canopées des forêts denses tropicales alors que, d'après Chase et al. (1996) et Jump et Penuelas (2005), les espèces anémogames seraient capables de disperser leur pollen sur de grandes distances. En conséquence, elle seraient moins sensible à la fragmentation de leur habitat (Jump et al., 2008). Cependant, dans les forêts tropicales, la faible densité des populations de certaines espèces d'arbres , et les conditions météorologiques, tel que le haut taux d'humidité et les fortes pluies, diminuent l'efficacité de la pollinisation par le vent (Dick et al., 2008).

Selon Born et al. (2008), il est primordiale de prendre en compte le caractère dioïque dans le calcul du ratio des individus matures. En effet, chez les plantes dioïques, seuls les pieds mâle dispersent le pollen et seul les pieds femelles dispersent les graines, un déséquilibre du ratio des individus mâles et femelles aura un impact négatif sur la dynamique des flux de gènes (Bawa et al., 1977; Dick et al., 2008).

Au cours de cette étude, nous avons suggéré que *M. excelsa* serait anémogame. Les flux de pollen seraient donc moins impacté par l'exploitation forestière que chez les espèces zoogames potentiellement plus sensibles à l'espacement des arbres en fleurs (Chase et al., 1996; Jump et al., 2008). De plus *M. excelsa* produit des fruits charnus comprenant un grand nombre de petites graines, et l'analyse de ses disperseurs suggère que *M. excelsa* bénéficierait d'un réseau varié de disperseurs (Bizoux et al., 2009). Parmi ceux-ci, les chauves-souris frugivores et les rongeurs seraient les principaux disperseurs nocturnes (Osmaston, 1965; Daïnou et al., 2012). Les chauves-souris permettent une dispersion des graines sur de longues distances (Bizoux et al., 2009) et à l'instar des rongeurs seraient peu impactées par l'exploitation forestière car peu chassées (Kamins et al., 2011). D'autres espèces animales diurnes, comme le gorille, les petits primates, l'éléphant ou les oiseaux pourraient aussi disperser les graines de manière très efficace.

Tant l'anémogamie que la zoochorie expliquerait que la dispersion des gènes de *M. excelsa* se fait sur de longues distances, allant de 1 à 7,1 km et pouvant atteindre 40km dans des habitats plus ouverts que ceux des forêts tropicales (Bizoux et al., 2009). Avec de tels distances de flux de gènes, on peut supposer que *M. excelsa* ne serait pas trop affecté par l'exploitation sélective. Néanmoins, étant une espèce dioïque dont les populations sont présentes parfois à de faible densité, une coupe sélective mal orientée ne visant majoritairement que des individus mâle ou femelle pourrait entraîner un déclin de la population. Il est toutefois peu probable que cela se produise.

On veillera à préserver des individus matures et de bonne qualité, des deux sexes à des distances n'excédant pas 7,1 km, au sein des exploitations forestières. Dans le cas de la concession étudiée, la densité de pieds dépassant le diamètre de fructification régulière (55 cm) est estimé à 14.319 pieds pour 3380 km², soit plus de 4 pieds par km² (Philippart et al., 2012). Compte tenu d'un diamètre minimal d'exploitation fixé à 100 cm, la réduction du nombre de semenciers suite au passage de l'exploitation a été estimée par Philippart et Doucet (2012) à 23 %. Dans ce contexte et compte tenu de nos observations, nous pouvons supposer que l'exploitation forestière telle que pratiquée par Pallisco n'a que peu d'impact sur les flux de gènes de la population d'Iroko.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Abrahamson W.G., 1989. Plant-animal interactions: an overview.
- Abrol D.P., 2012. *Pollination Biology*. Springer ed., 37–53.
- Agmen F.L., Chapman H.M. & Bawuro M., 2010. Seed dispersal by tantalus monkeys (*Chlorocebus tantalus tantalus*) in a Nigerian montane forest. *Afr. J. Ecol.* **48**(4), 1123–1128.
- Albert A., McConkey K., Savini T. & Huynen M.C., 2014. The value of disturbance-tolerant cercopithecine monkeys as seed dispersers in degraded habitats. *Biol. Conserv.* **170**, 300–310.
- Algrain M., 2019. Étude de la dispersion et de la prédation des graines par les rongeurs des genres *Cricetomys* et *Funisciurus* en forêt dense humide camerounaise.
- Anderson M.T., 2012. Plant-animal interactions. In: The Berkshire encyclopedia of sustainability: ecosystem management and sustainability. *Berksh. Publ. Gr.* 298–301.
- ATIBT, 2016. [Association Technique Internationale des Bois Tropicaux]. Rapport d'activité 2016 60.
- Aubréville A., 1959. La flore forestière de la Côte d'Ivoire. Tome 1. 2e éd. *Nogent-sur-Marne, Fr. Cent. Tech. For. Trop.*
- Aubréville A., 2014. Sur la présence de deux espèces de Chlorophora (Iroko) en Afrique Occidentale Française. *Rev. Bot. appliquée d'agriculture Colon.* **14**(152), 245–250.
- Babweteera F. & Brown N., 2010. Spatial patterns of tree recruitment in East African tropical forests that have lost their vertebrate seed dispersers. *J. Trop. Ecol.* **26**(2), 193–203.
- Barnea A., Yom-Tom Y. & Friedman J., 1992. Effect of frugivorous birds on seed dispersal and germination of multi-seeded fruits. *Acta oecologica* (13), 209–219.
- Bawa K.S. & Opler P.A., 1977. Spatial Relationships Between Staminate and Pistillate Plants of Dioecious Tropical Forest Trees. *Soc. Study Evol.* **31**(1), 64–68.
- Beckman N.G. & Muller-landau H.C., 2016. Differential Effects of Hunting on Pre-Dispersal Seed Predation and Primary and Secondary Seed Removal of Two Neotropical Tree Species Published by : Association for Tropical Biology and Conservation Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/30044945> REFER. Wiley Online Libr. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1744-7429.2007.00273.x>. **39**(3), 328–339.
- Berens P., 2009. Journal of statistical software A MATLAB toolbox for Circular Statistics. *Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat.* **1**(1), 128–129.
- Bertin R.I. & Newman M., 1993. Dichogamy in angiosperms. *Bot. Rev.* **59**(2), 112–152.
- Bizoux J.P., Daïnou K., Bourland N., Hardy O.J., Heuertz M., Mahy G. & Doucet J.L., 2009. Spatial genetic structure in *Milicia excelsa* (Moraceae) indicates extensive gene dispersal in a low-density wind-pollinated tropical tree. *Mol. Ecol.* **18**(21), 4398–4408.
- Blake S., Deem S.L., Mossimbo E., Maisels F. & Walsh P., 2009. Forest elephants: Tree planters of the congo. *Biotropica* **41**(4), 459–468.
- Born C., Hardy O.J., Chevallier M.H., Ossari S., Attéké C., Wickings E.J. & Hossaert-McKey M., 2008. Small-scale spatial genetic structure in the Central African rainforest tree species *Aucoumea klaineana*: A stepwise approach to infer the impact of limited gene dispersal, population history and habitat fragmentation. *Mol. Ecol.* **17**(8), 2041–2050.
- Boyer-Ontl K.M. & Pruetz J.D., 2014. Giving the Forest Eyes: The Benefits of Using Camera Traps to Study Unhabituated Chimpanzees (*Pan troglodytes verus*) in Southeastern Senegal. *Int. J. Primatol.* **35**(5), 881–894.
- Brantjes N.B.M., 1981. Nectar and the Pollination of Bread Fruit, *Artocarpus Altilis* (Moraceae). *Acta Bot. Neerl.* **30**(5–6), 345–352.
- Brehm G., 2017. A new LED lamp for the collection of nocturnal Lepidoptera and a spectral comparison of light-trapping lamps. *Nota Lepidopterol.* **40**(1), 87–108.
- Bruce T., Wacher T., Ndinga H., Bidjoka V., Meyong F., Ngo Bata M. & Olson D., 2017. Camera-trap survey for larger terrestrial wildlife in the Dja Biosphere Reserve, Cameroon. *Zool. Soc. London Cameroon Minist. For. Wildl.* (June).

bibliographie

- Cadman M. & Gonzalez-talavan A., 2012. Publishing Camera Trap Data Abest Practice Guide. *Popul. Ecol.* **54**(1), 43–54.
- Charlesworth D. & Charlesworth B., 1987. Inbreeding Depression and its Evolutionary Consequences. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **18**(1), 237–268.
- Chase M.R., Moller C., Kessell R. & Bawa K.S., 1996. Distant gene flow in tropical trees. *Nature* **383**(6599), 398–399.
- Clark C.J., Poulsen J.R. & Parker V.T., 2006. The Role of Arboreal Seed Dispersal Groups on the Seed Rain of a Lowland Tropical Forest1. *Biotropica* **33**(4), 606.
- Corlett R.T., 1998. Frugivory and seed dispersal by vertebrates in the Oriental (Indomalayan) Region. *Biol. Rev.* (73), 413–448.
- Daïnou K., Bauduin A., Bourland N., Gillet J.F., Fétéké F. & Doucet J.L., 2011. Soil seed bank characteristics in cameroonian rainforests and implications for post-logging forest recovery. *Ecol. Eng.* **37**(10), 1499–1506.
- Daïnou K., Doucet J.-L., Sinsin B. & Mahy G., 2011. Identité et écologie des espèces forestières commerciales d'Afrique centrale: Le cas de Milicia spp. (Synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **16**(2), 229–241.
- Daïnou K., Dubart N., Bracke C. & Doucet J.-L., 2017. Evaluation de la présence de hautes vleurs de conservation (HVC) dans les concessions gérées par la société Pallisco, Cameroun Partie 1 – Identification, menaces potentielles et mesures de gestion des HVC. Partie 1 – Identification, menaces potentielles **1**(0), 43.
- Daïnou K., Laurenty E., Mahy G., Hardy O.J., Brostaux Y., Tagg N. & Doucet J.L., 2012. Phenological patterns in a natural population of a tropical timber tree species, Milicia excelsa (Moraceae): Evidence of isolation by time and its interaction with feeding strategies of dispersers. *Am. J. Bot.* **99**(9), 1453–1463.
- Davies S.J. & Ashton P.S., 1999. Phenology and fecundity in 11 sympatric pioneer species of Macaranga (Euphorbiaceae) in Borneo. *Am. J. Bot.* **86**(12), 1786–1795.
- de Wasseige C., Tadoum M., Eba'a Atyi R. & Doumenge C., 2015. *Les forêts du Bassin du Congo - Forêts et changements climatiques*, 128.
- Delvare G. & Aberlenc H.-P., 1989. Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles.
- Delvingt W. & Lescuyer G., 2001. Certification et gestion forestière : Enjeux et perspectives pour les forêts du Bassin du Congo.
- Dick C.W., Hardy O.J., Jones F.A. & Petit R.J., 2008. Spatial Scales of Pollen and Seed-Mediated Gene Flow in Tropical Rain Forest Trees. *Trop. Plant Biol.* **1**(1), 20–33.
- Djuiukou M.N.K., Doucet J.L., Nguembou C.K., Lewis S.L. & Sonké B., 2010. Diversity and aboveground biomass in three tropical forest types in the Dja Biosphere Reserve, Cameroon. *Afr. J. Ecol.* **48**(4), 1053–1063.
- Doucet J.-L. & Kouadio Y.L., 2007. Le moabi, une espèce «phare» de l'exploitation forestière en Afrique centrale. *Parcs et Réserves* **62**(2), 25–31.
- Duveiller G., Defourny P., Desclée B. & Mayaux P., 2008. Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. *Remote Sens. Environ.* **112**(5), 1969–1981.
- Ekman J.B. & Askenmo C.E.H., 1984. Social rank and habitat use in willow tit groups. *Anim. Behav.* **32**(2), 508–514.
- Evenari M., 1949. Germination inhibitors. *Bot. Rev.* **15**(3), 153–194.
- Evrard Q., Haurez B. & Doucet J.L., 2017. Le rôle des rongeurs dans la dispersion des diaspores en milieu forestier (Synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **21**(1), 66–79.
- Fabre Anguilet E.C., Nguyen B.K., Ndong T.B., Haubrige E. & Francis F., 2015. Meliponini and Apini in Africa (Apidae: Apinae): a review on the challenges and takes bound to their diversity and their distribution. *Biotechnol. Agron. Soc. Env.* **19**(4), 382–391.
- FAO, 2010. Prise en compte de la biodiversité dans les concessions forestières d'Afrique centrale 114.

bibliographie

- Fayolle A., Loubota Panzou G.J., Drouet T., Swaine M.D., Bauwens S., Vleminckx J., Biwole A., Lejeune P. & Doucet J.L., 2016. Taller trees, denser stands and greater biomass in semi-deciduous than in evergreen lowland central African forests. *For. Ecol. Manage.* **374**, 42–50.
- Fonteyn D., 2017. Impacts comparés de trois régimes fonciers sur la biodiversité et la biomasse forestière au sud-est du Cameroun 109.
- Forest N., Wright S.J., Zeballos H., Domínguez I., Gallardo M.M., Moreno M.C., Wright S.J., Zeballos H., Dominguez I., Gallardo M.M., Moreno M.C. & Roberto I.B.A.N.E.Z., 2000. Poachers Alter Mammal Abundance, Seed Dispersal, and Seed Predation in a Neotropical Forest. *Conserv. Biol.* **14**(1), 227–239.
- Forni E., 1997. Types de forêts dans l'Est du Cameroun et étude de la structure diamétrique des quelques essences 64.
- Garber P.A. & Lambert J.E., 1998. Primates as seed dispersers: Ecological processes and directions for future research. *Am. J. Primatol.* **45**(1), 3–8.
- Gautier-Hion A., Duplantier J.M., Qiris R., Feer F., Sourd C., Decoux J.P., Dubost G., Emmons L., Erard C., Hecketswiler P., Moungazi A., Roussilhon C. & Thiollay J.M., 1985. Fruit characters as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropical forest vertebrate community. *Oecologia* **65**(3), 324–337.
- Gessner J., Buchwald R. & Wittemyer G., 2014. Assessing species occurrence and species-specific use patterns of bais (forest clearings) in Central Africa with camera traps. *Afr. J. Ecol.* **52**(1), 59–68.
- Gómez J.M., Schupp E.W. & Jordano P., 2019. Synzoochory: the ecological and evolutionary relevance of a dual interaction. *Biol. Rev.* **94**(3), 874–902.
- Gosling W.D., Miller C.S. & Livingstone D.A., 2013. Atlas of the tropical West African pollen flora. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **199**, 1–135.
- Hardy O.J., Delaide B., Hainaut H., Gillet J.F., Gillet P., Kaymak E., Vankerckhove N., Duminil J. & Doucet J.L., 2019. Seed and pollen dispersal distances in two African legume timber trees and their reproductive potential under selective logging. *Mol. Ecol.*
- Hardy O.J., Maggia L., Bandou E., Breyne P., Caron H., Chevallier M.H., Doligez A., Dutech C., Kremer A., Latouche-Hallé C., Troispoux V., Veron V. & Degen B., 2006. Fine-scale genetic structure and gene dispersal inferences in 10 Neotropical tree species. *Mol. Ecol.* **15**(2), 559–571.
- Haurez B., 2015. Rôle du Gorille des plaines de l'Ouest (*Gorilla gorilla gorilla*) dans la régénération des forêts denses humides et interaction avec l'exploitation sélective de bois d'œuvre 132.
- Hodgkison R., Balding S.T., Zubaid A. & Kunz T.H., 2006. Fruit Bats (Chiroptera: Pteropodidae) as Seed Dispersers and Pollinators in a Lowland Malaysian Rain Forest1. *Biotropica* **35**(4), 491.
- Houle A., Chapman C.A. & Vickery W.L., 2004. Tree Climbing Strategies for Primate Ecological Studies. *Int. J. Primatol.* **25**(1), 237–260.
- Houngbegnon F., Sonké B., Vermeulen C. & Doucet J.-L., 2019. État des connaissances sur les céphalophes (genres *Cephalophus* et *Philantomba*) des forêts denses humides d'Afrique centrale (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Société Environ.* **23**(2), 104–124.
- Hyatt L.A., Rosenberg M.S., Howard T.G., Bole G., Fang W., Anastasia J., Brown K., Grella R., Hinman K., Kurdziel J.P. & Gurevitch J., 2007. The distance dependence prediction of the Janzen-Connell hypothesis : a meta-analysis Edited by Foxit Reader **3**(April 2003), 590–602.
- Illius A.W. & Gordon I.J., 1992. Modelling the nutritional ecology of ungulate herbivores: evolution of body size and competitive interactions. *Oecologia* **89**(3), 428–434.
- Infusino M., Brehm G., Di Marco C. & Scalercio S., 2017. Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera). *Eur. J. Entomol.* **114**(1), 25–33.
- Janzen D.H., Demment M.W. & Robertson J.B., 1985. How Fast and Why Do Germinating

bibliographie

- Guanacaste Seeds (*Enterolobium cyclocarpum*) Die Inside Cows and Horses? *Biotropica* **17**(4), 322.
- Jordano P., Bascompte J. & Olesen J.M., 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. *Ecol. Lett.* **6**(1), 69–81.
- Jump A.S. & Penuelas J., 2008. Genetic effects of chronic habitat fragmentation in a wind-pollinated tree. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **103**(21), 8096–8100.
- Kamins A.O., Restif O., Ntiamoa-Baidu Y., Suu-Ire R., Hayman D.T.S., Cunningham A.A., Wood J.L.N. & Rowcliffe J.M., 2011. Uncovering the fruit bat bushmeat commodity chain and the true extent of fruit bat hunting in Ghana, West Africa. *Biol. Conserv.* **144**(12), 3000–3008.
- Kanowski J., Catterall C.P., Dennis A. & Westcott D., 2004. Animal-Plant Interactions in Rainforest Conservation and Restoration. *Anim. Interact. Rainfor. Conserv. Restor.* (November), 1–57.
- Kaplin B.A. & Moermond T.C., 1998. Variation in seed handling by two species of forest monkeys in Rwanda. *Am. J. Primatol.* **45**(1), 83–101.
- Karsenty A. & Ferron C., 2018. Recent evolutions of forest concessions status and dynamics in Central Africa. *Int. For. Rev.* **19**(4), 10–26.
- Karsenty A. & Gourlet-Fleury S., 2006. Assessing sustainability of logging practices in the Congo Basin's managed forests: The issue of commercial species recovery. *Ecol. Soc.* **11**(1).
- Kingdom J., 2015. *The Kingdom field guide of African Mammals*, 640.
- KIRK W.D.J., 1984. Ecologically selective coloured traps. *Ecol. Entomol.* **9**(1), 35–41.
- Kleinschroth F., Laporte N., Laurance W.F., Goetz S.J. & Ghazoul J., 2019. Road expansion and persistence in forests of the Congo Basin. *Nat. Sustain.* in Press.
- Kouadio Y.L. & Doucet J.-L., 2013. Etude du comportement de Baillonella toxisperma Pierre (moabi) dans les trouées d'abattage enrichies **13**(2009), 317–324.
- Kremer A., Ronce O., Robledo-Arnuncio J.J., Guillaume F., Bohrer G., Nathan R., Bridle J.R., Gomulkiewicz R., Klein E.K., Ritland K., Kuparinen A., Gerber S. & Schueler S., 2012. Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecol. Lett.* **15**(4), 378–392.
- Krogmann L. & Holstein J., 2010. Preserving and Specimen Handling: Insects and other Invertebrates. *Man. F. Rec. Tech. Protoc. All Taxa Biodivers. Invent.* (January 2010), 463–481.
- Kurten E.L., 2013. Cascading effects of contemporaneous defaunation on tropical forest communities. *Biol. Conserv.* **163**, 22–32.
- Laporte N.T., Stabach J.A., Grosch R., Lin T.S. & Goetz S.J., 2007. Expansion of industrial logging in Central Africa. *Science (80-.).* **316**(5830), 1451.
- Leong J.M. & Thorp R.W., 1999. Colour-coded sampling: The pan trap colour preferences of oligoleptic and nonoligoleptic bees associated with a vernal pool plant. *Ecol. Entomol.* **24**(3), 329–335.
- Lewinsohn T.M., Inácio Prado P., Jordano P., Bascompte J. & Olesen J.M., 2006. Structure in plant-animal interaction assemblages. *Oikos* **113**(1), 174–184.
- Lewis S.L., Lopez-Gonzalez G., Sonké B., Affum-Baffoe K., Baker T.R., Ojo L.O., Phillips O.L., Reitsma J.M., White L., Comiskey J.A., Djuikouo K M.N., Ewango C.E.N., Feldpausch T.R., Hamilton A.C., Gloor M., Hart T., Hladik A., Lloyd J., Lovett J.C., Makana J.R., Malhi Y., Mbago F.M., Ndangalasi H.J., Peacock J., Peh K.S.H., Sheil D., Sunderland T., Swaine M.D., Taplin J., Taylor D., Thomas S.C., Votere R. & Wöll H., 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* **457**(7232), 1003–1006.
- Lowe A.J., Boshier D., Ward M., Bacles C.F.E. & Navarro C., 2005. Genetic resource impacts of habitat loss and degradation; reconciling empirical evidence and predicted theory for neotropical trees. *Heredity (Edinb).* **95**(4), 255–273.
- Lucci Freitas A.V., Pereira Santos J., Oliveira Carreira J.Y., Batista Rosa A.H., Agra Iserhard C., Bandini Ribeiro D., Alves Melo D.H., Marini-Filho O.J., Mattos Accacio G. & Uehara-

bibliographie

- Prado M., 2014. Studies with butterfly bait traps: An overview. *Rev. Colomb. Entomol.* **40**(2), 203–212.
- Malhi Y., Gardner T.A., Goldsmith G.R., Silman M.R. & Zelazowski P., 2014. Tropical Forests in the Anthropocene. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **39**(1), 125–159.
- Maréchal C., Nasi R. & Bastin D., 2012. Gestion de la faune dans les concessions forestières d'Afrique centrale : vers une approche pragmatique des recensements **311**(1), 75–84.
- Matton D.P., Nass N., Clarice A.E. & Newbiggin E., 1997. Review Self-incompatibility : How plants avoid illegitimate offspring. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **91**(March 1994), 1992–1997.
- Meunier Q., Doucet J.-L. & Moumbogou C., 2015. *Arbres Utiles du Gabon*, 172.
- Muñoz A. & Bonal R., 2011. Linking seed dispersal to cache protection strategies. *J. Ecol.* **99**(4), 1016–1025.
- Newing H., 2001. Bushmeat hunting and management: Implications of duiker ecology and interspecific competition. *Biodivers. Conserv.* **10**(1), 99–118.
- Norconk M., Grafton B. & Conklin-britain N., 1998. Seed Dispersal by Neotropical Seed Predators. *Am. J. Primatol.* **126**(January 1997), 103–126.
- Nyong'o R.N., Cobbinah J.R. & Appiah-Kwarteng J., 1994a. Flowering and fruiting patterns in Milicia excelsa and Milicia regia welw. *Ghana J. For. vol.1* 418–419.
- Nyong'o R.N., Cobbinah J.R. & Appiah-Kwarteng J., 1994b. Flowering and fruiting patterns in Milicia excelsa and Milicia regia Welw. *Ghana J. For.* **1**, 19–29.
- OFAC, 2013. *The Forest of the Congo Bassin - State of the Forest 2013*, The Forests of the Congo Basin - State of the Forest 2013, 328.
- Ofori D.A. & Cobbinah J.R., 2007. Integrated approach for conservation and management of genetic resources of Milicia species in West Africa. *For. Ecol. Manage.*
- Okon E.E., 1975. Fruit bats at Ife: their roosting and food preferences. *Niger. Field* **39**, 33–40.
- Osmaston H.A., 1965. Pollen and seed dispersal in chlorophora excelsa and other Moraceae and in Parkia filicoidae (Mimosaceae) with special reference to the role of the fruit bat, Eidolon helvum. *Commonw. For. Rev.* **44**(2), 96–104.
- Parolin P., Wittmann F. & Ferreira L. V., 2013. Fruit and seed dispersal in Amazonian floodplain trees - A review. *Ecotropica* **19**(1–2), 15–32.
- Philippart J. & Doucet J.-L., 2012. Evaluation de l'état des populations des essences exploitées par la société Pallisco et des décisions prises en matière d'aménagement.
- Pimm S.L. & Raven P., 2000. Extinction by numbers. *Nature* **403**(6772), 843–845.
- Potts S.G., Biesmeijer J.C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O. & Kunin W.E., 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* **25**(6), 345–353.
- Punt W., Hoen P.P., Blackmore S., Nilsson S. & Le Thomas A., 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **143**(1–2), 1–81.
- Quris R., 1975. Ecologie et organisation sociale de Cercocetus galeritus agilis dans le nord-est du Gabon. *Terre Vie* **29**, 337–398.
- Rodríguez-Rodríguez M.C., Jordano P. & Valido A., 2017. Functional consequences of plant-animal interactions along the mutualism-antagonism gradient. *Ecology* **98**(5), 1266–1276.
- Roulston T.H., Smith S.A. & Brewster A.L., 2007. A Comparison of Pan Trap and Intensive Net Sampling Techniques for Documenting a Bee (Hymenoptera: Apiformes) Fauna. *J. Kansas Entomol. Soc.* **80**(2), 179–181.
- Ruxton G.D. & Martin Schaefer H., 2012. The conservation physiology of seed dispersal. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **367**(1596), 1708–1718.
- Scheibe K.M., Eichhorn K., Wiesmayr M., Schonert B. & Krone O., 2008. Long-term automatic video recording as a tool for analysing the time patterns of utilisation of predefined locations by wild animals. *Eur. J. Wildl. Res.* **54**(1), 53–59.
- Segers A., 2018. Détermination des visiteurs floraux de trois essences ligneuses à haute valeur commerciale: Baillonella Toxisperma Pierre, Afzelia Bipindensis Harms et.
- Shanahan M., So S. & Compton S.G., 2001. Fig-eating by vertebrate frugivores : a global review. *Biol. Rev.* (76), 529–572.
- Shilton L.A., Altringham J.D., Compton S.G. & Whittaker R.J., 1999. Old World fruit bats can

bibliographie

- be long-distance seed dispersers through extended retention of viable seeds in the gut. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **266**(1416), 219–223.
- Shivanna K.R. & Tandon R., 2014. Reproductive Ecology of Flowering Plants: A Manual. 1–304.
- Shuey J.A., 1997. An optimized portable bait trap for quantitative sampling of butterflies. *Trop. Lepid.* **8**(2), 1–4.
- Sjögren P., van der Knaap W.O., Huusko A. & van Leeuwen J.F.N., 2008. Pollen productivity, dispersal, and correction factors for major tree taxa in the Swiss Alps based on pollen-trap results. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **152**(3–4), 200–210.
- Slatkin M., 1985. Gene Flow in Natural Populations. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **16**(1), 393–430.
- Sonké B., 1998. Etudes floristiques et structurales des forêts de la Réserve de Faune du Dja (Cameroun). *Lab. Bot. Systématique Phytosociologie, Univ. Libr. Bruxelles (ULB)*.
- Southwick E.E. & Southwick L., 2015. Estimating the Economic Value of Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) as Agricultural Pollinators in the United States. *J. Econ. Entomol.* **85**(3), 621–633.
- Steele M.A., Bugdal M., Yuan A., Bartlow A., Buzalewski J., Lichti N. & Swihart R., 2011. Cache placement, pilfering, and a recovery advantage in a seed-dispersing rodent: Could predation of scatter hoarders contribute to seedling establishment? *Acta Oecologica* **37**(6), 554–560.
- Steiner A. & Häuser C.L., 2010. Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories; Chapter 16 Recording insects by light-traps. *Techniques* **8**, 400–422.
- Tadjuidje M.H., 2009. La certifications forestière dans le basin du Congo. *Congrès For. Mond.* 18–23.
- Taylor D.A.R., Kankam B.O. & Wagner M.R., 1999. The role of the fruit bat Eidolon helvum in seed dispersal, survival, and germination in Milicia excelsa, a threatened West African hardwood. *Flagstaff, AZ, USA North. Arizona Univ.*
- Theuerkauf J., Waitkuwait W.E., Guiro Y., Ellenberg H. & Porembski S., 2000. Diet of forest elephants and their role in seed dispersal in the Bossematié forest reserve, ivory coast. *Mammalia* **64**(4), 447–460.
- Thiry V., Bhasin O., Stark D.J., Beudels-Jamar R.C., Vercauteren Drubbel R., Nathan S.K.S.S., Goossens B. & Vercauteren M., 2019. Seed dispersal by proboscis monkeys: the case of Nauclea spp. *Primates* (0123456789).
- Thomas D.B., 2008. A Safe and Effective Propylene Glycol Based Capture Liquid for Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Traps Baited with Synthetic Lures. *Florida Entomol.* **4040**(September 2009).
- Tondeur G., 1939. Monographie forestière du Chlorophora excelsa Benth. et Hook. *Bull. Agric. Congo Belge* **30**(2), 163–198.
- Touroult J., 2019. Inventaire entomologique des ZNIEFF de Martinique Bilan 2011-2018 (April).
- Traveset A., Robertson A.W. & Rodriguez-pérez J., 2007. *Seed Dispersal Theory and its Application in a Changing World. chapter 4*, Design, 702.
- Trolliet F., Huynen M., Vermeulen C. & Hambuckers A., 2014. Use of camera traps for wildlife studies. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **18**(3), 446–454.
- Vamosi J.C., Otto S.P. & Barrett S.C.H., 2003. Phylogenetic analysis of the ecological correlates of dioecy in angiosperms. *J. Evol. Biol.* **16**(5), 1006–1018.
- Voigt C.C., 2010. Insights into strata use of forest animals using the “Canopy Effect.” *Biotropica* **42**(6), 634–637.
- White F., 1983. *The vegetation of Africa*, 352.
- White L. & Abernethy K., 1996. Guide de la Végétation de la Réserve de la Lopé 1–224.
- White M.G., 2016. A comparaison of Chlorophora excelsa (Welw.) Benth. and Hook (F.) and C. regia a .Chev., (Fam. Moraceae). *Commonw. For. Rev.* **45**(2), 150–155.
- Whittaker R.J. & Jones S.H., 1994. The Role of Frugivorous Bats and Birds in the Rebuilding of a Tropical Forest Ecosystem, Krakatau, Indonesia. *J. Biogeogr.* **21**(3), 245.

bibliographie

- Willson M. & Traveset A., 2000. The ecology of seed dispersal. *Seeds Ecol. Regen. plant communities* **13**, 85–110.
- Wright S.J., Stoner K.E., Beckman N., Corlett R.T., Dirzo R., Muller-Landau H.C., Nuñez-Iturri G., Peres C.A. & Wang B.C., 2007. The plight of large animals in tropical forests. *Biotropica* **39**(3), 289–291.
- Yasuda M., 2007. Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: a case study on Mount Tsukuba, central Japan. *Mammal Study* **29**(1), 37–46.

7 ANNEXES

Annexe 1 : Critères FSC

CRITERES ISSUES DES NORMES FSC POUR LA CERTIFICATION DES FORETS DU BASSIN DU CONGO

CRITERE 5.6

Le taux de prélèvement des produits forestiers ne peut dépasser les niveaux permettant d'assurer la pérennité des ressources.

CRITERE 6.2

Des mesures doivent être prises pour garantir la protection d'espèces rares, menacées et en voie de disparition et leurs habitats (par exemple, les zones de nidification et d'alimentation). Des zones de conservation et des aires de protection doivent être établies en fonction de l'échelle et de l'intensité de la gestion forestière et de la rareté des ressources concernées. La chasse, la pêche, la capture et la collecte inappropriées doivent être contrôlées

CRITERE 6.1

Une évaluation des impacts environnementaux doit être réalisée -- en fonction de l'échelle et de l'intensité des opérations d'aménagement forestier et en fonction de la rareté des ressources concernées

CRITERE 6.3

Les fonctions et les valeurs écologiques doivent être maintenues en l'état, améliorées ou restaurées, notamment:

- a) la régénération et la succession de la forêt;
- b) la diversité génétique, la diversité des espèces et des écosystèmes;
- c) les cycles naturels qui affectent la productivité de l'écosystème forestier.

CRITERE 6.8

L'utilisation d'agents de lutte biologiques doit être documentée, minimisée, suivie et strictement contrôlée, conformément aux lois nationales et aux protocoles scientifiques reconnus au niveau international. L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés doit être proscrite.

CRITERE 8.2

La gestion forestière devrait inclure la recherche et la collecte de données nécessaires au suivi des indicateurs suivants aux moins :

- le rendement de tous les produits prélevés dans la forêt;
- les taux de croissance, les taux de régénération et l'état sanitaire de la forêt;
- la composition et les changements constatés dans la flore et la faune;
- les impacts sociaux et environnementaux des exploitations et des autres opérations;
- les coûts, la productivité et l'efficacité de la gestion forestière.

CRITERE 10.3

Une diversité de la composition des plantations doit être préférée, afin d'améliorer la stabilité économique, écologique et sociale. Cette diversité peut porter sur la taille et la distribution spatiale des unités de gestion à l'intérieur du paysage, le nombre et la composition génétique des espèces, les classes et structures d'âge.

CRITERE 10.8

Le suivi des plantations doit être réalisé selon l'importance et la diversité des opérations, et doit inclure une évaluation régulière des impacts écologiques et sociaux sur le site et hors du site (par exemple la régénération naturelle, les impacts sur les ressources hydriques et la fertilité des sols, et les impacts sur le bien-être local et social), en plus des éléments mentionnés aux principes 8, 6 et 4. Aucune espèce ne devrait être plantée à grande échelle tant que des tests locaux et/ou l'expérience n'ont pas prouvé qu'elle s'adapte bien du point de vue écologique au site, qu'elle n'est pas invasive et n'a pas d'impacts écologiques significativement négatifs sur d'autres écosystèmes. Une attention particulière sera portée aux enjeux sociaux concernant l'acquisition des terres pour les plantations, principalement la protection des droits locaux de propriété, d'usage ou d'accès.

Annexes

Annexe 2 : Répartition des familles au sein des Ordres

taxon	Abondance	Abondance relative
Blattodea	8	0,81%
Blattodea indet.	8	100,00%
Coleoptera	188	19,09%
Aphodiidae	1	0,53%
Carabidae	12	6,38%
Cerambicidae	18	9,57%
Chrysomelidae	5	2,66%
Coleo indet.	46	24,47%
Curculionidae	6	3,19%
Drilidae	1	0,53%
Elateridae	65	34,57%
Endomychidae	8	4,26%
Lucanidae	2	1,06%
Lycidae	2	1,06%
Melolonthidae	1	0,53%
Pyrochroidae	1	0,53%
Rutelidae	5	2,66%
Scarabaeidae	13	6,91%
Silphidae	1	0,53%
Staphylinidae	1	0,53%
Diptera	18	1,83%
Diptera indet.	8	44,44%
Drosophilidae	2	11,11%
Sarcophagidae	1	5,56%
Tabanidae	6	33,33%
Tipulidae	1	5,56%
Hemiptera	36	3,65%
Cicadidae	1	2,78%
Eurybrachidae	3	8,33%
Flatidae	1	2,78%
Hetero indet.	19	52,78%
Homo indet.	2	5,56%
Lydidae	1	2,78%
Pentatomidae	4	11,11%
Reduviidae	4	11,11%
Scutelleridae	1	2,78%
Hymenoptera	539	54,72%
Apidae	490	90,91%
Formicidae	20	3,71%
Hymeno indet	4	0,74%
Ichneumonidae	12	2,23%
Pompilidae	2	0,37%
Vespidae	11	2,04%
Lepidoptera	167	16,95%
Arctiidae	23	13,77%
Brahemidae	1	0,60%
Crambidae	8	4,79%
Eredidae	6	3,59%
Lepido indet.	67	40,12%
Micro-lepidoptere	27	16,17%
Noctuidae	29	17,37%
Notodontidae	3	1,80%
Rhopalocere	3	1,80%
Mantodea	9	0,91%
Mantidae	9	100,00%
Mecoptera	1	0,10%
Mecoptera indet.	1	100,00%
Nevroptera	4	0,41%
Nevroptera indet.	4	100,00%
Odonata	1	0,10%
Odonata indet.	1	100,00%
Ordre indet.	2	0,20%
Ordre indet.	2	100,00%
Orthoptera	12	1,22%
Ortho indet.	11	91,67%
Tettigoniidae	1	8,33%
Total général	985	100,00%

Annexes

Annexe 3 : Liste des échantillons de l'analyse palynologique

IR_ID	date	Type de piège	Pollen observé	Ordre	famille	Genre/tribu	effectif
IR_49	20/02/19	pl	oui	coleoptera	elateridae	indet.	1
IR_11	22/02/19	pl	oui	coleoptera	elateridae	indet.	1
IR_49	28/02/19	pl	non	coleoptera	elateridae	indet.	20
IR_11	1/03/19	pl	non	coleoptera	elateridae	indet.	10
IR_11	1/03/19	pl	non	coleoptera	curculionidae	indet.	1
IR_11	1/03/19	pl	non	coleoptera	curculionidae	indet.	1
IR_49	28/02/19	pl	non	coleoptera	curculionidae	indet.	1
IR_49	28/02/19	pl	non	coleoptera	curculionidae	indet.	1
IR_49	28/02/19	pl	non	coleoptera	elateridae	indet.	4
IR_49	28/02/19	pl	non	coleoptera	elateridae	indet.	1
IR_49	28/02/19	pl	non	coleoptera	elateridae	indet.	2
IR_49	28/02/19	pl	non	hemiptera	reduviidae	indet.	1
IR_49	28/02/19	pl	non	hemiptera	hetero indet.	indet.	5
IR_49	28/02/19	pl	non	hemiptera	hetero indet.	indet.	1
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	apis	2
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	apis	4
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	apis	5
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	indet.	1
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	indet.	1
IR_38	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	apis	4
IR_38	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	apis	2
IR_14	26/02/19	pl	oui	hymenoptera	apidae	apis	50
IR_14	26/02/19	pl	oui	hymenoptera	apidae	apis	50
IR_14	26/02/19	pp	oui	hymenoptera	apidae	apis	20
IR_14	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	apis	20
IR_14	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	indet.	2
IR_38	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	apis	2
IR_38	26/02/19	pj	oui	hymenoptera	apidae	meliponini	3
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	meliponini	16
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	apis	4
IR_38	26/02/19	pl	non	hymenoptera	apidae	apis	1
IR_14	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	apis	6
IR_14	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	indet.	13
IR_14	26/02/19	pp	oui	hymenoptera	apidae	indet.	3
IR_14	26/02/19	pp	non	hymenoptera	apidae	indet.	2
IR_14	26/02/19	pp	oui	hymenoptera	apidae	meliponini	5
IR_11	22/02/19	pl	oui	hymenoptera	apidae	apis	3
IR_11	1/03/19	pp	oui	hymenoptera	apidae	apis	7
IR_11	1/03/19	pp	oui	hymenoptera	apidae	indet.	2
IR_11	1/03/19	pl	oui	hymenoptera	apidae	apis	8
IR_11	1/03/19	pl	non	hymenoptera	apidae	indet.	1
IR_11	1/03/19	pl	non	hymenoptera	apidae	meliponini	3
IR_14	4/03/19	pp	non	hymenoptera	apidae	apis	2
IR_14	4/03/19	pp	oui	hymenoptera	apidae	apis	13
IR_14	4/03/19	pp	non	hymenoptera	apidae	apis	14
IR_14	4/03/19	pp	non	hymenoptera	apidae	indet.	7
IR_14	4/03/19	pp	non	hymenoptera	apidae	indet.	1
IR_14	4/03/19	pl	oui	hymenoptera	apidae	apis	9
IR_14	4/03/19	pl	oui	hymenoptera	apidae	meliponini	4
IR_49	28/02/19	pp	oui	hymenoptera	apidae	indet.	3
IR_11	22/02/19	vt	oui	hymenoptera	apidae	meliponini	77
IR_05	29/03/19	vt	non	hymenoptera	apidae	indet.	5
IR_05	29/03/19	vt	non	hymenoptera	apidae	meliponini	1
IR_05	29/03/19	vt	non	hymenoptera	apidae	meliponini	2
IR_11	1/03/19	pl	oui	nevroptera	indet.	indet.	1

Annexes

Annexe 4 : Le Vacuum-trap



VACUUM-TRAP

FICHE TECHNIQUE & PROTOCOLE D'INSTALLATION

EDOUARD COENRAETS

VACUUM-TRAP

Table des matières

1.	<i>Introduction</i>	1
2.	<i>Conception</i>	2
3.	<i>Composition</i>	3
4.	<i>Inconvénient</i>	4
5.	<i>Recommandations</i>	4
6.	<i>Protocole d'installation en canopée</i>	5
7.	<i>bibliographie</i>	5

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du mémoire sur l'étude de la pollinisation et de la dispersion des graines de *Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg (Moraceae), un nouveau type de piège à insectes a été développé, surnommé le Vacuum-trap. L'objectif était de créer un piège plus sélectif dans la capture des visiteurs floraux. Il a également été conçu pour être facilement transportable et être installé dans la canopée des grands arbres.

Comme son nom l'indique, ce piège permet d'aspirer et de capturer tout visiteur floral dans un récipient à l'instar d'un aspirateur domestique. L'aspiration se fait à partir d'un ventilateur centrifuge qui extrait l'air contenu dans le récipient, l'arrivée d'air du récipient se limite à un trou de 22mm de diamètre dans lequel est insérer un tuyau en PVC, ceci génère une dépression à l'extrémité de ce tuyau qui permet d'aspirer tout élément se trouvant à proximité, comme par exemple des insectes.

Du propylène glycol est versé dans le récipient, cela permet de tuer et de conserver les insectes capturés, ce liquide est très peu volatile, non toxique, et suffisamment visqueux afin d'empêcher le mélange de pollen entre les individus (Thomas, 2008).

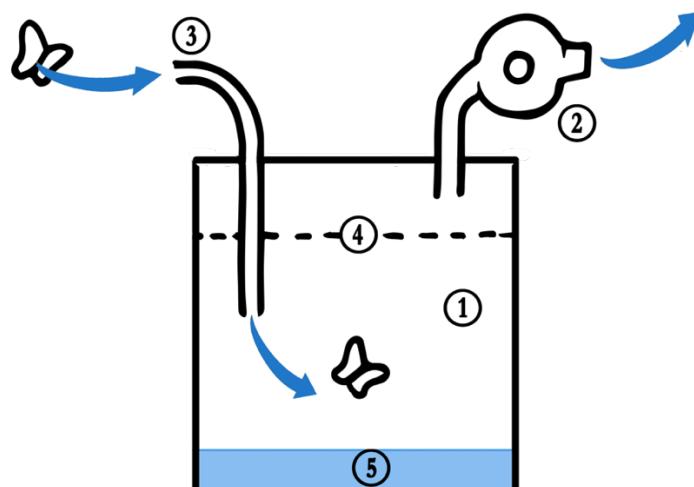


Figure 1: schéma du fonctionnement du Vacuum-trap. Les flèches bleus représentent le flux d'air

(1) : récipient, (2) : ventilateur centrifuge, (3) : tube d'interception, (4) : micro-maille en inox, (5) : propylène glycol.

2. CONCEPTION

Tout d'abord, Plusieurs types de moteur extracteur d'air ont été analysé sur le marché, il fallait une aspiration puissante, alimenté par batterie et compacte. le moteur retenu est un ventilateur centrifuge de la marque Ebmpast, modèle RER-101 (24V, DC, 0,96A, 23W)

Deuxièmement, il faut un tuyau suffisamment long pour atteindre les fleurs, souvent situées en bout de branche. La force de l'aspiration dépend de la longueur et de la structure du tuyau. Plusieurs modèles de tuyau ont été testé, les tuyau annelés sont à proscrire, les anneaux génèrent trop de turbulence réduisant fortement l'aspiration. Le meilleur compromis sont les tuyaux rigides et lisse, tel que les tuyaux en PVC rigide qui ont été utilisé pour ce piège.

La pression a été calculée, à l'aide d'un manomètre différentiel (modèle : Testo 510), pour différentes longueurs de tuyau et également les turbulence générée par le moteur extracteur au niveau de l'extrémité du tuyau, afin de voir si ce dernier ne créer pas trop de turbulence au niveau des fleurs ciblés qui risquerait de faire fuir les visiteurs floraux. Pour cette mission la longueur du tube était de 0,75m, l'aspiration y est le plus fort, et les turbulences négligeables.

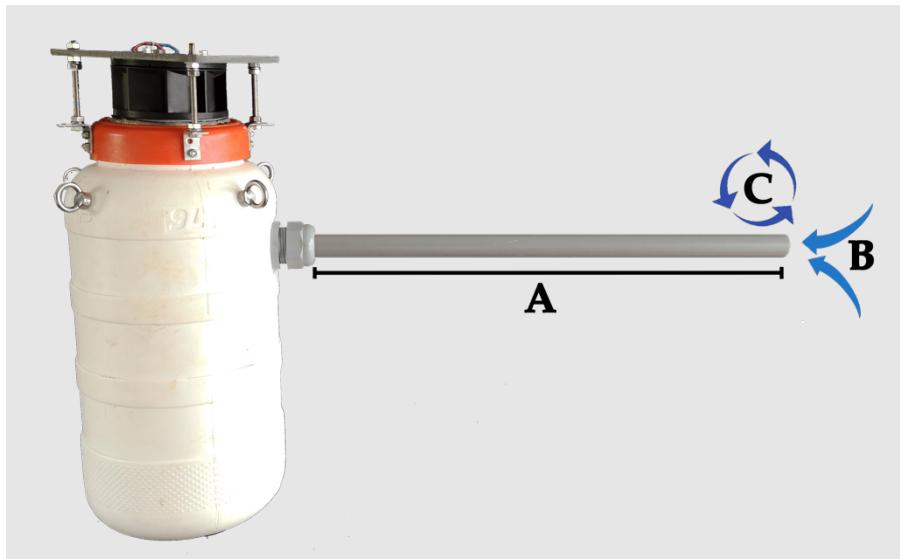


Figure 2: Vacuum-trap, (A): Longueur du tube, (B): Pression d'aspiration, (C): Turbulences causées par le ventilateur centrifuge.

A. Longueur tuyau (m)	B. Aspiration (hPa)	C. Turbulence (hPa)
0,75	5	0,1
2,2	3,2	0,01
2,85	2,6	0

Tableau 1 : comparatif de l'aspiration et des turbulences générées en bout de tuyau en fonction de la longueur.

Afin de tester l'aspiration au bout du tuyau, des modèles d'insectes de formes et de poids différents ont été créer à partir de polystyrène, de papier, de poids en plomb et de leurres de pêche. A titre de comparaison, le poids d'une abeille est compris entre 0,081g et 0,14g (Winston, 1991). Au terme des tests, la totalité des modèles ont été aspiré sans présenter aucune résistances pour le tube de 0,75m.

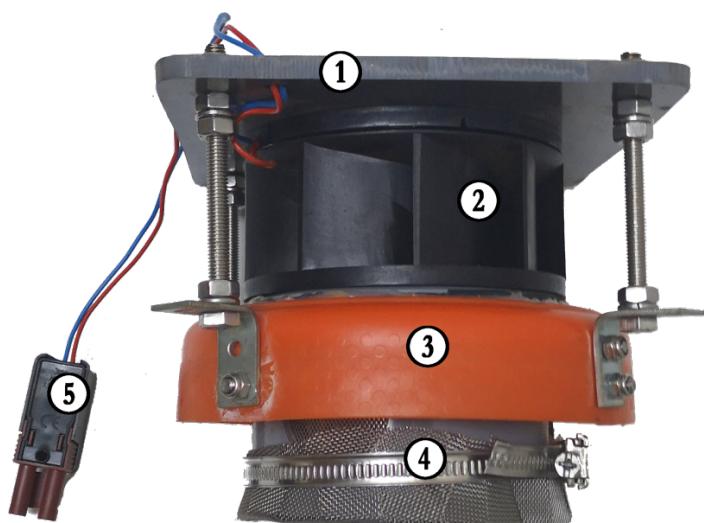


Figure 3 : Modèles utilisé pour tester l'efficacité de l'aspiration.

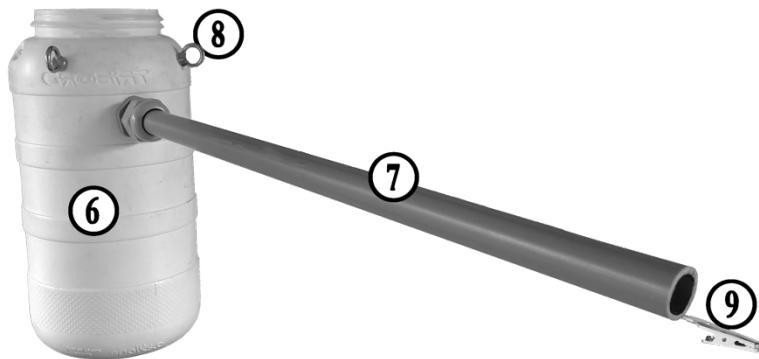
(A) : 1,35 grammes, (B) : 3,15g, (C) : 2,4g, (D) : 2,4g

3. COMPOSITION

Le Vacuum-trap se compose d'un récipient hermétique (6), d'un ventilateur extracteur d'air (2) fixé sur le couvercle du récipient (3). Une micro-maille en inox empêchant les insectes de ressortir par le ventilateur (4) situé sous le couvercle (3). Le tube d'interception en PVC de 22mm de diamètre intérieur (7), inséré dans le récipient, à l'extrémité de ce tube se trouve une pince (9) qui permet de saisir la ou les fleurs. Les anneaux d'attaches (8) permettent de suspendre le piège dans la cime des arbres. Un boîtier étanche (10) permet de protégé le minuteur (11) et le régulateur de charge (12), ce dernier permet la recharge des batteries de 24V (13) à partir du panneau solaire (14).



LE COUVERCLE
1 : Support de fixation du moteur
2 : Moteur : ventilateur centrifuge
3 : Couvercle du récipient
4 : Micro-maille en inox
5 : Prise d'alimentation



LE RECIPIENT

- 6 : Récipient de 9L
- 7 : Tube d'interception
- 8 : Anneau d'attache
- 9 : Pince



LE BOITIER

- 10 : Boîtier étanche
- 11 : Minuteur
- 12 : Régulateur de charge



13 : Batterie

14 : Panneau solaire

4. INCONVENIENT

Ce nouveau type de piège permet d'optimiser la sélection de la capture des visiteurs floraux, contrairement aux autres pièges utilisés au cours de l'étude (piège jaune, à papillons et lumineux) qui sont surtout destiné à inventorier l'entomofaune circulante. Néanmoins, le diamètre du tube limite la captures des insectes de grosse taille. Le pollen en suspension dans l'air peut contaminer les insectes capturés

5. RECOMMANDATIONS

Des expériences supplémentaires permettront de choisir un moteur extracteur plus adapté au milieu, qui seront plus ou moins puissants selon le diamètre du tube. Afin d'empêcher une contamination par le pollen en suspension, une optimisation du piège permettrait de trier les micro particules tel que les grains de pollen qui une fois entré dans le récipient se font directement expulser par le moteur extracteur, tandis que les insectes, plus lourds, tomberaient au fond du piège.

6. PROTOCOLE D'INSTALLATION EN CANOPEE

INSTALLATION

1. Paramétrez le minuteur avant l'ascension.
2. Ascension dans l'arbre.
3. Une fois dans la canopée, hisser le piège.
4. Versez le propylène glycol.
5. Repérez la branche de support au-dessus des fleurs à équipées.
6. Installez le piège, à la bonne hauteur pour que le tube d'interception soit au niveau des fleurs.
7. Accrochez la petite pince au niveau de la branche qui supporte les fleurs ciblés, ceci permet de maintenir le piège en place.
8. Attachez les batteries et le boîtier électronique fermement.
9. Attachez le panneau solaire sur une branche présentant la meilleure exposition.
10. Branchez les différents éléments entre eux.

Il est important de voir si le piège tourne, la meilleure solution est de revenir au pieds de l'arbre, aux heures paramétrées avec le minuteur, afin d'entendre le bruit du moteur depuis le sol.

DESINSTALLATION :

11. Ascension dans l'arbre.
12. Débranchez les câbles des différents éléments.
13. Descendre les éléments du piège.
14. Descendre de l'arbre.
15. Verser le contenu du récipient dans un autre récipient fermé hermétiquement si possible, le récipient du piège n'est pas scellé au niveau du couvercle.

7. BIBLIOGRAPHIE

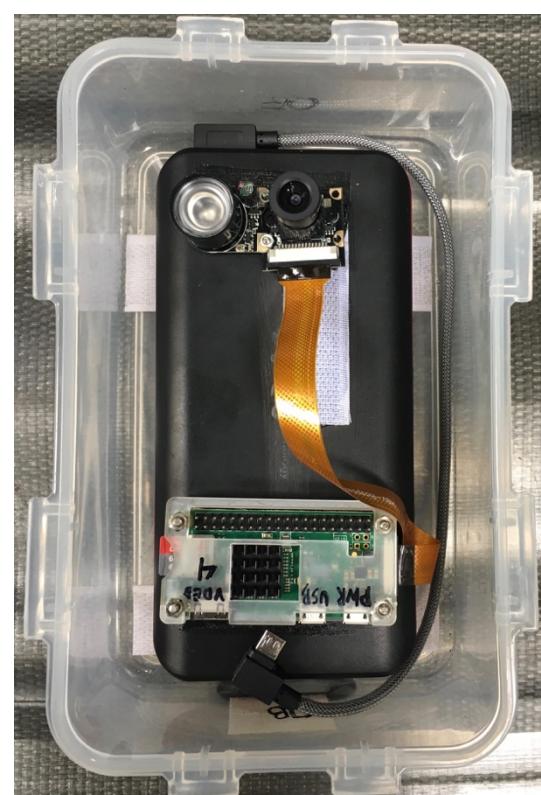
Thomas, D. B. (2008). A Safe and Effective Propylene Glycol Based Capture Liquid for Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Traps Baited with Synthetic Lures. Florida Entomologist, 4040(September 2009). [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2008\)91](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2008)91)

Winston, M. L. (1991). *The biology of the honey bee*. harvard university press.

Annexe 5 : Protocole Raspicam (Oriana Bhasin)

Table des matières

Protocole Raspicam	2
 Matériel	2
 Applications Android.....	2
Raspicam Remote	2
Juice SSH.....	2
AndFTP	2
 Première utilisation d'une Raspicam.....	2
 Utilisation régulière des Raspcams.....	3



Protocole Raspicam

Matériel

Raspicam (min. 4 en raison des bugs inexpliqués)

Attaches (sangles, pinces, vis)

Smartphone (avec les applications Raspicam Remote, AndFTP, Juice SSH, VLC)

2 disques dur (1Tb)

Ordinateur (PC de préférence)

Adaptateur de carte micro SD

Applications Android

Raspicam Remote

L'application permet de contrôler la Raspicam à distance et notamment d'avoir un aperçu live de ce qu'elle filme.

Juice SSH

L'application permet d'envoyer des lignes de commande au Raspberry. Par exemple, pour modifier/ajouter un point d'accès wifi, modifier un script, ou arrêter le Raspberry proprement.

AndFTP

L'application permet l'échange de fichier entre le smartphone et le Raspberry.

Première utilisation d'une Raspicam

Etape 1

Configurer un point d'accès Wi-Fi sur Android :

« Paramètres → onglet Connexions → Point d'accès et modem ».

Activer l'option Point d'accès mobile.

Nommer le point d'accès Wi-Fi « AndroidAP » et changer le mot de passe par « 12345678 ».

Etape 2

Alimenter la Raspicam en la connectant à la batterie externe à l'aide du câble USB - Micro USB. (Attention : Une fois activée, l'alimentation de la Raspicam ne peut pas être interrompue en déconnectant le câble sous peine de corrompre le script de la carte micro-SD).

Vérifier que le smartphone et la Raspicam sont bien jumelées et récupérer l'adresse IP de la Raspicam.

Etape 3

Ouvrir l'application Raspicam Remote.

Introduire le login=pi et le mot de passe=pi ainsi que l'adresse IP de la Raspicam.

Régler le focus en faisant pivoter l'objectif et régler la position de la caméra afin de cadrer l'image.

Etape 4

Ouvrir JuiceSSH.

Sélectionner « Gérer connexion → Modifier l'identifiant → login=pi et mot de passe=pi » (Attention : lors de l'activation d'une nouvelle Raspicam, rester appuyer sur le nom de la Raspicam précédente, ex : pi7, afin de faire apparaître le menu déroulant).

Sélectionner « Modifier » et introduire l'adresse IP de la nouvelle Raspicam).

Renommer la Raspicam (par défaut = pi1) :

```
sudo raspi config  
# Commande permettant de faire apparaître le menu déroulant « Raspberry Pi Software Configuration Tool ».
```

Sélectionner « Network Options → Rename ».

Déterminer la date et l'heure :

```
sudo date 03011358
```

Activer la Raspicam :

```
nohup sudo python camera.py &  
# Commande permettant d'exécuter le script « camera.py » et d'éviter que le script ne s'interrompe lors de la déconnexion du PC-smartphone.
```

Etape 5

Ouvrir AndFTP.

Configurer « port 22 » et « SSH ».

Vérifier le bon fonctionnement des Raspicam en s'assurant qu'elles enregistrent correctement les vidéos. Pour cela, rafraîchir la page et s'assurer que la taille du fichier de destination augmente continuellement.

Etape 6

Désactiver proprement les caméras.

```
sudo halt
```

Utilisation régulière des Raspicams

Phase A

Avant installation des deux Raspicam.

- 1) Brancher et vérifier leur fonctionnement (Raspicam Remote).
- 2) Renommer les Raspicam (Juice SSH).

Phase B

Au moment d'installer les deux Raspicam dans l'arbre.

- 1) Repérer deux emplacements adéquats :
 - Stables.
 - Pas trop dirigées vers le haut (évite que les rayons du soleil abîment la caméra).
 - Dirigées vers des fleurs ouvertes et fermées.
 - Fleurs à une distance d'environ 10-15cm.
- 2) Installer les attaches.
- 3) Faire monter la Raspicam dans l'arbre.
- 4) Brancher la Raspicam.
- 5) Ouvrir l'application Raspicam Remote et introduire l'adresse IP de la Raspicam en question.
- 6) Régler le focus en faisant pivoter l'objectif et régler la position de la caméra afin de cadrer l'image (Raspicam Remote).
- 7) Ouvrir l'application JuiceSSH et déterminer l'heure :
 sudo date 03011358
- 8) Activer la Raspicam :
 nohup sudo python camera.py &
- 9) Vérifier le bon fonctionnement de la Raspicam avant de quitter l'arbre (AndFTP).
Rem : Possibilité de télécharger des dossiers vidéos depuis AndFTP et de les visionner depuis VLC sur le smartphone.

Phase B

Une fois de retour au pied de l'arbre afin de récupérer les deux Raspicam.

- 1) Vérifier si elles tournent toujours (AndFTP).
- 2) Si c'est le cas, les désactiver (Juice SSH).
- 3) Démonter les Raspicam et les attaches.
- 4) Descendre les Raspicam au sol et les débrancher.

Phase C

Au moment de visionner les enregistrements.

- 1) Placer la carte microSD dans l'adaptateur de carte SD/lecteur de carte et le connecter à l'ordinateur.
- 2) Ouvrir le disque roots (F :).
- 3) Sélectionner « home → pi → record ».
- 4) Pour démuxer/multiplexer (rendre lisible) les vidéos sur un PC :
 - Télécharger et installer MKVToolNix.
 - Placer le code suivant dans un fichier texte batch (batch.bat) correspondant dans le dossier avec les vidéos et double-cliquer dessus :

```
for %%a in (*.h264") do "C:\Program  
Files\MKVToolNix\mkvmerge" -o "newfiles2\%%~na.mkv"  
"%%a"  
pause
```

Le fichier batch va lancer le programme sur chaque fichier .h264 se trouvant dans le même répertoire que lui. Les fichiers convertis sont placés dans le dossier nouvellement créé "newfile".

- 5) Copier les fichiers sur les deux disques durs et les renommer.

Rem : par exemple, avec le code et le nom de l'arbre « NK384-Movingui ».

Phase D

Après copie des fichiers.

- 1) Formater la carte microSD.
- 2) Charger les batteries.