
Détermination des visiteurs floraux de trois essences ligneuses à haute valeur commerciale : *Baillonella Toxisperma* Pierre, *Afzelia Bipindensis* Harms et *Erythrophleum Suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan

Auteur : Segers, Arnaud

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 : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/6033>

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.

**DETERMINATION DES VISITEURS FLORAUX
DE TROIS ESSENCES LIGNEUSES A HAUTE
VALEUR COMMERCIALE : *BAILLONELLA*
TOXISPERMA PIERRE, *AFZELIA BIPINDENSIS*
HARMS ET *ERYTHROPHLEUM SUAVEOLENS*
(GUILL. & PERR.) BRENAN AFIN D'ÉVALUER
LES RISQUES DE L'EXPLOITATION
SELECTIVE SUR LA DISPERSION
ENTOMOPHILE DES POLLENS**

ARNAUD SEGERS

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

ANNÉE ACADEMIQUE 2017-2018

(CO)-PROMOTEURS: JEAN-LOUIS DOUCET - FREDERIC 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.
Credit photos: Arnaud Segers, sauf contre-indication

**DETERMINATION DES VISITEURS FLORAUX
DE TROIS ESSENCES LIGNEUSES A HAUTE
VALEUR COMMERCIALE : *BAILLONELLA*
TOXISPERMA PIERRE, *AFZELIA BIPINDENSIS*
HARMS ET *ERYTHROPHLEUM SUAVEOLENS*
(GUILL. & PERR.) BRENNAN**

ARNAUD SEGERS

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

ANNÉE ACADÉMIQUE 2017-2018

(CO)-PROMOTEURS: JEAN-LOUIS DOUCET - FREDERIC FRANCIS

Remerciements

Au terme de ces 6 mois consacrés à ce mémoire et qui marquent la fin d'un long parcours académique, je tiens à remercier toutes les personnes et institutions qui m'ont accordé un appui financier, logistique ou moral, et qui ont ainsi contribué à l'accomplissement de ce document.

Je tiens tout d'abord à remercier mes promoteurs et encadrant, Jean Louis Doucet et Frédéric Francis pour leur conseils avisés et leurs précieuses relectures. Un merci tout particulier à Quentin Evrard pour m'avoir accordé la chance de prendre part à cette aventure unique et de m'y avoir soutenu à de nombreux niveaux.

J'aimerais ensuite remercier tout le personnel de Pallisco pour m'avoir accueilli et soutenu logistiquement lors des missions de terrain sans quoi ce travail n'aurait pas pu avoir lieu: Paul Lagoute, le directeur de site, Yannick Nkoulou, le chef de l'équipe « recherche scientifique et reboisement », Maxime Servotte le chef d'exploitation qui m'a sauvé la mise à plusieurs reprises face aux imprévus de terrain. Un grand merci également à l'équipe du suivi phénologique pour m'avoir enseigné la botanique tropicale et accompagné sur le terrain : Ango, Crépin, Gabrielle, Rostand. Merci aussi au personnel pour la bonne ambiance et leur convivialité : Fredo, Jordan, Julie, Pierre, Francois, Niels et Kylian. Merci également à mes quatre fidèles compagnons de terrain avec qui j'ai passé de très agréables missions : Francky pour son efficacité et sa perspicacité, Samy et son agilité à saisir les insectes, Eddy et sa connaissance déconcertante de la forêt et Salim Anebi pour son enthousiasme et son dynamisme qui ont motivé le groupe tout au long du voyage.

J'aimerais ensuite remercier toute les personnes de la faculté m'ayant apporté une aide au cours de ce mémoire, merci à Alain Debaq pour ses conseils lors de l'élaboration du piège lumineux, merci à Jeanine Bortels pour m'avoir accueilli au sein de l'Unité d'Entomologie Evolutive et Fonctionnelle et permis d'avoir les locaux nécessaires à l'étalage et l'identification des insectes.

Merci à toutes les personnes des institutions externes pour avoir accepté de collaborer sur ce travail. Merci à Laurent Bremond de L'ISEM pour avoir accepté de nous appuyer dans les analyses palynologiques, merci à Wouter Dekoninck de l'IRScNB de nous avoir apporté soutien dans l'identification des insectes, merci également à Didier VandenSpiegel de m'avoir accueilli au sein de son département de Zoologie du Musée Royal D'Afrique Centrale et convoqué Koen Maes, expert en Micro lépidoptères

Ce projet a été rendu possible grâce au projet Flux de Gènes (Gembloux Agro-Bio Tech, ULB, Bioersity, Nature+) finance par le PPECF (COMIFAC) : aide à l'application des normes d'aménagement et de certification sur la régénération et la diversité génétique des essences du bassin du Congo. L'aide apportée par le projet P3FAC finance par le FFEM (Fonds français pour l'Environnement Mondial) a également été d'une aide non négligeable dans l'élaboration des pièges lumineux.

Je remercie également le soutien de l'Académie de recherche et d'enseignement supérieur de la Fédération Wallonie-Bruxelles, Belgique, dans le cadre de sa politique de Coopération au développement

J'aimerais encore remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à venir à bout du piquage des 1745 insectes : Limpi, Princesse, Cyril, Biquette et Tiff

J'aimerais pour finir remercier ma famille de m'avoir soutenu durant tout ce parcours académique à qui je dédie ce travail. Merci à la personne qui a le courage et la bravoure de savoir me supporter durant ce mémoire et qui m'a donné un appui sans lequel je ne serai probablement pas en train de finir ce parcours

Résumé

La pollinisation est à la base du maintien et de la diversification des écosystèmes. Pourtant ce service écosystémique est menacé par les activités humaines. Il a notamment été suggéré que l'exploitation sélective des bois d'œuvre tropicaux pourrait altérer les mécanismes de pollinisation croisée en espaçant les arbres matures. Cela pourrait accroître l'autofécondation et entraîner une dépression de consanguinité. Notre étude a tenté d'objectiver ce risque en identifiant les pollinisateurs de trois essences ligneuses commerciales d'Afrique Centrale : le Moabi (*Baillonella toxisperma* Pierre), le Doussié (*Afzelia bipindensis* Harms) et le Tali (*Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan). Ce travail a été réalisé dans deux parcelles des concessions forestières certifiées FSC du sud-est du Cameroun et aborde la pollinisation selon une approche zoocentrique à deux temps : (i) la capture passive des insectes au moyen de trois types de pièges standardisés (pièges jaunes, pièges à papillons et pièges lumineux) dans les canopées fleuries des trois espèces d'arbre ; (ii) la vérification de la présence des grains de pollens des essences cibles sur les insectes. Par manque de temps, les analyses palynologiques et spécifiques n'ont pas pu être effectuées bien qu'un protocole efficace ait été mis en place. Les visiteurs floraux ont donc été déterminés au niveau de la famille à partir de trois caractéristiques : leur morphologie, leur régime alimentaire et la littérature scientifique. Au total, 1745 insectes ont été récoltés sur 8 Doussié, 6 Moabi et 3 Tali. Cet effectif était composé de 1361 visiteurs floraux dont 610 insectes ont été capturés sur le Doussié pour 35 familles, 574 insectes ont été capturés sur le Moabi pour 37 familles et 177 insectes ont été capturés sur les Tali pour 25 familles. Bien que la plupart des visiteurs floraux capturés soient semblables pour les trois essences (pollinisateurs généralistes), leur répartition au sein de ces dernières sont significativement différentes ce qui laisse suggérer que certains taxa soient préférentiels de certaines essences. Les principaux visiteurs floraux du Doussié sont des insectes essentiellement nocturnes avec des Coléoptères de la famille des Scarabéidae et des Lépidoptères de la famille des Noctuidae et des Sphingidae, et les visiteurs floraux diurnes sont les Apidae et les Syrphidae. Les visiteurs floraux du Moabi sont à la fois diurnes et nocturnes avec essentiellement des Lépidoptères de la famille des Nymphalidae et des Noctuidae, des Coléoptères de la famille des Scarabéidae et des Elateridae, des Diptères et des Hyménoptères de la famille des Apidae. Et les visiteurs floraux du Tali sont essentiellement des Lépidoptères Nocturnes mais le faible effort d'échantillonnage pour cette essence ne nous permet pas d'affirmer avec certitude ce statut. Les distances séparant les pieds fleuris calculées pour chaque essence après l'exploitation sont de 306 m pour le Doussié, 808 m pour le Moabi et 211 m pour le Tali. La confrontation de ces distances avec celle que les visiteurs floraux sont capable de parcourir semble indiquer que l'exploitation sélective n'a pas d'impacts sur la dispersion entomophile des pollens des trois essences étudiées.

Abstract

Pollination is at the bottom of sustainability and diversity of our ecosystems. However this ecosystemic service is threatened by human activities. The selective exploitation of tropical wood could alter cross pollination mechanisms by spacing out flowering species. This could improve selfing and drive an inbreeding depression. By this study we tried to identify pollinators of three main commercial woody species from Central Africa: Moabi *Baillonella toxisperma* Pierre, Doussié *Afzelia bipindensis* Harms and Tali *Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan. This research was carried out in FSC-certified forest concessions in southeastern Cameroon. A zoocentric approach was adopted in two stages: firstly, passive capture of insects by using three types of standardized traps (yellow traps, butterfly traps and light traps) in the flowering canopies of the three woody species; and secondly, check the presence of pollen grains of target species on insects. A total of 1.745 insects were collected from 8 Doussié, 6 Moabi and 3 Tali. Due to lack of time, and although a protocol was developed, Due to time constraints, palynological and specific analyses could not be performed although an effective protocol was put in place. Floral visitors were therefore determined at the family level, based on three characteristics: their morphology, their diet and the scientific literature. A total of 1745 insects were collected from 8 Doussié, 6 Moabi and 3 Tali. This number consisted of 1361 floral visitors of which 610 insects were captured on the Doussié for 35 families, 574 insects were captured on the Moabi for 37 families and 177 insects were captured on the Tali for 25 families. Although most of the floral visitors caught are similar for the three species (generalist pollinators), their distribution within the latter are significantly different, suggesting that some taxa are preferred for certain species. The main floral visitors to Doussié are mainly nocturnal insects with Coleoptera of the family Scarabaeidae and Lepidoptera of the family Noctuidae and Sphingidae, and day floral visitors are Apidae and Syrphidae. Floral visitors to Moabi are both day and night visitors with mainly Lepidoptera of the family Nymphalidae and Noctuidae, Coleoptera of the family Scarabaeidae and Elateridae, Diptera and Hymenoptera of the family Apidae. And the floral visitors of Tali are essentially Nocturnal Lepidoptera but the low sampling effort for this species does not allow us to affirm this status with certainty. The distances between the flowering plants calculated for each species after exploitation are 306 m for Doussié, 808 m for Moabi and 211 m for Tali. The comparison of these distances with the scientific literature seems to indicate that the selective exploitation has no impact on the dispersion of pollen.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé.....	ii
Abstract.....	ii
I. Contexte de l'étude.....	1
I. 1. La forêt d'Afrique centrale et ses services	1
I. 2. La pollinisation	1
i. Généralités.....	1
ii. Hydrogamie, anémogamie, zoogamie et ambophilie.....	3
iii. Entomogamie/entomophilie.....	4
iv. Généralisation et spécialisation : les réseaux de pollinisation	5
v. Patron latitudinal des réseaux de pollinisation et réseaux tropicaux.....	6
vi. Phénologie florale, morphologie florale et sexualité.....	7
vii. L'apport de la palynologie.....	7
viii. Filtres à la pollinisation	8
I. 3. Les risques de l'industrie forestière sur l'altération de la pollinisation croisée	8
i. Généralités.....	8
ii. Impacts de l'exploitation forestière sur la pollinisation	9
II. Objectifs de l'étude	10
III. Matériel et méthodes	10
III. 1. Sites d'étude	10
III. 2. Modèles biologiques.....	12
i. Le Moabi - <i>Baillonella toxisperma</i> Pierre (SAPOTACEAE)	12
ii. Le Doussié - <i>Azelia bipindensis</i> HARMS (Fabaceae- CAESALPINOIDAE)	13
iii. Le Tali - <i>Erythrophleum suavolens</i> (Guill. & Perr.) Brenan (Fabaceae- CAESALPINOIDAE).....	14
III. 3. Prospection des arbres en floraison	15
III. 4. Protocole d'échantillonnage des insectes dans les canopées fleuries	15
i. Protocole général.....	15
ii. Les pièges lumineux d'interception à plaques transparentes	16
iii. Les pièges jaunes.....	17
iv. Les pièges à papillons.....	17
v. Mise en place dans la canopée : grimpe au « foot-lock ».....	18
III. 5. Récolte et conditionnement des insectes.....	19
III. 6. Mise en collection et identification des insectes.....	19
III. 7. Analyses palynologiques et la détermination des visiteurs floraux.....	20

III. 8.	Analyses statistiques des données.....	21
III. 9.	Calcul des distances séparant les pieds fleuris avant et après l'exploitation	22
IV.	Résultats.....	23
IV. 1.	Arbres prospectés et grimpés	23
IV. 2.	<i>Captures totales et identifications</i>	24
IV. 3.	<i>Répartition des captures en fonction des pièges et des essences</i>	25
IV. 4.	Diversité des ordres et des familles capturées sur les trois essences	27
i.	Captures effectuées sur le Doussié.....	27
ii.	Captures effectuées sur le Moabi	27
iii.	Captures effectuées sur E. suaveolens (Guill. & Perr.) Brenan	28
iv.	Comparaison des trois communautés	29
IV. 5.	Diversité des ordres et des familles capturés par les 3 types de pièges.....	29
i.	<i>Abondances relatives des Ordres capturés par type de piège</i>	29
i.	Analyses factorielles des correspondances des pièges en fonction des relevés	30
IV. 6.	<i>Analyses palynologiques</i>	31
IV. 7.	<i>Détermination des visiteurs floraux</i>	32
IV. 8.	Calcul des distances séparant les arbres en fleur avant et après l'exploitation.....	34
V.	Discussion.....	36
V. 1.	La contrainte d'échantillonnage	36
V. 2.	La mise en application des pièges.....	36
i.	Comparaison des efficacités des pièges et biais méthodologiques.....	36
ii.	Facteurs influençant l'efficacité des pièges lumineux	37
V. 3.	Le niveau taxonomique.....	38
V. 4.	Les visiteurs floraux les plus probables.....	38
i.	Principaux visiteur floraux/pollinisateurs visiteurs des trois essences étudiées	38
ii.	Visiteurs floraux/pollinisateurs du Doussié	39
iii.	Visiteurs floraux/pollinisateurs du Moabi.....	40
iv.	Visiteurs floraux/pollinisateurs du Tali	40
V. 5.	Impact de l'exploitation sélective sur la dispersion entomophile des pollens	41
V. 6.	Conclusions et perspectives.....	41
VI.	Bibliographie	44
VII.	Annexes.....	51
i.	Tableau récapitulatif des 9 scénarios de pièges lumineux	51
ii.	Illustrations des pièges utilisés	52
iii.	Données des 30 arbres prospectés dans la parcelle de 900ha	53
iv.	Répartition des familles au sein des ordres capturés	54
iv.	Tests de vérification des CA de l'AV2	55
v.	Répartition des fréquences relatives des familles au sin des Ordres en fonction des essences	56

.....	56
vi. Tableau de contingence des tests χ^2 d'indépendance des communautés.....	57
vii. Diversité des familles et des ordres par type de pièges	58
viii. Sélection des pollinisateurs en fonction des critères morphologiques, alimentaires et bibliographiques.....	59
ix. Répartition des familles de visiteur floraux en fonction des essences	60

Liste des Figures

Figure 1: Illustration des divers modes de transfert de pollens.....	2
Figure 2: Illustration des différences de spécialisation des réseaux de pollinisation en fonction de la latitude absolue. Avec des pollinisateurs fonctionnellement redondants (droite) et des réseaux spécialisés impliquant des pollinisateurs fonctionnellement distincts (gauche). La barre supérieure représente les pollinisateurs et la barre inférieure représente les plantes (Schlening, 2012).	6
Figure 3: Localisation des UFA et des parcelles d'étude de l'entreprise Pallisco au Cameroun et localisation des essences dans les parcelles (Tali – Moabi – Doussié)	11
Figure 4: Aire de répartition de <i>B. toxisperma</i> PIERRE issu des bases de données du CJB	12
Figure 5: Inflorescences de Moabi (© S. Annebi)	12
Figure 6: Répartition géographique d' <i>Afzelia bipindensis</i> HARMS issu des bases de données du CJB .	13
Figure 7: Inflorescences de Doussié (© S. Annebi).....	13
Figure 8: Répartition géographique d' <i>E. suavolens</i> (Guill. & Perr.) Brenan issu des bases de données du CJB.....	14
Figure 9: Inflorescence en épi paniculé du Tali (© A. Segers) et illustration des fleurs issue de Aubreville (1968).....	14
Figure 10: A gauche, les constituants nécessaires au montage des pièges avant leur installation dans la canopée, (a) Le piège lumineux à plaque transparente (structure plaques d'interception/entonnoir – batterie 12 V reliée à la source lumineuses LEDS – filet du sac de récolte), (b) Piège jaune (récipient jaune - eau savonneuse), (c) Piège à papillons (filet replié – appâts fermentés). A droite : les trois dispositifs placés dans la canopée. (© Arnaud Segers)	16
Figure 11: En haut : matériel de grimpe (© S. Annebi). En bas à gauche : technique de grimpe au « foot-lock » (© S. Hette). En bas à droite : déplacement en canopée avec les cordes de rappel (© A. Segers)	18
Figure 12: A gauche: Récolte d'un piège lumineux avec emploi d'éther pour le transfert des insectes au bocal contenant l'acétate d'éthyle (© S. Annebi). A droite: conditionnement et encodage sur les fiches de terrain des insectes capturés (© A. Segers)	19
Figure 13 : A gauche : piquage des insectes et conservation des tubes pour les analyses palynologiques. A droite : dispositif de ramolissage des Lépidoptères (©A. Segers)	20
Figure 14.: Localisation des arbres prospectés et grimpés (G) dans les parcelles de 900ha (à gauche) et de 400ha (à droite)	24
Figure 15: Abondances et diversité des ordres capturés et nombre de familles associées.....	25
Figure 16: A Gauche : Répartition des captures en fonction du type de piège et en fonction des essences. A droite : proportions des captures par type de pièges et par essence. ("PJ" = piège jaune, "PL" = piège lumineux, "PP" = piège à papillons, "DO" = Doussié, "MO" = Moabi, "TA" = Tali).....	25
Figure 17: A gauche : Effectifs moyens et écarts-types des captures en fonction des types de pièges. A droite : Effectifs moyens et écarts-types des captures en fonction des essences ("PJ" = piège jaune, "PL" = piège lumineux, "PP" = piège à papillons).....	26
Figure 18: Analyse des correspondances des relevés en fonction des essences et cercle des corrélations permettant d'interpréter le placement des relevés en fonction des familles.....	29
Figure 19: Diversité des Ordres capturés par type de piège.....	30
Figure 20: Analyse des correspondances des relevés en fonction des types de pièges (PP= pièges à papillons, PJ = pièges jaunes, PL = pièges lumineux) et cercle des corrélations permettant d'interpréter le placement des relevés en fonction des familles.....	30
Figure 21: Illustration des insectes capturés. (a) <i>Noctuidae</i> (<i>Heterocera</i>), (b) <i>Neptis sp.</i> (<i>Nymphalidae</i> - <i>Rhopalocera</i>), (c) Illustration des brosses de poils sur les pattes de <i>Noctuidae</i> (<i>Heterocera</i>), (d) Illustration de brosses de poils sur les ailes de <i>Noctuidae</i> (<i>Heterocera</i>), (e) Illustration de <i>Apis mellifera andonsinii</i> L. (<i>Apidae</i> – Hyménoptères), (f) Illustration de quatre espèces de <i>Rutelinae</i> (<i>Scarabeidae</i> – Coléoptères), (g) Illustration de <i>Dorylus sp.</i> (<i>Formicidae</i> – Hyménoptères), (h) et (i) Illustration des <i>Arctiinae</i> (<i>Erebidae</i> – <i>Heterocera</i>) abondamment capturés sur le Tali. (©A. Segers)	31
Figure 22: Histogramme des distributions de fréquences de visiteurs floraux pour les trois essences....	33
Figure 23: Répartition des tiges de Moabi, de Doussié et de Tali par classes de diamètres	35

Figure 24: Présentation des taxa de visiteurs floraux/pollinisateurs les plus probables par essences après avoir complété nos résultats avec ceux de Charloteaux (2017). L'épaisseur du trait les liant représente l'importance du taxon en termes d'abondance relative dans les effectifs sélectionnés de la Figure 23. 39

I. Contexte de l'étude

I. 1. La forêt d'Afrique centrale et ses services

Les forêts tropicales ont toujours suscité un grand intérêt de par leur biodiversité et les nombreux services qu'elles rendent à l'humanité (Loveless 1992; Ghazoul & Sheil 2010). La forêt d'Afrique centrale constitue le second plus grand massif continu après les forêts du bassin de l'Amazonie. Avec une surface proche de 184 millions d'hectares (Acharid *et al.* 2001) qui s'étendent sur six pays (Cameroun, République du Congo, République Démocratique du Congo, République centrafricaine, Gabon et Guinée équatoriale), cette forêt représente le berceau de la faune et de la flore terrestre la plus diversifiée d'Afrique : environ 400 espèces de mammifères, plus de 1.000 espèces d'oiseaux et plus de 10.000 espèces végétales à haut taux d'endémisme (on dénombre environ 3.000 espèces végétales endémiques ; PBFC 2017).

Les services rendus par la forêt et sa biodiversité sont multiples et ont déjà fait l'objet de nombreuses études présentées dans des ouvrages généraux (de Wasseige *et al.* 2009, 2014, 2015; FAO 2010). On décompte de manière générale 4 types de services écosystémiques (Millennium Ecosystem Assessment 2005), présentés brièvement ci-dessous pour le cas de la forêt d'Afrique Centrale. Ces services s'appliquent sur plusieurs échelles spatiales vis-à-vis de spectres d'acteurs variables (de Wasseige *et al.* 2009):

- (i) *Les services de production* : services classés par la FAO en Produits Forestiers Ligneux (PFL) et Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL). Les PFL, constitués essentiellement des grumes et de leurs produits dérivés, permettent un développement économique au niveau national (Bayol *et al.* 2014). Les PNFL permettent localement à 60 millions de personnes de s'alimenter (de Wasseige *et al.* 2015).
- (ii) *Les services de régulation* : services exercés par la forêt sur les régimes hydriques des sols, le climat, ou encore la capacité de séquestration de carbone (de Wasseige *et al.* 2009).
- (iii) *Les services sociaux et culturels* : services rendus par la forêt de par les intérêts esthétiques, culturels, spirituels et scientifiques qu'elle suscite vis-à-vis des populations locales, scientifiques et touristiques.
- (iv) *Les services d'appui* : services qui fournissent à ses occupants, visiteurs ou exploitants un substrat et un support physique nécessaire aux autres services. La forêt fournit un habitat pour le gibier, un sol et un climat pour les zones agricoles et des sites récréatifs pour le tourisme.

Cependant, l'intégrité des écosystèmes et la pérennité services rendus par la forêt d'Afrique Centrale sont menacés par les activités humaines. Celles-ci sont liées au développement des pays forestiers auxquelles s'ajoutent un changement climatique qui tend à déplacer les niches écologiques (Daïnou 2016; Haurez *et al.* 2017). Un des services crucial pour le maintien des écosystèmes, et menacé par les activités humaines est la pollinisation (Kearns *et al.* 1998). Si son importance et sa vulnérabilité ont déjà été mis en évidence dans le domaine agricole (Klein *et al.* 2007) ou dans les écosystèmes tempérés et néotropicaux, il reste peu étudié en forêt d'Afrique Centrale (Schleuning *et al.* 2012; Dáttilo & Rico-Gray 2018).

I. 2. La pollinisation

i. Généralités

La pollinisation est définie comme le transfert d'un grain de pollen au stigmate d'une fleur (Abrol 2012a). Il existe deux modes de reproduction chez les plantes : l'autogamie et l'allogamie. Les végétaux étant immobiles, ils ne peuvent pas contrôler directement l'émission ou la réception de leurs gamètes mâles dont l'unité de dispersion est le grain de pollen (Mitchell *et al.* 2009). Dès lors, pour assurer leur reproduction, ils vont avoir recours à divers vecteurs de dispersion tels que le vent, l'eau ou les animaux. Ces modes de reproduction et les vecteurs associés donnent lieu à plusieurs mécanismes de pollinisation illustrés à la *Figure 1* (Shivanna & Tandon 2014a) :

- *Autogamie* : Le pollen est transféré au stigmate de la même fleur ;
- *Allogamie* : Le transfert de pollen nécessite un vecteur entre fleurs différentes. L'allogamie peut être divisée en deux grands groupes :
 - *Géitonogamie* : le pollen est transféré au stigmate d'une autre fleur mais portée par le même individu (même plant ou ramet) ;
 - *Xénogamie* : le pollen est transféré au stigmate d'une autre fleur portée par un individu différent. On parle aussi de pollinisation croisée.

En fonction du mode de transport du pollen, on parle (Shivanna & Tandon 2014a) :

- D'anémogamie : transfert des pollens par le vent ;
- D'hydrogamie : transfert des pollens par l'eau ;
- De zoogamie : transfert des pollens par des animaux ;
- D'ambophilie : transfert des pollens à la fois par le vent et les insectes.

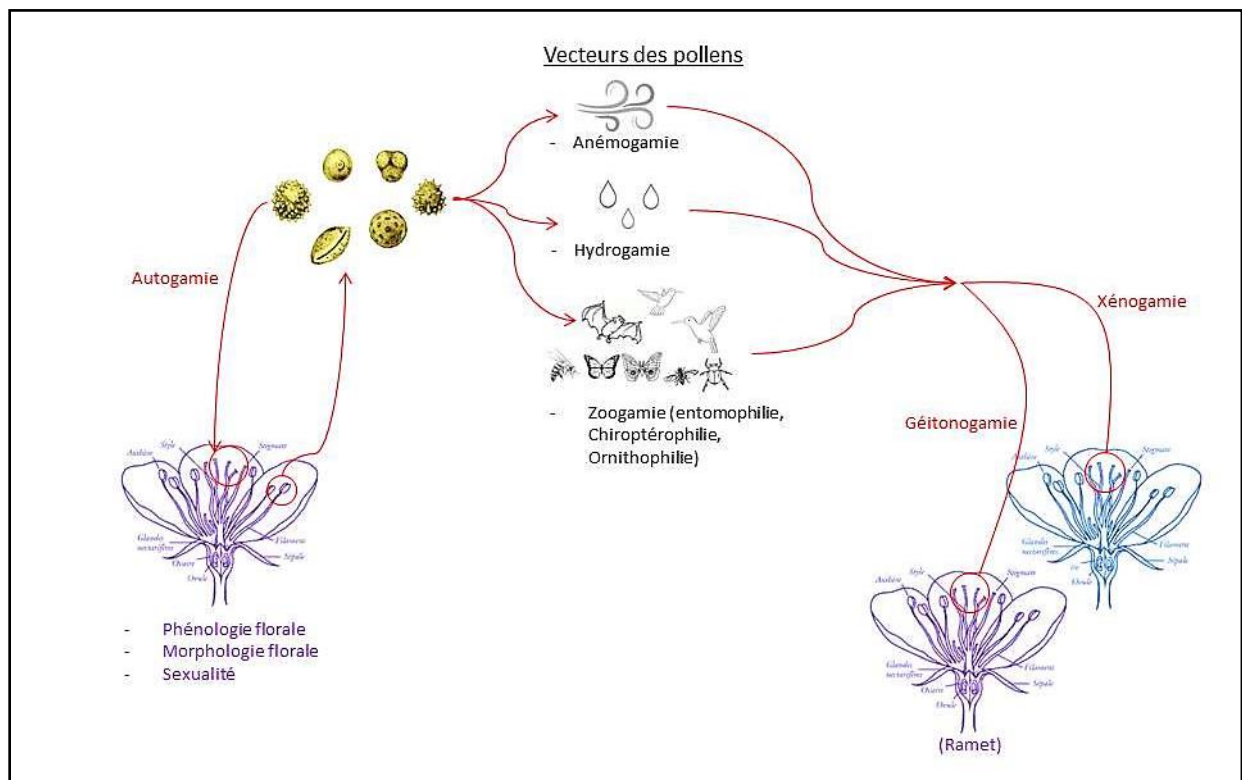


Figure 1: Illustration des divers modes de transfert de pollens

De manière générale, l'autopollinisation est fréquente chez les Angiospermes (Carr & Eubanks 2014). La plupart optent pour une stratégie double entre l'autopollinisation et la pollinisation croisée car cette double stratégie permet la dispersion de graines et de propagules asexuées ce qui assure un meilleur fitness (Shivanna & Tandon 2014b). Cependant, en ce qui concerne les Angiospermes ligneux, et plus particulièrement les grands arbres tropicaux, la plupart sont presque incapables de s'autopolliniser (Bawa *et al.*, 1985; Duminil *et al.*, 2016), et favorisent la pollinisation croisée sur de longues distances (Loveless *et al.*, 1998; Loveless, 1992; Nason *et al.*, 1998; Ward *et al.*, 2005).

La pollinisation croisée est un phénomène écologiquement très important. Il permet une variabilité génétique indispensable à l'adaptation et l'évolution des plantes avec leur environnement (Bascombe & Jordano 2007). Il s'agit d'un phénomène clef dans la diversification des végétaux et des animaux qui en dépendent (Dodd *et al.* 1999), crucial pour le maintien de l'équilibre des écosystèmes (Kearns *et al.* 1998).

Outre l'importance écologique de la pollinisation croisée, elle a également de fortes répercussions sur les productions agricoles mondiales dédiées à l'alimentation humaine. En effet, 35% des productions mondiales de fruits, légumes ou graines dépendent de la pollinisation (Klein *et al.* 2007). Annuellement,

ce service se quantifie à environ 153 milliards d'euros, soit 9,5% de la valeur de la production agricole mondiale (Gallai *et al.* 2009).

Pour étudier le mécanisme présenté à la *Figure 1*, deux méthodes d'échantillonnage peuvent être mises en place. *L'approche phytocentrique* consiste à observer les fleurs d'une plante et leurs interactions avec les différents vecteurs potentiels, et *l'approche zoocentrique* consiste à analyser les animaux qui interagissent avec la plante considérée (Dáttilo & Rico-Gray 2018).

Dans les deux cas, la compréhension de la pollinisation nécessite une connaissance globale et multidisciplinaire qui tient compte de facteurs évolutionnistes et écologiques (Mitchell *et al.* 2009). Les principaux éléments de ces facteurs dont il faut tenir compte sont présentés dans les sections suivantes, à savoir :

- La diversité des plantes et des vecteurs de pollens, particulièrement les animaux ;
- La différence entre visiteur floral et pollinisateur ;
- La spécialisation ou la généralisation des interactions plante/pollinisateurs avec les réseaux de pollinisation ;
- L'adéquation morphologique et les caractéristiques florales ;
- La palynologie.

ii. Hydrogamie, anémogamie, zoogamie et ambophilie

Parmi les trois vecteurs de pollens auxquels les plantes ont recours pour leur reproduction, les animaux sont les plus sollicités. En effet, il a été estimé que parmi la totalité des plantes à fleur présentes sur Terre, environ 85% d'entre elles auraient leur pollen dispersé par les animaux (Ollerton *et al.* 2011). Dans les forêts denses humides, ce pourcentage peut parfois monter jusqu'à 99% (Bawa 1990). On parle alors de pollinisation biotique et plus particulièrement de mutualisme car les animaux assurent la reproduction des plantes qui leurs fournissent une source d'alimentation en retour (pollen, nectar ou autre ; Abrol 2012b).

De nombreuses études ont déjà été consacrées à la diversité des animaux pollinisateurs, et ce dans de multiples écosystèmes. Les animaux (ou taxa) identifiés comme pollinisateurs sont les insectes, les oiseaux, les chauves-souris, les rongeurs (écureuils, souris), les lézards, les escargots et les primates (Bawa, 1990).

Lorsqu'on aborde l'importance relative de ces groupes en termes de diversité, il est nécessaire de distinguer les notions de visiteur floral et de pollinisateur. Un visiteur floral visite une fleur à la recherche d'un habitat ou de ressources alimentaires et peut se charger de pollens s'il entre en contact avec les anthères (Shivanna & Tandon 2014a). Il ne sera considéré comme pollinisateur que s'il transmet les pollens au stigmate d'une fleur d'un individu conspécifique, ce qui n'est pas toujours le cas (Genini *et al.* 2010; Sinu *et al.* 2011; Ollerton 2017). Sans cette transmission de pollen au stigmate, la relation mutualistique n'est pas assurée et le visiteur floral ne peut pas être considéré comme pollinisateur (Shivanna & Tandon 2014a). Dès lors, comme « *l'absence d'une évidence n'est pas l'évidence d'une absence* » (citation de Michel Jouvet), nous allons aborder la diversité des pollinisateurs à partir des « visiteurs floraux » définis comme des porteurs de pollens pouvant éventuellement avoir un rôle de pollinisateur. Les études les plus récentes dans ce domaine (Olesen & Valido 2003; Danforth *et al.* 2006; Pitts *et al.* 2006; Wardhaugh 2015; Regan *et al.* 2015; Tussenbroek *et al.* 2016) ont été revues par Ollerton (2017) qui classe les taxa visiteurs floraux/pollinisateurs selon un ordre décroissant de diversité (*Tableau 1*).

Tableau 1: Diversité des groupes de visiteurs floraux/pollinisateurs (Ollerton, 2017) et terminologie associée (Ghazoul et al, 2010)

Taxon	Diversité estimée	Proportion (%)	Terminologie
Insectes	347487	99,57475	Entomophilie
Oiseaux	1089	0,00312	Ornithophilie
Chauves-souris	236	0,00068	Chiroptérophilie
Mammifères terrestres	108	0,00031	\
Lézards	37	0,00011	\
Crustacés	11	0,00003	\
Polychètes	3	0,00001	\
Total	348971		

Les insectes constituent le principal taxon de visiteurs floraux/pollinisateurs mais la proportion indiquée surestime la capacité de pollinisation car elle reprend beaucoup de visiteurs floraux. La diversité des insectes pollinisateurs est aussi abordée par Ollerton (2017) et est présentée en section suivante.

Le reste des plantes à fleurs procèdent à l'allogamie en ayant recours au vent (anémogamie) et à l'eau (hydrogamie) pour transporter leurs pollens. On parle de pollinisation abiotique (Ollerton *et al.* 2011). Enfin, une autre stratégie mixte de reproduction consiste à avoir recours à la fois au vent et aux insectes comme vecteur de pollens (Dafni *et al.* 2012; Ríos *et al.* 2014). Cette stratégie mixte a été récemment découverte et mériterait plus d'attention dans la considération de la pollinisation pour les études futures (Ollerton 2017).

iii. Entomogamie/entomophilie

Ollerton (2017) reprend les résultats de l'étude de Wardhaugh (2015) concernant les arthropodes visiteurs floraux, et exclut les taxa dont on sait a priori qu'ils ne participeront pas à la pollinisation (les prédateurs tels que les mantes et les thomisés). Les ordres et familles de visiteurs floraux/pollinisateurs les plus diversifiés correspondent aux quatre plus grands ordres d'insectes : les Lépidoptères, les Coléoptères, les Hyménoptères, les Diptères. On retrouve également d'autres ordres tels que les Hémiptères, les Blattoptères, les Névroptères, etc. (Voir *Tableau 2*).

Tableau 2: Diversité taxonomique (richesse spécifique estimée) des insectes visiteurs floraux/pollinisateurs et répartition des principales familles (ou sous-ordre) au sein de chaque ordre (Ollerton, 2017)

Taxon	Diversité estimée	Proportion (%)
Lépidoptères	141600	40,750
Hétérocères	123100	86,935
Rhopalocères	18500	15,028
Coléoptères	77300	22,245
<i>Cetoniinae</i>	4000	5,175
Hyménoptères	70000	20,145
<i>Apoïdae</i>	17000	24,286
<i>Pompilidae</i>	5000	7,143
<i>Vespoïdae</i>	5000	7,143
Diptères	55000	15,828
<i>Syrphidae</i>	6000	10,909
<i>Bombyliidae</i>	4500	8,182
Thysanoptères	1500	0,432
Hémiptères	1000	0,288
Blattoptères	360	0,104
Neuroptères	293	0,084
Trichoptères	144	0,041
Orthoptères	100	0,029
Mécoptères	76	0,022
Psocoptères	57	0,016
Plécoptères	37	0,011
Dermaptères	20	0,006
Total	347487	100

La diversité dont il est question dans ces études ne suffit pas à considérer l'efficacité et l'importance de la pollinisation (Orford *et al.* 2015). D'une part car les visiteurs floraux ne sont pas tous pollinisateurs et d'autre part parce que, même si la diversité des pollinisateurs est positivement corrélée au succès reproducteur des plantes (Blüthgen & Klein 2011; Albrecht *et al.* 2012), elle n'est pas le seul facteur qui entre en jeu. Les autres facteurs dont il faut tenir compte sont :

- L'abondance des pollinisateurs et des fleurs (Kunin 1997; Maruyama *et al.* 2014; Dáttilo Wesley *et al.* 2014) ;
- La mobilité des pollinisateurs vis-à-vis de la sexualité des fleurs (Waser *et al.* 1996; Rader *et al.* 2016) ;
- La spécialisation des espèces ;
- L'adéquation morphologique pour le transport et la restitution des pollens (Jordano 2016) ;
- Le comportement des espèces pollinisatrices (Rader *et al.* 2016).

iv. Généralisation et spécialisation : les réseaux de pollinisation

En écologie, une espèce généraliste est une espèce qui interagit avec de nombreux autres organismes, et une espèce spécialisée interagit avec très peu d'organismes, vis-à-vis desquels elle est très souvent co-adaptée. Ces deux notions d'interaction se retrouvent dans la pollinisation sous les noms de *polylectie* et d'*oligolectie*. Un pollinisateur polylectique butine un large spectre d'espèces végétales tandis qu'un pollinisateur oligolectique a tendance à butiner très peu, voir une seule et unique espèce (Ritchie *et al.* 2016).

Si les interactions plantes – pollinisateurs ont longtemps été considérées comme le résultat d'une spécialisation co-évolutive, c'est parce que les premières études de la pollinisation se focalisaient sur une seule espèce végétale associée aux pollinisateurs rencontrés dans son écosystème. Ces études poursuivaient implicitement la théorie de Darwin (Waser *et al.* 1996) et de nombreux travaux ont alors mis en avant des causes évolutionnistes afin d'expliquer la diversité des traits floraux. Ces derniers étant le résultat d'une pression sélective exercée par les groupes de pollinisateurs auxquels les plantes sont soumises dans leur écosystème.

Des *syndromes floraux* ont ainsi été mis en évidence afin d'expliquer les mécanismes de pollinisation. Ceux-ci considèrent que des espèces végétales différentes présentant les mêmes traits floraux sont visitées par les mêmes groupes de pollinisateurs. Ces derniers sont considérés comme « groupes fonctionnels » vis-à-vis desquels il y a eu co-évolution (Faegri & vade der Pijl 1979; Fenster *et al.* 2004). Dans ce sens, de nombreuses études sur les orchidées ont lié la longueur du tube de leur corolle à la longueur de la spiritrompe de leurs pollinisateurs *Sphingidae* (Nilsson 1988).

Néanmoins, ces études basées sur une seule espèce végétales dans un écosystème donné ne sont pas adéquate lorsque la plante se retrouve dans plusieurs contextes écologiques différents. En fonction de la répartition géographique des écosystèmes ou bien en fonction des variations de conditions environnementales, les plantes seront pollinisées à des périodes différentes par des pollinisateurs éventuellement différents (Burkle & Alarcón 2011). Cette perception de variations spatio-temporelles d'interactions a amené les biologistes à considérer que la pollinisation ne tend pas uniquement vers une spécialisation, telle que suggérée par les syndromes floraux, mais plutôt vers une généralisation (Waser *et al.* 1996). Seule une approche à l'échelle des communautés de plante et des pollinisateurs permet de mettre en évidence la dynamique spatio-temporelle des mécanismes de pollinisation. Cette approche se fait sous forme de réseau bilatéral qui tient compte à la fois de la diversité des pollinisateurs et des plantes appelé *réseau de pollinisation* (Jordano 1987; Beckett 2016).

Dès lors, sans réfuter les causes évolutionnistes de certaines interactions, les mécanismes de pollinisation ne sont pas uniquement causés par des processus co-évolutifs. La diversité des patrons des réseaux de pollinisations mise en évidence jusqu'à aujourd'hui nécessitent à la fois la considération de facteurs écologiques (phénologie, abondance locale, comportement des pollinisateurs,...) et évolutionnistes (traits d'histoire de vie ; Bascompte & Jordano 2007).

Trois hypothèses tenant compte de ces deux facteurs expliquent les interactions, où l'absence d'interaction, entre les plantes et leurs pollinisateurs (Dáttilo & Rico-Gray 2018) :

- L'hypothèse de liens interdits (*the forbidden links hypothesis*) : une interaction entre deux espèces est le plus souvent rendue impossible à cause d'un non-recouvrement spatio-temporel de l'activité pollinisateurs et des périodes de floraison, ou bien à cause de barrières morphologiques ;
- L'hypothèse neutre (*the neutral hypothesis*) : une interaction est régie par des phénomènes aléatoires qui engendrent une rencontre. L'abondance des espèces dans un milieu donné est le facteur principal de ce type d'interactions ;
- L'hypothèse d'adéquation morphologique (*the morphological matching hypothesis*) : parmi les interactions non reprises par l'hypothèse de liens interdits, les pollinisateurs vont, sous l'effet de la compétition interspécifique, favoriser les fleurs dont la morphologie correspond à leurs pièces buccales.

Ces trois hypothèses ne sont pas mutuellement exclusives et leur importance dans la détermination des mécanismes de pollinisation dépend grandement des contextes écologiques (Vizentin-Bugoni *et al.* 2014).

v. Patron latitudinal des réseaux de pollinisation et réseaux tropicaux

Les patrons latitudinaux des réseaux de pollinisation tentent de comparer les mécanismes de pollinisation au sein des différents écosystèmes de la planète. Mais ce type d'étude est biaisé par de nombreux facteurs comme le manque de jeux de données (communautés plantes – pollinisateurs), un déséquilibre dans la répartition géographique des études (manque d'études en région paléo tropicale) et des biais d'échantillonnages et méthodologiques (Dáttilo & Rico-Gray 2018).

Toutefois, il semble que les réseaux de pollinisation manifestent un gradient de spécialisation croissant avec la latitude (Schleuning *et al.* 2012). Cette affirmation contre-intuitive s'explique par la plus grande richesse spécifique en zone tropicale qui induit une plus faible connectance des réseaux (Jordano 1987; Olesen & Jordano 2002) mais une plus grande modularité comparativement aux écosystèmes tempérés (Olesen *et al.* 2007). Les réseaux de pollinisation seraient donc moins spécialisés (mais plus modularisés) dans les régions tropicales que dans les régions tempérées et cela s'expliquerait majoritairement par la différence de richesse spécifique (Figure 2).

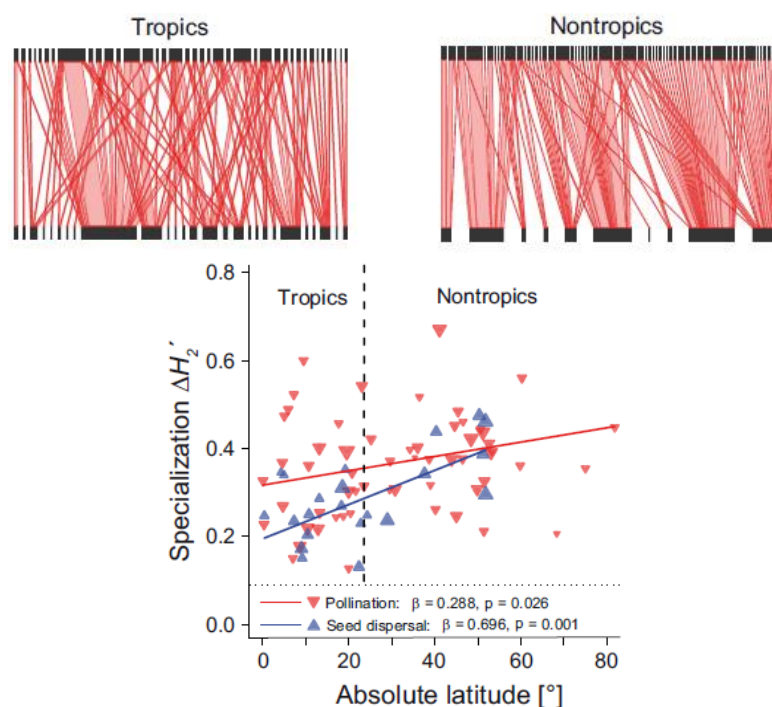


Figure 2: Illustration des différences de spécialisation des réseaux de pollinisation en fonction de la latitude absolue. Avec des pollinisateurs fonctionnellement redondants (droite) et des réseaux spécialisés impliquant des pollinisateurs fonctionnellement distincts (gauche). La barre supérieure représente les pollinisateurs et la barre inférieure représente les plantes (Schleuning, 2012).

Les patrons de réseaux pollinisation à faible connectance rencontrés au sein des communautés hyper diversifiées des milieux tropicaux sont causés principalement par une inadéquation morphologique où spatio-temporelle qui empêche l'interaction entre les plantes et les pollinisateurs (Vizentin-Bugoni *et al.* 2014; Jordano 2016).

vi. Phénologie florale, morphologie florale et sexualité

L'aspect temporel de la floraison est important lorsqu'on étudie la pollinisation. En effet, pour que l'interaction puisse avoir lieu entre deux espèces, il faut que leurs répartitions dans le temps et dans l'espace coïncident (Dáttilo & Rico-Gray 2018). Cela dépend donc des cycles de développement et des phénologies florales. Celle-ci compte 5 phéno-événements majeurs :

- L'ouverture de la fleur (anthèse) ;
- La déhiscence des anthères ;
- La réceptivité du stigmate ;
- La pollinisation ;
- La sénescence.

On considère que la fleur est fonctionnelle lorsqu'elle est capable de donner et/ou de recevoir les pollens. L'indicateur de cette fonctionnalité est la turgescence et sa durée dépend de l'espèce, des facteurs environnementaux et des mécanismes de pollinisation (Shivanna & Tandon 2014c).

L'aspect spatial est lié aux répartitions géographiques des plantes et des pollinisateurs, ainsi que des niches écologiques occupées au sein d'un même écosystème. En forêt tropicale, la répartition des pollinisateurs semble répondre à un patron selon lequel la canopée est occupée par des abeilles et le sous étage par les Hétérocères et les Coléoptères (Bawa 1990).

L'adéquation morphologique est également indispensable pour la pollinisation (Jordano 2016). Les traits phénotypiques de l'architecture florale dont il faut tenir compte sont la symétrie de la fleur, la longueur du tube de la corolle, et la disposition des étamines et/ou pistils (Conner *et al.* 1995). Parallèlement, les traits phénotypiques dont il faut tenir compte chez les visiteurs floraux sont la longueur des pièces buccales ainsi que la présence de poils sur le corps pour accrocher les pollens lors de leur visite (Dafni 2000; Sazatornil *et al.* 2016). Ainsi, en fonction de l'agencement des étamines par rapport au tube de la corolle, les visiteurs floraux vont pouvoir se charger en pollens sur diverses parties de leurs corps telles que les yeux, les pièces buccales, les pattes, le vertex ou le thorax. On parle de dépôt de pollens *nototrobique* lorsque les pollens s'attachent sur la partie dorsale de l'insecte et de dépôt *sternotrobique* lorsque les pollens s'attachent sur sa face ventrale (Dafni 2000).

Enfin, il est également nécessaire de tenir compte de la sexualité des fleurs et des plants qui les portent dans la caractérisation des mécanismes de pollinisation car les modes de reproduction allogamiques et/ou autogamiques en dépendent (Bawa *et al.* 1985). En forêt tropicale, les taux de monoécie, dioécie et d'hermaphrodisme des arbres émergeant de la canopée sont respectivement de 11,4%, 23,1% et 65,5%. Contrairement aux arbres dioïques, les arbres hermaphrodites et monoïques peuvent avoir recours à l'autopollinisation bien que la plupart soient « auto-incompatibles » (Bawa *et al.* 1985; Duminil *et al.* 2016b). Ces arbres favorisent donc la pollinisation croisée sur de longues distances (Loveless 1992; Nason *et al.* 1998; Loveless *et al.* 1998; Ward *et al.* 2005).

vii. L'apport de la palynologie

La palynologie est l'étude des palynomorphes, c'est-à-dire tout corps rencontrés dans les échantillons palynologiques dont les pollens sont les principaux constituants (Hesse *et al.* 2009). Elle trouve des applications dans de nombreux domaines tels que la paléo-botanique, la palyno-taxonomie ou encore la criminologie. Elle est indispensable en écologie de la reproduction des plantes à fleurs car elle permet l'analyse des pollens conspécifiques et hétérosécifiques contenus sur le corps d'un visiteur floral et/ou dans le stigmate d'une fleur (Hesse *et al.* 2009; Gosling *et al.* 2013; Shivanna & Tandon 2014d). L'identification des pollens peut être faite sur base de critères morphologiques (Moore 1978), ou par génotypage (Isagi & Suyama 2011). L'identification morphologique des pollens se base sur la taille des pollens, leur forme, leur symétrie, le nombre et la localisation de leur(s) aperture(s), leurs

ornementations et leur stratification. Tous ces éléments sont repris sur un diagramme appelé *palynogramme* (Hesse *et al.* 2009).

L'ordre de grandeur des grains de pollens de Spermatophytes varie de 5 à 350 micromètres, avec une moyenne comprise entre 15 et 50 micromètres (Shivanna & Tandon 2014d). Dès lors, la visualisation des structures morphologiques nécessaires à leur identification nécessite l'utilisation du microscope optique ou électronique (Hesse *et al.* 2009).

De nombreux atlas palynologiques ont été publiés ces dernières décennies décrivant les flores polliniques de divers écosystèmes. Il existe également des bases de données permettant l'identification des pollens (Gosling *et al.* 2013). Dans le cas des écosystèmes tropicaux d'Afrique centrale, la base de donnée la plus complète qui présente des inventaires palynologiques provenant des zones Guinéo-Congolaises est la « *Base de donnée des pollens Africains* » (African Pollen Database (APD) ; Vincens *et al.* 2007).

viii. Filtres à la pollinisation

Si une fleur entomophile a intérêt à développer des stratégies d'attraction envers les pollinisateurs, il est également dans son intérêt de limiter le nombre de visiteurs floraux polylectiques. En effet, ceux-ci risquent de causer un apport de pollen hétérospécifique provenant d'autres plantes simultanément en fleurs, ce qui bloque le mécanisme de pollinisation de la plante et diminue son fitness (Larson *et al.* 2006). Dès lors, un autre objectif de l'écologie de la pollinisation est de comprendre le mécanisme d'attraction/répulsion des plantes à fleurs envers les pollinisateurs de manière à maximiser leur fitness (Ramawat *et al.* 2014). L'objet de cette étude aborde les filtres à la pollinisation, on en dénombre 4 (Shivanna & Tandon 2014a) :

- Les filtres morphologiques : la couleur, forme, symétrie et les guides à nectars. Ce filtre rassemble les syndromes floraux et l'hypothèse de liens interdits ;
- Les filtres du parfum : la composition d'un parfum étant propre à chaque espèce végétale, il peut servir à la sélection de visiteurs floraux ;
- Les filtres du nectar : la quantité de nectar produite par la fleur et sa concentration en sucres influence le type d'animal qui vient visiter la fleur. Par exemple, certains composés phénoliques peuvent attirer ou repousser certains visiteurs floraux (Raguso 2004) ;
- Les filtres du pollen : tout comme le nectar, la composition des pollens est très variable d'une espèce à l'autre et peut favoriser certains visiteurs floraux plus que d'autres (Rasmont *et al.* 2005).

I. 3. Les risques de l'industrie forestière sur l'altération de la pollinisation croisée

i. Généralités

L'industrie forestière en Afrique Centrale est basée sur la gestion des massifs par des concessions. On dénombre 49 millions d'hectares de forêts attribués à des concessions forestières sur l'ensemble du bassin du Congo (de Wasseige *et al.* 2015). La production formelle annuelle de grumes dans le bassin du Congo était d'environ 6,8 millions de m³ en 2014 et a atteint un maximum de 8 millions de m³ entre 1997 et 2007 (ATIBT 2016). Le bois est essentiellement exporté en Asie et en Europe. Les exigences de ces deux marchés ne sont pas identiques, le marché européen accorde une importance à la légalité et à la gestion durable des forêts tandis que le marché Asiatique est moins exigeant. Le marché interafricain représente moins de 10% des volumes exportés et le sciage informel constitue une part importante de l'approvisionnement des pays limitrophes (Bayol *et al.* 2014).

La diversité des essences valorisées sur le marché est relativement faible : environ une cinquantaine d'essences dont une dizaine domine le marché (FAO 2010). Les trois essences les plus exploitées sont l'Okoumé, le Sapelli et l'Ayous et représentent 54% de la production (ATIBT 2016). Ces essences commerciales font l'objet d'une exploitation sélective qui ne prélève en moyenne qu'une à trois tiges par hectare dont le diamètre est supérieur à un Diamètre Minimum d'Exploitation (DME), ce qui représente un volume allant de 5 à 15 m³ à l'hectare (Lourmas *et al.* 2007; FAO 2010). Ce mode d'exploitation planifié dans les concessions ne cause pas de fortes dégradations. On estime que dans une

concession, 7% de sa surface forestière est dégradée par le développement d'infrastructures routières nécessaire au transport des grumes et 0,5% de sa surface est dégradé par les trouées d'abattage (de Wasseige *et al.* 2015).

Néanmoins, elle a tout de même des impacts sur la biodiversité. Ces impacts sont classés selon leur aspect direct ou indirect et selon leur aspect évitable ou inévitable (Souvannavong *et al.* 2008). Les impacts directs et inévitable sont la diminution de la biomasse, la fragmentation de l'habitat, les pertes permanentes ou temporaires de couvert forestier, les bruits ou perturbations diverses et les changements de composition floristiques. Les impacts directs évitables sont les dégâts dans les peuplements, l'érosion des sols et la pollution, la diminution du nombre d'essences et l'érosion génétique.

Bien que l'ampleur de certains impacts sur la biodiversité soit encore en discussion, des mesures de limitations sont mises en œuvre telles que des mesures d'Exploitation Forestière à Impact Réduit (EFIR), l'aide à la régénération après exploitation, et la certification légale et/ou durable de l'exploitation du bois commercial (de Wasseige *et al.* 2015). En 2016, parmi les 49 millions d'hectares attribués à 31 concessions dans le bassin du Congo, 24 millions d'hectares bénéficiaient d'un plan d'aménagement. Parmi ceux-ci, 8,8 millions d'hectares, soit 18% de la surface totale, étaient certifiés pour leur légalité (dont 5,6 millions d'hectares certifiés *FSC* ; ATIBT 2016).

ii. Impacts de l'exploitation forestière sur la pollinisation

L'érosion génétique fait partie des impacts directs évitables de l'exploitation forestière (Souvannavong *et al.* 2008). Elle se manifeste par une altération des flux de gènes et un appauvrissement du pool génétique des essences ciblées (Hamilton 1999; FAO 2010). Quelques études se sont penchées sur le sujet en Afrique Centrale (Lourmas *et al.* 2007; Duminil *et al.* 2016b). L'exploitation forestière sélective des forêts tropicales a plusieurs effets sur la génétique des grandes essences commerciales.

Premièrement, elle réduit la densité des arbres de grande taille qui participent à la reproduction et à la dispersion des espèces (Lourmas *et al.* 2007). Cette diminution de densité mène à une réduction de la richesse allélique et peut donner lieu à une dérive génétique (Degen *et al.* 2006; Soliani *et al.* 2016).

Deuxièmement, l'éloignement des pieds fertiles les uns des autres peut également avoir une conséquence sur le mode de reproduction de l'espèce par rapport à la mobilité des disperseurs de ses pollens (Sebbenn *et al.* 2008). En effet, la plupart des essences en forêt tropicales se reproduisent par pollinisation croisée sur de longues distances (Bawa *et al.* 1985). En absence de vecteurs de pollens assurant la connexion entre deux plants trop éloignés, les essences peuvent avoir recours à l'autopollinisation menant à un accroissement du risque de consanguinité (Duminil *et al.* 2016b). L'autopollinisation diminue la vitalité des plants qui en résultent. De plus, dans une population donnée, la totalité des individus présents ne participera pas forcément à la reproduction de l'espèce au même moment. Cette désynchronisation phénologique intraspécifique accentue l'effet de la diminution de la densité conspécifique ainsi que l'éloignement des pieds les uns des autres vis-à-vis des pollinisateurs (Murawski & Hamrick 1991).

L'impact de l'exploitation forestière certifiée sur la structure génétique des populations d'essences commerciales demeure peu étudié en Afrique Centrale (Duminil *et al.* 2016b). Pourtant, il est nécessaire d'avoir d'avantage de connaissances sur la biologie reproductive des grands arbres pour la mise en œuvre certains critères des normes *FSC* (critère 6.3 relatif au maintien d'une diversité génétique).

II. Objectifs de l'étude

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est d'apporter d'avantage d'informations sur la biologie reproductive de trois essences à haute valeur commerciales : le Moabi, le Doussié et le Tali. Ceci a pour but d'évaluer l'impact de l'exploitation forestière certifiée *FSC* sur les mécanismes de dispersion de leurs pollens. Ce travail poursuit les travaux menés par Ludovic Charlotheaux et Quentin Evrard dans le cadre de son doctorat consacré aux flux de gènes de ces essences (2017). Trois objectifs principaux ont été déterminés :

(1) L'implémentation de nouvelles méthodes de captures adaptées à la canopée des arbres tropicaux afin d'en caractériser l'entomofaune nocturne et diurne, et parmi celle-ci, la détermination des visiteurs floraux. Cet objectif se décline en 2 sous objectifs :

- (i) La comparaison des communautés d'insectes capturés par types de pièges ;
- (ii) La comparaison des communautés d'insectes présentes dans la canopée des trois essences.

(2) L'identification des visiteurs floraux de chaque espèce par analyses palynologiques des pollens portés par les insectes capturés. Cet objectif se décline en 3 sous objectifs :

- (i) L'identification et la description morphologique des pollens des trois essences ;
- (ii) La détermination des taxa des visiteurs floraux ;
- (iii) La comparaison des communautés de visiteurs floraux entre les trois essences étudiées.

(3) Le calcul de l'impact de l'exploitation forestière selon la méthode développée par Charlotheaux (2017) en y intégrant un facteur tenant compte du taux de floraison au sein des populations.

Afin d'atteindre ces objectifs, les insectes visiteurs de 16 arbres en fleurs (8 Doussié, 6 Moabi et 2 Tali) ont été recensés par trois méthodes de captures que sont des pièges à papillons, des pièges jaunes et des pièges lumineux à plaque transparentes. La parcelle des deux études sont localisées dans une concession d'une société certifiée *FSC* (*Forest Stewardship Council*).

III. Matériel et méthodes

III. 1. Sites d'étude

Cette étude a été réalisée au Cameroun au sein de massifs forestiers dont la gestion a été attribuée à « Pallisco-CIFM ». Celle-ci est l'association de deux sociétés, l'une exploitant les forêts (Pallisco) et l'autre transformant directement le bois (CIFM, *Centre Industriel Forestier de Mindourou*). Leurs sièges se situent à Douala et le site d'exploitation-transformation est situé à Mindourou dans le Sud-est du Cameroun (*Figure 3* ; Pallisco & Nature+ 2015).

Pallisco gère actuellement sept Unités Forestières d'Aménagement (UFA) recouvrant une surface totale de 388.949 ha. Deux regroupements d'UFA ont été effectués (10.041, 10.042, et 10.043 – 10.030, 10.031) afin de faciliter leur gestion. Quatre plans d'aménagements ont donc été établis pour ces massifs (*Figure 3*).

Ces plans respectent les normes imposées par le label *FSC* détenu par Pallisco depuis 2008. Il constitue un engagement de la société à préserver un bon fonctionnement des écosystèmes, une pérennité de leurs services, ainsi qu'une équité sociale vis-à-vis des populations qui en dépendent. Dans cette optique, l'entreprise a mis en place toute une série d'infrastructures et d'initiatives vis-à-vis des populations riveraines des forêts, ce qui fait de Pallisco-CIFM un exemple en termes de gestion forestière durable en Afrique Centrale (Pallisco & Nature+ 2017).

Pour assurer son activité et soutenir sa politique de gestion durable, plusieurs partenariats ont été établis. Parmi ceux-ci, l'asbl belge « Nature + » appuie au niveau technique sa cellule d'aménagement et le laboratoire de foresterie tropicale de Gembloux Agro-bio Tech (ULg) fournit une expertise scientifique dans les domaines sylvicoles, écologiques et sociaux. au travers de travaux ou projets de recherche (P3FAC¹, PPECF²) soutenus par divers bailleurs tels que le FNRS³, FFEM⁴, ATIBT⁵ ou encore COMIFAC⁶ (Pallisco & Nature+ 2015; Coraline, 2017).

Deux parcelles mises en place par l'entreprise ont servi de support à notre étude. La première parcelle, de 900 ha, est située dans l'assiette de coupe 9 de l'UFA 10.042. Elle a été installée en 2016 afin d'étudier le flux de gènes d'essences commerciales. Elle a fait l'objet d'un inventaire exhaustif des pieds de Moabi (*B. toxisperma*), Doussié (*A. bipindensis*), Iroko (*Milicia excelsa*), Sipo (*Entandrophragma utile*) et Tiama blanc (*Entandrophragma angolense*).

Dans cette étude, nous nous sommes focalisés sur les espèces en fleurs au cours des mois de février à avril 2018, soit les Moabi, Doussié et Tali. Toutefois, les Tali en fleurs n'ont pu y être étudiés car ils n'étaient pas bien conformés pour la grimpe (futs colonisés par les lianes). Cette dernière essence a donc été étudiée dans une autre parcelle, de 400 ha, située dans l'UFA 10.030 où l'équipe de suivi phénologique avait observé des pieds en floraison (Figure 3).

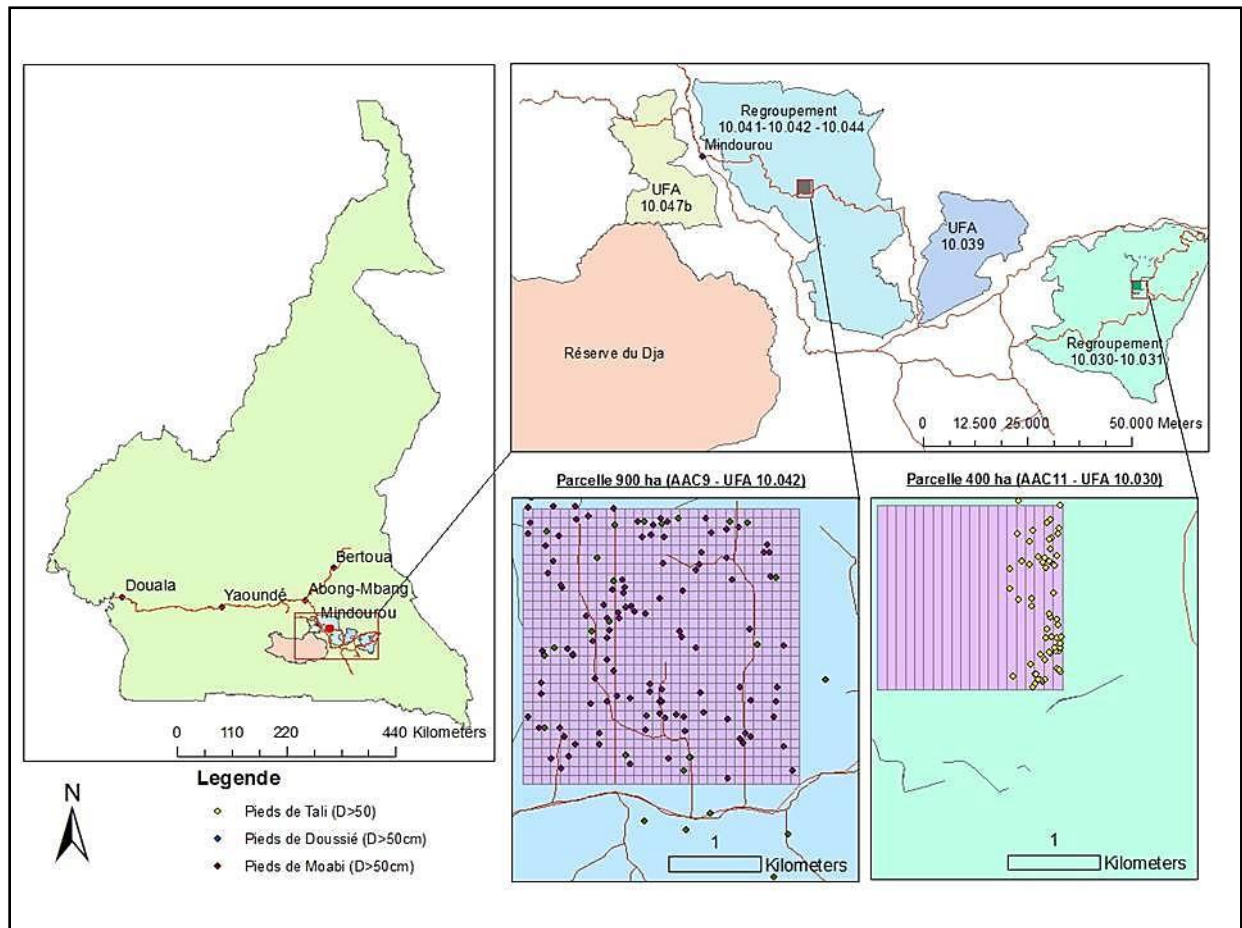


Figure 3: Localisation des UFA et des parcelles d'étude de l'entreprise Pallisco au Cameroun et localisation des essences dans les parcelles (Tali – Moabi – Doussié)

¹ P3FAC est un projet financé par FFEM et ATIBT pour consolider les données scientifiques de dynamique forestières et mobiliser les acteurs autour des résultats des recherches sur une durée de 5 ans

² PPEFC (Programme de Promotion de l'Exploitation Certifiée des Forêts)

³ FNRS (Fonds National de la Recherche Scientifique)

⁴ FFEM (Fonds Français pour l'Environnement Mondial)

⁵ ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux)

⁶ COMIFAC (Commission des Forêts d'Afrique Centrale)

III. 2. Modèles biologiques

i. Le Moabi - *Baillonella toxisperma* Pierre (SAPOTACEAE)

Le Moabi est une essence de la famille des *Sapotaceae* emblématique des forêts tropicales denses humides sempervirentes et semi-décidues. Sa répartition géographique, représentée en Figure 3 issue des bases de données du CJB⁷, s'étend sur une surface couvrant le Sud du Nigéria, le Sud du Cameroun, le Gabon, la République démocratique du Congo dans la région du Mayombe, l'Angola et la Guinée Equatoriale. Cette essence, endémique des forêts Guineo-Congolaises, peut atteindre une taille de 60 m de hauteur pour 5 m de diamètre, elle est réputée tant pour son bois que pour ses produits non ligneux (Mapaga *et al.* 2002; Duminil *et al.* 2016b). Le Moabi a été interdit d'exploitation en 2009 au Gabon (de Wasseige *et al.* 2012, 2014).

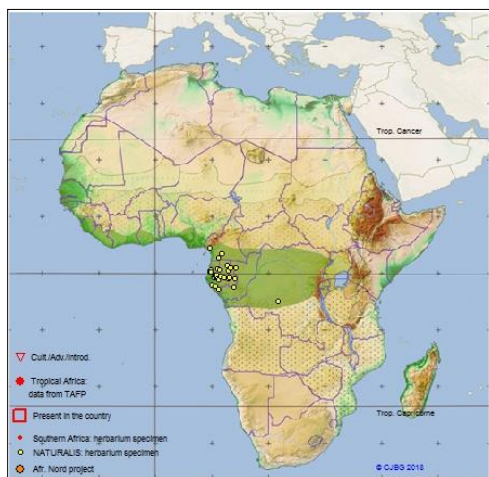


Figure 4: Aire de répartition de *B. toxisperma* PIERRE issu des bases de données du CJB

Son bois est brun-rosé à rouge, il présente un grain fin et une bonne stabilité une fois sec. Son séchage est lent et ses taux de retraits sont moyens. Il est naturellement durable et s'imprègne difficilement. Ces caractéristiques lui confèrent de multiples utilisations telles que la menuiserie d'intérieure et d'extérieure, l'ébénisterie massive, le plaquage, et ses atouts esthétiques sont valorisés dans divers usages décoratifs (ATIBT 1986; Gérard *et al.* 2016)

Ses produits non-ligneux sont multiples, la pulpe de ses fruits est consommée fraîche par les populations locales, le noyau de son fruit fournit une huile utilisée en cuisine et en médecine traditionnelle contre les douleurs rhumatismales. Son écorce peut être également utilisée en décoction pour traiter les problèmes rénaux et autres (Doucet&Kouadio 2007).

Au niveau de son écologie, le Moabi se retrouve en forêt mature ou en vieille forêt secondaire, il est plus fréquent en forêt semi-décidue qu'en forêt sempervirente (Gérard *et al.* 2016; Duminil *et al.* 2016b). Il s'agit d'une essence semi-héliophile d'accroissement moyen de 0.4 cm par année (Doucet & Kouadio 2007; Pallisco 2007a). Il est disséminé dans les massifs à des densités relativement basses de 0.01 à 0.1 individus/ha (Duminil *et al.* 2016b). Au Cameroun, la forêt du Dja présente des densités plus élevées d'environ 0.6 Moabi à l'hectare (Gérard *et al.* 2016).

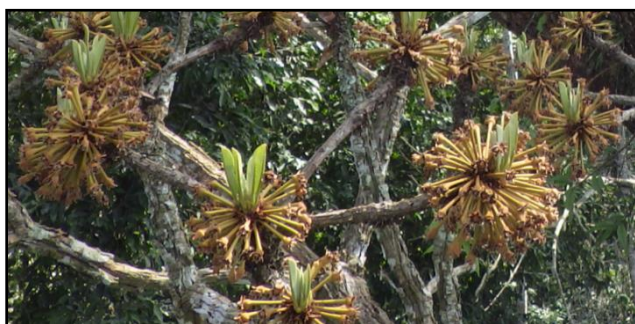


Figure 5: Inflorescences de Moabi (© S. Annebi)

Le Moabi fleurit régulièrement à partir de 70 cm de diamètre (Debroux 1998). Ses fleurs (Figure 5) sont toutes bisexuées ce qui en fait une essence hermaphrodite. Elles sont inodores, de petites tailles (1 cm) et de couleur blanc verdâtres. Elles ont un calice à 8 sépales, 8 étamines, 8 staminodes velus, et un pistil glabre (Aubreville 1961; Meunier *et al.* 2015). Elles forment des inflorescences terminales de 10 cm de large (Mapaga *et al.* 2002). On observe une inversion phénologique en fonction de la localisation certainement

causée par l'inversion de saisons par rapport à l'équateur. Au Cameroun, la floraison survient après la grande saison sèche entre février et avril et s'accompagne d'une chute des feuilles (Mapaga *et al.* 2002; Meunier *et al.* 2015).

⁷ CJB : Conservatoire et Jardins Botaniques de la ville de Genève

<http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/details.php?langue=fr&id=177557>

Les fleurs sont probablement entomophiles. et il a été démontré qu'au Gabon, environ 30% des Moabi avaient recours à l'autopollinisation, laquelle se traduit par une dépression de consanguinité. La distance moyenne de dispersion de pollens est d'environ 700 m, ce qui suggère un flux de gène préférentiel vis-à-vis du plus proche arbre voisin lorsqu'on considère les densités à l'hectare (Duminil et al. 2016b).

ii. Le Doussié - *Afzelia bipindensis* HARMS (Fabaceae- CAESALPINOIDAE)

Le Doussié est une essence endémique de l'Afrique Centrale de la famille des *Fabaceae* (*Caesalpinoidae*). On la retrouve dans les forêts denses humides tropicales sempervirente et semi-décidues de la région Guinéo-congolaise où elle atteint une taille moyenne de 40 m (Donkpegan *et al.* 2014; Gérard *et al.* 2016). Le nom commercial « Doussié » fait référence à quatre espèces du genre *Afzelia* (*A. africana*, *A. bella*, *A. bipindensis* et *A. pachyloba*) très proches du point de vue morphologique, on parle de *complexe d'espèces*. La répartition géographique d'*A. bipindensis* est présentée (Figure 4), cette carte est issue de la base de données du CJB⁸.

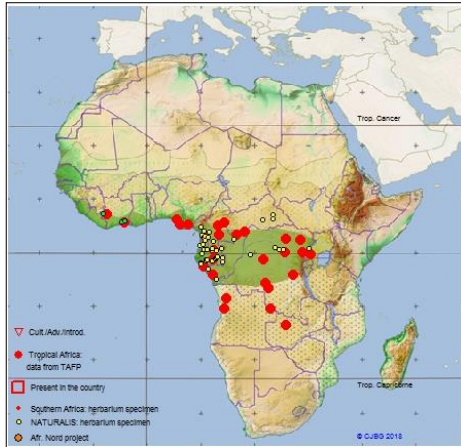


Figure 6: Répartition géographique d'*Afzelia bipindensis* HARMS issu des bases de données du CJB

Le bois brun-rougeâtre du Doussié est caractérisé par une bonne durabilité naturelle, une faible sensibilité aux variations d'humidité, un faible ratio de retrait tangentiel/radial lors du séchage et une excellente stabilité.

Ces caractéristiques lui attribuent de nombreuses utilisations telles que la menuiserie d'intérieur et d'extérieur, les ossatures en construction navale, l'ébénisterie et les constructions de ponts (ATIBT 1986; Pallisco 2007b; Gérard *et al.* 2016).

Ses produits non-ligneux fournissent également des usages aux populations riveraines des forêts. L'arille de ses graines est utilisée pour soigner les gerçures aux lèvres et les exsudats de son écorce traitent les maux d'estomac (Fondation PROTA 2012)

Au niveau écologique, le Doussié est une espèce caducifoliée, semi-héliophile d'accroissement moyen 0,4 cm de diamètre par an (Evrard 2015). L'espèce est généralement dispersée dans les forêts sempervirente et semi-sempervirente où on la retrouve à des altitudes inférieures à 900m (Donkpegan *et al.* 2014; Meunier *et al.* 2015). Au Cameroun, la densité de Doussié de diamètre supérieur à 60 cm va de 0,02 et 0,2 pieds par hectares.



Figure 7: Inflorescences de Doussié (© S. Annebi)

En ce qui concerne la sexualité et la phénologie florale, le Doussié fleurit à partir de 20 cm de diamètre (à hauteur de poitrine), soit à un âge de 50 ans, durant la période comprise entre mars et avril (entre la grande saison sèche et la petite saison des pluies). Les fleurs forment des inflorescences en panicle terminale et sont toutes bisexuées ce qui fait du Doussié une essence hermaphrodite (Aubreville 1968; Donkpegan *et al.* 2014).

Les fleurs d'*A. bipindensis* (Figure 4) sont fortement odorantes, elles présentent un large pétale blanc ou rose violacé, trois à huit étamines fertiles dont le filet a une longueur de 25-45 mm, et un unique pistil de longueur semblable aux étamines (Aubreville 1968; Donkpegan *et al.* 2014; Meunier *et al.* 2015). Le calice comprend quatre sépales verts non soudés. Ces caractéristiques florales peuvent être à priori liées aux syndromes de *psychophilie*, *halaenophilie* et *cantharophilie* (Faegri & vade der Pijl 1979), c'est-à-

⁸ <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/details.php?langue=fr&id=68435>

dire qu'elles seraient pollinisées par des papillons diurnes et nocturnes ainsi que par les Coléoptères. Les observations faites sur le terrain, déjà rapportées par Ludovic Charlotteau en 2017, indiquent un changement de couleur lors de la senescence de la fleur ce qui pourrait constituer un filtre à la pollinisation. En effet, il a été observé chez certaines fleurs un changement de couleur post-pollinisation qui diminue l'attraction visuelle des fleurs et oriente les pollinisateurs vers celles qui n'ont pas encore été pollinisées (Shivanna & Tandon 2014e). Dans le cas du Doussié, si cette hypothèse s'avère correcte, le calice se colorerait en violet et le pétale tomberait après pollinisation pour orienter les pollinisateurs vers les fleurs portant encore leurs pétales (Figure 4).

iii. Le Tali - *Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan (Fabaceae-CAESALPINOIDAE)

A l'instar du Doussié, le Tali est une essence de la famille des *Fabaceae* (*Caesalpinioideae*). L'appellation « Tali » fait référence à deux espèces que sont *Erythrophleum ivorense* A. Chev et *Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan. L'espèce *E. suaveolens* se retrouve dans les forêts denses humides sempervirente et semi-décidues de la région Guinéo-congolaise (Meunier *et al.* 2015). Sa répartition géographique (Figure 8 issue du site de la CJB⁹) recouvre la Sierra Leone, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigeria, le Cameroun, le Congo et le Gabon (Cirad 1977). Elle atteint une hauteur de 30m pour 1,5 m de diamètre avec un tronc court et irrégulier. Cette essence est réputée pour son écorce toxique qui possède de nombreuses applications en médecine traditionnelle.

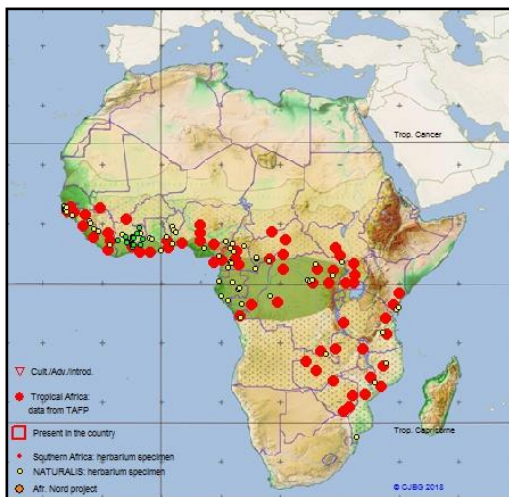


Figure 8: Répartition géographique d'*E. suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan issu des bases de données du CJB

Son bois brun présente un grain grossier (Gérard *et al.* 2016). Il est également lourd (densité de 0.9 - [H₂O] = 12%) et durable (Pallisco 2007c; Meunier *et al.* 2015). Il est très exploité et utilisé pour les menuiseries lourdes d'extérieures et les traverses hydrauliques (ATIBT 1986). Selon l'exercice annuel de Pallisco (2013), le Tali a été exploité à raison de 20.766 m³, soit 19% du volume total exploité. Le Tali est donc la deuxième essence la plus exploitée par Pallisco qui l'exporte majoritairement sous forme de grumes (Pallisco&Nature+ 2015).

Au niveau écologique, le Tali est une essence pionnière indicatrice des forêts secondaires, souvent rencontrée en lisière de forêt (Cirad 1977; Meunier *et al.* 2015). Elle se répartit dans les massifs généralement de façon grégaire et son accroissement moyen est de 0,4 cm de diamètre par an (Pallisco 2007c; Meunier *et al.* 2015).

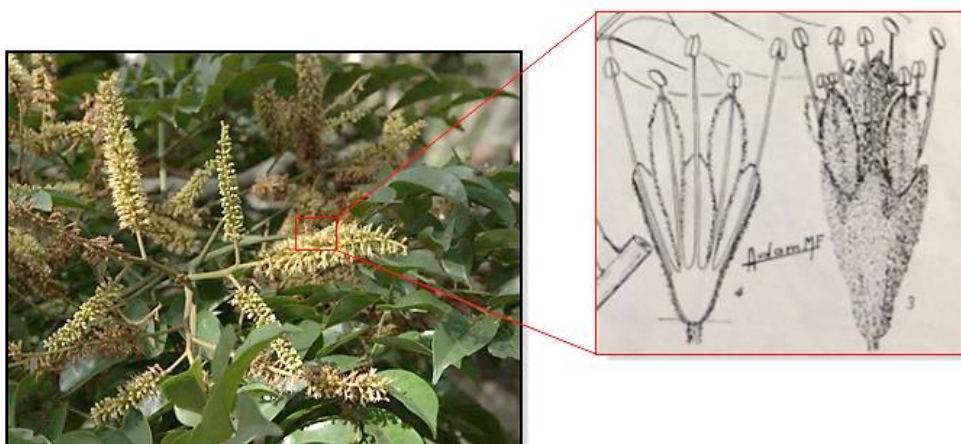


Figure 9: Inflorescence en épi paniculé du Tali (© A. Segers) et illustration des fleurs issue de Aubreville (1968)

⁹ <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/details.php?langue=fr&id=69372>

La floraison du Tali survient entre janvier et avril (Cirad 1977), toutes les fleurs sont bisexuées ce qui fait du Tali une essence hermaphrodite. Les fleurs (*Figure 9*) subsessiles sont très petites, non odorantes et de couleur blanc-jaunâtre à verdâtre (3 mm de long). Elles présentent des étamines de 5 mm de longueur et un ovaire velu (Aubreville 1968; Fondation PROTA 2012). Elles forment des inflorescences en épi paniculé dressés au bout des branches (Cirad 1977).

III. 3. Prospection des arbres en floraison

Avant de grimper sur les arbres et de poser les pièges, il est nécessaire au préalable d'identifier les pieds en fleurs et d'élaborer un planning le plus optimal possible. La prospection des arbres en fleurs a occupé plusieurs journées réparties sur les trois premières semaines de la mission (semaines du 12 février au 26 février 2018). La méthodologie suivante a été suivie :

- Sélection des Moabi et Doussié de diamètre supérieur à 50 cm sur le logiciel ArcGIS (version 10.3.1) à partir des données d'inventaire des parcelles précédemment décrites;
- Consultation des fiches du suivi phénologique (suivi mensuel par l'équipe de recherche de Pallisco d'une partie des arbres des parcelles en vue d'étudier leur cycle phénologique) afin de repérer les essences en fleurs dans la parcelle d'étude de 900 ha avant d'aller prospecter sur le terrain ;
- Prospection sur le terrain des pieds non repris par le suivi phénologique à l'aide d'un GPS Garmin dans lequel les coordonnées des arbres ont été préalablement sélectionnées. Cette prospection nécessitait une paire de jumelles pour identifier avec certitude la floraison de l'arbre. Les Tali n'ayant pas fait l'objet de l'inventaire complet, ils étaient repérés visuellement sur les parcours de prospection dédiés aux Moabi et aux Doussié ;
- Attribution d'un indice de floraison à la canopée des arbres prospectés. Cet indice appréciait visuellement la proportion de la canopée (%) portant des fleurs ;
- Cartographie des arbres en fleurs au sein de la parcelle et élaboration d'un planning de grimpe.

III. 4. Protocole d'échantillonnage des insectes dans les canopées fleuries

i. Protocole général

Après avoir prospecté au préalable les pieds de chaque essence en fleurs, les insectes présents dans leur canopée ont été capturés de jour comme de nuit au moyen de trois types de pièges : les pièges lumineux à plaques transparentes, les pièges à papillons et les pièges jaunes. Ces trois types de pièges effectuent une capture dite « passive » basée sur un principe d'attraction et ciblent les insectes anthophiles décrits par l'étude d'Ollerton (2017) présentés en section précédente.

L'approche suivie lors de la capture des insectes consistait à développer une méthode standardisée et reproductible sur chaque essence étudiée afin de pouvoir en comparer les inventaires. Chaque piège a été simultanément disposé dans la canopée des arbres le plus près possible des fleurs. L'accès à la canopée été effectué par application de la méthode de grimpe en « *foot lock* » couramment utilisée par les grimpeurs – élagueurs. La description des pièges et de la méthode de grimpe sont présentées dans les sections suivantes. *NB : Dans le protocole initial, des captures au filet étaient prévues ainsi que l'utilisation de pièges photographiques, mais ces derniers n'ont pas pu être utilisés sur le terrain pour des raisons de poids, d'encombrement, de temps et de visibilité réduite en canopée dû à la présence en masse de mélipones et autres insectes dérangeants.*

Durant quatre semaines (du 5 au 31 mars 2018), les pièges étaient installés dans la matinée et récupérés 24h plus tard pour des raisons d'autonomie des batteries des pièges lumineux. L'équipement d'un arbre prenait en moyenne une à deux heures ce qui permettait d'équiper deux à trois arbres par jour. Les facteurs limitant le nombre d'arbres à équiper sont présentés dans l'encadré n°1. La *Figure 10* illustre les constituants des pièges au sol et les pièges une fois placés dans la canopée.

Encadré n°1 : Facteurs limitants le nombre d'arbres à échantillonner :

- Nombres de pièges à transporter (en plus du matériel de grimpe), limité à trois pièges de chaque type soit 9 pièges à transporter en forêt pour un poids estimé à 17 kg ;
- Accessibilité de la canopée (présence de lianes, hauteur des premières charpentières et encombrement du sous-étage) ;
- Aléas climatiques : saison des pluies en avance lors des premières semaines ;
- Eloignement des pieds en fleurs à grimper les uns des autres.

De jour, les pièges à papillons, les pièges jaunes et les plaques transparentes des pièges lumineux capturaient les insectes de la canopée. Durant la nuit, le prototype de piège lumineux et le piège à papillons capturaient les insectes sur des intervalles programmés grâce à un *timer*.

Les fleurs de chaque essence étudiée ont été prélevées afin d'identifier leurs pollens et de pouvoir ensuite évaluer si ces derniers étaient portés par les insectes capturés. Les fleurs ont été conservées dans de l'alcool 70% de la même manière que les insectes.



Figure 10: A gauche, les constituants nécessaires au montage des pièges avant leur installation dans la canopée, (a) Le piège lumineux à plaque transparente (structure plaques d'interception/entonnoir – batterie 12 V reliée à la source lumineuses LEDS – filet du sac de récolte), (b) Piège jaune (réceptacle jaune - eau savonneuse), (c) Piège à papillons (filet replié – appâts fermentés). A droite : les trois dispositifs placés dans la canopée. (© Arnaud Segers)

ii. Les pièges lumineux d'interception à plaques transparentes

De nombreux dispositifs de pièges lumineux sont disponibles sur le marché (Fry, 2001), mais aucun n'est adapté à la canopée des grands arbres tropicaux. Un prototype a donc dû être élaboré pour pouvoir y recenser les insectes nocturnes. Le dispositif que nous cherchions à mettre en place ne devait être ni destructif, ni exhaustif, c'est-à-dire qu'il ne devait pas tuer les insectes et qu'il ne devait pas les attirer dans un rayon trop important.

Une étude de la littérature a permis dans un premier temps de mettre en évidence les caractéristiques du prototype adéquat pour l'étude des visiteurs floraux/pollinisateurs nocturnes. Ensuite, une étude du marché a rapidement été faite avec des membres de l'axe BIODYNE de GxABT. Elle a permis de mettre en lumière les contraintes budgétaires et logistiques pour sa mise en application en forêt tropicale. Les caractéristiques du piège et les contraintes mises en évidence sont les suivantes :

- Longueur d'onde de la source lumineuse : la lumière émise doit pouvoir attirer l'entomofaune. La sensibilité des insectes nocturnes à la lumière est d'autant plus accrue que la longueur d'onde est basse. Ainsi, le phototropisme sera plus important pour les gammes de longueurs d'onde allant des ultra-violets au vert (Steiner & Häuser 2010; Brian 2016). La source lumineuse doit donc émettre une lumière d'une longueur d'onde préférentiellement basse allant de 350 à 550 nm ;
- Puissance de la source lumineuse : la puissance d'émission est positivement corrélée au rayon d'attraction des insectes (Bowden 1982). Les inventaires exhaustifs utilisent en général une source lumineuse de 125W. Dans notre cas, il est important de ne cibler que l'habitat de la canopée fleurie et de ne pas attirer les insectes outre mesure. La puissance nécessaire à ce genre

d'étude est de 8W (Steiner & Häuser 2010). De cette manière, nous pouvons émettre l'hypothèse que les insectes capturés ont d'abord été attirés par les fleurs de l'arbre pour ensuite être attirés par la source lumineuse placée au centre de sa canopée ;

- Le type de source lumineuse : parmi les différents types de sources (tubes lumière noire, tubes à lumière actiniques ou LEDS), les tubes LEDS permettent de mieux cibler le pic de longueurs d'ondes émises ;
- Poids et encombrement vs. autonomie de la batterie : au plus la batterie a une grande capacité, ce qui lui assure une grande autonomie, au plus elle est lourde. Les batteries au lithium ont le meilleur rapport autonomie/poids mais il n'est pas autorisé de les transporter en avion, les batteries au plomb représentent le meilleur rapport autonomie/poids et peuvent être transportées en avion ;
- Budget et fiabilité du piège : le budget relatif à l'élaboration du prototype a été financé par le projet P3FAC (environ 700 €) ;

Neuf scénari d'élaboration de prototypes ont été proposés. Chacun présentait des caractéristiques différentes dont un tableau récapitulatif est présenté en *Annexe 1*. Le dispositif idéal qui répondait au mieux aux caractéristiques et contraintes énoncées ci-dessus était un piège lumineux à plaques transparentes semblable aux pièges Polyvie bleu (PVB) expérimenté en 2016 (Touroult *et al.* 2017) présentant :

- Une structure en plexiglass repliable pour son transport lors de la mission. Cette structure comprend des plaques d'interception en croisillon maintenues par une plaque de polystyrène et un entonnoir également repliable ;
- Une batterie à l'acide de plomb scellée de 12 volts d'une capacité de 7 ampères-heures rechargeable, pesant 2,65 kg (Yuasa modèle NP7-12) ;
- Un timer 12 V permettant de contrôler les intervalles d'éclairement ;
- Une source lumineuse constituée d'une bande de 40 LEDS UV d'une longueur d'onde de 395-405 nm pour une puissance de 9,6 Watts ;
- Un sac de récolte en toile de polyester à velcro dans lequel les insectes tomberont et pourront être récupérés vivants.

Les plans du dispositif et les illustrations sont présentés en *Annexe 2*. 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 *timer* était donc réglé sur les horaires de 19h30 à 01h30 ce qui correspond aux heures où les insectes nocturnes sont les plus actifs. Ses plaques transparentes permettaient également l'interception d'insectes diurnes. 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).

iii. Les pièges jaunes

Les pièges jaunes à eau savonneuse sont les pièges les plus utilisés pour les recensements de pollinisateurs (Roulston *et al.* 2007). La plupart du temps, ces pièges sont utilisés au sol et sont constitués d'un récipient de couleur jaune posé sur une tige dépassant la strate herbacée. Les insectes floricoles tels que les Hyménoptères, les Diptères et certains Coléoptères sont attirés par la couleur du récipient (Touroult *et al.* 2017). Ce dernier est rempli d'eau savonneuse afin de rompre la tension de surface pour que l'insecte ne puisse pas en sortir (Roulston *et al.* 2007).

Afin de pouvoir les utiliser en canopée, nous avons légèrement modifié les caractéristiques de ces pièges. En effet, les bols jaunes ont été remplacés par des bouteilles de 10 L coupée au niveau de leur tiers supérieur. Le récipient ainsi obtenu a été peint en jaune et percé de trous pour évacuer l'eau de pluie risquant de le faire déborder. Idéalement, le savon doit être inodore mais il n'a pas été possible d'en trouver. Les illustrations de ces pièges jaunes adaptés à la canopée sont présentées en *Annexe 2*.

iv. Les pièges à papillons

Au vu de l'efficacité de ce type de piège lors de l'étude des pollinisateurs du moabi et du doussié (Charloteaux, 2017), nous avons décidé de conserver ce dispositif. Cependant par souci de standardisation des méthodes d'inventaires, seul un type de fruit fermenté a été employé comme appât

afin de pouvoir comparer les récoltes entre elles : il s'agit de la banane douce fermentée dans une solution de sucre de canne pendant 48h car elle constitue un appât standard (Freitas *et al.* 2014).

Les insectes ciblés par ce type de pièges sont les papillons diurnes et nocturnes ainsi que des Hyménoptères, Blattoptères, Diptères et Homoptères (Charloteaux 2017). Une illustration des pièges est également présentée en *Annexe 2*. Il s'agit d'un cylindre en toile de polyester suspendu ($h=100\text{cm}$, $D=38\text{ cm}$). Sa base inférieure est ouverte par un cône dont l'ouverture supérieure a un diamètre de 10 cm. Une assiette en plastique dans laquelle sont placés les fruits fermentés est disposée sous le cylindre. Ce piège présente l'avantage d'être repliable dans une poche cylindrique pesant 310g pour un encombrement de 21 cm de diamètre et 5 cm d'épaisseur.

v. Mise en place dans la canopée : grimpe au « foot-lock »

De nombreuses méthodes d'accès à la canopée existent pour pouvoir y étudier leur biodiversité. La méthode employée dans cette étude est semblable à la méthode développée par Cafotrop (Picart *et al.* 2014). Il s'agit ici du « foot-lock », signifiant littéralement blocage par les pieds. Cette méthode permet l'ascension sur deux cordes (*DRT – Doubled Rope Technique*) en les bloquant au niveau des pieds. Des poignées autobloquantes (poignées *Jumar*) reliées au harnais du grimpeur sont ensuite remontées sur les deux brins d'accès. Cette opération de mouvement vertical se répète jusqu'à ce que les premières charpentières de l'arbre soient atteintes. A ce moment, les cordes de rappel fixées à un « point haut » de la canopée sont utilisées pour les déplacements latéraux.

Le matériel de grimpe nécessaire à cette méthode comprend par grimpeur (*Figure 11*) : une corde d'accès d'une longueur de 100 mètres, une corde de rappel d'une longueur variant entre 40 et 50 m équipé d'une poulie et d'un nœud *prussik* pour les déplacements latéraux, une longe d'environ 5 m également équipée d'une poulie et d'un nœud *prussik*, un harnais de grimpeur – élagueur équipé des poignées *Jumar*, d'un huit à ergots pour la descente, et de mousquetons triple sécurité. Les sessions de grimpe lors des missions étaient encadrées par le grimpeur – élagueur professionnel Salim Annebi.



Figure 11: (a et b) matériel de grimpe (© S. Annebi). (c) technique de grimpe au « foot-lock » (© S. Hette). (d) déplacement en canopée avec les cordes de rappel (© A. Segers)

III. 5. Récolte et conditionnement des insectes

Les opérations de conditionnement et de mise en collection brièvement expliquées ci-après proviennent du « Manuel d'inventaire pour tous les taxa de la biodiversité » (Krogmann & Joachim 2010).

Lors de la récolte des pièges, les insectes capturés vivants ont été tués dans un bocal contenant un linge trempé dans l'acétate d'éthyle. Pour les insectes volants et fragiles, de l'éther a été employé pour les endormir et faciliter le transfert au bocal (*Figure 7*).

Ensuite, chaque insecte a été conservé individuellement¹⁰ pour ne pas fausser les futures analyses palynologiques (éviter les éventuels transferts de pollens entre spécimens). Pour cela, tous les ordres capturés à l'exception des Lépidoptères ont été stockés seuls ou rassemblés (par espèces et par relevés) dans des tubes Eppendorf® de 2,5ml et 5,0 ml, contenant de l'alcool dilué à 70%. Les Lépidoptères quant à eux ont été conditionnés individuellement au sec dans des papillotes de papier de manière à ne pas endommager les écailles de leurs ailes nécessaires à leur identification. Ces papillotes ont été stockées au congélateur pendant toute la durée de la mission pour éviter les moisissures.

III. 6. Mise en collection et identification des insectes

Les spécimens conditionnés dans l'alcool ont directement été piqués et mis en collection au laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive de GxABT. Chaque insecte s'est vu attribuer une étiquette reprenant le numéro du tube dans lequel il était conservé. Ces tubes ont également été conservés séparément (*Figure 12-13*) pour des études palynologiques ultérieures. A chaque numéro de tube est associé la date et le lieu de capture, l'identifiant de l'arbre et ses coordonnées géographiques (UTM 33N), la personne ayant capturé l'insecte et le type de piège dans lequel il a été capturé. Toutes ces informations sont reprises dans les fiches de terrain qui ont été ensuite encodées dans un fichier Excel.

En ce qui concerne les Lépidoptères conservés au sec dans les papillotes, il a été nécessaire de les ramollir avant de les étaler. Pour cela, ils ont été placés durant quelques jours dans une cloche vitrée constituée d'une bulle de verre sous vide saturée en vapeur d'eau et contenant des cristaux de Thymol (*Figure 13*). Pour accélérer le processus, ces structures ont été placées dans une étuve à 35°C. La chaleur permet d'augmenter la quantité de vapeur d'eau.

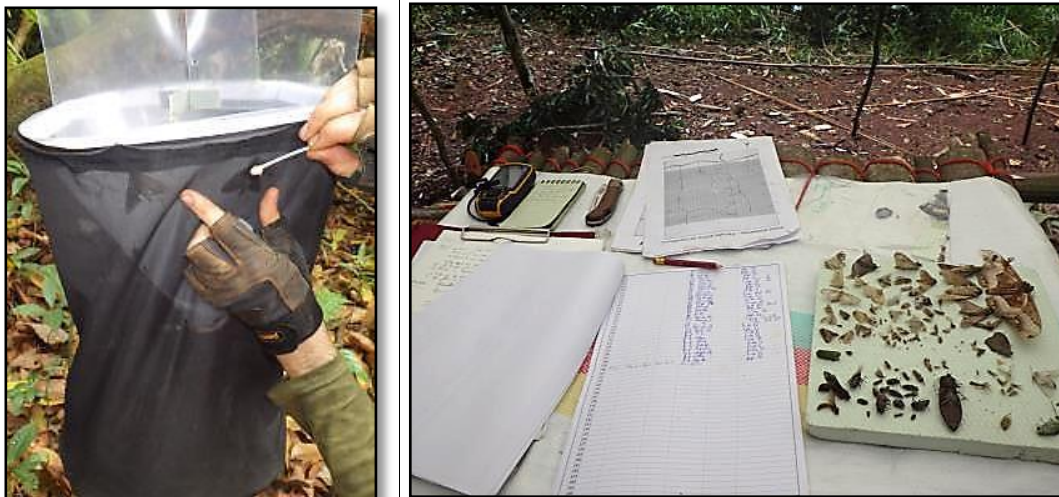


Figure 12: Récolte d'un piège lumineux avec emploi d'éther pour le transfert des insectes au bocal contenant l'acétate d'éthyle (A gauche) (© S. Annebi). Conditionnement et encodage sur les fiches de terrain des insectes capturés (A Droite) (© A. Segers)

¹⁰ Il est à noter que cette opération de conditionnement individuel des insectes est très chronophage (une demi-journée par arbre).



Figure 13 : Piquage des insectes et conservation des tubes pour les analyses palynologiques (A gauche dispositif de ramollissage des Lépidoptères (©A. Segers)

L'identification des espèces collectées, à l'exception des Lépidoptères, a fait l'objet d'une collaboration avec l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRScNB, Bruxelles, Belgique) dont le responsable, Dr Wouter Dekonink a transmis la liste des familles à ses spécialistes. La procédure d'identification demande un an de travail. Dès lors, afin de pouvoir effectuer les analyses statistiques, les individus ont été regroupés en « morpho-espèces » caractérisées par des codes (Memmott 1999).

L'identification des familles des Lépidoptères nocturnes a fait l'objet d'une autre collaboration avec le département de Zoologie africaine du Musée royal d'Afrique centrale dont le responsable Didier VandenSpiegel a convoqué un de ses collaborateurs Koen Maes, spécialiste des Microlépidoptères du Cameroun. Les morpho-espèces n'ont pas pu être distinguées au sein des familles des Lépidoptères nocturnes car le matériel biologique était trop varié et abimé selon le spécialiste. Cet Ordre étant majoritairement capturé, le fait que les morpho-espèces ne puissent pas être distinguées compromet considérablement les analyses statistiques. Deux possibilités s'offrent à nous, soit on rassemble les individus d'une même famille sous la même morpho espèce, ce qui perturbera fortement les analyses de diversité, soit l'analyse s'effectue au niveau des familles pour tous les insectes capturés. La deuxième alternative a été choisie pour les analyses statistiques.

Les référentiels taxonomiques utilisés pour la classification des familles suivent ceux employés par la « Clés de reconnaissance des familles d'insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale » établie par le CIRAD (Delvare & Aberlenc 1989), à l'exception des papillons de la superfamille des *Noctuidoidea* qui ont été classés selon de Zahiri *et al.* (2012). En effet, des récentes analyses phylogénétiques au niveau moléculaire (Zahiri *et al.* 2011, 2012) ont revu la classification en attribuant aux *Noctuidoidea* 6 familles (*Oenosandridae*, *Notodontidae*, *Erebidae*, *Euteliidae*, *Nolidae* et *Noctuidae*) au lieu de 5 (*Notodontidae*, *Lymantriidae*, *Syntomidae*, *Arctiidae*, *Noctuidae*). La famille des *Arctiidae* y a été rabaissée au rang de sous-famille des *Erebidae* : les *Arctiinae*.

III. 7. Analyses palynologiques et la détermination des visiteurs floraux.

Les analyses des pollens portés par les insectes capturés permettent de distinguer les insectes ayant visité les fleurs de ceux qui ont uniquement été attirés par les pièges. Pour la bonne réalisation de ces analyses, il est nécessaire de (i) réaliser ou disposer d'une description morphologique des pollens recherchés à partir des fleurs prélevées sur chaque essence, et (ii) réaliser l'extraction et l'identification des pollens portés sur le corps des insectes capturés.

Les analyses ont été effectuées en collaboration avec l'équipe de Dynamique des Ecosystèmes et Changements Globaux de l'Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (ISEM), dont le Dr Laurent Bremond qui en a géré la logistique. Deux étapes ont été nécessaires pour ces analyses. Premièrement, des travaux préparatoires ont été réalisés sur une sélection d'échantillons (une vingtaine de tubes et de papillottes) afin de mettre en place un protocole et d'évaluer la présence de pollens. Ensuite, si les résultats de ce travail préparatoire étaient satisfaisants, les analyses pouvaient s'appliquer

au reste des échantillons. Les manipulations décrites ci-dessous ont été élaborées par le Dr. Laurent Bremond lors des travaux préparatoires :

A. Identification des pollens à partir des fleurs collectées

La caractérisation morphologique des pollens de chaque essence a été réalisée par microscopie optique. Le protocole d'identification est le suivant :

- L'acétolyse des grains de pollens : Etape indispensable pour leur description morphologique au microscope optique, elle vise à éliminer les contenus cellulaires et les débris cellulodiques extracellulaires des grains de pollens. En effet, ceux-ci empêchent la visualisation de l'exine et de ses caractéristiques telles que les apertures ou les ornements. Cette opération nécessite une centrifugation à faible vitesse et l'utilisation d'acide acétique froid (Hesse *et al.* 2009; Shivanna & Tandon 2014d) ;
- L'ajout de glycérine dans les culots : Pour les études morphologiques des pollens basées sur la taille, la forme, les apertures et l'ornementation de l'exine, les grains de pollens doivent être disposés dans un milieu adéquat : la gelée de glycérine. Ce milieu est solide à température ambiante et doit être fondu pour le montage entre lame et lamelle afin d'observer les grains.

B. Analyse des contenus des tubes et papillotes dans lesquels les insectes ont été individualisés

L'extraction et l'identification des pollens sur le corps des insectes capturés sont réalisées selon deux modalités en fonction de leur conservation. Le protocole de dénombrement et d'observation des pollens portés par les insectes est le suivant :

- Récupération des pollens portés par les insectes : Les papillons et les papillotes dans lesquelles ils ont été conservés sont rincés avec de l'alcool à 70%. Cet alcool de rinçage est ensuite récupéré dans un bécher. Pour les autres insectes conservés dans les tubes Eppendorfs®, ils y sont manuellement agités pendant quelques secondes avant d'en être extraits pour être étalés. Le contenu des tubes ainsi que l'alcool de rinçage sont conservés pour la suite de la procédure ;
- Centrifugation et analyse des pollens extraits: Le contenu des tubes et l'alcool de rinçage sont ensuite centrifugés pour concentrer leur contenu en pollen. La même procédure de montage sur lamelle que celle de l'identification morphologique est alors suivie pour analyser la diversité des pollens extraits (acétolyse, ajout de glycérine, montage entre lame et lamelle).

Par manque de disponibilités du laboratoire de l'ISEM (CIRAD) par rapport au temps imparti à la finalisation de ce mémoire, seul les travaux préparatoires ont pu être effectués. La deuxième partie analyses n'ayant pas pu être effectuée, une méthode alternative a été suivie pour déterminer les visiteurs floraux. Cette méthode sélectionne les insectes sur base de trois critères :

- La morphologie des imagos : présence ou absence de structures permettant la fixation des pollens ;
- Le régime alimentaire des imagos: insectes phytophages, polliniphages et nectariphages ;
- Référence bibliographique : articles scientifiques confirmant que la famille présente un comportement de visiteur floral.

III. 8. Analyses statistiques des données

Pour atteindre les deux premiers objectifs, notre tâche principale sera de décrire le jeu de données en termes d'abondance et de diversité. Cela nous permettra de mettre en évidence les tendances des communautés de chaque essence et de chaque type de pièges. La première analyse consiste à évaluer si les pièges et les essences ont une influence significative sur les insectes capturés au moyen d'une analyse de variances à facteurs qualitatifs croisés fixes (AV2). Cette analyse nécessite que les 9 groupes d'observations soient des échantillons aléatoires et simples de populations normale et de même variance (homoscédasticité). Cependant, les données récoltées correspondent à des comptages d'individus dont la distribution s'apparente plus à une distribution de POISSON plutôt qu'à une distribution normale. Une transformation de variable observée devra donc être établie pour que l'analyse de variances puisse être établie, sans quoi les conditions de normalité et d'homoscédasticité ne seront pas respectées. Cette transformation est soit un logarithme, soit une racine carrée des observations selon le coefficient angulaire de la droite de régression d'équation $\log(\text{variance})=f(\log(\text{moyenne}))$ et l'analyse de variance se fait par modèle linéaire généralisé.

Ensuite, nous décrivons la diversité des communautés en appréciant les diversités alpha et bêta. La diversité alpha est évaluée avec la richesse en familles et leur abondance relative. L'indice D de Gini Simpson viendra compléter cette description en indiquant l'équitabilité des distributions (ordre par pièges et essences, familles par ordres).

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Cet indice indique la probabilité de rencontre interspécifique, ou plutôt « inter-famille » pour notre étude. Au plus il est proche de 1, au plus la répartition d'abondance des familles est équitable et au plus il est proche de 0, au plus la répartition des abondances des familles est inéquitable. Cet indice est sensible aux taxa abondants.

La diversité bêta est analysée de deux manières. D'une part, des analyses factorielles des correspondances sont effectuées afin de visualiser les similarités entre les communautés. Cette ordination se base sur une table d'abondance des familles en fonction des relevés, l'influence des familles rares ($n < 3$) a été pondérée à la baisse en enlevant ces dernières de la table d'abondance. D'autre part, des tests χ^2 d'indépendances sont effectués pour évaluer si les différences entre les distributions fréquences des chaque familles au sein des essences sont significatives. Le jeu de données ne répondant pas toujours aux conditions d'applications du test χ^2 d'indépendances ($n < 5$), le test employé ne calcul pas la p-valeur pas à partir d'une distribution asymptotique χ^2 mais à partir du test de Monte Carlo (Hope 1968).

Trois logiciels informatiques sont utilisés pour ces analyses. L'encodage des fiches de terrain, les statistiques descriptives et les analyses de diversité alpha des relevés sont effectuées sur le logiciel tableur Excel de la suite Microsoft Office 2010©. L'analyse de variance est effectuée sur le Logiciel Minitab® 17, et les comparaisons de communautés (tests d'indépendance et analyses factorielles des correspondances) sont effectuées sur les logiciels Rstudio© (packages « ade4 » et « labdsv »).

III. 9. Calcul des distances séparant les pieds fleuris avant et après l'exploitation

Pour atteindre le dernier objectif, nécessaire de calculer la distance séparant les arbres en fleurs après l'exploitation et la confronter aux distances pouvant être parcourues par les taxa de visiteurs floraux.

Cette distance est calculée selon une hypothèse de répartition homogène des arbres au sein des massifs forestiers. Les paramètres nécessaires au calcul des distances sont : la surface de l'UFA, les diamètres minimum d'aménagement (DMA), le diamètre minimum de floraison (DMF), les densités des populations, le coefficient d'exploitation, l'aspect de protection des tiges d'avenir lors de l'exploitation, et le taux de floraison des arbres.

IV. Résultats

IV. 1. Arbres prospectés et grimpés

Durant les trois premières semaines de prospection, 30 pieds en fleurs ont été repérés dans la parcelle de 900 ha (AAC 9 – UFA 10.042). La *Figure 14* montre leur localisation et l'*Annexe iii* reprend les informations de ces 30 pieds. Parmi ces arbres prospectés, 12 pieds (6 Moabi et 6 Doussié) ont été grimpés pour recenser les insectes de leur canopée, dont un pied de Doussié (DO 15) qui a été recensé à trois reprises durant la mission (A-B-C).

Les Tali de la parcelle de 900 ha étant mal conformés pour la grimpe, ils ont été prospectés et grimpés dans la parcelle de 400 ha (AAC 3 – UFA 10.031) lors de la dernière semaine de la mission. Seuls trois pieds ont pu être recensés¹¹ durant cette semaine dont le déroulement a été perturbé par de nombreux imprévus. Le *Tableau 3* reprend les coordonnées de chaque pied grimpés dans ces deux parcelles, les dates de prospection et de grimpe, le code identifiant l'arbre, son diamètre à hauteur de poitrine (D130) ainsi que son indice de floraison.

Tableau 3: Tableau récapitulatif des arbres en fleur prospectés et grimpés dans les parcelles de 900ha et de 400ha

id	Essence	Parcelle	Date prospection	Coord x (UTM 33N)	Coord y (UTM 33N)	D130 (cm)	F(%)	Date recensement
DO09	Doussié	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	27/02/2018	345277	386146	84,0	45%	06-07/03/2018
DO22	Doussié	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	27/02/2018	345807	387334	85,2	50%	15-16/03/2018
DO15	Doussié	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	1/03/2018	347285	386103	82,0	55% 35% 25%	(A) 08-09/03/2018 (B) 22-23/03/2018 (C) 01-02/04/2018
DO02	Doussié	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	2/03/2018	346281	388245	71,7	30%	14-15/03/2018
DO03	Doussié	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	2/03/2018	346185	388226	65,2	45%	13-14/03/2018
DO01	Doussié	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	2/03/2018	346422	388227	53,6	40%	14-15/03/2018
MO01	Moabi	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	19/02/2018	345637	387202	194,0	80%	15-16/03/2018
MO14	Moabi	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	23/02/2018	346008	384889	\	\	19-20/03/2018
MO03	Moabi	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	27/02/2018	346709	385812	71,5	45%	19-20/03/2018
MO04	Moabi	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	27/02/2018	346913	385823	79,7	\	21-22/03/2018
MO06	Moabi	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	2/03/2018	345882	388353	61,8	10%	13-14/03/2018
MO270	Moabi	P 900ha (AAC9-UFA 10.042)	22/03/2018	346210	385137	270,0	25%	21-22/03/2018
TA01	Tali	P 400 ha (AAC11-UFA10.030)	26/03/2018	428736	363846	\	50%	26-27/03/2018
TA06	Tali	P 400 ha (AAC11-UFA10.030)	27/03/2018	427492	362495	88,1	15%	28-29/03/2018
TA30	Tali	P 400 ha (AAC11-UFA10.030)	27/03/2018	427397	362831	75,9	80%	28-29/03/2019

¹¹ La localisation des trois Talis n'est pas représentée au sein de la parcelle de 400 ha car ils étaient trop éloignés les uns des autres

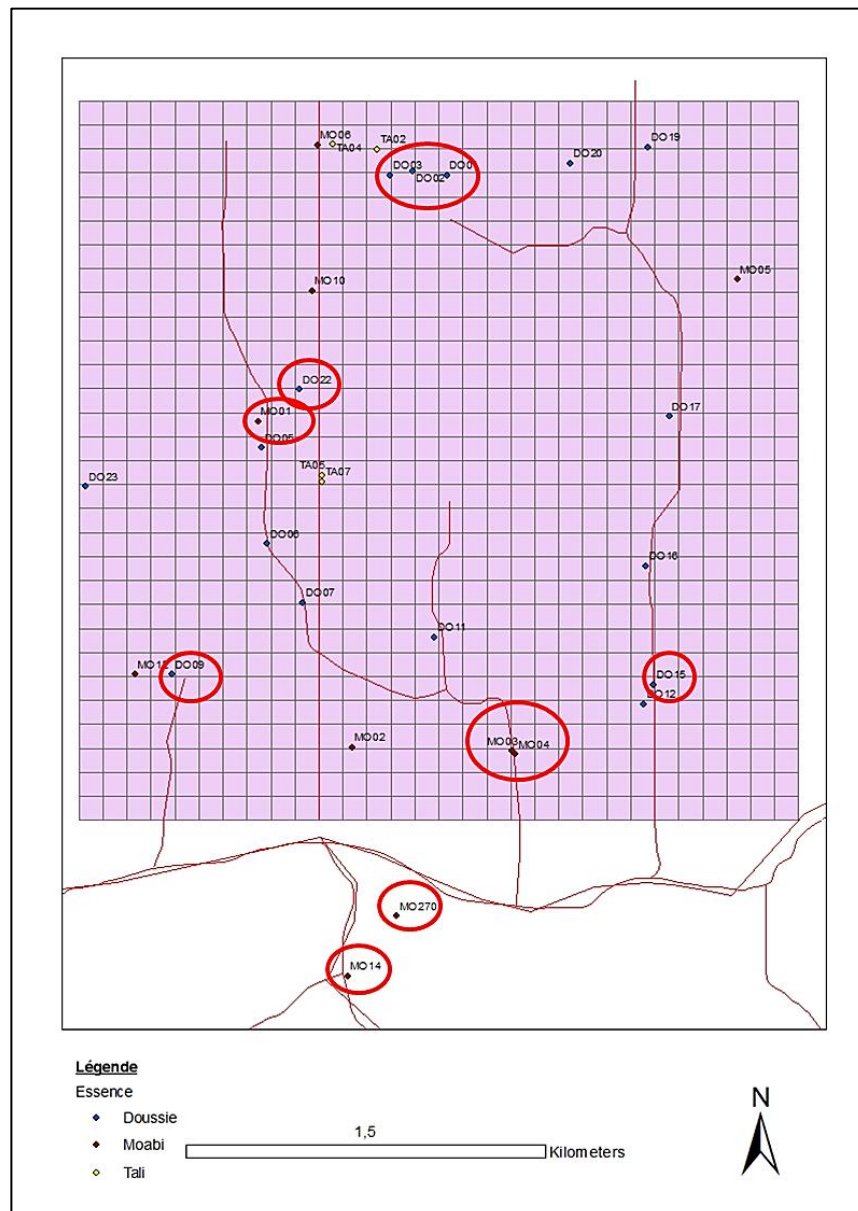


Figure 14.: Localisation des arbres prospectés et grimpés dans les parcelles de 900ha

IV. 2. Captures totales et identifications

Au total, 1.745 insectes ont été capturés sur les trois essences avec les trois types de pièges. Parmi ces insectes, 1509 spécimens (86,5% des captures totales) ont été identifiés jusqu'à la famille. Cet effectif est composé de 11 Ordres (Lépidoptères, Coléoptères, Hyménoptères, Hémiptères, Diptères, Névroptères, Blattodea, Orthoptères, Mantodea, Dermaptères et Raphidioptères, *Figure 15*) pour 65 familles identifiées. La répartition des familles au sein de chaque ordre est présentée en *Annexe iv*.

Le reste des insectes non-identifiés correspond à 236 spécimens (13,5%), répartis dans un ordre non identifié (ordre « NI » reprenant 14 spécimens, *Figure 15*) et sept ordres identifiés mais dont la famille n'a pas pu être identifiée car les structures d'identification n'étaient pas observables et/ou car le matériel biologique était trop endommagé ou incomplet (*Annexe iv*) :

- 137 Lépidoptères (*Heterocera*) classés dans la famille « *Lepid_NI* » ;
- 25 Coléoptères classés dans la famille « *Coleo_NI* » ;
- 15 Diptères classés dans la famille « *Dipt_NI* » ;
- 8 Hémiptères classés dans la famille « *Hémi_NI* » ;
- Les 7 Dermaptères classés dans la famille « *Derma_NI* » ;
- 5 Hyménoptères classés dans la famille « *Hymen_NI* » ;

- 32 Névroptères classés dans la famille « *Nevrop_NI* ».

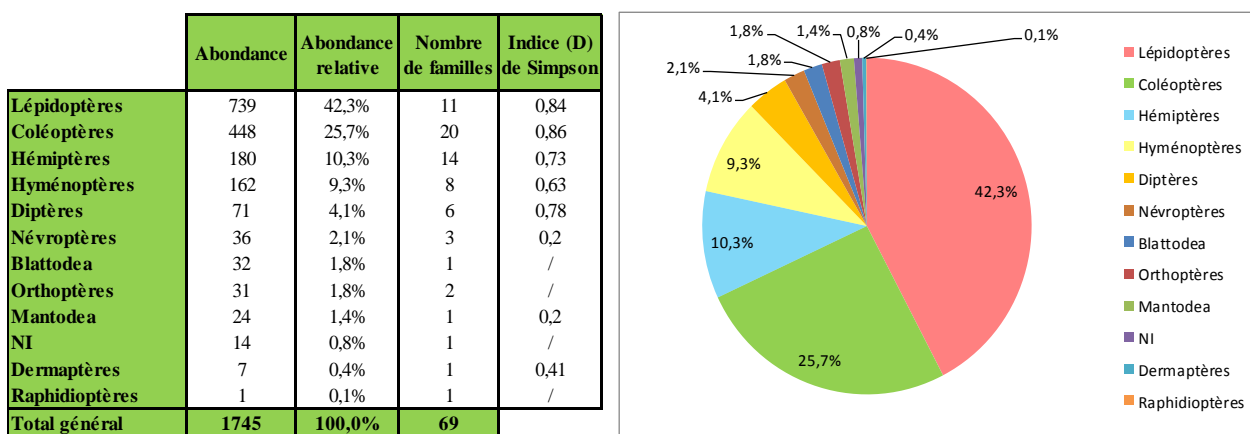


Figure 15: Abondances et diversité des ordres capturés et nombre de familles associées.

On peut constater que cinq ordres possèdent plus de deux familles identifiées et constituent 91,6% des captures. Aussi, les quatre ordres les plus importants en termes de pollinisation (Lépidoptères – Coléoptères – Hyménoptères – Diptères) représentent 1420 insectes, soit 81,3% des captures totales. L'annexe iv présente la répartition des familles au sein de ces quatre ordres.

IV. 3. Répartition des captures en fonction des pièges et des essences

Les 1.745 insectes ont été capturés sur 17 pieds, dont 8 Doussié, 6 Moabi et 3 Tali. La répartition de cet effectif entre les essences et les types de pièges est présentée en Figure 16. Nous y observons que :

- 214 insectes ont été capturés sur les 3 Tali recensés, soit 12,3% de la récolte totale. Le nombre moyen d'insectes capturés (Figure 17) par récolte sur cette essence est de 71 insectes (écart-type de 73 insectes) ;
- 762 insectes ont été capturés sur les 8 Doussié recensés, soit 43,7% de la récolte totale. Le nombre moyen d'insectes capturés (Figure 17) par récolte sur cette essence est de 95 insectes (écart-type de 59 insectes) ;
- 769 insectes ont été capturés sur les 6 Moabi recensés, soit 44,1% de la récolte totale. Le nombre moyen d'insectes capturés (Figure 17) par récolte sur cette essence est de 128 insectes (écart-type de 33 insectes).

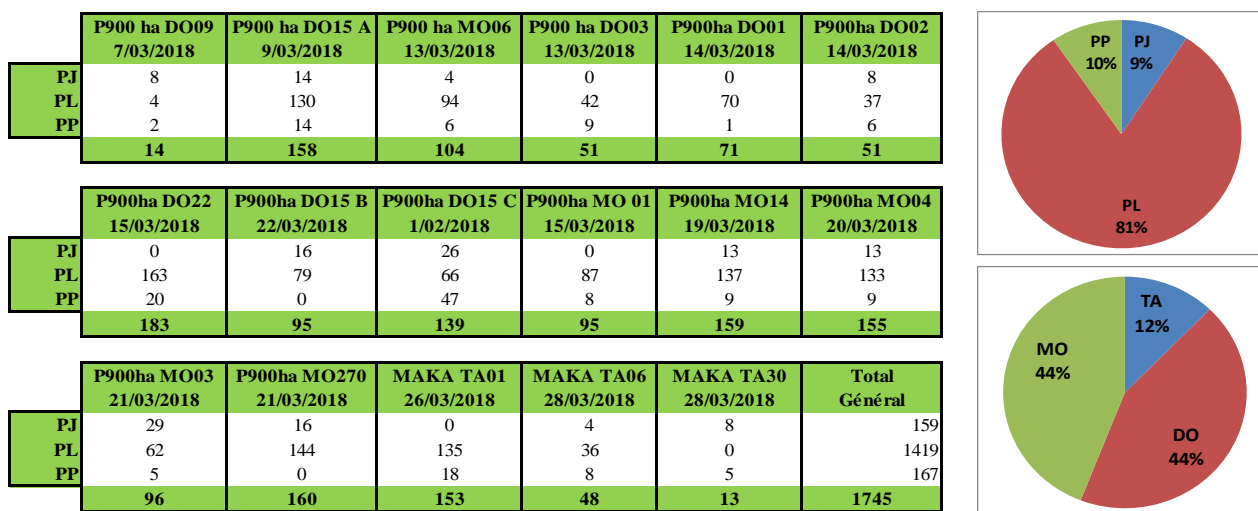


Figure 16: A Gauche : Répartition des captures en fonction du type de piège et en fonction des essences. A droite : proportions des captures par type de pièges et par essence. ("PJ" = piège jaune, "PL" = piège lumineux, "PP" = piège à papillons, "DO" = Doussié, "MO" = Moabi, "TA" = Tali)

Cette figure nous montre également que les captures par pièges sont de :

- 159 insectes capturés pour les 12 pièges jaunes récoltés (5 pièges n'ont pas pu donner de récolte), soit 9,1% de la récolte totale. Le nombre moyen d'insectes capturés (*Figure 17*) par arbre est de 13 (écart-type de 8) ;
- 1.416 insectes ont été capturés pour les 15 pièges lumineux récoltés (2 pièges n'ont pas donné de récoltes), soit 81,3% de la récolte totale. Le nombre moyen d'insectes capturés (*Figure 17*) par arbre est de 94 (écart-type de 43) ;
- 164 insectes ont été capturés pour les 15 pièges à papillons récoltés (2 pièges n'ont pas donné de récolte), soit 9,6% de la récolte totale. Le nombre moyen d'insectes capturés (*Figure 17*) par arbre est de 11 (écart-type de 11).

Les résultats de l'analyse de la variance AV2 (*Annexe iv* pour les conditions d'application) montrent qu'il y a absence des interactions entre les types de pièges et les essences ($F=1,32$ et $p=0,279$), les captures moyennes par essence ne sont significativement différentes ($F=1,54$ et $p=0,226$) et les captures moyennes par type de piège sont significativement différentes ($F=24,74$ et $p=0,000$), le piège lumineux ayant capturé en moyenne plus d'insectes que les deux autres types de pièges (*Figure 17*).

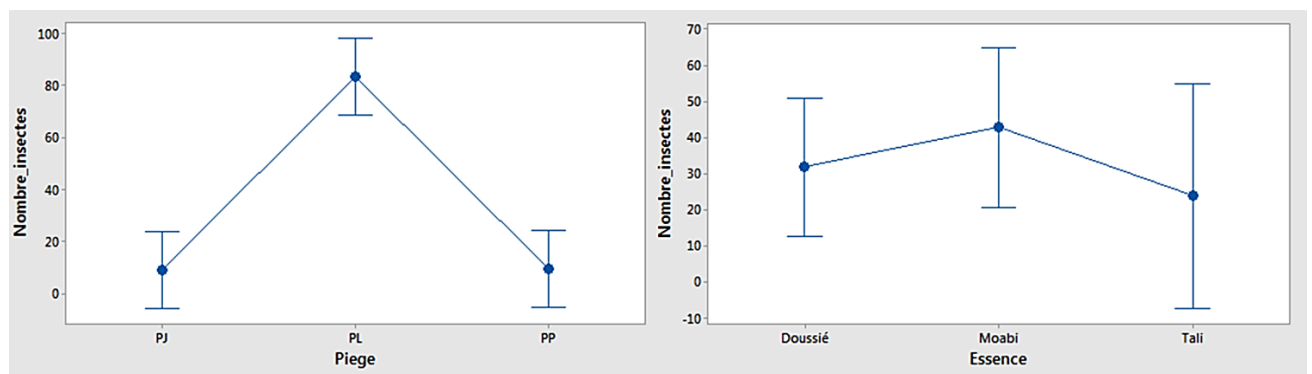


Figure 17: A gauche : Effectifs moyens et écarts-types des captures en fonction des types de pièges. A droite : Effectifs moyens et écarts-types des captures en fonction des essences ("PJ" = piège jaune, "PL" = piège lumineux, "PP" = piège à papillons)

IV. 4. Diversité des ordres et des familles capturées sur les trois essences

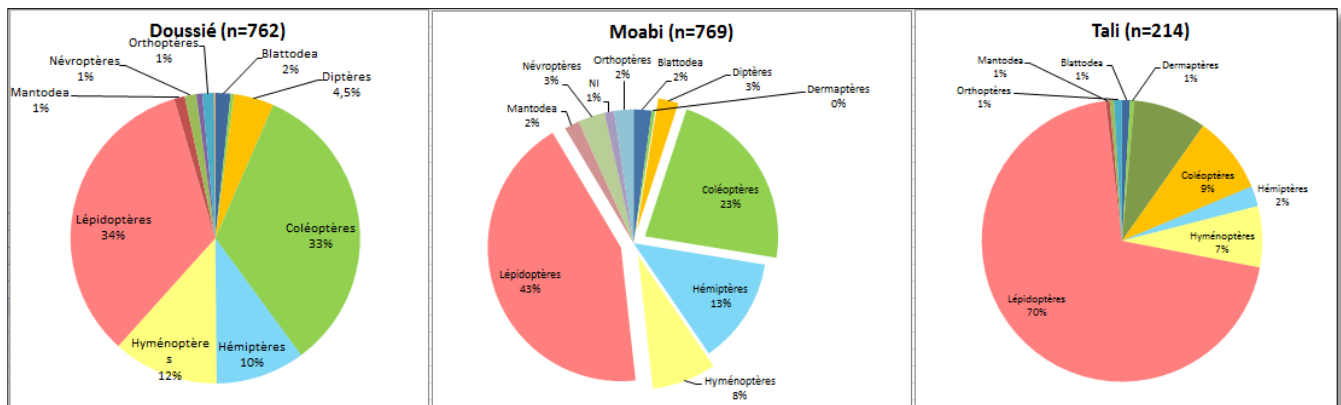


Figure 18: Répartition des ordres capturés par essences

i. Captures effectuées sur le Doussié

La Figure 18 illustre la diversité des Ordres capturées sur les 8 Doussié (La répartition des familles est présentée en Annexe v) . Au total, les 762 insectes capturés sont répartis en 12 ordres et au moins 57 familles (la détermination des Lépidoptères n’est pas encore finalisée). On constate que les Coléoptères et les Lépidoptères sont les principaux ordres capturés : ils représentent respectivement 33% et 34% des récoltes. Ensuite, les Hyménoptères et les Hémiptères leur succèdent avec respectivement 12% et 10% des récoltes totales sur les Doussié. Lorsqu’on regarde la diversité des Ordres capturés,

- La majorité des Lépidoptères capturés sont des *Heterocera* de la famille des *Noctuidae* (27% - Figure 22a,b,c,d), des Microlépidoptères (19%), des *Geometridae* (11%), des *Erebidae* (7%), des *Notodontidae* (5%), des *Sphingidae* (3%) et des *Crambidae* (3%) ;
- La majorité des Coléoptères capturés sont des *Scarabeidae* (29% dont 63% de *Rutelinae* – Figure 22f), des *Elatерidae* (17%), des *Chrysomelidae* (15%) et des *Tenebrionidae* (8%) ;
- La majorité des Hyménoptères capturés sont des *Apidae* (78% - Essentiellement *Apis mellifera andonsinii* L. – Figure 22e) ;
- La majorité des Diptères capturés sont des *Syrphidae* (29%) et des *Tabanidae* (29%).
- Hémiptères : La moitié (51%) des individus capturés sont des *Pentatomoidae*, neuf autres familles se partagent l’autre moitié dont les *Réduviidae* sont les plus abondants (12%).

Tableau 4: Résumé de la diversité des quatre ordres les plus importants en termes de pollinisation pour le Doussié

Ordre	Effectif	Abondance relative	Richesse en familles	Indice (D) de Simpson	Famille la plus abondante
Lépidoptères	257	34,0%	11	0,82	<i>Noctuidae</i>
Coléoptères	254	33,0%	19	0,85	<i>Scarabeidae</i>
Hyménoptères	90	12,0%	7	0,39	<i>Apidae</i>
Diptères	34	4,5%	5	0,76	<i>Syrphidae-Tabanidae</i>
Hémiptères	77	10,0%	10	0,70	<i>Pentatomoidae</i>

ii. Captures effectuées sur le Moabi

La Figure 18 illustre la diversité des Ordres et les principales familles capturées sur les 6 Moabi. (La répartition des familles est présentée en Annexe v). Au total, 769 insectes ont été capturés et sont répartis en 11 Ordres et au moins 56 familles (la détermination des Lépidoptères n’est pas encore finalisée). On constate que les Lépidoptères sont les plus présents à raison de 43% des captures. Les Coléoptères constituent le second Ordre le plus capturé avec 23% des récoltes totales. Ensuite, les Hémiptères et les Hyménoptères les succèdent avec respectivement 13% et 12% des récoltes totales.

Lorsqu’on regarde la diversité de ces ordres, on constate que (Annexe v)

- Les Lépidoptères les plus abondamment capturés sont les Microlépidoptère avec 25% des récoltes. Ensuite, les captures sont assez équitablement réparties au sein des familles : *Noctuidae* (15%), *Nymphalidae* (14,46% - essentiellement *Neptis sp.* – *Figure 22b*), *Geometridae* (9%), *Erebidae* (8%) et *Notodontidae* (7%) ;
- Les Coléoptères capturés sont également assez équitablement répartis. Les familles les plus abondantes sont les *Scarabeidae* (18%), les *Chrysomelidae* (17%), les *Elateridae* (16%), les *Tenebrionidae* (12%), les *Curculionidae* (12%) et les *Endomychidae* (8%) ;
- Les Hyménoptères les plus abondamment capturés sont les *Formicidae* et les *Ichneuminidae* avec respectivement 60% et 18% des captures. Ensuite, les *Apidae* constituent 15% des captures ;
- Les Diptères ont été assez peu capturés sur les Moabi avec seulement 19 spécimens capturés. Parmi ceux-ci, les *Tabanidae* (42%), les *Pyrogotidae* (26%) et les *Tachinidae* (16%).
- Les Hémiptères sont constitués majoritairement de *Pentatomoidae* (46%), de *Flatidae* (14%) et *Alydidae* (9%).

Tableau 5: Résumé de la diversité des quatre ordres les plus importants en termes de pollinisation pour le Moabi

Ordre	Effectif	Abondance relative	Richesse en familles	Indice (D) de Simpson	Famille la plus abondante
Lépidoptères	332	43,0%	11	0,84	<i>Microlep_sp</i>
Coléoptères	173	23,0%	17	0,88	<i>Scarabeidae</i>
Hyménoptères	60	8,0%	4	0,58	<i>Formicidae</i>
Diptères	19	3,0%	4	0,70	<i>Tabanidae</i>
Hémiptères	98	13,0%	12	0,74	<i>Pentatomoidae</i>

iii. Captures effectuées sur *E. suavolens* (Guill. & Perr.) Brenan

La *Figure 18* illustre la diversité des Ordres et les principales familles capturées sur les 3 Tali. (La répartition des familles est présentée en Annexe v). Au total, 214 insectes ont été capturés et sont répartis en 10 Ordres et au moins 32 familles (la détermination des Lépidoptères n'est pas encore finalisée). On constate que les Lépidoptères sont les principaux insectes capturés avec 70% des captures. Ensuite, les Coléoptères constituent 9% des captures totales, ils sont suivis des Diptères et des Hyménoptères avec respectivement 8,4% et 7% des récoltes totales.

Lorsqu'on regarde la diversité de ces ordres (*Annexe v*), on constate que :

- Les Lépidoptères les plus abondants sont les *Erebidae* (42% - Essentiellement une seule espèce capturée abondamment – *Figure 22h,i*). Ensuite les Microlépidoptères constituent 17% des captures, les *Noctuidae* 10% et les *Geometridae* 9% ;
- Les Coléoptères ont été assez peu capturés, avec seulement 19 spécimens. Parmi ceux-ci, 26% sont des *Elateridae*, 21 % sont des *Chrysomelidae*, 11% sont des *Cantharidae* et 11% des *Cerambycidae* ;
- Les Hyménoptères sont essentiellement constitués d'*Apidae* et de *Formicidae* représentant respectivement 40% et 46% des captures ;
- Les Diptères capturés sont constitués de 4 principales familles, les *Tabanidae* (28%), les *Syrphidae* (22%), les *Pyrogotidae* (11%) et les *Calliphoridae* (11%).
- Hémiptères : seul 5 Hémiptères ont été capturés dont 2 *Pentatomoidae*, 1 *Miridae*, 1 *Reduviidae* et un *Cicadellidae*.

Tableau 6: Résumé de la diversité des quatre ordres les plus importants en termes de pollinisation pour le Tali

Ordre	Effectif	Abondance relative	Richesse en familles	Indice (D) de Simpson	Famille la plus abondante
Lépidoptères	150	70,0%	8	0,75	<i>Erebidae</i>
Coléoptères	19	9,0%	7	0,81	<i>Elateridae</i>
Diptères	18	8,4%	5	0,77	<i>Tabanidae</i>
Hyménoptères	15	7,0%	4	0,61	<i>Formicidae-Apidae</i>
Hémiptères	5	2,0%	4	0,72	<i>Pentatomoidae</i>

iv. Comparaison des trois communautés

L'analyse des correspondances (Figure 19) ne révèle pas de fortes différences entre les communautés de chaque essence. En effet, les ellipses se recouvrent entre elles bien que celle du Doussié semble partager moins de similarités avec les deux autres essences en s'étirant plus vers les *Apidae*. Cependant, la comparaison des communautés capturées sur les trois essences avec le test χ^2 d'indépendance révèle que la distribution des familles capturées est significativement différente en fonction des essences ($R^2=580,64$ – ddl=NA, pval = 0.0005 selon 2000 répliquas pour la simulation). Le tableau de contingence sur lequel s'est basé le test est présenté en Annexe vi.

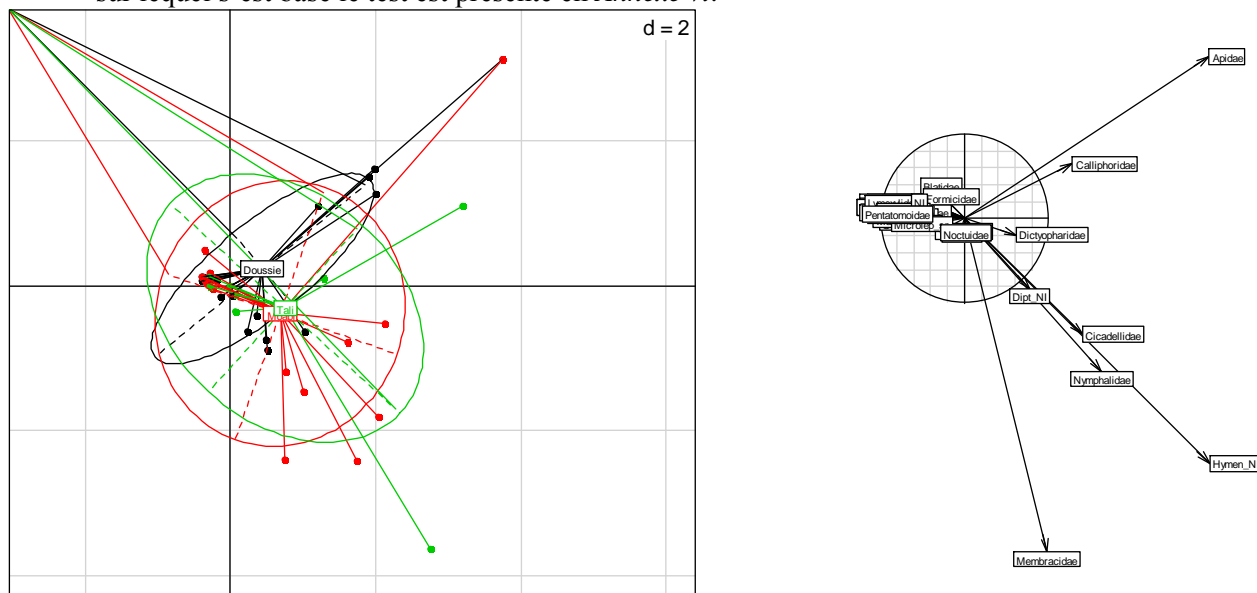


Figure 19: Analyse des correspondances des relevés en fonction des essences et cercle des corrélations permettant d'interpréter le placement des relevés en fonction des familles

IV. 5. Diversité des ordres et des familles capturés par les 3 types de pièges

i. Abondances relatives des Ordres capturés par type de piège

La Figure 20 illustre la manière dont se répartissent les Ordres capturés en fonction de chaque type de piège. La répartition des familles au sein de ces derniers est présenté en Annexe vii, leur diversité et les familles les plus abondantes sont discutées ci-dessous :

- Au total, les 159 insectes capturés dans les 12 pièges jaunes, majoritairement des Lépidoptères (57%), dont la plus grande partie (50%) est constituée des papillons diurnes du genre *Neptis* de la famille des *Nymphalidae*. Le second Ordre le plus capturé dans ces pièges est celui des Hyménoptères (21%). Viennent ensuite les Diptères/Coléoptères/Hémiptères (chacun 6%) ;
- Parmi les 1.419 insectes capturés dans les 15 relevés de pièges lumineux à plaques transparentes, la majorité sont des Lépidoptères nocturnes (*Heterocera*) dont les principales familles sont les *Noctuidae* (18,6%), les *Crambidae* (17,9%) et les Microlépidoptères (23,6%). Le second ordre le plus capturé est celui des Coléoptères (30,7%) dont les principales familles sont les *Scarabeidae* (24,1%), les *Elateridae* (16,5%) et les *Chrysomelidae* (14,9%). Les Hémiptères constituent le troisième Ordre le plus capturé (11,5%) et les Hyménoptères le quatrième (5,1%). Ce dernier Ordre est constitué à 93,1% d'*Ichneumonidae* (29,2%) et de *Formicidae* (63,9% - essentiellement des espèces du genre *Dorylus* – Figure 22g) ;
- Parmi les 167 insectes capturés dans les 15 relevés des pièges à papillons, la plupart sont des Hyménoptères (36%) dont 88% sont des *Apidae*. Le second ordre le plus capturé est celui des Diptères (31%) dont 44% sont des *Tabanidae* et 25% sont des *Syrphidae*. Enfin, les Lépidoptères sont le troisième ordre le plus fréquent (24%), ce dernier ordre est constitué essentiellement de *Nymphalidae* (33%), de Microlépidoptères (30%), et de *Noctuidae* (23%).

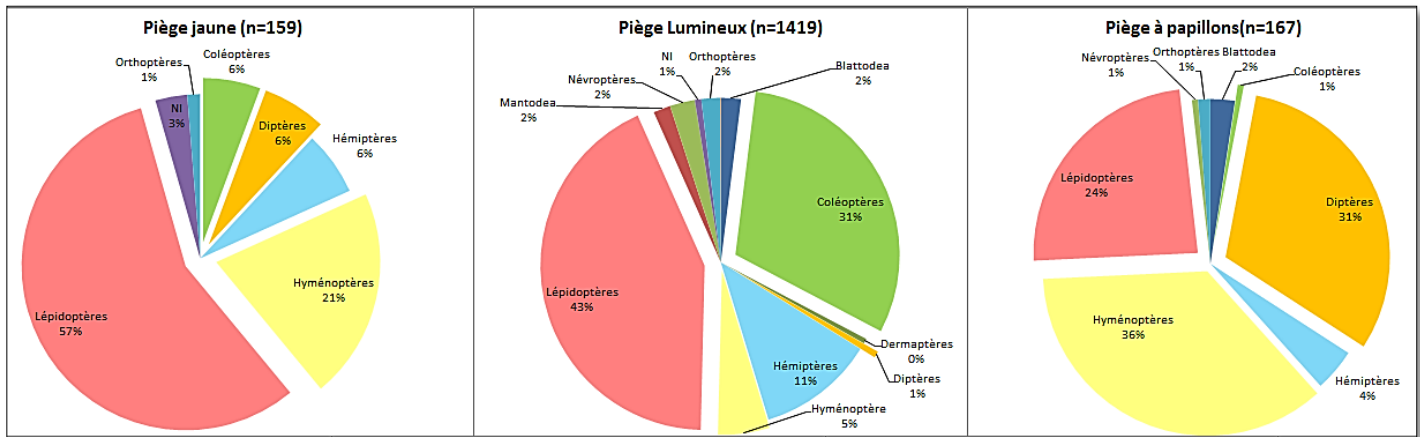


Figure 20: Diversité des Ordres capturés par type de piège

Enfin, le *Tableau 7* résume la diversité des quatre Ordres ciblés par ces trois pièges, à savoir les plus importants en termes de pollinisation (Lépidoptères, Coléoptères, Hyménoptères et Diptères).

Tableau 7: Résumé de la diversité des Ordres pollinisateurs en fonction des pièges

	Ordre	Effectif	Abondance relative	Richesse en familles	Indice (D) de Simpson	Famille la plus abondante
PJ	Coléoptères	9	5,7%	4	0,69	<i>Chrysomelidae</i>
	Lépidoptères	90	56,6%	5	0,65	<i>Nymphalidae</i>
	Hyménoptères	33	20,8%	4	0,22	<i>Apidae</i>
	Diptères	10	6,3%	4	0,48	<i>Dipt_NI</i>
PL	Coléoptères	436	31,0%	20	0,87	<i>Scarabeidae</i>
	Lépidoptères	609	43,0%	11	0,83	<i>Microlep_sp</i>
	Hyménoptères	72	5,0%	6	0,51	<i>Formicidae</i>
	Diptères	9	0,6%	4	0,69	<i>Pyrogotidae</i>
PP	Coléoptères	1	0,6%	1	/	<i>Chrysomelidae</i>
	Lépidoptères	40	24,0%	6	0,24	<i>Nymphalidae</i>
	Hyménoptères	60	36,0%	3	0,22	<i>Apidae</i>
	Diptères	52	31,1%	5	0,71	<i>Tabanidae</i>

i. Analyses factorielles des correspondances des pièges en fonction des relevés

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances est présentée en *Figure 21*, 16 familles dont les captures ne dépassaient pas 3 ont été enlevées ce qui représente un effectif de 33 insectes.

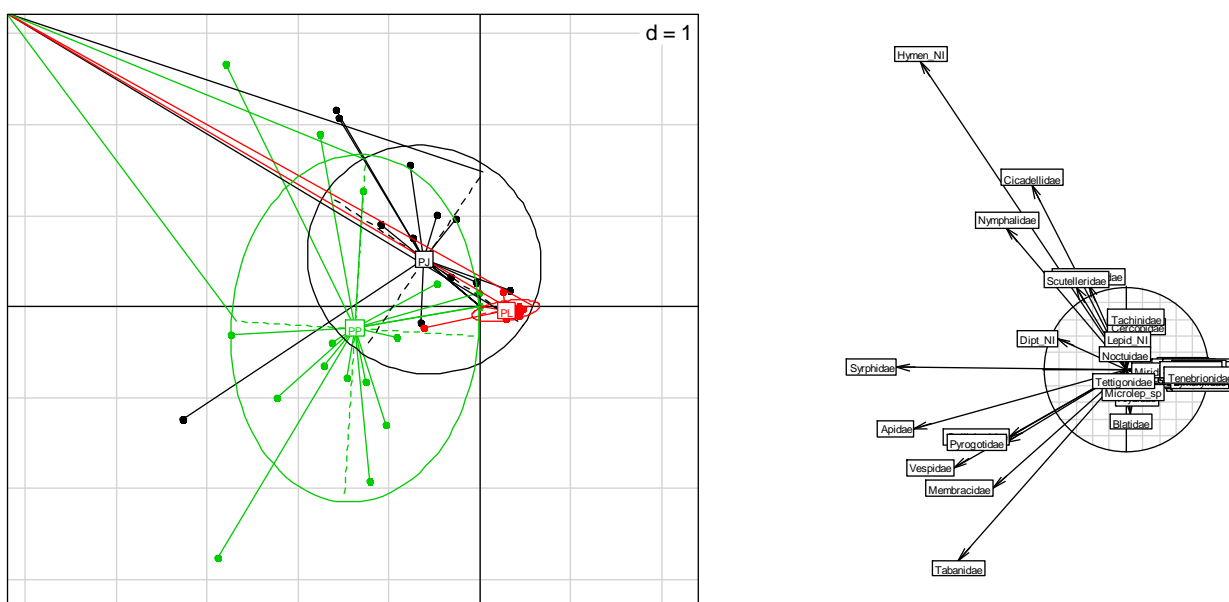


Figure 21: Analyse des correspondances des relevés en fonction des types de pièges (PP= pièges à papillons, PJ = pièges jaunes, PL = pièges lumineux) et cercle des corrélations permettant d'interpréter le placement des relevés en fonction des familles

Cette ordination nous montre que les pièges lumineux (en rouge) se différencient des deux autres types de pièges (pièges à papillons en vert et pièges jaunes en noir). L'ensemble de familles capturées par les pièges lumineux partage peu de similarités avec les deux autres types de pièges. Par contre, les pièges jaunes et les pièges à papillons partagent plus de similarités entre eux, bien que le piège à papillon tende plus vers les *Syrphidae* et les *Apidae* que le piège jaune qui tend vers les *Nymphalidae*.

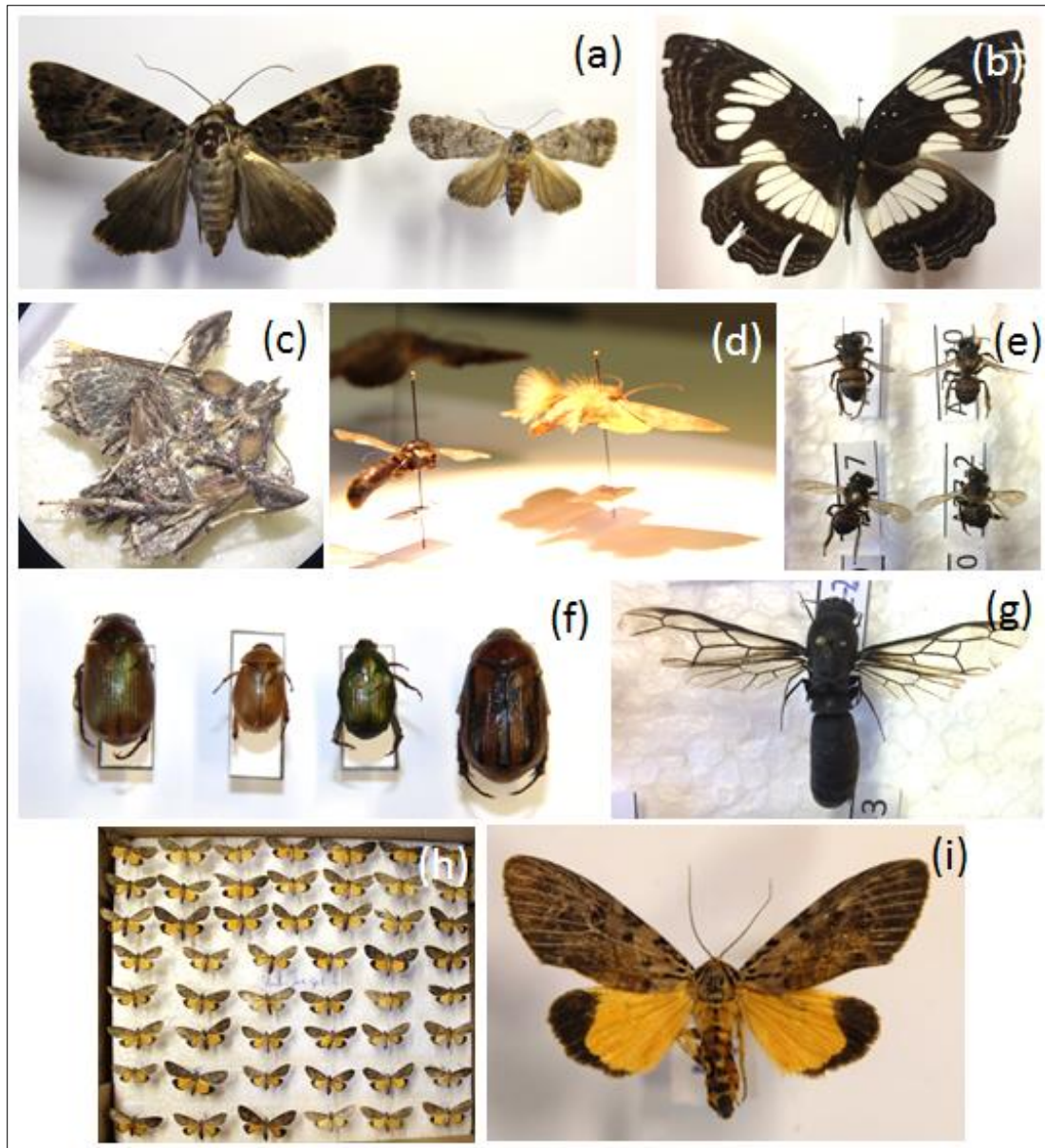


Figure 22: Illustration des insectes capturés. (a) *Noctuidae* (*Heterocera*), (b) *Neptis* sp. (*Nymphalidae* - *Rhopalocera*), (c) Illustration des brosses de poils sur les pattes de *Noctuidae* (*Heterocera*), (d) Illustration de brosses de poils sur les ailes de *Noctuidae* (*Heterocera*), (e) Illustration de *Apis mellifera andonsinii* L. (*Apidae* - Hyménoptères), (f) Illustration de quatre espèces de *Rutelinae* (*Scarabeidae* - Coléoptères), (g) Illustration de *Dorylus* sp. (*Formicidae* - Hyménoptères), (h) et (i) Illustration des *Arctiinae* (*Erebidae* - *Heterocera*) abondamment capturés sur le Tali. (©A. Segers)

IV. 6. Analyses palynologiques

La première partie des analyses palynologiques (travail préparatoires effectué par l'ISEM) a validé le protocole mis en place. Les résultats de cette première étape de l'analyse sont les suivants :

- Les pollens de chaque essence étudiée ont pu être extraits des fleurs récoltées et mis en lame de référence pour les descriptions morphologiques. Ces lames ont amendé les bases de données de l'ISEM.
- En ce qui concerne l'analyse des contenants dans lesquels ont été conditionnés les insectes, trois tubes Eppendorfs® ont été analysés et l'un d'entre eux a révélé la présence d'un grain de pollen

de Doussié. Ce tube contenait 12 Coléoptères de la famille des *Rutelinae* capturés par un piège lumineux placé sur un Doussié. Les deux autres tubes n'ayant pas révélé la présence de pollens correspondaient à des Diptères (3 *Syrphidae*) capturés par un piège à papillons placé dans un Tali, et à des Hyménoptères (5 *Formicidae* du genre *Dorylus*) capturés par un piège lumineux placé dans un Moabi.

Ceci doit toutefois être nuancé car il est possible que certains taxa de visiteurs floraux n'aient pas visité les fleurs des essences ciblées mais plutôt celles d'un individu du même genre ou de la même famille présentant des pollens très semblables.

IV. 7. Détermination des visiteurs floraux

L'Annexe viii présente la sélection des familles de visiteurs floraux sur base des caractéristiques alimentaires, morphologiques et bibliographiques (Peakall 1989; Nagamitsu & Inoue 1997; Bernhardt 2000; Abrol 2006; Lopezaraiza-Mikel et al. 2007; Ishida et al. 2009; Navatha & Sreedevi 2012; Steenhuisen & Johnson 2012; Wardhaugh 2015; Orford et al. 2015; Macgregor et al. 2015). Les familles non reprises par cette sélection y apparaissent en rouge et représentent un effectif de 384 individus, soit 22% des captures totales. On peut y remarquer que les Hémiptères, à moins d'une preuve de visite florale dans la littérature scientifique, ne sont pas repris dans les potentiels visiteurs floraux/pollinisateurs. En effet, ils entretiennent le plus souvent des relations parasitaires avec les plantes et leur régime alimentaire de « piqueur-suceur » de phloème les oriente vers les zones végétatives de l'arbre. De plus leur petite taille et la faible présence de poils constituent un argument morphologique d'exclusion des vecteurs potentiels de pollens. Les Microlépidoptères n'ont pas non plus été sélectionnés car leur biologie est très peu connue (NEL & NEL 2000), aucune référence bibliographique ne mentionne la possibilité qu'ils soient des visiteurs floraux.

Les familles sélectionnées représentent donc 1361 insectes pour 39 familles, 78% des captures totales. La Figure 23 illustre la distribution des fréquences des familles selon les essences (l'Annexe ix reprend les effectifs sur lesquels la figure a été élaborée). On y voit que :

- Le Doussié (610 insectes pour 35 familles) : Les principales familles de visiteurs floraux sont les Scarabeidae (12,13%), les Apidae (11,31%), les Noctuidae (11,31%), les Lépidoptères non-identifiés (9,02%), les Elateridae (7,05%) et les Chrysomélidae (6,07%).
- Le Moabi (574 insectes pour 37 familles) : Les familles de visiteurs floraux sont nombreuses et équitablement réparties, les plus fréquentes semblent être les Lépidoptères non identifiés (10,28%), les Noctuidae (8,71%), les Nymphalidae (8,36%), les Pentatomoidae (7,84%), et les Formicidae (6,27%).
- Le Tali (177 insectes pour 25 familles) : La répartition des familles est assez irrégulière avec trois principales familles de Lépidoptères nocturnes (*Heterocera*) : les Erebidae (35,59%), les Lépidoptères non-identifiés (12,99%), et les Noctuidae (8,47%).

Un nouveau test d'indépendance χ^2 est effectué pour évaluer si les communautés de visiteurs floral/pollinisateur diffèrent en fonction de l'essence. On obtient comme résultat que les communautés sont à nouveau bien différentes en fonction des essences ($R^2= 484.41$ - ddf=NA - pval = 0.0005 - n=2000).

Distribution de fréquences des familles de visiteurs floraux capturés par essence

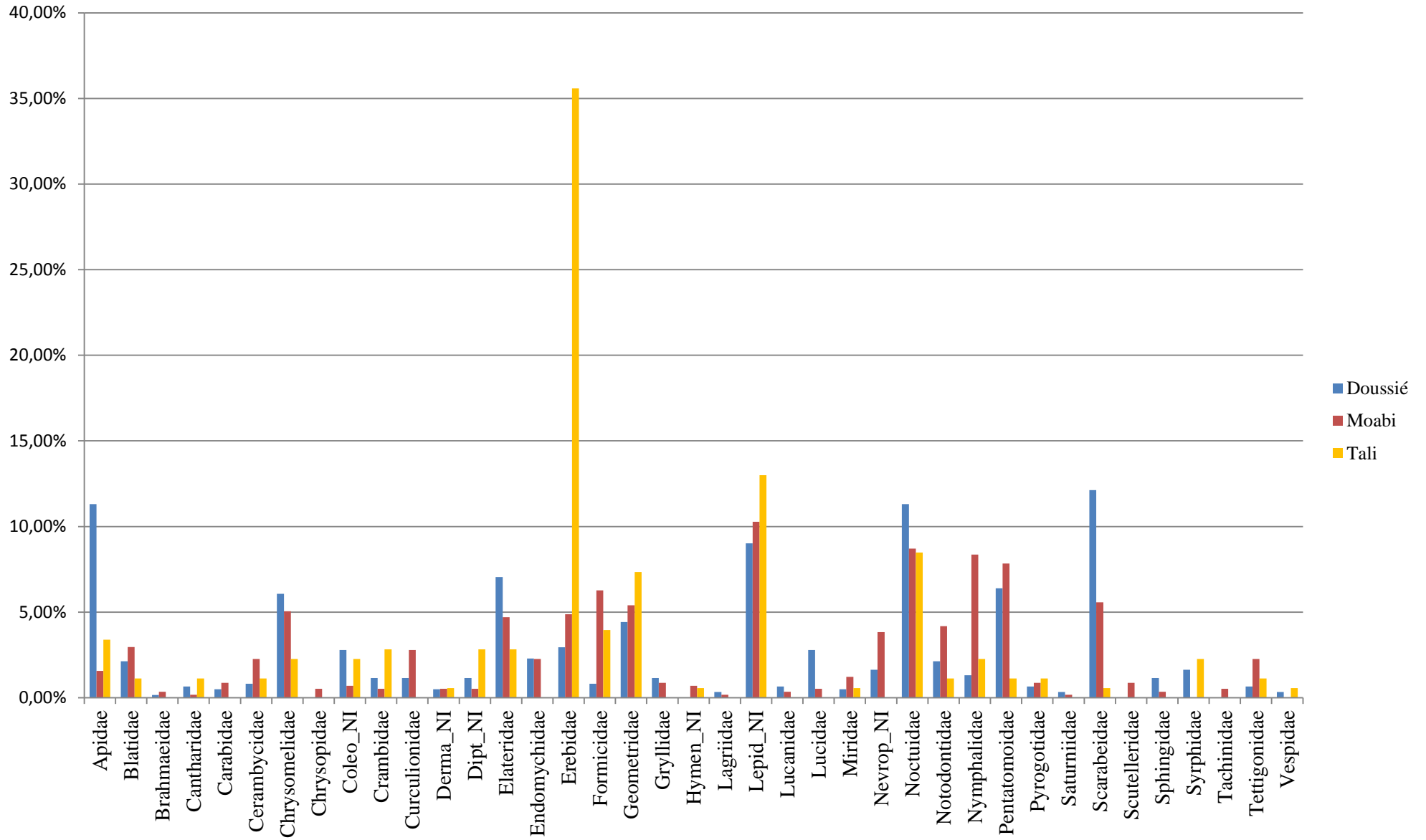


Figure 23: Histogramme des distributions de fréquences de visiteurs floraux pour les trois ess

IV. 8. Calcul des distances séparant les arbres en fleur avant et après l'exploitation

Les données nécessaires au calcul de la distance séparant les arbres en fleurs avant et après la floraison sont résumées dans le Tableau 8.

Les coefficients de floraison ont été calculés selon plusieurs sources et plusieurs méthodologies. Le coefficient du Moabi est calculé à partir des données de Debroux (1998) qui a suivi pendant 42 mois 19 Moabi de diamètre supérieur à 70cm. Quatre épisodes de floraison ont été observés et le coefficient correspond à la moyenne de floraison observée sur cette période (0,707). Le coefficient de floraison du Tali est calculé à partir de l'étude de (Duminil et al. 2016a) qui a estimé une proportion d'individus participant à la pollinisation de 0,233. Et le coefficient de floraison du Doussié est issu des études de Donkpegan (2017) qui a calculé un indice de synchronicité de floraison des Doussiés allant de 0,64 à 0,79, nous considérons la moyenne des deux valeurs qui est de 0,715.

Tableau 8: Information nécessaires au calcul des distances avant et après l'exploitation pour chaque essence (DMA = Diamètre minimum d'aménagement, DMF = Diamètre minimum de floraison, Coeff. Expl. = Coefficient d'exploitation, Coeff. Flor. = coefficient de floraison) (Pallisco & Nature +, 2012 ; Ouegraogo et al. 2018)

	Doussié	Moabi	Tali
UFA	10.041-42-44	10.041-42-44	10.030-31
Surface (ha)	176.071	176.071	118.052
DMA (cm)	80	100	70
DMF (cm)	28	65	26
Densité (nb/ha)	0,27	0,1	1,3
Coeff. Expl.	0,565	0,416	0,713
Coeff. Flor.	0,715	0,707	0,233
Distances	292-306	642-808	174-211

On y voit que l'exploitation sélective écarte les pieds de Doussié fleuris de 292m à 306m, les pieds de Moabi fleuris de 642m à 808m et les pieds de Tali fleuris de 174 à 211 m. Pour bien visualiser l'effet de l'exploitation sur la structure des populations, le *Figure 24* illustre la répartition du nombre de tiges à l'hectare avant et après exploitation pour chaque essence.

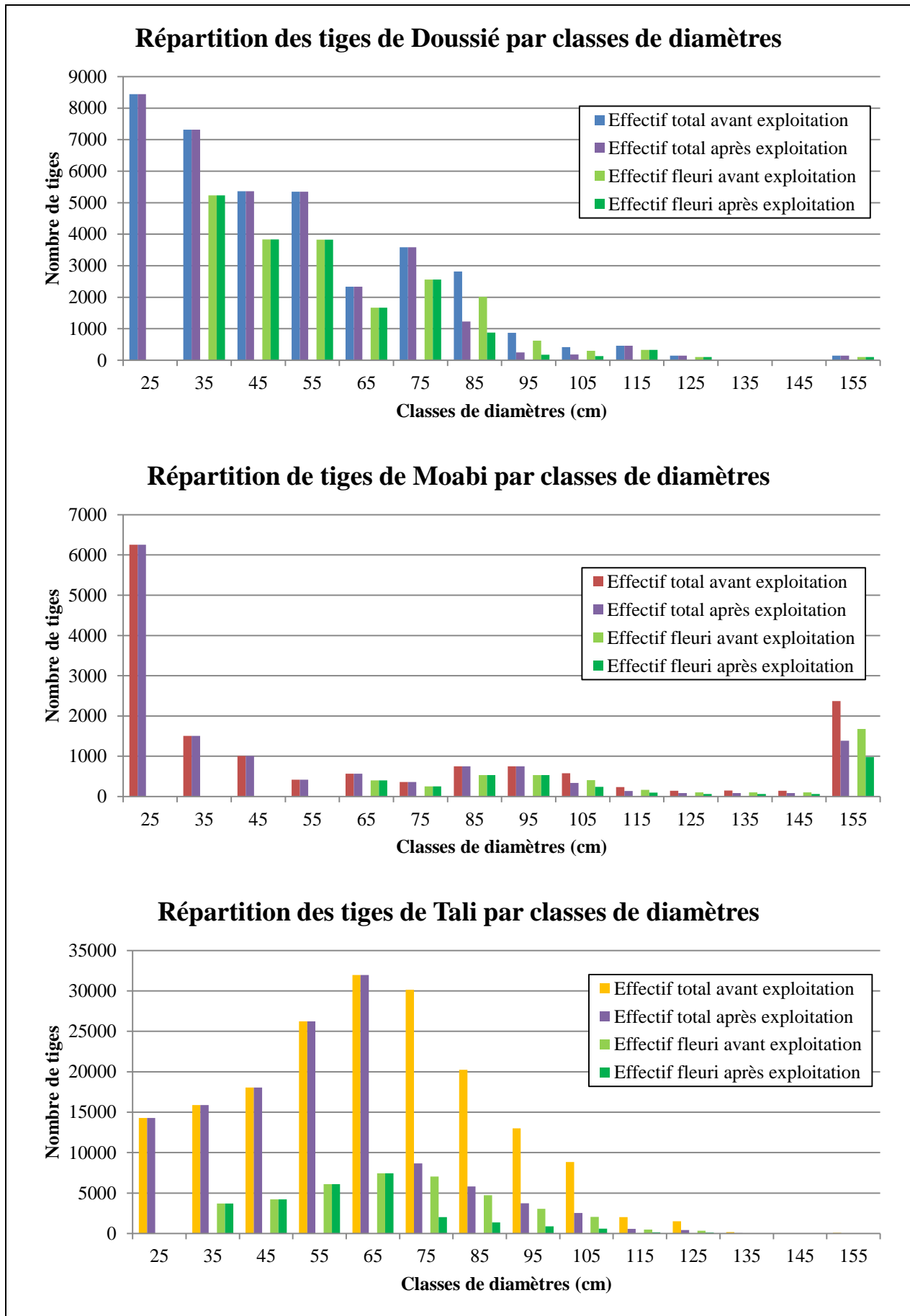


Figure 24: Répartition des tiges de Moabi, de Doussié et de Tali par classes de diamètres

V. Discussion

Cette étude s'est intéressée aux visiteurs floraux de trois espèces ligneuses à haute valeur commerciale. Considérant un effort d'échantillonnage de 17 pieds et de 408 heures de piégeage, un total de 1745 insectes ont été capturés, dont 1361 pollinisateurs potentiels. La confirmation du statut de visiteur floral/pollinisateurs s'est heurtée à : (i) l'impossibilité de réaliser les études palynologiques dans les temps impartis et (ii) différents biais techniques et logistiques. Ceux-ci sont discutés dans un premier temps. Ensuite, une combinaison des résultats avec ceux de Charlotheaux (2017) permet de proposer une liste de visiteurs floraux/pollinisateurs probables pour les différentes essences. Enfin, une réflexion autour des impacts de l'exploitation forestière sur la pollinisation conclura la discussion.

V. 1. La contrainte d'échantillonnage

Plusieurs aspects liés à la prise des données peuvent être repris dans ce type de biais et influencent considérablement les analyses statistiques. Tout d'abord, l'effort d'échantillonnage n'a pas pu être homogène pour les trois essences avec 8 Doussiés, 6 Moabis et 3 Talis recensés dont un des trois arbres qui n'a pas donné de récoltes du piège lumineux (*Figure 16*). Dès lors, il est difficile de conclure avec certitude que les présents résultats soient exhaustifs en termes communautés de visiteurs floraux réels pour des espèces faiblement échantillonnées.

Ensuite, la stochasticité des captures complique l'analyse de la diversité des communautés de deux manières. Soit, elle donne lieu à des captures exceptionnellement importantes, soit c'est le phénomène inverse qui se produit et on se retrouve avec une multitude d'espèces rares. La difficulté de l'analyse des données qui en résultent réside dans le fait qu'on ne peut pas conclure que les taxa abondamment ou très faiblement capturés peuvent vraiment avoir une liaison fonctionnelle avec la communauté étudiée (Basset et al. 2003). Par exemple, on ne peut pas conclure avec certitude que les nombreux *Erebidae* (*Figure 20*) capturés sur le Tali soient les principaux pollinisateurs de cette essence. Une analyse palynologique complémentaire s'impose pour les statuer définitivement comme tel.

Enfin, l'aspect spatial peut également apporter son lot d'incertitude dans l'interprétation des résultats selon deux aspects : la distance entre les deux sites d'études et la faible superficie d'échantillonnage par rapport à la répartition géographique des essences. Premièrement, la distance séparant les deux sites d'étude est d'environ 80 km. Il est donc possible que les conditions écologiques différentes des deux sites soient prépondérantes sur la spécificité des communautés aux essences. Et deuxièmement, les pieds recensés étaient localisés sur une superficie réduite par rapport à l'aire de distribution des espèces cibles. Il se peut que les résultats soient liés aux conditions écologiques de la parcelle et que ces conditions ne soient pas généralisables à la répartition géographique des essences.

V. 2. La mise en application des pièges

i. Comparaison des efficacités des pièges et biais méthodologiques

L'efficacité d'un piège peut s'exprimer en termes d'effectifs et de diversité. Si on compare les trois types de pièges par rapport à ces deux composantes, on constate que les pièges lumineux dépassent largement les deux autres types de pièges. Cette différence est principalement causée par une durée d'utilisation insuffisante qui n'a pas permis aux pièges jaunes et aux pièges à papillons de capturer suffisamment d'insectes. Ce biais de mise en application est inévitable et causé par trois éléments :

- L'aspect non destructif du piège lumineux qui nécessitait de récolter les insectes capturés vivant et en bon état après chaque cycle d'allumage.
- L'autonomie de ses batteries qui ne permettent pas d'assurer un second cycle d'allumage (6h15 d'autonomie vs 6h d'éclairage par cycle).
- L'obligation de devoir placer et récolter les pièges simultanément car la grimpe qui permettait d'accéder aux canopées logistiquement et temporellement fort contraignante

Idéalement, les pièges jaunes doivent être mis en application 5 à 6 jours tandis que les pièges à papillons doivent être mis en place trois à quatre jours (leurs appâts devant être changés tous les 24 à 48h).

Trois autres facteurs spécifiques aux pièges jaunes pourraient expliquer une moindre efficacité. Tout d'abord, ils doivent être complétés d'une capture active. En effet, ces pièges ne captent pas toute la diversité des Ordres ciblés, particulièrement pour les Hyménoptères dont les familles n'ont pas toutes la même probabilité d'être capturés (Roulston *et al.* 2007; Nielsen *et al.* 2011; Touroult *et al.* 2017). Ensuite, leur peinture doit pouvoir réfléchir les rayons ultra-violet pour augmenter leur efficacité. Or la peinture employée dans l'étude ne présentait pas cette caractéristique. La couleur choisie¹² doit également être adéquate car elle agit comme un filtre au niveau des captures en favorisant certaines familles (Droege 2006). Il est donc intéressant de l'adapter à celle des fleurs étudiées (Westphal *et al.* 2008). Enfin, l'agent de réduction de tension de surface doit être inodore ce qui n'était pas le cas.

Les pièges jaunes étaient supposés cibler les insectes floricoles, en particulier les Hyménoptères et des Diptères (Touroult *et al.* 2017). On s'aperçoit en Figure 20 que les insectes floricoles ont bien été ciblés mais les Lépidoptères diurnes de la famille des Nymphalidae et du genre *Neptis* sont majoritaires. Ces derniers ont essentiellement été capturés sur les Moabi ce qui peut s'expliquer par une bonne correspondance de la couleur des pièges avec celle des fleurs. Les Hyménoptères quant à eux ont essentiellement été capturés sur les Doussié, leur diversité est relativement faible comme nous l'indiquent Tableau 7, *Apis mellifera andansonii* L. étant l'espèce la plus abondante. Par contre, peu de Diptères ont été capturés quelle que soit l'essence, ce qui pourrait être causé par l'emploi d'une peinture ne réfléchissant pas assez les rayons UV.

Les pièges à papillons, d'après Charlotheaux (2017), étaient supposés cibler les Lépidoptères (70%, essentiellement des Noctuidae), les Diptères (13%) et les Hyménoptères (8%). Lors de notre étude, la proportion de Lépidoptères a fortement diminué (24%) tandis que la proportion des Hyménoptères et des Diptères tendent à s'équilibrer. Le fait que la proportion de Lépidoptères ait diminué peut s'expliquer par le biais de mise en application énoncé précédemment mais il peut également s'expliquer par l'utilisation simultanée du piège lumineux qui attire plus efficacement les papillons nocturnes que les appâts des pièges à papillons.

Enfin, les pièges lumineux à plaques transparentes devaient cibler les Lépidoptères nocturnes (*Heterocera*), divers Coléoptères, les Orthoptères et autres insectes diurnes interceptés par les plaques transparentes (Touroult *et al.* 2017). La diversité des insectes nocturnes capturés respecte ces prévisions, les deux Ordres les plus abondamment capturés sont les Lépidoptères (43%) et les Coléoptères (31%). Leur richesse en familles est élevée et bien répartie comme nous l'indiquent les indices de Simpson (Tableau 7). On peut également observer que les Hyménoptères les plus abondants sont les *Formicidae*, dont le genre *Dorylus* qui est dominant. Ce résultat est cohérent à en juger l'activité diurne des abeilles par rapport à l'activité nocturne des fourmis. Par contre, une très faible proportion d'insectes diurnes a été capturée.

Ces différents biais ont fort probablement nuis à l'exhaustivité des collectes. Toutefois, le protocole suivi était standardisé, on peut alors considérer que ce biais s'est réparti de manière uniforme dans chaque unité expérimentale. Des comparaisons peuvent donc être faites et renforcées par les observations Charlotheaux (2017). Celui-ci avait étudié deux de nos espèces cibles avec des pièges malaise, des pièges à papillons et des captures actives au filet. En plus, des observations directes et par piège photographiques avaient été faites. Son travail s'étant déroulé une année avant la nôtre, il constitue une base importante pour réduire les biais expliqués précédemment. Il nous sera donc d'une grande utilité dans la détermination des communautés de visiteurs floraux (section V.4).

ii. Facteurs influençant l'efficacité des pièges lumineux

L'efficacité des pièges jaunes et des pièges à papillons ayant déjà été discuté dans les paragraphes précédents, nous allons nous concentrer sur les pièges lumineux. Ceux-ci ont capturé 81% des insectes au total (Figure 16), il est donc pertinent de parler des facteurs influençant leur efficacité car cela peut expliquer certaines variations des captures entre les essences et/ou entre les unités expérimentales.

¹² Le nom « piège jaune » est trompeur car ils peuvent prendre n'importe quelle couleur. L'appellation « pan traps » qui réfère à la forme du piège est plus adéquate. Les peintures idéales pour nos trois essences sont une peinture blanche ou violette réfléchissant les UV pour le Doussié et une peinture jaune réfléchissant les UV pour le Moabi et le Tali.

Steiner *et al.* (2010) reprend cinq principaux facteurs abiotiques influençant le nombre et la diversité des captures effectuées par les pièges lumineux : la température, l'intensité de l'éclairage de la lune, le vent, l'humidité (précipitations-humidité-brouillard) et l'encombrement du milieu. Les conditions climatiques n'ayant pas été enregistrées, elles ne pourront pas être discutées. Par contre, l'encombrement du milieu peut expliquer le fait que le Moabi ait capturé en moyenne plus d'insectes que les deux autres essences. En effet, cette essence perd ses feuilles lors de la floraison ce qui permet une meilleure transmission des rayons UV et attire les insectes sur un rayon plus large.

V. 3. *Le niveau taxonomique*

Compte tenu du temps nécessaire à la mobilisation des différents spécialistes pour une identification précise des espèces, notre étude s'est limitée dans un premier temps aux familles. Et étudier la diversité de visiteurs floraux/pollinisateurs à ce niveau taxonomique de peut être trompeur, particulièrement pour les familles très diversifiées qui contiennent des espèces présentant des divergences morphologiques et comportementales. La généralisation à toute une famille du comportement de visiteur floral/pollinisateur sur base de critères morphologiques et de régimes alimentaires (*cf.* section IV.6) peut causer une surestimation ou une sous-estimation des capacités de pollinisation d'une famille.

Par exemple, la famille des *Noctuidae* (Lépidoptères – *Heterocera*), bien qu'elle ne soit constituée que d'individus nectariphages ou de manière plus générale de «suceur» grâce à leur spiritrompe, elle possède des espèces dont la morphologie (taille et masse) est très variables (*Figure 21a*). Or les distances de dispersions de pollens peuvent être très variables en fonction de la morphologie des insectes (Berwaerts *et al.* 2002).

D'autres familles possèdent également des insectes aux régimes alimentaires très diversifiés comme en témoigne le tableau de l'*Annexe viii*. Dans la famille des *Blattidae* (Blattodea) par exemple, certaines espèces s'alimentent des ressources florales, et, en ce-faisant, agissent comme principal pollinisateurs, alors que la plupart des autres espèces de cette famille sont détritiphages (Nagamitsu & Inoue 1997).

La méthode de détermination des taxa de visiteurs floraux/pollinisateurs suivie dans cette étude est certes biaisée par cette généralisation mais elle est la seule manière d'obtenir des résultats substitutifs aux analyses palynologiques* et aux l'identification spécifique des captures en cours à l'ISEM et à l'IRScNB. Les présents résultats et leurs discussions devront donc être réévalués/corrigés à la lumière des identifications une fois qu'elles auront été finalisées. D'ailleurs, une analyse de correspondance effectuée au niveau des espèces capturées plutôt qu'au niveau des familles nous permettra de mieux évaluer la spécificités de chaque communauté vis-à-vis des essences ou des pièges (espèces indicatrices, espèces les plus abondantes, etc...), des estimations de richesses spécifiques pourront être effectuées par courbes d'accumulation et être comparées entre essences ou pièges.

V. 4. *Les visiteurs floraux les plus probables*

i. Principaux visiteurs floraux/pollinisateurs visiteurs des trois essences étudiées

En confrontant nos résultats avec ceux de Charloreaux (2017), qui avait échantillonné 281 insectes sur 12 Doussié fleuris et 31 insectes sur 2 Moabi fleuris, une sélection de visiteurs floraux/pollinisateurs a pu être établie (*Figure 25*). L'aspect quantitatif des taxa sélectionnés sont issus des résultats de notre étude (taxa les plus abondants), auxquels sont ajoutés qualitativement des taxa issus des observations de Charloreaux. Les guildes de pollinisateurs sont ainsi représentées sous forme de réseau bilatéral¹³.

Ces quinze familles sélectionnées constituent en moyenne 70% des captures sur chaque essence. Bien que ces familles soient partagées par les trois essences, leur proportion est significativement différentes dans chacune d'entre elles (test χ^2 d'indépendance de la section IV.7.). Cet ensemble de visiteurs floraux/pollinisateurs est donc constitué d'espèces généralistes, toutefois certaines familles semblent être préférentiellement inféodées à certaines essences. Les « autres familles » reprennent une vingtaine

¹³ La vocation de la *Figure 25* est purement illustrative du partage des guildes de pollinisateurs ! En effet, car elle n'a en aucun point suivi la méthodologie propre à l'élaboration des réseaux de pollinisations décrite par Becket (2016).

de familles dont les effectifs sont plus faibles (Figure 23). Leur rôle en tant que pollinisateur n'est pas à négliger mais elles ne sont considérées qu'en terme de proportion de nombre de familles en attendant une confirmation palynologique.

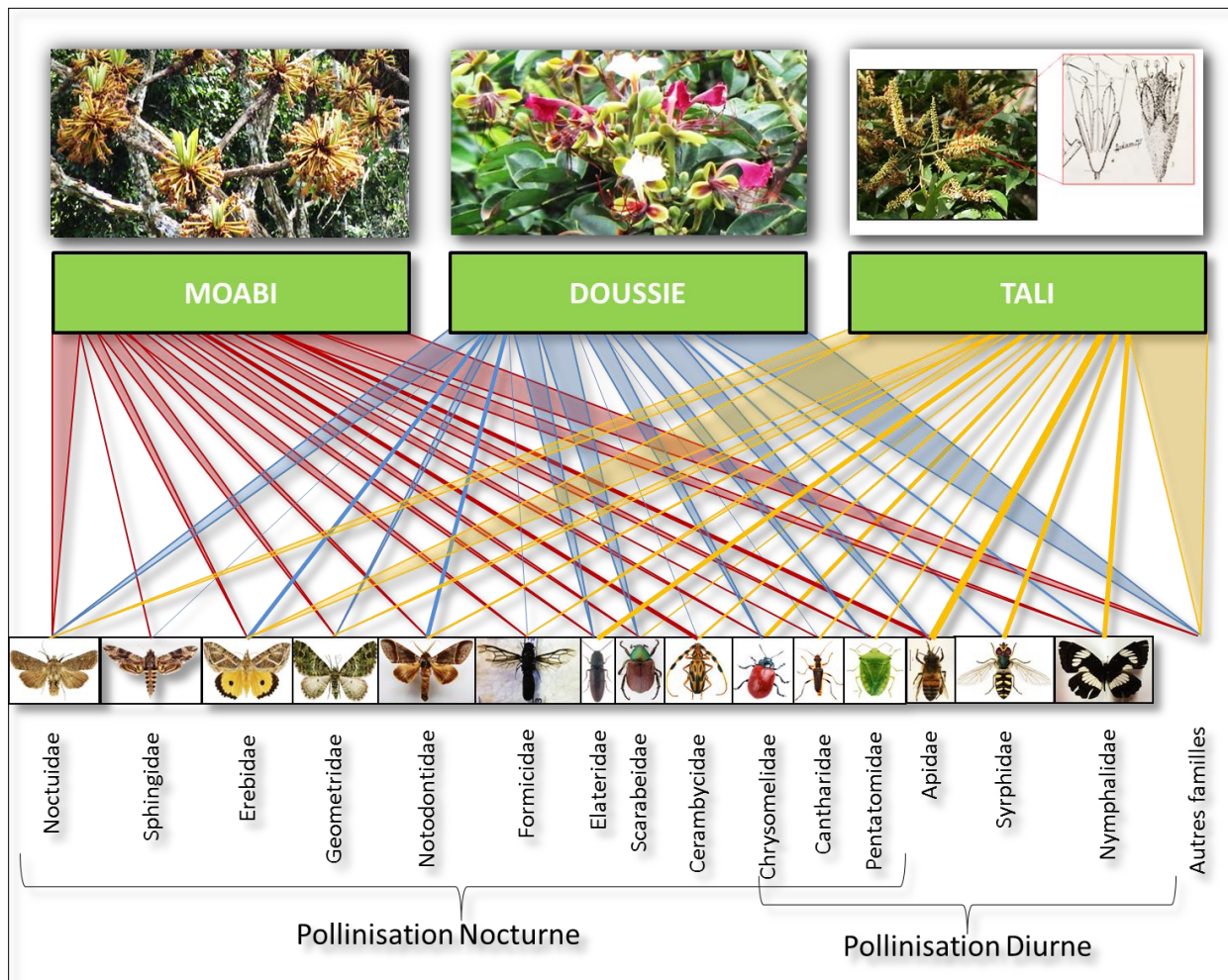


Figure 25: Présentation des taxa de visiteurs floraux/pollinisateurs les plus probables par essences après avoir complété nos résultats avec ceux de Charlotieux (2017). L'épaisseur du trait les liant représente l'importance du taxon en termes d'abondance relative dans les effectifs sélectionnés de la Figure 23.

ii. Visiteurs floraux/pollinisateurs du Doussié

Au total, 35 familles peuvent jouer un rôle de pollinisation du Doussié (Annexe ix). Les Lépidoptères et les Coléoptères sont les plus abondants et leurs familles semblent majoritairement présenter une activité de pollinisation nocturne ou crépusculaire, ce qui confirme les observations de Ludovic Charlotieux (2017). Les familles suivantes sont retenues pour leur important potentiel de vecteur de pollen :

- **Les Noctuidae** : Elle est la famille de papillons nocturnes (*Hétérocera*) qui a le plus été capturée. En plus de leur abondance, certains spécimens possèdent des brosses de poils sur les pattes/ailes (Figure 21 c et d) permettant de fixer les pollens, ils constituent donc un taxon de visiteur floral/pollinisateur très probable. De plus, un spécimen déjà capturé par Ludovic Charlotieux (2017) a de nouveau été capturé lors de cette mission (Figure 21 a - droite) ;
- **Les Scarabeidae** : Cette famille est constituée de cinq sous-familles dont celle des *Rutelinae* qui est la plus abondante (63% des Scarabéidés capturés). Les spécimens qui la constituent (Figure 21f) avaient aussi été observés sur les fleurs de Doussié par Charlotieux (2017). Les travaux préparatoires des analyses palynologiques ont prouvé qu'ils sont bel et bien capable de transporter les pollens. Cela confirme définitivement le statut de visiteur floral. D'autres études ont également présenté l'intérêt de la famille des *Scarabeidae* dans la pollinisation (Mayer et al. 2006) ;
- **Les Sphingidae** : Cette famille avait également fait l'objet d'observations par « caméra-trap ». Outre le fait que ces insectes soient capables de parcourir de grandes distances, leur comportement du butinage par vol stationnaire permet le contact avec les anthères qui sont

portées par un long filet. De plus, le vol stationnaire leur demande beaucoup d'énergie, pour subvenir à ses besoins énergétiques, les certains *Shingidae* doivent visiter journallement 1000 à 1500 fleurs par jour (Farina et al. 1994).

- **Les Apidae** : Les abeilles sont capables de visiter fréquemment un grand nombre de fleurs par jour et peuvent transporter les pollens sur une grande distance (Abrol 2006).
- **Les Syrphidae** : Cette famille a déjà fait l'objet de plusieurs études au sein desquelles elle a été déterminée comme pollinisateur efficaces (Orford et al. 2015). Sa présence dans les captures n'est donc pas à négliger comme vecteur de pollens.

En considérant l'architecture florale et la longueur des filets, le dépôt des pollens sur les insectes peut être de type *nototrobique* et/ou *sternotrobique*. Les visiteurs floraux semblent être généralistes, l'odeur forte des fleurs agissant potentiellement comme attractif à large spectre. Dès lors, il est envisageable que pour compenser un apport de pollens trop hétérospécifique, des filtres à la pollinisation soient mis en place au niveau de la couleur des fleurs : seuls les insectes capables de détecter la couleur de la corolle non-pollinisée seraient des pollinisateurs efficaces du Doussié.

iii. Visiteurs floraux/pollinisateurs du Moabi

Cette essence manifeste la plus grande diversité et équitabilité de visiteurs floraux/pollinisateurs capturés avec 37 familles recensées. Parmi ceux-ci, à l'instar du Doussié, les ordres des Lépidoptères et des Coléoptères sont également les plus abondamment représentés. Parmi les Lépidoptères, autant de *Nymphalidae* du genre *Neptis* (*Rhopalocera*) que de *Noctuidae* (*Heterocera*) semblent participer à la pollinisation. Des *Sphingidae* ont également été capturés. Cependant, considérant le court filet des étamines, il est peu probable que ces derniers entrent en contact avec les anthères avec leur comportement de vol stationnaire.

Une grande diversité de Coléoptères nocturnes semble visiter les fleurs. Les plus abondants sont les *Scarabeidae* et les *Elateridae*. Enfin, en ce qui concerne les Hyménoptères, beaucoup de Formicidae nocturnes ont été capturés (*Dorylus sp.*). Si il a déjà été prouvé que des *Formicidae* du genre *Myrmeica* sont pollinisateurs par *pseudocopulation* (Peakall 1989), aucune preuve de visite florale/pollinisation n'existe pour *Dorylus*. Si les analyses palynologiques ne confirment aucune présence de pollens, nous conclurons que c'est l'attraction par les UV qui explique son abondance.

Cette entomofaune semble essentiellement nocturne, mais si nous tenons compte des observations de Charloreaux (2017), des observations directes d'Hyménoptères et de Diptères « *aux allures métalliques* » ont été faites dans les canopées fleuries. Ces deux taxa sont donc considérés comme visiteurs floraux/pollinisateurs potentiels du Moabi.

Le Moabi semble ainsi présenter des pollinisateurs à la fois diurnes et nocturnes. En considérant l'architecture florale, le dépôt des pollens ne peut être que stéréotrobique. Les pollinisateurs semblent être d'une très grande diversité, ce qui peut aussi s'expliquer par une forte efficacité des pièges lumineux lié à la perte des feuilles lors de la floraison. Seule la finalisation des analyses palynologiques nous indiquera quels sont les réels visiteurs floraux.

iv. Visiteurs floraux/pollinisateurs du Tali

Cette essence présente la plus faible diversité d'insectes capturés avec au total 25 familles recensées. Cela est certainement causé par un effort d'échantillonnage plus faible pour cette essence. Parmi les insectes capturés, il semble que les Lépidoptères nocturnes soient les principaux visiteurs floraux. On peut en effet constater que les *Erebidae*, les *Noctuidae*, les *Geometridae* et les Lépidoptères non identifiés constituent ensemble 64,4% de l'ensemble des visiteurs floraux/pollinisateurs capturés.

D'autres pollinisateurs probables ont été capturés parmi les 21 autres familles. Cependant leur répartition équitable et leur faible abondance couplées à et l'absence d'observations directes nuancent leur importance même si des *Apidae*, *Vespidae*, *Syrphidae* et *Nymphalidae* sont de potentiels pollinisateurs diurnes. En considérant la petite taille des fleurs de Tali, le dépôt de pollen sur des insectes les visitant ne peut être que sternotrobique.

V. 5. Impact de l'exploitation sélective sur la dispersion entomophile des pollens

Les distances calculées sont à mettre en relation avec les distances de dispersions des pollens que sont capables de parcourir les taxa identifiés comme visiteurs floraux/pollinisateurs pour pouvoir évaluer les éventuels impacts de l'exploitation sélective. Plusieurs études ont estimé ces distances de dispersion selon différentes méthodes : la méthode de « capture marquage recapture » (CMR), l'utilisation des pollens comme indicateurs de distances, des tests en laboratoire et des analyses génétiques.

En ce qui concerne les Coléoptères Nocturnes, une étude menée en Colombie sur les Araceae a mis en évidence la participation de Coléoptères de la famille des *Dynasticidae* (*Cyclocephala gragara* et *C. amblyopsis*) dans la pollinisation (García-Robledo et al. 2004). Les distances qu'ils sont capables de parcourir calculée par CMR sur 49 individus sont de 86,5 m (+- 128,7m), avec une distance maximum de 512 m. Cette étude a également démontré que la distance de déplacement d'une fleur à l'autre dépendait de la densité (lorsque la densité est faible, visite de la fleur la plus proche lorsque la densité est plus grande, visite de fleurs plus éloignées). D'autres études menées par CMR ont également évalué les distances que sont capables de parcourir des Lépidoptères de la famille des *Tortricidae* à 104 +- 3,9 m (Botero Garcés & Isaacs 2004).

Les tests en laboratoire donnent des distances beaucoup plus élevés. Par exemple, Luo et al. (2002) a déterminé que des Lépidoptères de la famille des Noctuidae sont capables de voler sur des distances de 50 km. Tu et al. (2010) a déterminé pour des papillons de la même famille une distance de 83,3 km (+- 28,4).

Hendrix et al. (1987) a aussi étudié les distances de vol *Noctuidae* (*Heliothis zea*) en Arkansas en se servant des pollens comme indicateur de distance. Il a ainsi déterminé que ces papillons étaient capables de parcourir 750 km.

En ce qui concerne les Hyménoptères et les Diptères, Janzen (1971) a démontré que des Apidae pouvaient parcourir des distances de 20 km chargés de pollens, et Kanmiya (2002) a démontré que des Diptères pouvaient parcourir des distances allant de 2,5 à 25,7 km.

Une autre méthode d'estimation des flux de gènes est de d'estimer par analyses génétiques les distances de dispersion de pollens au moyen de gènes identifiés par des microsattellites. La plupart des études démontrent que les distances de dispersions déterminées selon cette méthodologie vont de 500 m à 14.000 m (Dick et al. 2008). Duminil et al. (2016b) a calculé pour le Moabi des distances moyennes de dispersions de pollens allant de 690 m à 777 m. Le mode de dispersion suggéré par cette étude est celui de l'arbre le plus proche. Duminil et al. (2016a) a aussi calculé pour le Tali des distances moyennes de dispersion de pollens de 195 m à 350 m. Cette dernière étant inversement corrélée à la densité des arbres en fleur.

Toutes ces informations tendent à nous faire penser que (1) l'exploitation sélective n'a pas d'impact sur la dispersion des pollens si on considère les distances parcourues par des taxa ubiquistes tels que les Apidae et les Noctuidae et (2) que les études fournissent des résultats très variés en fonction des méthodes et des taxa ce qui suggère de tester les distances parcourues par les insectes *in situ* pour fixer définitivement cette inconnue.

V. 6. Conclusions et perspectives

La pollinisation est une interaction complexe qui peut s'étudier de nombreuses manières. Dans notre étude, nous avons développé une approche zoocentrique en suggérant l'analyse des pollens portés par des insectes capturés passivement, au moyen de trois types de pièges standardisés dans les canopées fleuries.

Si cette méthode s'est avérée prometteuse, l'étape déterminante de l'analyse palynologique n'a pas été finalisée et les visiteurs floraux ont été déterminés à partir de trois caractéristiques (morphologie, régime alimentaire et littérature scientifique). Les principales conclusions que nous pouvons tirer au terme de cette étude peuvent être résumées en 10 points:

- (i) L'implémentation du nouveau type de pièges lumineux à plaques transparentes s'avère efficace pour recenser l'entomofaune nocturne. Le nombre de captures était significativement plus élevé dans ces pièges et la diversité capturée l'était également. Les pièges à papillons et des pièges jaunes sont semblables en termes d'efficacité mais leur mise en application est à améliorer pour augmenter leur efficacité ;
- (ii) Afin d'éviter les biais mis en évidence, l'utilisation simultanée des trois types de pièges est à adapter en termes de durée pour laisser aux pièges diurnes le temps d'être efficaces. En outre, des captures actives doivent compléter les lacunes des pièges, et l'effort d'échantillonnage doit être homogène ;
- (iii) Les trois types de pièges semblent avoir capturé des communautés différentes et/ou complémentaires ;
- (iv) Les communautés d'insectes capturées dans les trois essences semblent différer les unes des autres de manière significative. Cependant cette affirmation devrait être confirmée en tenant compte des améliorations suggérées au point (ii) ;
- (v) La palynologie a permis l'identification des pollens des essences étudiées, cependant les analyses doivent se poursuivre pour identifier les taxa porteurs ;
- (vi) Les familles déterminées comme visiteur floral semblent être partagées par les trois essences mais certains taxa semblent être inféodées préférentiellement à certaines essences ;
- (vii) Le Moabi (37 familles sélectionnées recensées pour 574 insectes) possède la plus grande diversité de taxa de visiteurs floraux/pollinisateurs. Les pollinisateurs semblent autant diurnes que nocturnes avec des Lépidoptères de la famille des *Nymphalidae* et des *Noctuidae*, des Coléoptères de la famille des *Scarabeidae* et des *Elateridae*, des Diptères et des Hyménoptères de la famille des *Apidae* ;
- (viii) Le Doussié (35 familles sélectionnées pour 610 insectes) présente essentiellement des Coléoptères et des Lépidoptères nocturnes comme visiteurs floraux. Parmi ceux-ci, les familles des *Noctuidae* et des *Scarabeidae* sont les plus abondants. Les *Sphingidae* constituent bien que peu capturés constituent des visiteurs floraux/pollinisateurs important au vu des longues distances et du nombre de fleurs qu'ils visitent). Les visiteurs floraux diurnes sont les *Apidae* et les *Syrphidae* ;
- (ix) Le Tali (25 familles sélectionnées pour 177 insectes) présente essentiellement des Lépidoptères nocturnes comme visiteurs floraux/pollinisateurs avec les familles des *Erebidae*, *Noctuidae* et *Géometridae*. L'entomofaune diurne est composée d'*Apidae*, de *Vespidae*, de *Syrphidae* et de *Nymphalidae* ;
- (x) L'exploitation sélective semble ne pas avoir d'impact sur la dispersion entomophile des pollens du Tali et du Doussié. Les distances séparant les plans fleuris qui ont été calculées pour les trois essences (Doussié = 306 m, Moabi = 808m et Tali = 211m) semblent pouvoir être parcourues par les visiteurs floraux/pollinisateurs d'après la littérature scientifique. Par contre l'hétérogénéité des estimations de distances de vol par les insectes suggère d'approfondir la question en testant directement sur le terrain les distances que peuvent parcourir les pollinisateurs capturés ;

Les conclusions tirées au terme de ces deux études successives nous ont permis d'élaborer un protocole idéal pour la détermination de pollinisateurs pouvant être appliqué à d'autres essences pour les études futures. Sans entrer dans le détail, les trois principales étapes de ce protocole sont :

- (i) Etude préalable des syndromes floraux pour estimer les guildes de pollinisateurs et adapter les méthodes de pièges à ces derniers. Les traits floraux à observer pour ces estimations sont la quantité de fleurs produites car cela influence la mobilité des pollinisateurs (source), la quantité de pollen et de nectar produits par la fleur, ainsi que des traits olfactifs et visuels tels que la symétrie des fleurs, la couleur, la quantité d'UV réfléchis et le contraste des motifs ultraviolets qui constituent des guides à nectar. Ces critères ciblent des pollinisateurs bien précis (Junker & Blüthgen 2010; Hansen et al. 2012; Shivanna & Tandon 2014a) ;
- (ii) Adapter la méthode de piégeage en fonction des guildes estimées et les coupler à des captures actives pour combler les lacunes d'exhaustivité des pièges : Six types de pièges ont été testés au cours des deux études et présentent chacun des caractéristiques différentes. Il est indispensable de les coupler avec des captures actives (observations, captures au filet ou pièges photographiques). L'utilisation des pièges doit également être standardisée pour permettre des comparaisons entre essences. Pour les captures actives au filet, cela peut se faire par séances de captures à des moments précis de la journée. Ces recommandations permettront de capter un maximum de visiteurs floraux/pollinisateurs.

- (iii) Analyses palynologiques et identifications spécifiques. Les analyses palynologiques permettront de conclure avec certitude si les taxons estimés à priori et/ou capturés activement sont effectivement des vecteurs de pollens.

Pour l'avenir, il serait intéressant d'apporter de nouveaux outils et de nouvelles méthodes pour approfondir l'évaluation des risques de l'exploitation sélective par rapport à la dispersion entomophile des pollens. Premièrement, la finalisation des analyses palynologiques et des identifications spécifiques permettra d'effectuer une étude plus précise par rapport à l'analyse de la diversité des communautés. D'ailleurs, il serait intéressant de compléter la description morphologique des pollens avec un génotypage pour assurer les identifications au niveau spécifique (Yuji Isagi & Yoshihisa Suyama 2011). Deuxièmement, pour que ce type d'étude soit plus complète et plus précise, il serait intéressant de développer une méthode de CMR pour l'estimation des distances que peuvent parcourir les pollinisateurs. La méthode employée par Hendrix et al. (1987) qui se servait des pollens comme élément de marquage des insectes semble intéressante. Et troisièmement, l'approche des réseaux de pollinisation pour décrire les ensembles des interactions entre les grandes essences tropicales serait intéressant à développer. En effet, cet outil permettrait visualiser le partage des pollinisateurs entre essences de manière plus robuste (Bascompte & Jordano 2007), cela permettrait aussi d'évaluer l'évolution spatiotemporelle de cette interaction mutualistique sous l'influence des perturbations humaines et enfin, cela comblerait le manque d'informations quant aux réseaux de pollinisations en milieu paléo tropicaux (Schleuning et al. 2012).

VI. Bibliographie

- Abrol DP (2012a) *Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production*. Springer Netherlands, Dordrecht
- Abrol DP (2006) Diversity of pollinating insects visiting litchi flowers (*Litchi chinensis* Sonn.) and path analysis of environmental factors influencing foraging behaviour of four honeybee species. *Journal of Apicultural Research* 45:180–187. doi: 10.1080/00218839.2006.11101345
- Abrol DP (2012b) Introduction. In: *Pollination Biology*. Springer, Dordrecht, pp 1–23
- Achard F, Eva H, Mayaux P (2001) Tropical forest mapping from coarse spatial resolution satellite data: Production and accuracy assessment issues. *International Journal of Remote Sensing* 22:2741–2762. doi: 10.1080/01431160120548
- Albrecht M, Schmid B, Hautier Y, Müller CB (2012) Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proceedings of the Royal Society B* 279:4845–4852. doi: 10.1098/rspb.2012.1621
- ATIBT (2016) Rapport d'activité de 2016
- ATIBT (1986) Atlas des bois tropicaux. Vol. 1, Afrique. Association Internationale Technique des Bois Tropicaux, Paris
- Aubreville A (1961) Flore du Gabon - 01 - Sapotaceae. Museum d'histoire Naturelle, Laboratoire de Phanérogamie. 16, rue Buffon, Paris 5e
- Aubreville A (1968) Flore du Gabon - 15 - Légumineuses - Caesalpinoïdées. Museum d'histoire Naturelle, Laboratoire de Phanérogamie. 16, rue Buffon, Paris 5e
- Bascompte J, Jordano P (2007) Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *38:567–593*. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818
- Basset Y, Kitching R, Miller S, Novotny V (2003) *Arthropods of Tropical Forests: Spatio-Temporal Dynamics and Resource Use in the Canopy*. Cambridge University Press
- Bawa KS (1990) Plant-Pollinator Interactions in Tropical Rain Forests. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21:399–422. doi: 10.1146/annurev.es.21.110190.002151
- Bawa KS, Perry DR, Beach JH (1985) Reproductive Biology of Tropical Lowland Rain Forest Trees. I. Sexual Systems and Incompatibility Mechanisms. *American Journal of Botany* 72:331–345. doi: 10.2307/2443526
- Bayol N, Anquetil F, Bile C, et al (2014) Filière bois d'oeuvre et gestion des forêts naturelles : les bois tropicaux et les forêts d'Afrique centrale face aux évolutions des marchés. Weyrich Editions
- Beckett SJ (2016) Improved community detection in weighted bipartite networks. *Royal Society Open Science* 3:. doi: 10.1098/rsos.140536
- Bernhardt P (2000) Convergent Evolution and Adaptive Radiation of Beetle-Pollinated Angiosperms. In: *Pollen and Pollination*. Springer, Vienna, pp 293–320
- Berwaerts K, Dyck HV, Aerts P (2002) Does flight morphology relate to flight performance? An experimental test with the butterfly *Pararge aegeria*. *Functional Ecology* 16:484–491. doi: 10.1046/j.1365-2435.2002.00650.x
- Blüthgen N, Klein A-M (2011) Functional complementarity and specialisation: The role of biodiversity in plant-pollinator interactions. *Basic and Applied Ecology* 12:282–291. doi: 10.1016/j.baae.2010.11.001
- Botero-Garcés N, Isaacs R (2004) Movement of the grape berry moth, *Endopiza viteana*: displacement distance and direction. *Physiological Entomology* 29:443–452. doi: 10.1111/j.0307-6962.2004.00415.x
- Bowden J (1982) An Analysis of Factors Affecting Catches of Insects in Light-Traps. In: *Bulletin of Entomological Research*. /core/journals/bulletin-of-entomological-research/article/an-analysis-of-factors-affecting-catches-of-insects-in-lighttraps/E36B552703CCAE1716232C6601EA6C5A. Accessed 27 Jun 2018
- Brian P (2016) *Invertebrates: light trapping, Inventory and monitoring toolbox: invertebrates* DOCM-286730
- Burkle LA, Alarcón R (2011) The future of plant-pollinator diversity: Understanding interaction networks across time, space, and global change. *American Journal of Botany* 98:528–538. doi: 10.3732/ajb.1000391
- Carr DE, Eubanks MD (2014) Interactions Between Insect Herbivores and Plant Mating Systems. *Annu Rev Entomol* 59:185–203. doi: 10.1146/annurev-ento-011613-162049

- Charloteaux L (2017) Etude des pollinisateurs d'*Afzelia Bipindensis* Harms et de *Baillonella Taxisperma* Pierre
- Cirad (1977) Fiches techniques : Tali. Bois et Forêts des Tropiques 17–31
- Conner JK, Davis R, Rush S (1995) The effect of wild radish floral morphology on pollination efficiency by four taxa of pollinators. *Oecologia* 104:234–245. doi: 10.1007/BF00328588
- Coraline (2017) Grimper dans la canopée des arbres pour mieux gérer les forêts tropicales. In: Gembloux Agro-Bio Tech. <http://www.gembloux.ulg.ac.be/blog/grimper-dans-la-canopee-des-arbres-pour-mieux-gerer-les-forets-tropicales/>. Accessed 8 Jun 2018
- Dafni A (2000) Pollen and Pollination. Springer Vienna : Imprint: Springer, Vienna
- Dafni A, Marom-Levy T, Jürgens A, et al (2012) Ambophilly and supergeneralism in *Ceratonia siliqua* pollination
- Daïnou K (2016) Hautes valeurs de conservation (HVC) dans les unités forestières d'aménagement du Cameroun: concepts, choix et pratiques. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux
- Danforth BN, Sipes S, Fang J, Brady SG (2006) history of early bee diversification based on five genes plus morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103:15118–15123. doi: 10.1073/pnas.0604033103
- Dáttilo W, Rico-Gray V (eds) (2018) Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth. Springer International Publishing
- Dáttilo Wesley, Marquitti Flavia M. D., Guimarães Paulo R., Izzo Thiago J. (2014) The structure of ant-plant ecological networks: Is abundance enough? *Ecology* 95:475–485. doi: 10.1890/12-1647.1
- de Wasseige C, Flynn J, Louppe D, et al (2014) Les forêts du bassin du Congo - Etat des Forêts 2013. Weyrich Belgique
- de Wasseige C, Tandoum M, Eba'a Atyi R, Doumenge C (2015) Les forêts du bassin du Congo - Forêts et changement climatique. Weyrich Belgique
- de Wasseige C de, de Marcken P, Bayol N, et al (2012) Les forêts du bassin du Congo: état des forêts 2010. Office des Publications de l'Union européenne, Luxembourg
- de Wasseige C de, Devers D, de Marcken P, et al (2009) Les forêts du bassin du Congo: état des forêts 2008. Office des Publications de l'Union européenne, Luxembourg
- Debroux L (1998) L'aménagement des forêts tropicales fondé sur la gestion des populations d'arbres: l'exemple du moabi (*Baillonella toxisperma* Pierre) dans la forêt du Dja, Cameroun.
- Degen B, Blanc L, Caron H, et al (2006) Impact of selective logging on genetic composition and demographic structure of four tropical tree species. *Biological Conservation* 131:386–401. doi: 10.1016/j.biocon.2006.02.014
- Delvare G, Aberlenc H-P (1989) Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale: clés pour la reconnaissance des familles. Editions Quae
- Dick CW, Hardy OJ, Jones FA, Petit RJ (2008) Spatial Scales of Pollen and Seed-Mediated Gene Flow in Tropical Rain Forest Trees. *Tropical Plant Biol* 1:20–33. doi: 10.1007/s12042-007-9006-6
- Dodd ME, Silvertown J, Chase MW (1999) PHYLOGENETIC ANALYSIS OF TRAIT EVOLUTION AND SPECIES DIVERSITY VARIATION AMONG ANGIOSPERM FAMILIES. *Evolution* 53:732–744. doi: 10.1111/j.1558-5646.1999.tb05367.x
- Donkpegan A, Hardy O, Lejeune P, et al (2014) Un complexe d'espèces d'*Afzelia* des forêts africaines d'intérêt économique et écologique (synthèse bibliographique)/On a species complex, *Afzelia*, in African forests of economic and ecological interest. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 18:233–246
- Donkpegan S (2017) Histoire évolutive du complexe *Afzelia* Smith (Leguminosae - Caesalpinioideae) dans les écosystèmes forestiers et savanicoles en Afrique tropicale
- Doucet J-L, Kouadio YL (2007) Le moabi, une espèce « phare » de l'exploitation forestière en Afrique centrale. *Parcs+R% C3%A9serve* 62:25–31
- Droege S (2006) Impact of color and size of bowl trap on numbers of bees captured
- Duminil J, Daïnou K, Kaviriri DK, et al (2016a) Relationships between population density, fine-scale genetic structure, mating system and pollen dispersal in a timber tree from African rainforests. *Heredity* 116:295–303. doi: 10.1038/hdy.2015.101
- Duminil J, Mendene Abessolo DT, Ndiade Bouroubou D, et al (2016b) High selfing rate, limited pollen dispersal and inbreeding depression in the emblematic African rain forest tree *Baillonella toxisperma* – Management implications. *Forest Ecology and Management* 379:20–29. doi: 10.1016/j.foreco.2016.08.003

- Evrard Q (2015) Ecologie de reproduction du doussié, *Azelia bipindensis* Harms, en forêt dense humide tropicale gabonaise.
- Faegri K, vade der Pijl L (1979) The principles of pollination ecology, -3rd revised edition. Pergamon Press, Oxford
- FAO (2010) Prise en compte de la biodiversité dans les concessions forestière d'Afrique Centrale
- Farina WM, Varjú D, Zhou Y (1994) The regulation of distance to dummy flowers during hovering flight in the hawk moth *Macroglossum stellatarum*. *J Comp Physiol A* 174:239–247. doi: 10.1007/BF00193790
- Fenster C, Armbruster W, Wilson P, et al (2004) POLLINATION SYNDROMES AND FLORAL SPECIALIZATION. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35:375–403
- Fondation PROTA (2012) Ressources végétales de l'Afrique tropicale: Bois d'oeuvre. 2. CTA Fondation PROTA, Wageningen
- Freitas A, Iserhard C, Santos J, et al (2014) Studies with butterfly bait traps: an overview/Estudios empleando trampas de cebo para mariposas: una revisión. *Revista Colombiana de Entomología* 40:203–212
- Fry R (2001) A guide to moth traps and their use., 2 éd.. The Amateur Entomologists's Society, Orpington
- Gallai N, Salles J-M, Settele J, Vaissière BE (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68:810–821. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
- García-Robledo C, Kattan G, Murcia C, Quintero-Marín P (2004) Beetle pollination and fruit predation of *Xanthosoma daguense* (Araceae) in an Andean cloud forest in Colombia. *Journal of Tropical Ecology* 20:459–469. doi: 10.1017/S0266467404001610
- Genini J, Morellato LPC, Guimarães PR, Olesen JM (2010) Cheaters in mutualism networks. *Biology Letters* 6:494–497. doi: 10.1098/rsbl.2009.1021
- Gérard J, Guibal D, Paradis S, Cerre J-C (2016) Atlas des bois tropicaux: caractéristiques technologiques et utilisations. Quae, Versailles
- Ghazoul J, Sheil D (2010) Tropical rain forest ecology, diversity, and conservation. Oxford/New York
- Gosling WD, Miller CS, Livingstone DA (2013) Atlas of the tropical West African pollen flora. *Review of Palaeobotany and Palynology* 199:1–135. doi: 10.1016/j.revpalbo.2013.01.003
- Hamilton MB (1999) Tropical tree gene flow and seed dispersal. *Nature* 401:129–130. doi: 10.1038/43597
- Hansen DM, Niet TV der, Johnson SD (2012) Floral signposts: testing the significance of visual 'nectar guides' for pollinator behaviour and plant fitness. *Proc R Soc B* 279:634–639. doi: 10.1098/rspb.2011.1349
- Haurez B, Daïnou K, Vermeulen C, et al (2017) A look at Intact Forest Landscapes and their relevance in Central African forest policy. *Forest Policy and Economics* 80:. doi: 10.1016/j.forpol.2017.03.021
- Hendrix WH, Mueller TF, Phillips JR, Davis OK (1987) Pollen as an Indicator of Long-distance Movement of *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ Entomol* 16:1148–1151. doi: 10.1093/ee/16.5.1148
- Hesse M, Halbritter H, Zetter R, et al (2009) Pollen Terminology: An illustrated handbook. Springer Vienna, Vienna
- Hope ACA (1968) A Simplified Monte Carlo Significance Test Procedure. *Journal of the Royal Statistical Society Series B (Methodological)* 30:582–598
- Ishida C, Kono M, Sakai S (2009) A new pollination system: brood-site pollination by flower bugs in *Macaranga* (Euphorbiaceae). *Ann Bot* 103:39–44. doi: 10.1093/aob/mcn212
- Jaulin S, Baillet Y (2007) Identification et suivi des peuplements de Lépidoptères et d'Orthoptères sur l'ENS du Col du Coq-Pravouta. Rapport d'étude de l'OPIE-LR, Perpignan
- Jordano P (2016) Natural history matters: how biological constraints shape diversified interactions in pollination networks. *Journal of Animal Ecology* 85:1423–1426. doi: 10.1111/1365-2656.12584
- Jordano P (1987) Patterns of Mutualistic Interactions in Pollination and Seed Dispersal: Connectance, Dependence Asymmetries, and Coevolution. *The American Naturalist* 129:657–677. doi: 10.1086/284665
- Junker RR, Blüthgen N (2010) Floral scents repel facultative flower visitors, but attract obligate ones. *Ann Bot* 105:777–782. doi: 10.1093/aob/mcq045
- Kearns CA, Inouye DW, Waser NM (1998) Endangered mutualism: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology & Systematics* 29:30p.

- Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, et al (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings Biological sciences* 274:303–13. doi: 10.1098/rspb.2006.3721
- Krogmann L, Joachim H (2010) Chapter 18: Preserving and Specimen Handling: Insects and other Invertebrates. In: *Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories*. Jutta Eymann, Jérôme Degreef, Christoph Häuser, Juan Carlos Monje, Yves Samyn & Didier VandenSpiegel
- Kunin WE (1997) Population Size and Density Effects in Pollination: Pollinator Foraging and Plant Reproductive Success in Experimental Arrays of Brassica Kaber. *Journal of Ecology* 85:225–234. doi: 10.2307/2960653
- Larson DL, Royer RA, Royer MR (2006) Insect visitation and pollen deposition in an invaded prairie plant community. *Biological Conservation* 130:148–159. doi: 10.1016/j.biocon.2005.12.009
- Lopezaraiza-Mikel ME, Hayes RB, Whalley MR, Memmott J (2007) The impact of an alien plant on a native plant–pollinator network: an experimental approach. *Ecology Letters* 10:539–550. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01055.x
- Lourmas M, Kjellberg F, Dessard H, et al (2007) Reduced density due to logging and its consequences on mating system and pollen flow in the African mahogany *Entandrophragma cylindricum*. *Heredity* 99:151–60. doi: 10.1038/sj.hdy.6800976
- Loveless, J L Hamrick, R B Foster (1998) Population structure and mating system in *Tachigali versicolor*, a monocarpic neotropical tree. *Heredity* 81:134–143. doi: 10.1046/j.1365-2540.1998.00353.x
- Loveless M (1992) Isozyme variation in tropical trees: patterns of genetic organization. *New Forests* 6:67–94. doi: 10.1007/BF00120640
- Luo L, Johnson SJ, Hammond AM, et al (2002) Determination and Consideration of Flight Potential in a Laboratory Population of True Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology* 31:1–9. doi: 10.1603/0046-225X-31.1.1
- Macgregor CJ, Pocock MJO, Fox R, Evans DM (2015) Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. *Ecological Entomology* 40:187–198. doi: 10.1111/een.12174
- Mapaga D, Ingeza D, Louppe D (2002) Moabi. <http://agritrop.cirad.fr/515646/>. Accessed 6 Jul 2018
- Maruyama PK, Vizenin-Bugoni J, Oliveira GM, et al (2014) Morphological and Spatio-Temporal Mismatches Shape a Neotropical Savanna Plant-Hummingbird Network. *Biotropica* 46:740–747. doi: 10.1111/btp.12170
- Mayer C, Soka G, Picker M (2006) The importance of monkey beetle (Scarabaeidae: Hopliini) pollination for Aizoaceae and Asteraceae in grazed and ungrazed areas at Paulshoek, Succulent Karoo, South Africa. *J Insect Conserv* 10:323. doi: 10.1007/s10841-006-9006-0
- Memmott J (1999) The structure of a plant-pollinator food web. *Ecology Letters* 2:276–280. doi: 10.1046/j.1461-0248.1999.00087.x
- Meunier Q, Moumbogou C, Doucet J-L (2015) *Les arbres utiles du Gabon*. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, Gembloux
- Millenium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC
- Mitchell RJ, Irwin RE, Flanagan RJ, Karron JD (2009) Ecology and evolution of plant–pollinator interactions. *Annals of Botany* 103:1355–1363. doi: 10.1093/aob/mcp122
- Moore PD (1978) *An illustrated guide to pollen analysis*. Hodder & Stoughton, London
- Murawski, Hamrick (1991) The effect of the density of flowering individuals on the mating systems of nine tropical tree species. *Heredity* 67:167–174. doi: 10.1038/hdy.1991.76
- Nagamitsu T, Inoue T (1997) Cockroach pollination and breeding system of *Uvaria elmeri* (Annonaceae) in a Lowland mixed-dipterocarp forest in Sarawak. *American Journal of Botany* 84:208–213. doi: 10.2307/2446082
- Nason JD, Herre EA, Hamrick JL (1998) The breeding structure of a tropical keystone plant resource. 391:
- Navatha L, Sreedevi K (2012) Insect pollinator diversity and abundance in castor, *Ricinus communis* L. *Current Biotica* 6:251–253
- NEL J, NEL A (2000) Microlépidoptères méconnus: plus de 750 espèces en danger en France. Plaidoyer pour une recherche fondamentale négligée (Insecta, Lepidoptera). *Bulletin de la Société entomologique de France* 105:213–216
- Nielsen A, Steffan-Dewenter I, Westphal C, et al (2011) Assessing bee species richness in two Mediterranean communities: importance of habitat type and sampling techniques. *Ecological Research* 26:969–983. doi: 10.1007/s11284-011-0852-1

- Nilsson LA (1988) The evolution of flowers with deep corolla tubes. *Nature* 334:147–149. doi: 10.1038/334147a0
- Olesen JM, Bascompte J, Dupont YL, Jordano P (2007) The modularity of pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104:19891–6. doi: 10.1073/pnas.0706375104
- Olesen JM, Jordano P (2002) GEOGRAPHIC PATTERNS IN PLANT–POLLINATOR MUTUALISTIC NETWORKS. *Ecology* 83:2416–2424. doi: 10.1890/0012-9658(2002)083[2416:GPIPPM]2.0.CO;2
- Olesen JM, Valido A (2003) Lizards as pollinators and seed dispersers: An island phenomenon. *Trends in Ecology and Evolution* 18:177–181. doi: 10.1016/S0169-5347(03)00004-1
- Ollerton J (2017) Pollinator Diversity: Distribution, Ecological Function, and Conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48:353–376. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110316-022919
- Ollerton J, Winfree R, Tarrant S (2011) How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120:321–326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
- Orford KA, Vaughan IP, Memmott J (2015) The forgotten flies: the importance of non-syrphid Diptera as pollinators. *Proceedings Biological sciences* 282:. doi: 10.1098/rspb.2014.2934
- Pallisco (2007a) Fiche descriptive du Moabi
- Pallisco (2007b) Fiche descriptive du Doussié
- Pallisco (2007c) Fiche descriptive du Tali
- Pallisco, Nature+ (2015) Résumé des plans d'aménagement et des directives FSC pour les UFA 10-030, 10-031, 10-039, 10-041, 10-042 et 10-044 exploitées par la société PALLISCO et ses partenaires
- Pallisco, Nature+ (2017) Résumé du plan d'aménagement et des directives internes pour l'UFA 10 047b
- PBFC (2017) Documentation de la 17e Réunion des Parties du PFBC-Stream 2 : Comment veiller à ce que la biodiversité soit correctement représentée dans les systèmes de planification économique utilisés par les pays de Bassin du Congo. AWF, WRI, IIED, ALG, Banque mondiale, COMIFAC
- Peakall R (1989) The unique pollination of *Leporella fimbriata* (Orchidaceae): Pollination by pseudocopulating male ants (*Myrmecia urens*, Formicidae). *Pl Syst Evol* 167:137–148. doi: 10.1007/BF00936402
- Picart L, Forget P-M, D'Haese CA, et al (2014) The Cafotrop method: An improved rope-climbing method for access and movement in the canopy to study biodiversity. *Ecotropica* 20:45–52
- Pitts JP, Wasbauer MS, Von Dohlen CD (2006) Preliminary morphological analysis of relationships between the spider wasp subfamilies (Hymenoptera: Pompilidae): revisiting an old problem. *Zoologica Scripta* 35:63–84. doi: 10.1111/j.1463-6409.2005.00217.x
- Rader R, Bartomeus I, Garibaldi LA, Garratt MPD (2016) Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113:146–51. doi: 10.1073/pnas.1517092112
- Raguso RA (2004) WHY ARE SOME FLORAL NECTARS SCENTED? *Ecology* 85:1486–1494. doi: 10.1890/03-0410
- Ramawat K, Merillon J-M, Shivana K (eds) (2014) Biotic pollination: How plants achieve conflict demands of attraction and restriction of potential pollinators. In: *Reproductive biology of plants*. Boca Raton
- Rasmont P, Regali A, Ings TC, et al (2005) Analysis of Pollen and Nectar of *Arbutus unedo* as a Food Source for *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology* 98:656–663. doi: 10.1603/0022-0493-98.3.656
- Regan EC, Santini L, Ingwall-King L, et al (2015) Global Trends in the Status of Bird and Mammal Pollinators. *Conservation Letters* 8:397–403. doi: 10.1111/conl.12162
- Ríos LD, Fuchs EJ, Hodel DR, Cascante-Marín A (2014) Neither insects nor wind: ambophily in dioecious *C hamaedorea* palms (Arecaceae). *Plant Biology* 16:702–710. doi: 10.1111/plb.12119
- Ritchie AD, Ruppel R, Jha S (2016) Generalist Behavior Describes Pollen Foraging for Perceived Oligolectic and Polylectic Bees. *Environ Entomol* 45:909–919. doi: 10.1093/ee/nvw032
- Roulston TH, Smith SA, Brewster AL, et al (2007) A Comparison of Pan Trap and Intensive Net Sampling Techniques for Documenting a Bee (Hymenoptera: Apiformes) Fauna. *Journal of the Kansas Entomological Society* 80:179–181. doi: 10.2317/0022-8567(2007)80[179:ACOPTA]2.0.CO;2

- Sazatornil FD, Moré M, Benitez-Vieyra S, et al (2016) Beyond neutral and forbidden links: morphological matches and the assembly of mutualistic hawkmoth–plant networks. *Journal of Animal Ecology* 85:1586–1594. doi: 10.1111/1365-2656.12509
- Schleuning M, Fründ J, Klein A-M, et al (2012) Specialization of Mutualistic Interaction Networks Decreases toward Tropical Latitudes. *Current Biology* 22:1925–1931. doi: 10.1016/j.cub.2012.08.015
- Sebbenn AM, Degen B, Azevedo VCR, et al (2008) Modelling the long-term impacts of selective logging on genetic diversity and demographic structure of four tropical tree species in the Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 254:335–349. doi: 10.1016/j.foreco.2007.08.009
- Shivanna KR, Tandon R (2014a) Pollination Ecology. *Reproductive Ecology of Flowering Plants: A Manual* 63–96. doi: 10.1007/978-81-322-2003-9_7
- Shivanna KR, Tandon R (2014b) Introduction. *Reproductive Ecology of Flowering Plants: A Manual* 1–11. doi: 10.1007/978-81-322-2003-9_1
- Shivanna KR, Tandon R (2014c) Floral Morphology and Sexuality. *Reproductive Ecology of Flowering Plants: A Manual* 25–33. doi: 10.1007/978-81-322-2003-9_4
- Shivanna KR, Tandon R (2014d) Pollen Biology. *Reproductive Ecology of Flowering Plants: A Manual* 35–50. doi: 10.1007/978-81-322-2003-9_5
- Shivanna KR, Tandon R (2014e) Pollination Ecology. In: *Reproductive Ecology of Flowering Plants: A Manual*. Springer, New Delhi, pp 63–96
- Sinu PA, Deka TN, Sudharshan MR, Saju KA (2011) Bumblebee pollination in large cardamom of Sikkim Himalaya. *Current Science* 101:828–829
- Soliani C, Vendramin GG, Gallo LA, Marchelli P (2016) Logging by selective extraction of best trees: Does it change patterns of genetic diversity? The case of *Nothofagus pumilio*. *Forest Ecology and Management* 373:81–92. doi: 10.1016/j.foreco.2016.04.032
- Souvannavong O, Billand A, Nguingui JC, Fournier J (2008) Étude en cours sur la prise en compte de la biodiversité dans les concessions forestières d’Afrique centrale. *Nature and Faune* 23:54–59
- Steenhuisen S-L, Johnson SD (2012) Evidence for beetle pollination in the African grassland sugarbushes (<Emphasis Type="Italic">Protea</Emphasis>: Proteaceae). *Plant Syst Evol* 298:857–869. doi: 10.1007/s00606-012-0589-5
- Steiner A, Häuser CL (2010) Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring | Chapter 16 - Light traps for insects. Jutta Eymann, Jérôme Degreef, Christoph Häuser, Juan Carlos Monje, Yves Samyn & Didier VandenSpiegel
- Touroult J, Poirier E, Moulin N, Deknuydt F (2017) Inventaire entomologique des ZNIEFF de Martinique - Campagne de terrain 2016
- Tu Y-G, Wu K-M, Xue F-S, Lu Y-H (2010) Laboratory evaluation of flight activity of the common cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Science* 17:53–59. doi: 10.1111/j.1744-7917.2009.01281.x
- Tussenbroek BI van, Villamil N, Márquez-Guzmán J, et al (2016) Experimental evidence of pollination in marine flowers by invertebrate fauna. *Nature Communications* 7:12980. doi: 10.1038/ncomms12980
- Vincens A, Lézine A-M, Buchet G, et al (2007) African pollen database inventory of tree and shrub pollen types. *Review of Palaeobotany and Palynology* 145:135–141. doi: 10.1016/j.revpalbo.2006.09.004
- Vizentin-Bugoni J, Maruyama PK, Sazima M (2014) Processes entangling interactions in communities: forbidden links are more important than abundance in a hummingbird–plant network. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 281:20132397. doi: 10.1098/rspb.2013.2397
- Ward M, Dick CW, Gribel R, Lowe AJ (2005) To self, or not to self... a review of outcrossing and pollen-mediated gene flow in neotropical trees. *Heredity* 95:246–54
- Wardhaugh C (2015) How many species of arthropods visit flowers? *Arthropod-Plant Interactions* 9:547–565. doi: 10.1007/s11829-015-9398-4
- Waser NM, Chittka L, Price MV, et al (1996) Generalization in Pollination Systems, and Why it Matters. *Ecology* 77:1043–1060. doi: 10.2307/2265575
- Westphal C, Bommarco R, Carré G, et al (2008) MEASURING BEE DIVERSITY IN DIFFERENT EUROPEAN HABITATS AND BIOGEOGRAPHICAL REGIONS. *Ecological Monographs* 78:653–671. doi: 10.1890/07-1292.1
- Yuji Isagi, Yoshihisa Suyama (2011) *Single-Pollen Genotyping*. Springer Japan, Tokyo

- Zahiri R, Holloway JD, Kitching IJ, et al (2012) Molecular phylogenetics of Erebidae (Lepidoptera, Noctuoidea). *Systematic Entomology* 37:102–124. doi: 10.1111/j.1365-3113.2011.00607.x
- Zahiri R, Kitching IJ, Lafontaine JD, et al (2011) A new molecular phylogeny offers hope for a stable family level classification of the Noctuoidea (Lepidoptera). *Zoologica Scripta* 40:158–173. doi: 10.1111/j.1463-6409.2010.00459.x

ii. Illustrations des pièges utilisés



(Piège Lumineux (1) – Piège jaune (2)– Piège à papillons (3))

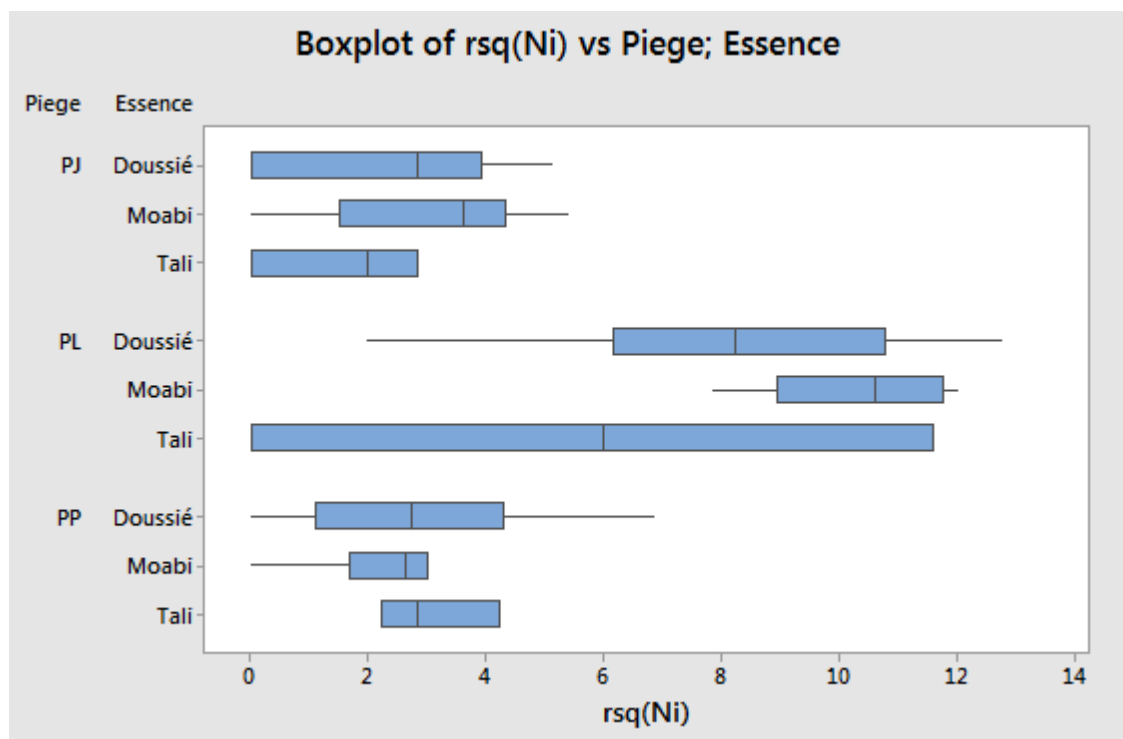
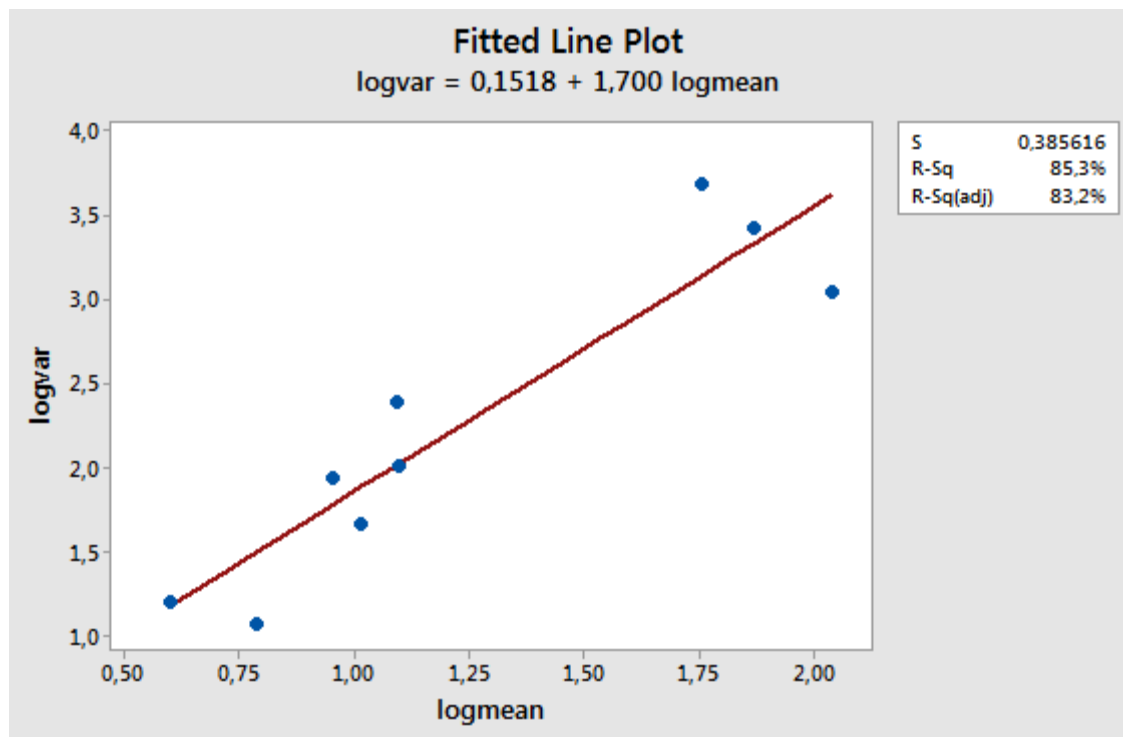
iii. Données des 30 arbres prospectés dans la parcelle de 900ha

	Essence	id	Date prospection	Coord x (UTM 33N)	Coord y (UTM 33N)	D130 (cm)	% Floraison	Remarque	Date recensement
1	Doussié	DO07	21/02/2018	345821	386445	67,1		\	\
2	Doussié	DO08	21/02/2018	345909	386492	83,2		\	\
3	Doussié	DO06	21/02/2018	345672	386690	53		\	\
4	Doussié	DO05	21/02/2018	345651	387090	69,2		\	\
5	Doussié	DO11	21/02/2018	346371	386302	56		\	\
6	Doussié	DO09	27/02/2018	345277	386146	84	45%		06-07/03/2018
7	Doussié	DO22	27/02/2018	345807	387334	85,2	50%		15-16/03/2018
8	Doussié	DO23	27/02/2018	344916	386928	??	10%	Fin de floraison	\
9	Doussié	DO15	1/03/2018	347285	386103	82	55%		(A) 08-09/03/2018
							35%		(B) 22-23/03/2018
							25%		(C) 01-02/04/2018
10	Doussié	DO12	1/03/2018	347244	386022	69	45%	Fin de floraison	Echec 08-09/03/2018
11	Doussié	DO16	1/03/2018	347251	386597	60	65%		\
12	Doussié	DO17	1/03/2018	347349	387221	75,5	60%		\
13	Doussié	DO19	2/03/2018	347261	388345	77,8	45%		\
14	Doussié	DO20	2/03/2018	346938	388275	88	35%		\
15	Doussié	DO02	2/03/2018	346281	388245	71,7	30%		14-15/03/2018
16	Doussié	DO03	2/03/2018	346185	388226	65,2	45%		13-14/03/2018
17	Doussié	DO01	2/03/2018	346422	388227	53,6	40%		14-15/03/2018
18	Moabi	MO01	19/02/2018	345637	387202	194	80%		15-16/03/2018
19	Moabi	MO14	23/02/2018	346008	384889	Voir f-ph	Voir f-ph		19-20/03/2018
20	Moabi	MO03	27/02/2018	346709	385812	71,5	45%		19-20/03/2018
21	Moabi	MO04	27/02/2018	346913	385823	79,7	Voir f-ph		21-22/03/2018
22	Moabi	MO12	27/02/2018	345122	386145	100,7	40%		Echec 06-07/03/2018
23	Moabi	MO10	28/02/2018	345862	387746	116	5%		Echec 13-14/03/2018
24	Moabi	MO05	1/03/2018	347633	388792	93	45%		\
25	Moabi	MO06	2/03/2018	345882	388353	61,8	10%		13-14/03/2018
26	Moabi	MO270	22/03/2018	346210	385137	270	25%		21-22/03/2018
27	Tali	TA02	2/03/2018	346133	388336	\	35%	Lianes	\
28	Tali	TA04	2/03/2018	345944	388356	\	15%	Lianes	\
29	Tali	TA05	2/03/2018	345903	386976	\	15%	Lianes	\
30	Tali	TA06	2/03/2018	345903	386945	\	35%	Lianes	\

iv. Répartition des familles au sein des ordres capturés

	Abondance	Abondance relative
Blattodea	32	1,83%
Blattidae	32	100,00%
Coléoptères	446	25,56%
Anobiidae	1	0,22%
Anthribidae	1	0,22%
Bostrichidae	4	0,90%
Brentidae	4	0,90%
Cantharidae	7	1,57%
Carabidae	8	1,79%
Cerambycidae	20	4,48%
Chrysomelidae	70	15,70%
Coleo_NI	25	5,61%
Curculionidae	23	5,16%
Elateridae	74	16,59%
Endomychidae	27	6,05%
Geotrupidae	1	0,22%
Lagriidae	3	0,67%
Lucanidae	6	1,35%
Lucidae	20	4,48%
Lymexylidae	1	0,22%
Passalidae	5	1,12%
Scarabeidae	106	23,77%
Tenebrionidae	40	8,97%
Dermaptères	7	0,40%
Derma_NI	7	100,00%
Diptères	71	4,07%
Calliphoridae	5	7,04%
Dipt_NI	15	21,13%
Pyrogotidae	11	15,49%
Syrphidae	14	19,72%
Tabanidae	23	32,39%
Tachinidae	3	4,23%
Hémiptères	180	10,32%
Alydidae	11	6,11%
Cercopidae	9	5,00%
Cicadellidae	5	2,78%
Cicadidae	2	1,11%
Dictyopharidae	3	1,67%
Eurybrachidae	3	1,67%
Flatidae	19	10,56%
Hémi_NI	8	4,44%
Membracidae	1	0,56%
Miridae	11	6,11%
Pentatomoidae	86	47,78%
Reduviidae	16	8,89%
Scarabeidae	1	0,56%
Scutelleridae	5	2,78%
Hyménoptères	165	9,46%
Alydidae	1	0,61%
Apidae	84	50,91%
Elateridae	1	0,61%
Formicidae	48	29,09%
Gryllidae	1	0,61%
Hymen_NI	5	3,03%
Ichneumonidae	22	13,33%
Vespidae	3	1,82%
Lépidoptères	739	42,35%
Lepid_NI	137	18,54%
Microlep_sp	159	21,52%
Noctuidae	134	18,13%
Nymphalidae	60	8,12%
Sphingidae	9	1,22%
Crambidae	15	2,03%
Erebidae	109	14,75%
Geometridae	71	9,61%
Brahmaeidae	3	0,41%
Saturniidae	3	0,41%
Notodontidae	39	5,28%
Mantodea	24	1,38%
Mantidae	24	100,00%
Névroptères	36	2,06%
Chrysopidae	3	8,33%
Mantispidae	1	2,78%
Nevrop_NI	32	88,89%
NI	14	0,80%
Orthoptères	30	1,72%
Gryllidae	11	36,67%
Tettigonidae	19	63,33%
Raphidioptères	1	0,06%
Total général	1745	100,00%

iv. Tests de vérification des CA de l'AV2



Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	-	0,000
Levene	1,59	0,157

v. Répartition des fréquences relatives des familles au sein des Ordres en fonction des essences

	Doussié	Moabi	Tali
Blattodea	1,7%	2,2%	0,9%
Dermaptères	0,4%	0,4%	0,5%
Derma NI	100,00%	100,00%	100,00%
Diptères	4,5%	2,5%	8,4%
Calliphoridae	8,82%	0,00%	11,11%
Pyrogotidae	11,76%	26,32%	11,11%
Syrphidae	29,41%	0,00%	22,22%
Tabanidae	29,41%	42,11%	27,78%
Tachinidae	0,00%	15,79%	0,00%
Dipt NI	20,59%	15,79%	27,78%
Coléoptères	33,5%	22,6%	8,9%
Anobiidae	0,39%	0,00%	0,00%
Anthribidae	0,39%	0,00%	0,00%
Bostrichidae	0,39%	1,15%	5,26%
Brentidae	0,39%	1,72%	0,00%
Cantharidae	1,57%	0,57%	10,53%
Carabidae	1,18%	2,87%	0,00%
Cerambycidae	1,96%	7,47%	10,53%
Chrysomelidae	14,51%	16,67%	21,05%
Curculionidae	2,75%	9,20%	0,00%
Elateridae	16,86%	15,52%	26,32%
Endomychidae	5,49%	7,47%	0,00%
Geotrupidae	0,00%	0,57%	0,00%
Lagriidae	0,78%	0,57%	0,00%
Lucanidae	1,57%	1,15%	0,00%
Ly mexylidae	0,39%	0,00%	0,00%
Passalidae	1,18%	1,15%	0,00%
Scarabeidae	29,02%	18,39%	5,26%
Tenebrionidae	7,84%	11,49%	0,00%
Coleo_NI	6,67%	2,30%	21,05%
Lycidae	6,67%	1,72%	0,00%
Hémiptères	10,1%	12,7%	2,3%
Hyménoptères	11,4%	7,8%	7,0%
Apidae	79,31%	15,00%	40,00%
Formicidae	5,75%	60,00%	46,67%
Ichneumonidae	12,64%	18,33%	0,00%
Vespidae	2,30%	0,00%	6,67%
Hymen NI	0,00%	6,67%	6,67%
Lépidoptères	33,7%	43,2%	70,1%
Noctuidae	26,85%	15,06%	10,00%
Nymphalidae	3,11%	14,46%	2,67%
Sphingidae	2,72%	0,60%	0,00%
Lepid_NI	21,40%	17,77%	15,33%
Crambidae	2,72%	0,90%	3,33%
Erebidae	7,00%	8,43%	42,00%
Geometridae	10,51%	9,34%	8,67%
Brahmaeidae	0,39%	0,60%	0,00%
Saturniidae	0,78%	0,30%	0,00%
Notodontidae	5,06%	7,23%	1,33%
Microlépidoptères	19,46%	25,30%	16,67%
Mantodea	1,2%	1,8%	0,5%
Névroptères	1,3%	3,3%	0,5%
NI	0,7%	1,2%	0,0%
Orthoptères	1,4%	2,3%	0,9%
Raphidioptères	0,1%	0,0%	0,0%

vi. *Tableau de contingence des tests χ^2 d'indépendance des communautés*

	Doussié	Moabi	Tali
Alydidae	3	9	0
Anobiidae	1	0	0
Anthribidae	1	0	0
Apidae	69	9	6
Blatidae	13	17	2
Bostrichidae	1	2	1
Brahmaeidae	1	2	0
Brentidae	1	3	0
Calliphoridae	3	0	2
Cantharidae	4	1	2
Carabidae	3	5	0
Cerambycidae	5	13	2
Cercopidae	5	4	0
Chrysomelidae	37	29	4
Chrysopidae	0	3	0
Cicadellidae	3	2	0
Cicadidae	0	1	1
Coleo_NI	17	4	4
Crambidae	7	3	5
Curculionidae	7	16	0
Derma_NI	3	3	1
Dictyopharidae	1	2	0
Dipt_NI	7	3	5
Elateridae	43	27	5
Endomychidae	14	13	0
Erebidae	18	28	63
Eurybrachidae	1	2	0
Flatidae	5	14	0
Formicidae	5	36	7
Geometridae	27	31	13
Geotrupidae	0	1	0
Gryllidae	7	5	0
Hémi_NI	8	0	0
Hymen_NI	0	4	1
Ichneumonidae	11	11	0
Lagriidae	2	1	0
Lepid_NI	55	59	23
Lucanidae	4	2	0
Lucidae	17	3	0
Lymexylidae	1	0	0
Mantidae	9	14	1
Mantispidae	0	0	1
Membracidae	0	1	0
Microlep_sp	50	84	25
Miridae	3	7	1
Nevrop_NI	10	22	0
NI	5	9	0
Noctuidae	69	50	15
Notodontidae	13	24	2
Nymphalidae	8	48	4
Passalidae	3	2	0
Pentatomoidae	39	45	2
Pyrogotidae	4	5	2
Raphid_sp	1	0	0
Reduviidae	9	6	1
Saturniidae	2	1	0
Scarabeidae	74	32	1
Scutelleridae	0	5	0
Sphingidae	7	2	0
Syrphidae	10	0	4
Tabanidae	10	8	5
Tachinidae	0	3	0
Tenebrionidae	20	20	0
Tettigomidae	4	13	2
Vespidae	2	0	1

vii. Diversité des familles et des ordres par type de pièges

	PJ	PL	PP
Blattodea	0%	2,0%	2%
Coléoptères	6%	30,7%	1%
Anobiidae	0%	0,2%	0%
Anthribidae	0%	0,2%	0%
Bostrichidae	0%	0,9%	0%
Brentidae	0%	0,9%	0%
Cantharidae	0%	1,6%	0%
Carabidae	0%	1,8%	0%
Cerambycidae	0%	4,6%	0%
Chrysomelidae	44%	14,9%	100%
Coleo_NI	22%	5,3%	0%
Curculionidae	0%	5,3%	0%
Elateridae	22%	16,5%	0%
Endomychidae	0%	6,2%	0%
Geotrupidae	0%	0,2%	0%
Lagriidae	0%	0,7%	0%
Lucanidae	0%	1,4%	0%
Lucidae	0%	4,6%	0%
Lymexylidae	0%	0,2%	0%
Passalidae	0%	1,1%	0%
Scarabeidae	11%	24,1%	0%
Tenebrionidae	0%	9,2%	0%
Dermaptères	0%	0,5%	0%
Diptères	6%	0,6%	31%
Calliphoridae	10%	11,1%	6%
Dipt_NI	70%	22,2%	12%
Pyrogotidae	0%	44,4%	13%
Syrphidae	10%	0,0%	25%
Tabanidae	0%	0,0%	44%
Tachinidae	10%	22,2%	0%
Hémiptères	6%	11,5%	4%
Alydidae	10%	5,5%	14%
Cercopidae	0%	4,9%	14%
Cicadellidae	40%	0,0%	14%
Cicadidae	0%	1,2%	0%
Dictyopharidae	0%	1,2%	14%
Eurybrachidae	0%	1,8%	0%
Flatidae	10%	11,0%	0%
Hémi_NI	0%	4,9%	0%
Membracidae	0%	0,0%	14%
Miridae	10%	5,5%	14%
Pentatomoidae	10%	52,1%	0%
Reduviidae	0%	9,8%	0%
Scarabeidae	0%	0,6%	0%
Scutelleridae	20%	1,2%	14%
Hyménoptères	21%	5,1%	36%
Alydidae	0%	1,4%	0%
Apidae	88%	2,8%	88%
Elateridae	0%	1,4%	0%
Formicidae	0%	63,9%	3%
Gryllidae	0%	1,4%	0%
Hymen_NI	6%	0,0%	5%
Ichneumonidae	3%	29,2%	0%
Vespididae	3%	0,0%	3%
Lépidoptères	57%	42,9%	24%
Lepid_NI	28%	17,7%	10%
Microlep_sp	3%	23,6%	30%
Noctuidae	13%	18,6%	23%
Nymphalidae	50%	0,3%	33%
Sphingidae	0%	1,5%	0%
Crambidae	0%	2,5%	0%
Erebidae	0%	17,9%	0%
Geometridae	6%	10,7%	3%
Brahmaeidae	0%	0,5%	0%
Saturniidae	0%	0,5%	0%
Notodontidae	0%	6,2%	3%
Mantodea	0%	1,7%	0%
Névroptères	0%	2,5%	1%
NI	3%	0,6%	0%
Orthoptères	1%	1,8%	1%
Raphidioptères	0%	0,1%	0%

viii. *Sélection des pollinisateurs en fonction des critères morphologiques, alimentaires et bibliographiques*

Ordre	Famille	Effectif	Pièces bucales (imagos)	Présence de poils	Source bibliographique
Blattodea	Blattidae	32	Multiple	Oui	Nagamitsu & Inoue (1997)
Coléoptères	Anobiidae	1	Xylophages	Oui	
Coléoptères	Anthribidae	1	Mycophages, phytophages	Oui	
Coléoptères	Bostrichidae	4	Xylophages	Oui	
Coléoptères	Brentidae	4	Xylophages	Oui	
Coléoptères	Cantharidae	7	Pollen et nectar,	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Carabidae	8	Polyphages, Prédateurs, Saprophytes	Non	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Cerambycidae	20	Polyphage, Polliniphage, Réserves	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Chrysomelidae	70	Phytophages	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Coleo_NI	25	/	/	
Coléoptères	Curculionidae	23	Phytophages,	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Elateridae	75	Phytophages	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Endomychidae	27	Mycophages	Oui	Steenhuisen et al. (2012)
Coléoptères	Geotrupidae	1	Coprophages	Oui	
Coléoptères	Lagriidae	3	Parfois phytophages, Saprophytes	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Lucanidae	6	Suceurs de sève	Oui	
Coléoptères	Lycaidae	20	Butineurs	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Lymexylidae	1	Xylophages	Non	
Coléoptères	Passalidae	5	Coprophages	Oui	
Coléoptères	Scarabaeidae	107	Phytophages, Coprophages,	Oui	Bernhardt (2000)
Coléoptères	Tenebrionidae	40	Fouisseurs	Non	
Dermaptères	Derma_NI	7	Floricoles, omnivores	Oui	Lopezariza et al. (2007)
Diptères	Calliphoridae	5	Charognards, suintements	Oui	
Diptères	Dipt_NI	15	/	/	Orford et al. (2015)
Diptères	Pyrgotidae	11	?	?	Orford et al. (2015)
Diptères	Syrphidae	14	Phytophages	Oui	Orford et al. (2015)
Diptères	Tabanidae	23	F: sang, M: suintements	Oui	
Diptères	Tachinidae	3	Fleurs,	Oui	Orford et al. (2015)
Hémiptères	Alydidae	12	Graines, jus	Oui	
Hémiptères	Cercopidae	9	Phytophages	Oui	
Hémiptères	Cicadellidae	5	Sève	Non	
Hémiptères	Cicadidae	2	Phytophages	Oui	
Hémiptères	Dictyopharidae	3	Sève	Non	
Hémiptères	Eurybrachidae	3	Sève	Oui	
Hémiptères	Flatidae	19	Sève	Non	
Hémiptères	Hémi_NI	8	Sucs de plantes/animaux	Oui	
Hémiptères	Membracidae	1	Phytophages	Oui	
Hémiptères	Miridae	11	Phytophages,	Oui	Ishida et al (2008)
Hémiptères	Pentatomoidae	86	Phytophages,	Oui	Navatha et al (2012)
Hémiptères	Reduviidae	16	Prédateurs	Oui	
Hémiptères	Scutelleridae	5	Phytophages	Oui	Abrol (2006)
Hyménoptères	Apidae	84	Pollen, nectar	Oui	Abrol (2006)
Hyménoptères	Formicidae	48	Prédateurs, liquides, phytophages	Oui	Peakal et al (1989)
Hyménoptères	Hymen_NI	5	Prédateurs,	Oui	Abrol (2006)
Hyménoptères	Ichneumonidae	22	Suintements	Oui	
Hyménoptères	Vespidae	3	Prédateurs, nectarivores	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Brahmaeidae	3	Nectarivores, liquides, pollen	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Crambidae	15	Nectarivores, liquides, pollen	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Erebidae	109	Nectarivores, liquides, pollen	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Geometridae	71	Nectarivores, liquides, pollen	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Lepid_NI	137	Nectarivores, liquides, pollen	Oui	
Lépidoptères	Microlépidoptères	159	?	Oui	
Lépidoptères	Noctuidae	134	Herbivores, nectarivores, liquides	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Notodontidae	39	/	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Nymphalidae	60	Nectar, fruits pourris	Oui	MACGregor et al (2015)
Lépidoptères	Saturniidae	3	/	Oui	
Lépidoptères	Sphingidae	9	Nectar	Oui	MACGregor et al (2015)
Mantodea	Mantidae	24	Prédateurs	Non	
Névroptères	Chrysopidae	3	Acariphages/aphidiphages	Oui	Wardaugh et al. (2015)
Névroptères	Mantispidae	1	Prédateurs	Non	
Névroptères	Nevrop_NI	32	Prédateurs, pollen	Oui	Wardaugh et al. (2015)
NI	NI	14	/	/	
Orthoptères	Gryllidae	12	Phytophages, prédateurs, charognards	Oui	Wardaugh et al. (2015)
Orthoptères	Tettigonidae	19	Phytophages (feuilles, fleurs, écorces),	Oui	Wardaugh et al. (2015)
Raphidioptères	Raphid_sp	1	Acariphages/aphidiphages	Oui	
	Total général	1745			
	Total non pollinisateurs	384			
	Total pollinisateurs probable	1361			

ix. Répartition des familles de visiteur floraux en fonction des essences

	Doussié	Moabi	Tali	Total général
Apidae	69	9	6	84
Blatidae	13	17	2	32
Brahmaeidae	1	2		3
Cantharidae	4	1	2	7
Carabidae	3	5		8
Cerambycidae	5	13	2	20
Chrysomelidae	37	29	4	70
Chrysopidae		3		3
Coleo_NI	17	4	4	25
Crambidae	7	3	5	15
Curculionidae	7	16		23
Derma_NI	3	3	1	7
Dipt_NI	7	3	5	15
Elateridae	43	27	5	75
Endomychidae	14	13		27
Erebidae	18	28	63	109
Formicidae	5	36	7	48
Geometridae	27	31	13	71
Gryllidae	7	5		12
Hymen_NI		4	1	5
Lagriidae	2	1		3
Lepid_NI	55	59	23	137
Lucanidae	4	2		6
Lucidae	17	3		20
Miridae	3	7	1	11
Nevrop_NI	10	22		32
Noctuidae	69	50	15	134
Notodontidae	13	24	2	39
Nymphalidae	8	48	4	60
Pentatomoidae	39	45	2	86
Pyrogotidae	4	5	2	11
Saturniidae	2	1		3
Scarabeidae	74	32	1	107
Scutelleridae		5		5
Sphingidae	7	2		9
Syrphidae	10		4	14
Tachinidae		3		3
Tettigonidae	4	13	2	19
Vespidae	2		1	3
Total général	610	574	177	1361
Nombre de familles	35	37	25	39