

Caractérisation des abeilles sauvages et des syrphes du mont Kahuzi dans le Parc National de Kahuzi Bièga et évaluation des services écosystémiques et du niveau des connaissances paysannes et urbaines associées aux abeilles en province du Sud-Kivu à l'Est de la R.D. Congo

Auteur : Aganze Mweze, Marcelin

Promoteur(s) : Vereecken, Nicolas; Dufrêne, Marc

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en agroécologie, à finalité spécialisée

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/19448>

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.

Caractérisation des abeilles sauvages et des syrphes du mont Kahuzi dans le Parc National de Kahuzi Bièga et évaluation des services écosystémiques et du niveau des connaissances paysannes et urbaines associées aux abeilles en province du Sud-Kivu à l'Est de la R.D. Congo.

AGANZE MWEZE Marcelin

Travail de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Agroécologie

(Co)-Promoteur(s): Nicolas Vereecken, Marc Dufrêne

Laboratoire d'agroécologie /Agroecology Lab- The ecology of food and wood

Lecteurs et membres du jury: Nicolas Vereecken, Dorothée Denayer, Marc Dufrêne, Jérôme Bindelle.

Année académique 2023-2024

« Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et des autorités académiques de Gembloux Agro-Bio Tech et de l'Université libre de Bruxelles »

Caractérisation des abeilles sauvages et des syrphes du mont Kahuzi dans le Parc National de Kahuzi Bièga et évaluation des services écosystémiques et du niveau des connaissances paysannes et urbaines associées aux abeilles en province du Sud-Kivu à l'Est de la R.D. Congo.

AGANZE MWEZE Marcelin

**Travail de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme
de Master en Agroécologie**

(Co)-Promoteur(s): Nicolas Vereecken, Marc Dufrêne

Laboratoire d'agroécologie /Agroecology Lab- The ecology of food and wood

Lecteurs et membres du jury: Nicolas Vereecken, Dorothée Denayer, Marc Dufrêne, Jérôme Bindelle.

Année académique 2023-2024

Remerciements

A Dieu, je rends hommage et exprime ma gratitude pour le souffle de vie et la bienveillance dont j'ai bénéficié tout au long de mon parcours académique.

Un travail scientifique transdisciplinaire est avant tout une école de formation à la coopération interpersonnelle. Cette dernière passe par une transmission des savoirs afin de développer certaines aptitudes et de la rigueur. C'est dans cet esprit de reconnaissance que je tiens à remercier sincèrement les Professeurs Nicolas Vereecken et Marc Dufrêne qui ont été mes promoteurs. Leurs conseils et engagement dans la recherche m'ont permis de produire ce travail en dépassant mes limites.

Un travail de terrain nécessite des moyens et du temps.

Exceptionnellement, je tiens fermement à dire mille mercis à l'agence Belge de développement (ENABEL) qui m'a ouvert cette opportunité d'étude en m'octroyant une bourse d'étude de Master. En plus, je remercie grandement la Professeure Marjolein Visser qui m'a introduit pour la première fois près du Professeur Vereecken qui m'a accueilli dans son équipe de recherche, me fournissant matériel de terrain et soutien financier pour les recherches dans le PNKB.

Je tiens à remercier fortement mes parents Mweze Kabamba et Ndamuso Burume ainsi qu'à mon oncle Barhame Burume qui chaque jour se sont souciés de ma situation et de mon évolution, à des milliers des kilomètres de distance.

J'ai bénéficié de l'assistance scientifique du Professeur Balezi Zihahirwa et Dr. Kurt Jordaens (MRAC Tervuren, Belgique) chacun selon son domaine dans l'identification des espèces végétales à fleur et des syrphes du mont Kahuzi. Je les en remercie.

Mes remerciements s'adressent aussi au Professeur Ayagirwe Basengere, Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques à Bukavu (RDC), qui a accepté de me confier deux étudiants, Isaac et Jason, avec qui j'ai travaillé et à qui je dois mes remerciements pour l'accompagnement dans la collecte des données.

A mes frères et sœurs Chinamula, Gloire, Ushindi, Alliance, Mugoli, Marcelin, Annuarite et Nsimire qui à chaque fois m'encourageaient et me rassuraient de leurs prières en ma faveur.

Un travail scientifique dépasse souvent les efforts individuels car il nécessite une collaboration entre plusieurs personnes à compétences diverses. Dans cette optique, je réitère ma grande considération et transmet mes remerciements à Pierre Noiset, Fabre Dehon, Alain Cibungu, Marcelin Cokola, Cuma Géant, Fidèle Mulumeoderwa et à Oumayma Ihsane pour m'avoir assisté pendant les identifications, les analyses et la relecture de mon travail. Je me rappelle de vos encouragements " le logiciel R pour un débutant paraît toujours compliqué mais on finit par s'y adapter. Courage Marcelin".

Mes remerciements s'adresse également à mes camarades d'auditoire avec qui j'ai entretenu des bonnes relations, j'ai partagé des moments des fêtes et j'ai découvert comment manipuler certains petits outils. Une pensée pieuse va directement chez Clément, Fabienne, Frédéric, Maelle, Lucile, Bastien, Juliane, Solenn, Sylvie, Gaelle, Vanessa.

Une partie de cette recherche s'est déroulée dans le PNKB où j'ai été accueilli et encadré avec bienveillance. Ainsi, je réitère mes remerciements au Directeur chef de site Déo K., son adjoint Balemba, le chargé de monitoring et recherche Jérôme et toutes les équipes des écogardes avec qui nous avons parcouru le mont Kahuzi. A leur côté mes remerciements s'adressent aussi au Prof. Chantal, et Monsieur Mugaruka qui m'ont facilité dans les contacts.

Pour tous.tes qui m'ont assisté de près et/ou de loin que je ne saurai pas citer sur cette petite page, recevez chaleureusement mes remerciements.

Recevez mille mercis !! !! !!

Résumé

Les abeilles et les syrphes contribuent à fournir d'importants services écosystémiques de régulation pour le maintien des écosystèmes afro-montagnards. Néanmoins, ils sont menacés d'extinction en raison du changement climatique et de l'activité humaine. C'est dans cette optique que cette étude a caractérisé la répartition des abeilles et des syrphes sur le mont Kahuzi dans la Province du Kivu en RD Congo en les collectant au filet et avec des pièges de type pan traps et blue vane traps. Parallèlement, nous avons également entrepris d'évaluer les connaissances des populations autochtones et urbaines relatives aux abeilles, ainsi qu'au sujet des services écosystémiques qu'elles fournissent. Des enquêtes par questionnaire combinées aux enquêtes compréhensives ont été réalisées pour caractériser le degré de connaissance des populations sur les abeilles sauvages et ainsi mieux appréhender les multiples usages des produits issus de ces dernières. Nos résultats montrent que 13 genres d'abeilles et 18 espèces de syrphes se retrouvent répartis sur le mont Kahuzi. La richesse générique et spécifique que l'abondance relative des abeilles et des syrphes présentent une dissimilarité et un turnover modéré entre les différentes strates d'altitudes. Cependant, six genres d'abeilles, dont *Amegilla*, *Apis*, *Lasioglossum*, *Patellapis*, *Xylocopa* et *Zonalictus*, ainsi que cinq espèces de syrphes, dont *Anasimyia sp1*, *Betasyrphus sp2*, *Allograpta sp3*, *Phytomia melas* et *Asarkina sp1*, se retrouvent répartis sur les quatre niveaux d'altitude du mont Kahuzi. Pour les abeilles une forte concentration en genre se situe entre l'altitude 1 (2158 - 2400 m) et 3 (2700 – 3000 m) et diminue à l'altitude 4 (3000 m et plus), tandis que pour les syrphes, la forte concentration de l'abondance et de la richesse spécifique se situe entre l'altitude 3 (2700 – 3000 m) et 4 (3000 m et plus), et diminue entre les altitudes 1 (2158 et 2400 m) et 2 (2400 – 2700 m).

En ce qui concerne l'évaluation des connaissances des abeilles, nos résultats indiquent que les abeilles sauvages sont en générale très méconnues, et les populations villageoises et urbaines autochtones n'ont pas l'habitude de les distinguer des autres insectes. En revanche, plus de 90% de la population a une bonne connaissance de l'abeille domestique (*Apis mellifera*) et sait la différencier des autres insectes. En évaluant les services écosystémiques, nous avons constaté que moins de 50% de la population urbaine estime que les abeilles contribuent aux rendements des cultures, à la reproduction des plantes et à l'amélioration des paysages. Cependant, 100% de la population autochtone estime bénéficier des services de provision, notamment l'alimentation et les médicaments alors que 69,14% bénéficient des services culturels et 6,17% des services de régulation, dont la pollinisation. C'est dans cette perspective que nous encourageons des études approfondies et d'initiatives visant à proposer une meilleure

vulgarisation des connaissances sur ces abeilles sauvages et leurs services écosystémiques rendus afin d'améliorer leur conservation au travers d'un éveil populaire.

Mots clés : Altitude, diversité, services écosystémiques, PNKB, abeilles sauvages, syrphes, mont Kahuzi

Abstract

Bees and hoverflies contribute to providing significant ecosystem regulation services for the maintenance of Afro-montane ecosystems. However, they are threatened with extinction due to climate change and human activity. In this context, this study characterized the distribution of bees and hoverflies on Mount Kahuzi in the Kivu Province of the Democratic Republic of Congo by collecting them with nets and using pan traps and blue vane traps. Simultaneously, we also assessed the knowledge of indigenous and urban populations regarding bees and the ecosystem services they provide. Questionnaire surveys combined with comprehensive interviews were conducted to characterize the level of population knowledge about wild bees and to better understand the various uses of products derived from them. Our results show that 13 genera of bees and 18 species of hoverflies are distributed on Mount Kahuzi. The generic and specific richness and the relative abundance of bees and hoverflies exhibit dissimilarity and moderate turnover among different altitude strata. However, six genera of bees, including *Amegilla*, *Apis*, *Lasioglossum*, *Patellapis*, *Xylocopa*, and *Zonalictus*, as well as five species of hoverflies, including *Anasimyia sp1*, *Betasyrphus sp1*, *Allograpta sp3*, *Phytomia melas*, and *Asarkina sp1*, are found across all four altitude levels of Mount Kahuzi. For bees, a high concentration in genera occurs between altitudes 1 (2158-2400 m) and 3 (2700-3000m) and decreases at altitude 4 (>3000m), while for hoverflies, the high concentration is between altitudes 3 (2700-3000m) and 4 (>3000m) and decreases at altitudes 1 (2158-2400 m) and 2 (2400-2700m). Regarding the assessment of bee knowledge, our results indicate that wild bees are generally poorly understood, and indigenous village and urban populations are not accustomed to distinguishing them from other insects. However, over 90% of the population has good knowledge of the domesticated honeybee (*Apis mellifera*) and can differentiate it from other insects. In evaluating ecosystem services, we found that less than 50% of the urban population believes that bees contribute to crop yields, plant reproduction, and landscape improvement. However, 100% of the indigenous population believes they benefit from provisioning services, including food and medicines, while 69.14% benefit from cultural services and 6.17% from regulation services, including pollination. In this perspective, we encourage in-depth studies and initiatives aimed at better disseminating knowledge about these

wild bees and the ecosystem services they provide to enhance their conservation through public awareness.

Keywords: Altitude, diversity, ecosystem services, PNKB, wild bees, hoverflies, Mount Kahuzi.

Table des matières

Remerciements

Résumé

1. Introduction.....	1
1.1. Biodiversité des abeilles sauvages dans le monde.....	1
1.2. Abeilles sauvages et (agro-) écosystèmes montagnards	4
1.3. Abeilles sauvages afro-montagnardes	6
1.5. Hotspot des Montagnes d’Afrique Orientale : cas d’étude au Parc National de Kahuzi Biega (PNKB).....	12
1.6. Services écosystémiques des abeilles et perception populaire	15
1.7. Problématique de l’étude	16
2. Objectifs et hypothèses de l’étude.....	17
3. Milieux, matériels et méthodes.....	19
3.1. Sites d’échantillonnage.....	19
3.2. Méthodologie.....	21
3.2.1. Caractériser et Identifier la structure des communautés des abeilles sauvages sur le gradient altitudinal du mont Kahuzi	21
1. Protocole de collecte	21
2. Conservation des échantillons	23
3. Préparation des échantillons, épingleage et étiquetage	24
4. Identification	25
5. Analyses de la structure des communautés	25
6. Analyses et tests statistiques.....	27
3.2.2. Déterminer la flore caractéristique qui influence la présence des différentes espèces d’abeilles ou des syrphes à différentes strates.	28
3.2.3. Evaluer le degré de connaissance et déterminer les services écosystémiques fournis par les abeilles sauvages au sein des populations locales et riveraines du PNKB.....	30
1. Caractéristiques des enquêtes.....	30
2. Conduite des enquêtes.....	31
3. Analyses statistiques.....	35
4. Résultats	36
4.1. Analyse de la biodiversité.....	36
1. Estimation de la fiabilité de l’échantillonnage.....	36
2. Richesse spécifique observée et extrapolée par altitude	36
3. Rang d’abondance entre altitudes	37
4. Carte de chaleur en fonction des altitudes	39
5. Diversité alpha et indices associés	40

6. Diversité bêta et indices associés	41
7. Recouvrement de la richesse générique des abeilles et des Syrphes	42
8. Classification hiérarchique des altitudes et Analyse de la dissimilarité.....	42
4.2. Espèces végétales visitées par les abeilles sauvages	46
4.3. Analyse des connaissances et des services écosystémiques des abeilles.....	48
1. Aptitudes de différenciation entre abeilles et non abeilles.....	48
2. Traits de reconnaissance des abeilles par les peuples autochtones pygmées (PA)	48
3. Relations entre les facteurs personnels et la connaissance des abeilles	49
4. Influence du niveau d'étude sur l'importance des abeilles sauvages.....	51
5. Estimation du nombre d'espèces d'abeilles existantes et influence du niveau d'étude	52
7. Degré de connaissance des services écosystémiques fournis par les abeilles en agriculture	53
8. Genre des abeilles sauvages ciblées et exploitées par les PA du PNKB	54
09. Produits récoltés et utilisés issus des abeilles	55
10. Quantification et évaluation des miels et cortex alimentaires récoltés	55
11. Catégories des services écosystémiques	57
12. Usages non alimentaire des produits issus des abeilles sauvages	58
5. Discussion des résultats.....	59
5.1. Compréhension de l'effet de l'altitude sur la répartition des abeilles	59
5.2. Évaluation du niveau de connaissances sur les abeilles	62
5.3. Évaluation des services écosystémiques liés aux abeilles sauvages.....	65
6. Conclusion générale	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	73
Annexes	Erreur ! Signet non défini.

Liste des tableaux

Tableau 1. Structure des enquêtes	30
Tableau 2. Richesse générique et spécifique extrapolée des abeilles et Syrphes selon l'indice de Chao1	37
Tableau 3. Rang d'abondance des abeilles et des syrphes sur le mont Kahuzi.....	38
Tableau 4. Indices de diversité alpha et valeurs associées des abeilles et des syrphes.....	41
Tableau 5. Indice de diversité bêta et valeurs associées des abeilles.....	41
Tableau 6. Espèces végétales butinées par les abeilles sauvages sur le mont Kahuzi.....	46
Tableau 7. Traits morphologiques et sonores d'identification des abeilles sauvages	48
Tableau 8. Lien entre le genre et le niveau de connaissance des abeilles.....	50
Tableau 9. Influence du genre sur l'importance des abeilles.....	50
Tableau 10. Influence du niveau d'étude sur l'importance des abeilles sauvages	51
Tableau 11. Nombre d'espèces supposé exister dans la région	52

Tableau 12. Services écosystémiques améliorés par les abeilles en agriculture -----	53
Tableau 13. Espèces exploitées par les PA-----	54
Tableau 14. Produits issus des abeilles -----	55
Tableau 15. Quantification et évaluation économique des miels et cortex alimentaire -----	56
Tableau 16. Corrélations entre la quantité produite, la fréquence de récolte et le revenu-----	56
Tableau 17. Usages non alimentaires des produits issus des abeilles -----	58

Liste des figures

Figure 1. Distribution bimodale de la diversité des abeilles à l'échelle mondiale (Orr et al., 2021). ...	1
Figure 2. Classification phylogénétique des hyménoptères (Branstetter et al., 2017)	3
Figure 3. Action de la température et de l'altitude sur la densité locale (nombre d'individus) des abeilles (Photo © NJ Vereecken).....	5
Figure 4. Répartition des systèmes des montagnes Africains.....	7
Figure 5. Traits morphologiques des syrphes : A. Ailes ; B. Disposition des yeux ; C-D. Tête de syrphe montrant la saillie, fossette, antenne à trois articles et aristas.	10
Figure 6. Processus de croissance (a) et mimétisme batésien (dissuasif) de plusieurs espèces de syrphes (Ball and Morris, 2013).	11
Figure 7. Archipel montagnard d'Afrique orientale (afromontane orientale) et localisation du mont Kahuzi dans le Parc National de Kahuzi Biega (PNKB) en RD Congo.	13
Figure 8. Classification des services écosystémiques (MEA, 2005)	15
Figure 9. Allure générale théorique de la distribution de la RG/RS, abondance et endémisme	18
Figure 10. Sites de collecte des données sur le mont Kahuzi avec localités environnantes (a) et courbe de niveau (b).....	20
Figure 11. Pièges actifs de collectes des données	22
Figure 12. Les pièges passifs de collecte des données : (a) pan traps, (b) blue vane traps	23
Figure 13. Exemple d'étiquetage des spécimens pour une bonne conservation.....	24
Figure 14. Plage d'images des abeilles et autres insectes présentée aux enquêtés (© NJ Vereecken, Agroecology Lab, ULB).....	32
Figure 15. Courbes d'accumulations des abeilles (a) et des syrphes (b)	36
Figure 16. Courbe de la richesse générique et spécifique extrapolée des abeilles (1) et syrphes (2)	37
Figure 17. Distribution des abeilles sur les altitudes du mont Kahuzi (a), (b), (c), (d).....	39
Figure 18. Cartes de chaleur de la distribution des abeilles et des syrphes.....	40
Figure 19. Diagramme de Venn de la richesse générique des abeilles (1) et des syrphes (2).....	42
Figure 20. Classification hiérarchique (a-b), matrice de dissimilarité (c-d), ordination NMDS des altitudes en fonction de la RG/RS et l'abondance (a-c-e : Abeilles ; b-d-f :Syrphes).....	44
Figure 21. Analyse en composante principale des abeilles (a) et des syrphes (b) par rapport aux altitudes	45
Figure 22. Taux de distinction entre les abeilles et les non-abeilles par les PA (a) et les urbains (b)..	48
Figure 23. Influence du niveau d'étude sur l'estimation du nombre d'abeilles.	53
Figure 24. Services écosystémiques évoqués (1) et proposés (2) aux PA riveraines du PNKB	58
Figure 25. Structure de la distribution de l'abondance (a), de la RG et RS (b)	61
Figure 26. Genres des abeilles sauvages utilisés par les PA	70
Figure 27. Classification hiérarchique des communautés d'oiseaux afromontagnards. Les localités voisines dans le dendrogramme présentent le plus d'affinité de composition faunistique.	71

Liste des abréviations

ACP : Analyse en composante principale

CODBL: Overfitting climate and edaphic conditions in botanical intelligence limitation

DwC : Darwin Core

ENABEL: Agence Belge de développement

FAIR: Findability Accessibility Interoperability Reusability

FAO: Food and Agriculture Organization

GPS: Global Positioning System

ICCN: Institut Congolais pour la Conservation de la Nature

MEA: Millenium ecosystem assessment

MRAC: Musée Royal d’Afrique Centrale

NMDS: Non-Metric Multidimensional Scaling

OCBIL: Outcrops of Biodiversity Importance of Lithosols

PA : Population autochtone

PFNL: Produit Forestier Non Ligneux

PNKB : Parc national de Kahuzi-biega

RDC : République Démocratique du Congo

RG/GR : Richesse générique

RS/SR : Richesse spécifique

SE : Service écosystémique

ULB: Université Libre de Bruxelles

UNESCO: United Nations Education, Scientific and Cultural Organization

US: United state

1. Introduction

1.1. Biodiversité des abeilles sauvages dans le monde

Les abeilles sauvages fournissent d'énormes bénéfices et services écosystémiques, aussi bien pour les communautés humaines que pour l'ensemble du vivant. Elles contribuent à l'entretien de la vie, de l'environnement et des relations dans le système socio-écologique (Potts et al., 2016; Vereecken, 2017).

La survie, la multiplication et la productivité de la plupart des plantes à fleurs sauvages et cultivées dépendent de l'action des pollinisateurs, dont les abeilles sont les plus dominantes (Geslin et al., 2017; Klein et al., 2006; Ollerton et al., 2011; Potts et al., 2010; Vereecken et al., 2010; Vereecken, 2017). Au-delà de l'abeille domestique (*Apis mellifera*), espèce ubiquiste et indigène en Asie, en Europe et en Afrique, on dénombre aujourd'hui plus de 20.000 espèces d'abeilles à l'échelle mondiale (Ascher & Pickering, 2020). La distribution de ces dernières diffère en fonction des régions, des agroécosystèmes et des écosystèmes et leur diversité est inégalement répartie en fonction des régions à l'échelle globale (Michener, 1979; Orr et al., 2021). En effet, contrairement aux patrons de diversité observés chez les plantes, on observe une faible richesse spécifique des abeilles dans les régions tropicales, tandis qu'il est généralement admis et observé que les zones arides, xériques, subtropicales ou méditerranéennes correspondent au maximum de la richesse spécifique des abeilles, suivant une distribution latitudinale bimodale (Orr et al., 2021) (Figure 1).

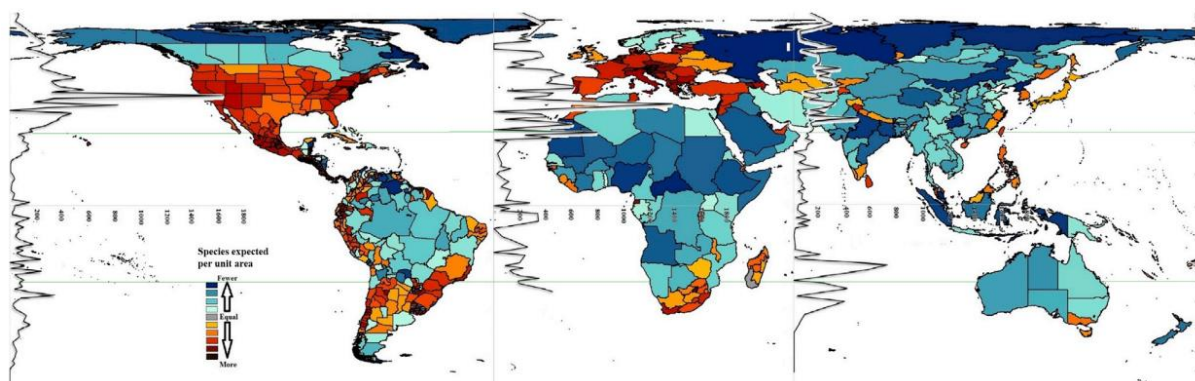


Figure 1. Distribution bimodale de la diversité des abeilles à l'échelle mondiale (Orr et al., 2021).

On estime qu'il existe environ 250.000 espèces d'angiospermes, dont plus de 80 % sont dépendantes des pollinisateurs (Ollerton et al., 2011). Parmi ceux-ci, les abeilles occupent une place de choix et constituent des vecteurs de pollen particulièrement efficaces aux côtés des insectes diptères (environ 140.000 espèces décrites), des coléoptères (environ 300.000 espèces)

et des lépidoptères (plus de 160 000 espèces), qui participent généralement de manière plus marginale à la pollinisation malgré leur abondance locale (Ministère de la Transition écologique, 2022; Orr et al., 2021).

Les abeilles sauvages constituent un groupe de la classe des insectes faisant partie de l'ordre des hyménoptères, au sein de la superfamille Apoidea, qui est subdivisée en deux groupes : d'une part, les Anthophiles qui comprennent les abeilles, et d'autre part, les Sphéciformes, constitués des guêpes solitaires prédatrices d'autres insectes (Michener, 1979, 2000, 2007). Sept familles d'abeilles sauvages sont recensées à l'échelle mondiale et sont présentes partout, à l'exception des Stenotritidae, qui sont endémiques de l'Australie (Michener, 1979, 2000, 2007). Au sein de ces familles, nous trouvons également de multiples sous-familles qui comprennent plusieurs genres et espèces (Eardley et al., 2010).

Parmi les différentes espèces d'abeilles sauvages, la plupart sont solitaires et **univoltines**, c'est-à-dire qu'elles produisent une seule génération durant leur cycle annuel sans développer de colonies sociales. D'autres abeilles sont dites **plurivoltines**, c'est-à-dire qu'elles produisent plusieurs générations annuellement (Ropars, 2020). Au-delà des espèces **solitaires**, certaines sont **grégaire**s et s'assemblent en petits groupes avec des nids parfois proches. D'autres enfin sont **sociales**, ayant développé des interactions comportementales entre adultes, jusqu'au cas où chaque nid est associé à une colonie dominée par une femelle pondeuse dominante, la reine (Michener, 1974; Ropars, 2020). Les abeilles sauvages peuvent aussi être classées en fonction de l'endroit où elles installent leur **nid**, par exemple dans des cavités préexistantes (cavicoles), dans des galeries excavées dans le sol (terricoles) et même, pour certaines, exclusivement dans les coquilles vides d'escargots (hélicicoles) (Michener, 2007 ; Vereecken, 2017). Les abeilles ont également recours à différents types de matériaux de construction (feuilles, pétales de fleurs, cailloux, sécrétions, la terre, etc.) pour installer leurs nids. Ceci implique que la présence de ces pollinisateurs à l'échelle locale est en réalité entièrement dépendante de toute une série d'éléments biotiques et abiotiques dans leur environnement (Michener, 2007). Si l'écrasante majorité des abeilles récolte du pollen sur les fleurs, il existe aussi des abeilles **parasites**, dites "abeilles-coucous", qui ne récoltent jamais de pollen mais pondent dans les cellules aménagées par d'autres espèces d'abeilles récolteuses. Par la suite, les larves de l'abeille-coucou consomment toutes les ressources disponibles (Vereecken et al., 2006).

Un dernier aspect tout à fait déterminant de la diversité de ces abeilles sauvages concerne le régime alimentaire lié à chaque espèce. Ainsi, on caractérise ces espèces en fonction de la consommation de pollen et des liens avec les plantes-hôtes, qui peuvent prendre différentes

formes en fonction des écosystèmes considérés. C'est ainsi que nous avons les abeilles **monolectiques**, le plus souvent définies comme celles qui récoltent du pollen sur une seule espèce végétale (Rasmussen et al., 2020) ou sur un ensemble d'espèces appartenant au même genre de plantes à fleurs (CANE, 2021). À l'autre extrême du spectre de spécialisation alimentaire, les abeilles **polylectiques** sont attirées par une large diversité d'espèces végétales sur lesquelles elles récoltent soit du pollen, soit du nectar (Rasmussen et al., 2020). Enfin, il existe un grand nombre d'espèces dites **oligolectiques**, qui récoltent du pollen sur des plantes à fleurs d'une seule famille botanique (Rasmussen et al., 2020). Ces abeilles sont regroupées dans l'ordre des hyménoptères, dont l'arbre phylogénétique est repris ci-dessous.

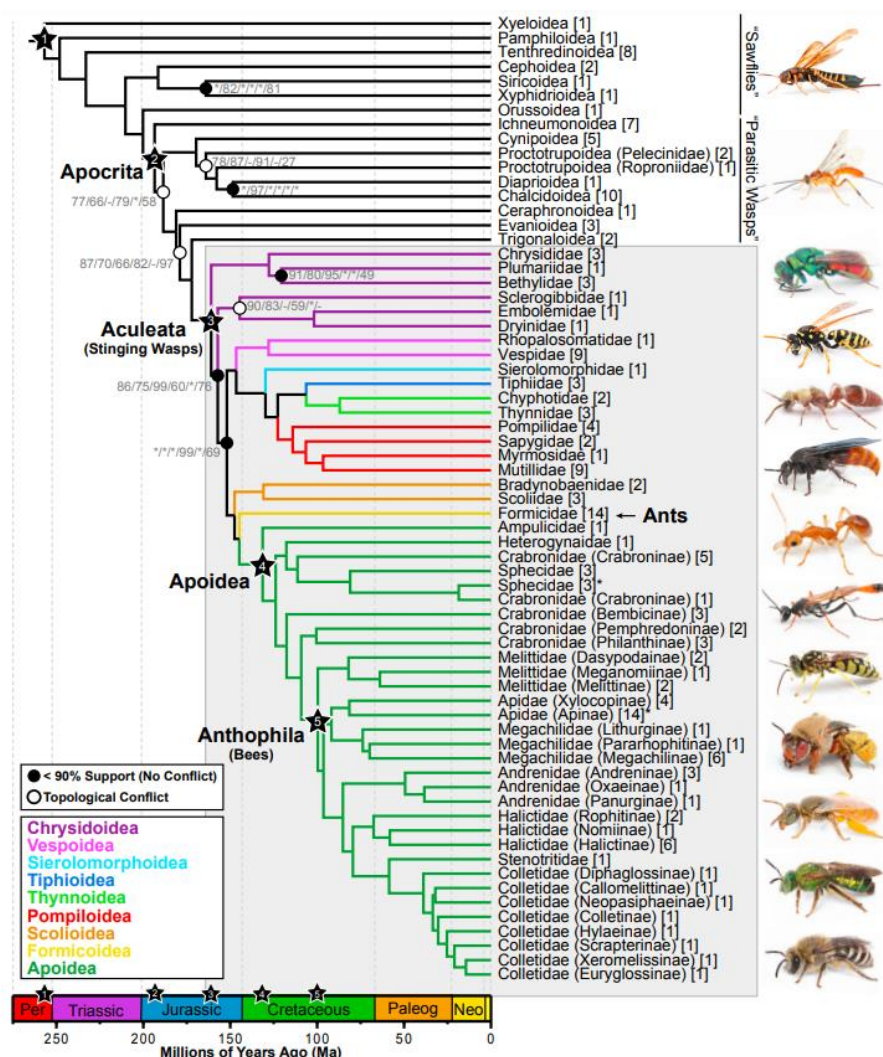


Figure 2. Classification phylogénétique des hyménoptères (Branstetter et al., 2017)

Cette figure présente la déduction de la topologie en analysant la matrice des quelques hyménoptères. Une estimation d'apparition des abeilles se situe à des centaines des millions d'années, les points noirs indiquant les nœuds ayant reçu un soutien <90% dans les analyses et les points blancs indiquent les nœuds en conflit topologique dans les analyses. Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre d'échantillon.

L'attractivité des abeilles et autres pollinisateurs pour une plante dépend également des caractéristiques intrinsèques liées à la plante. Il s'agit des traits floraux correspondant au nombre, à la disposition et à la morphologie des fleurs ou des inflorescences. La taille, la forme, la symétrie, l'odeur, la couleur des fleurs, la présence ou non de nectar. La quantité et la qualité du pollen et du nectar accentuent ou diminuent cette interaction entre les pollinisateurs et les plantes, favorisant ainsi l'émergence de spécialisations alimentaires passagères (chez des espèces **polylectiques**) ou permanentes (**oligolectisme** et **monolectisme**) (Zaninotto, 2022). La spécialisation alimentaire chez les abeilles consiste à la fois en une adaptation physique, physiologique et comportementale à un groupe restreint de végétaux. Cette dépendance crée un lien obligatoire entre l'abeille et les fleurs d'une seule famille d'espèces végétales. Cependant, la spécialisation abeilles-fleurs est le plus souvent décrite comme asymétrique car les abeilles sont régulièrement plus spécialisées que les plantes qu'elles visitent (Zaninotto, 2022).

1.2. Abeilles sauvages et (agro-) écosystèmes montagnards

Certains facteurs spécifiques ont une influence marquée sur la structure des abeilles. Par exemple, l'augmentation de l'altitude est généralement associée à l'augmentation de l'abondance et de la richesse des abeilles sauvages, contrairement aux syrphes (Baumann et al., 2021). Cette distribution reste jusqu'à présent sujette à plusieurs controverses parmi les insectes pollinisateurs. McCabe et al., (2019) ont montré que le gradient altitudinal contribue à l'accroissement de l'abondance des abeilles sauvages. Cependant, il est également à l'origine de la transition entre ces abeilles et les mouches, qui augmentent avec l'altitude, au détriment des abeilles. Le changement d'habitat en fonction de la végétation perturbe cette distribution et contribue à la diminution de la richesse spécifique de ces insectes floricoles (Baumann et al., 2021; Bendifallah et al., 2015). Ce changement explique la corrélation négative entre la variation de l'altitude et l'abondance, ainsi que la richesse spécifique des abeilles sauvages et d'autres pollinisateurs, tels que les guêpes (Perillo et al., 2017). Une relation asymétrique a été établie entre la diversité des bourdons et la variation de la végétation, ce qui s'explique par le fait qu'une seule espèce de bourdon peut polliniser plusieurs espèces végétales (Egawa et al., 2020). Une forte communauté d'abeilles sauvages se trouve entre les altitudes faibles et moyennes (700-1300m ; 1300-1900m), tandis qu'au-delà de 1900m, il y a une forte diminution (Egawa et al., 2020). Cela est illustré par la figure ci-dessous que nous avons conçue à titre d'illustration.

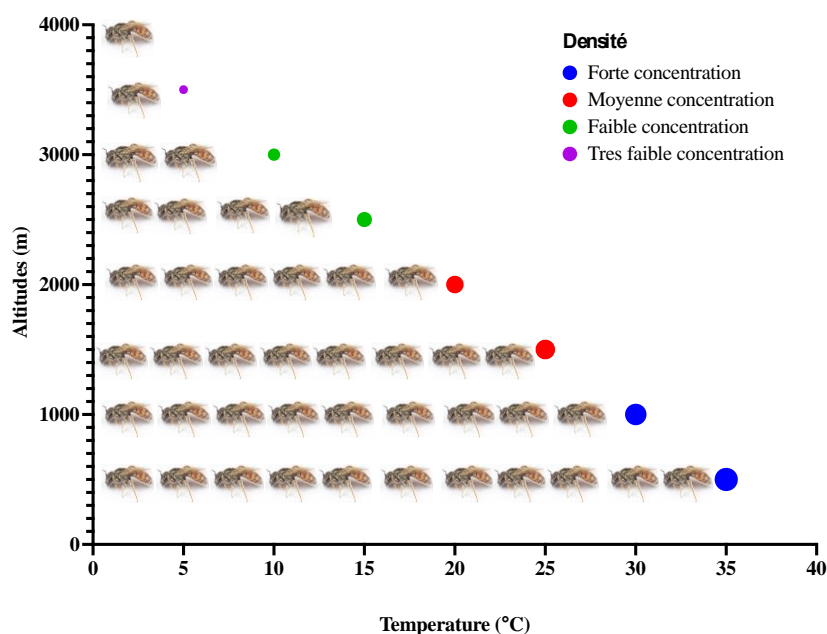
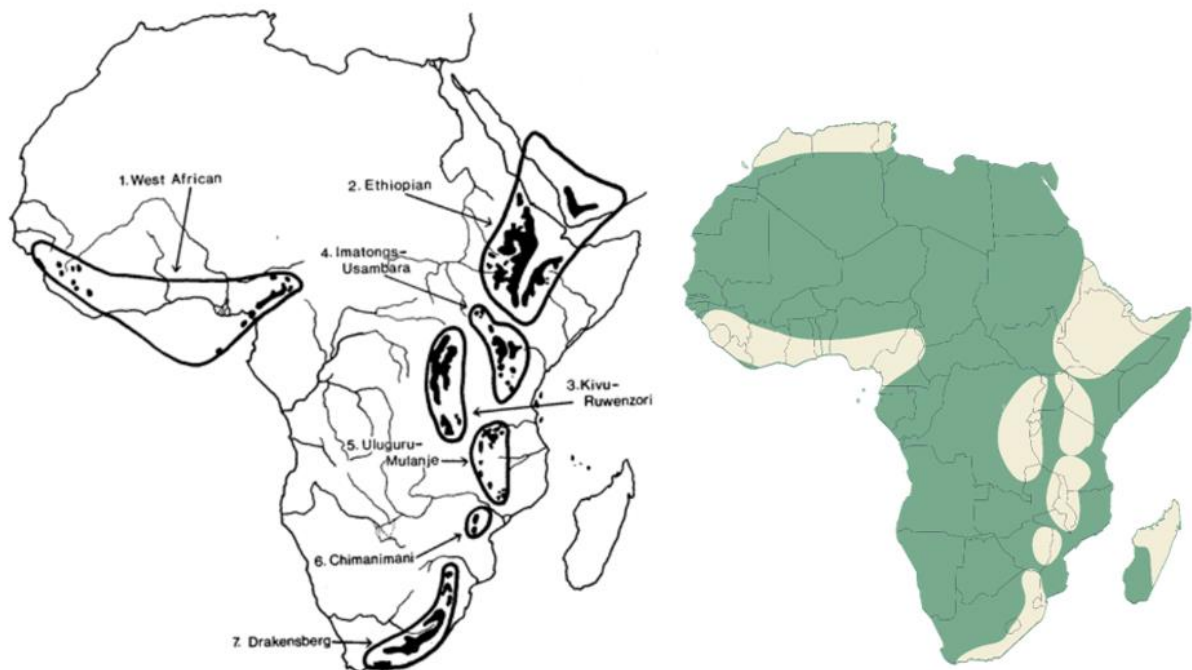


Figure 3. Action de la température et de l'altitude sur la densité locale (nombre d'individus) des abeilles (Photo © NJ Vereecken)

La distribution spatiale des abeilles sauvages en fonction du gradient altitudinal est soumise à l'influence de plusieurs facteurs environnementaux et climatiques tels que la température, les précipitations et le vent (Baumann et al., 2021; Egawa et al., 2020; Perillo et al., 2021). Minachilis et al. (2021) ont constaté que le changement climatique, caractérisé par la modification de la température et du rayonnement solaire, provoquera une réduction des zones d'habitats favorables aux pollinisateurs au sein de la montagne. La modification et la disparition de la végétation entraînent une restructuration des communautés de pollinisateurs. Une majorité d'entre eux se cantonnent aux zones de basse altitude, tandis que d'autres, mieux adaptés aux conditions de haute altitude, sont davantage retrouvés aux étages supérieurs le long du gradient altitudinal (Minachilis et al., 2021b). Osorio-Canadas et al., (2021) ont montré que la variation des températures et de la densité florale au sein du gradient altitudinal influence la présence et la répartition des abeilles à tous les niveaux de la montagne. Ainsi, face au changement climatique, qui est à l'origine de l'augmentation des températures, les abeilles adaptées aux faibles températures des hautes altitudes montagnardes seront amenées à modifier leur physiologie pour s'adapter à des températures plus élevées, à migrer vers de plus hautes altitudes (quand cela est possible), ou à disparaître.. En revanche, les abeilles adaptées aux basses et moyennes températures auront tendance à étendre leur aire de distribution vers les hauteurs des montagnes. Ainsi, une relocalisation des abeilles entre les basses et moyennes altitudes au profit des hautes altitudes semble se renforcer. Une corrélation négative est observée entre la richesse spécifique des espèces d'abeilles, la température et les précipitations (Fourcade et al., 2019).

1.3. Abeilles sauvages afro-montagnardes

Les abeilles sauvages afromontagnardes sont des espèces localisées dans les régions tropicales de montagnes. Ces dernières regroupent les écosystèmes africains situés à des altitudes élevées, formant une ceinture le long de l'axe du Rift albertin. Ces régions sont particulières car elles sont constituées d'une végétation exceptionnelle caractérisée par des étages multiples et des espèces végétales endémiques (White, 1978). On observe une diversité biologique et une richesse spécifique exceptionnelle, trouvée dans un pluralisme d'habitats diversifiés. Cette région afromontagnarde présente une végétation très différente de celle que l'on trouve en basse altitude dans les autres régions. Néanmoins, la détermination du degré d'abondance entre les hautes altitudes et les basses reste en suspens (White, 1978). Cette zone afromontagnarde s'étend sur les montagnes, allant de l'Afrique de l'Ouest jusqu'à l'Afrique du Sud. Cette région est le centre de l'endémisme, regroupant plus de 4.000 espèces végétales réparties dans 20 genres classés comme endémiques. Cette végétation très complexe varie énormément, passant des forêts aux prairies alpines (White, 1978). La forêt, qui offre des habitats ouverts et semi-ouverts, constitue un réservoir d'abeilles sauvages (Garibaldi et al., 2013; Morandin & Kremen, 2013; Winfree et al., 2007), et elle contribue à la préservation de la biodiversité végétale, animale et des pollinisateurs (Hanula et al., 2016; Rubene et al., 2015). Parmi les 20 genres de plantes à fleurs recensés, 6 sont systématiquement retrouvés dans des zones spécifiques, ce qui montre une discontinuité dans leur répartition. La végétation afromontagnarde est répartie entre 7 systèmes de montagnes : le système Afrique-austral-Afrique de l'Ouest, Ethiopien, Kivu-Ruwenzori, Imatongs-Usambara, Uluguru-Mlanje, Chimanimani, Drakensberg (White, 1978).



Report to the World Heritage Committee, July 2005

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Afromontane_region.png

Figure 4. Répartition des systèmes des montagnes Africains

La figure ci-dessus reprend les 7 systèmes des montagnes entre lesquels la végétation africaine est située selon White, 1978. Cependant 2 autres régions non incluses bien avant se sont ajoutées et comprennent le Madagascar et les montagnes de l'Atlas comme illustré à la figure à droite.

Les montagnes tropicales sont réputées pour leur richesse en biodiversité, mais à l'heure actuelle, il existe très peu d'études spécifiques et approfondies qui permettent de confirmer ce fait et de comprendre la distribution des espèces concernées (Perillo et al., 2021). Cependant, Dzekashu et al., (2023), ayant étudié les interactions entre les plantes et les abeilles sur les montagnes de l'est du Kenya (Afrique de l'Est), montrent qu'à basse altitude, les réseaux plantes-abeilles sont très denses en présence d'une forte diversité de fleurs et d'abeilles, tandis qu'ils s'affaiblissent et se spécialisent, tout comme les espèces d'abeilles qui se spécialisent également, à mesure que l'on monte en altitude. En revanche, l'interaction entre les plantes et les abeilles reste constante en saison chaude-humide et en saison sèche-froide (Dzekashu et al., 2023). Les caractères morphométriques des abeilles sauvages en milieu tropical varient également fortement en fonction du gradient d'altitude. Le nombre d'espèces d'abeilles de grande taille a tendance à diminuer à mesure que l'on monte en altitude. En revanche, la taille des individus au sein des espèces a tendance à augmenter, ce qui semble être un phénomène contrasté (Classen et al., 2017). Ainsi, une stabilité des espèces est observée dans les hautes

altitudes à la suite des filtrages importants le long du gradient d'élévation. Les pertes aléatoires des espèces et de leurs individus diminuent fortement en haute altitude (Classen et al., 2017). Les écosystèmes montagnards tropicaux font partie des écosystèmes les plus menacés en termes de perte de biodiversité. Cette tendance peut conduire à une forte pauvreté en termes d'activités de pollinisateurs. Ainsi, la théorie de l'assurance de la reproduction est essentielle pour le maintien de ces écosystèmes (Bergamo et al., 2021).

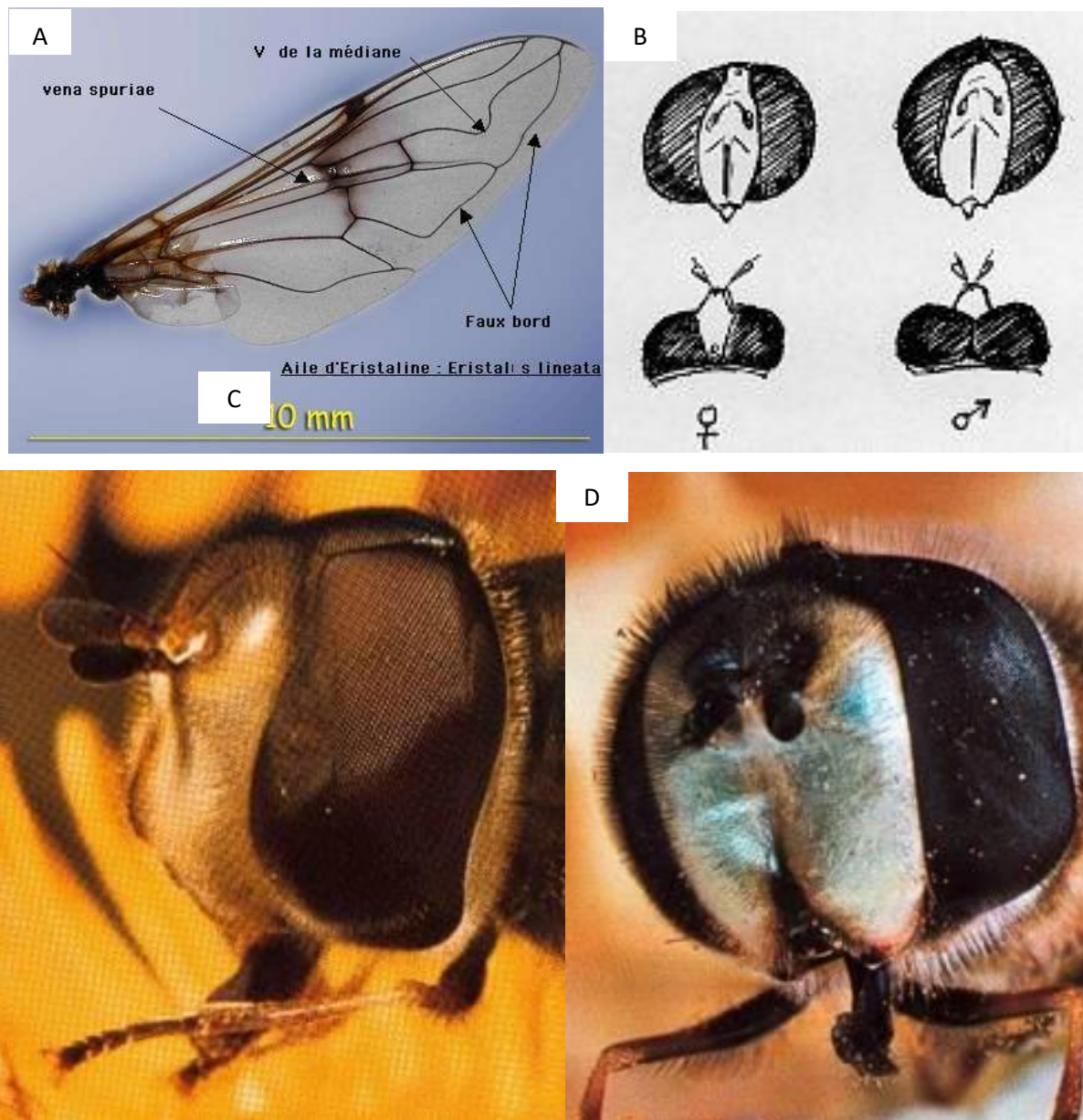
En plus de cette pauvreté en activité des pollinisateurs, ces écosystèmes présentent aussi une taille restreinte en termes de l'aire de répartition des espèces. Cette dernière caractéristique amène ainsi à considérer ces écosystèmes comme des paysages anciens, climato-tamponnés et infertiles (OCBIL : old, climatically buffered, infertile landscapes) (Bergamo et al., 2021). Ces derniers ont réalisé une étude dans le parc national d'Itatiaia et ont enregistré que 60 % des plantes étaient pollinisées soit par les pollinisateurs généralistes composés de mouches (diptères), abeilles sauvages soit par l'abeille domestique. Les plantes indigènes ont été pour la plupart spécialisées en termes de pollinisateurs, tandis que les plantes endémiques restent généralistes. Ce phénomène traduit à grande échelle la menace réciproque de l'extinction des espèces indigènes dans les écosystèmes tropicaux. En plus de la sensibilité des plantes indigènes au changement des pollinisateurs, s'ajoute l'effet de la saisonnalité qui influence l'apparition des fleurs chez les végétaux et qui est sujette à de multiples contraintes liées au changement climatique. Tous ces aspects reflètent la menace qui pèse sur les pollinisateurs dans les écosystèmes tropicaux (Bergamo et al., 2021). Des relations très complexes entre les pollinisateurs et les écosystèmes montagnards tropicaux sont observées. Dans leur étude, dos Santos et al., (2020) ont montré la distribution de la communauté d'abeilles *Euglossini* en fonction du gradient d'altitude en Amérique du Sud, et ont pu mettre en évidence que plus on monte en altitude, l'abondance des abeilles diminue. Par ailleurs, la richesse spécifique des espèces atteint son pic à des altitudes moyennes, alors que la diversité en espèces reste cohérente tout au long du gradient de la montagne. Dans la zone tropicale, la variation de la saison sèche vers celle pluvieuse et inversement n'a pas non plus d'influence sur l'abondance et la diversité des abeilles, mais plutôt sur leur composition en espèces (dos Santos et al., 2020).

1.4. Diversité des syrphes dans le monde et les écosystèmes montagnards

Les Syrphes constituent l'un des groupes de diptères appartenant à la famille des Syrphidae. Jusqu'à ce jour, plus de 6.300 espèces de syrphes ont été recensées dans le monde, réparties dans 200 genres, dont 1.800 sont décrites dans les régions néotropicales (Cao et al., 2022; Montoya et al., 2012; Wong et al., 2023).

Cependant, cette biodiversité revêt une grande importance à plusieurs niveaux d'organisation des écosystèmes en fournissant plusieurs services écosystémiques dont la pollinisation des plantes (Cao et al., 2022; Montoya et al., 2012; Wong et al., 2023).

Il s'avère que 52 % des plantes bénéficient des visites florales des syrphes adultes. Leurs larves participent à la décomposition de la matière organique et à la lutte biologique contre d'autres insectes nuisibles des plantes, tels que les pucerons, les cicadelles et les cochenilles (Mengual et al., 2023). Cependant, Rotheray et Gilbert (1989), cités par Francis et al., (2003), ont montré que plus de 40 % des syrphes au stade larvaire constituent des prédateurs entomophages efficaces. Les syrphes, autrement appelés mouches à fleurs, sont considérés comme des espèces indicatrices de la santé des écosystèmes en raison de leur abondance, ce qui permet de maintenir le réseau écologique (Cao et al., 2022; Mengual et al., 2023; van Rijn et al., 2013). La plupart des syrphes n'ont pas une pièce buccale spécialisée pour collecter du nectar et du pollen sur certaines fleurs des plantes. Ainsi, ils se contentent de visiter les fleurs à longueur de corolle florale courte ou modérément longue, et préfèrent les espèces végétales dont les ressources florales, notamment le pollen et le nectar, sont exposés en surface plutôt qu'en profondeur. Ces plantes sont donc favorisées pour la pollinisation par rapport à d'autres (Ball & Morris, 2013; Fisler & Gander, 2021). Si les syrphes ont souvent l'habitus de certains hyménoptères tels que les abeilles, les bourdons ou les guêpes, comme illustré à la figure 5 (phénomène de mimétisme batésien) (Ball and Morris, 2013; Fisler & Gander, 2021; Rashed et al., 2009), cependant, ils se distinguent des autres par leur capacité à effectuer un vol stationnaire (sur place) au-dessus des ombelles fleuries, puis à effectuer un vol très rapide. La plupart n'ont pas de sillon frontal, tandis qu'ils possèdent une tête aussi large que le thorax. Le mâle se distingue de la femelle par le rapprochement des yeux sur la partie supérieure de la tête pour plusieurs genres, sauf chez le genre *Helophilus*. Plusieurs autres traits morphologiques sont observés pour les distinguer. Ils s'agissent notamment : la présence de la saillie en forme de nez pour protéger la bouche, l'existence de fossettes sous les antennes, l'absence de grandes soies sur leur corps, des ailes caractéristiques ayant une nervure médiane dont celle de l'aile antérieure est réduite à un vestige (vena spuria ou fausse nervure). De plus, ils ont un faux bord aux extrémités des ailes, la longueur de la trompe et la largeur de l'abdomen qui varient entre espèces (Ball & Morris, 2013; Fisler & Gander, 2021; Gilbert & Beament, 1997). La figure 5 ci-dessous l'illustre :



Source : <http://aramel.free.fr/INSECTES15terterter.shtml>

Figure 5. Traits morphologiques des syrphes : A. Ailes ; B. Disposition des yeux ; C-D. Tête de syrpe montrant la saillie, fossette, antenne à trois articles et aristas.

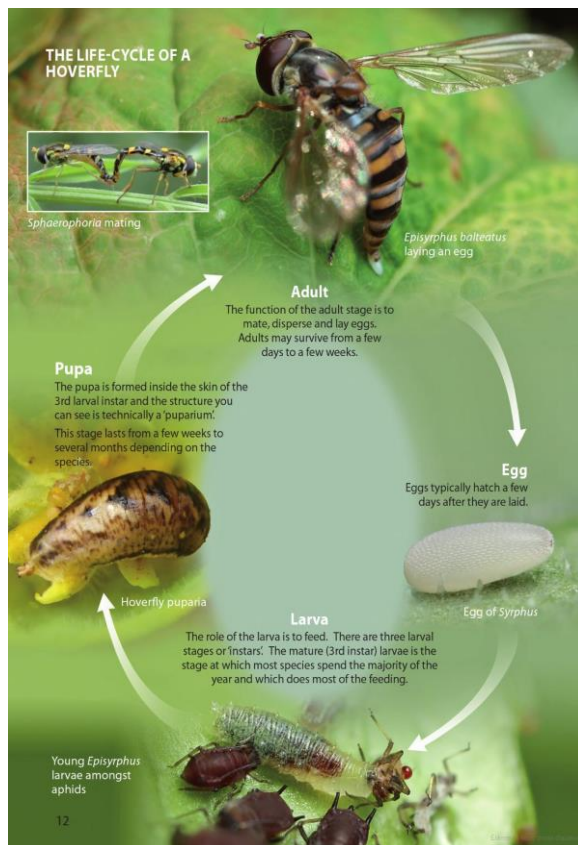


Figure 6. *Processus de croissance (a) et mimétisme batésien (dissuasif) de plusieurs espèces de syrphes (Ball and Morris, 2013).*

- Syrphes et les écosystèmes montagnards

Montoya et al., (2012), qui ont réalisé des recherches sur les syrphes en Colombie, montrent que la distribution de ces derniers en fonction de l'altitude varie énormément. La richesse en espèces décroît au-delà de 1 800 mètres, tandis qu'en dessous, il y a une relative stabilité de la richesse spécifique entre des étages altitudinaux différents. Cette situation est tributaire des variations des conditions atmosphériques qui se modifient en fonction de l'altitude (Körner, 2007). Par ailleurs, Minachilis et al., (2023) ont remarqué que les syrphes et les bourdons, dans leurs répartitions en termes de diversité alpha, présentent une distribution unimodale en raison de leur forte tolérance aux changements environnementaux. Cette tolérance est expliquée par la capacité de renouvellement des individus au sein d'une espèce et qui entretiennent une interaction prononcée avec la végétation. Ce constat pousse cependant à remarquer que la diversité des espèces entre strates augmente avec la variation du gradient altitudinal. En revanche, les études portant sur les régions africaines semblent rares, voire pratiquement inexistantes. Un accent particulier de cette recherche est orienté vers la RD Congo où en dépit des faibles recherches sur les syrphes d'Afrique centrale, Brunetti (1926) a pu identifier quelques espèces des syrphes en RD Congo au travers plusieurs collections entomologiques

conservées à Tervuren (MRAC). A titre illustratif, les espèces identifiées sont : *Paragus borbonicus*, *Asarcina ericetorum*, *Baccha praeusta*, *Protylocera dibaphus*, *Protylocera haermorrhoea*, *Megaspis curta*, *Simoides crassipes*, *Eristalis (Lathrophthalmus) dulcis*, *Helophilus cyanipennis*, *Eumerus feeae*, *Eumerus obliquus*, *Amphoterus cribratus*, *Microdon brevicornis*, *Microdon luteiventris*. En plus, Van Doesbourg (1954, 1955) a identifié d'autres espèces telles que le *Pogonosyrphus bequaerti*, *Pogonosyrphus overlaeti* et *Megaspis natalensis* ayant plusieurs sous-espèces ou variantes morphologiques. Face à des identifications datant de près d'un siècle, on comprend la nécessité d'explorer plus intensément l'impact des variables environnementales telles que l'altitude sur la diversité et la structure de cette faune d'insectes utiles.

1.5. Hotspot des Montagnes d'Afrique Orientale : cas d'étude au Parc National de Kahuzi Biega (PNKB).

L'Afrique orientale est une région géographique marquée par les sommets les plus élevés du continent africain et du monde. Ces vastes chaînes et massifs montagneux font partie intégrante des zones considérées comme hotspots de biodiversité. L'une des particularités de cette zone est qu'elle regorge d'une grande concentration d'espèces végétales et animales (White, 1978). L'intérêt spécifique, ces zones pour les abeilles sauvages et les syrphes montagnards et endémiques de cette région sont encore largement inexplorées. Plusieurs sommets marquent cette région, tels que le mont Ruwenzori, le Kilimandjaro, les Virunga, les Usambara, les Aberdare, le mont Kahuzi, etc. (White, 1978). La figure ci-dessous montre la répartition de ces montagnes et met en évidence directement le mont Kahuzi, qui fait l'objet de ce travail.

Localisation de la zone d'étude

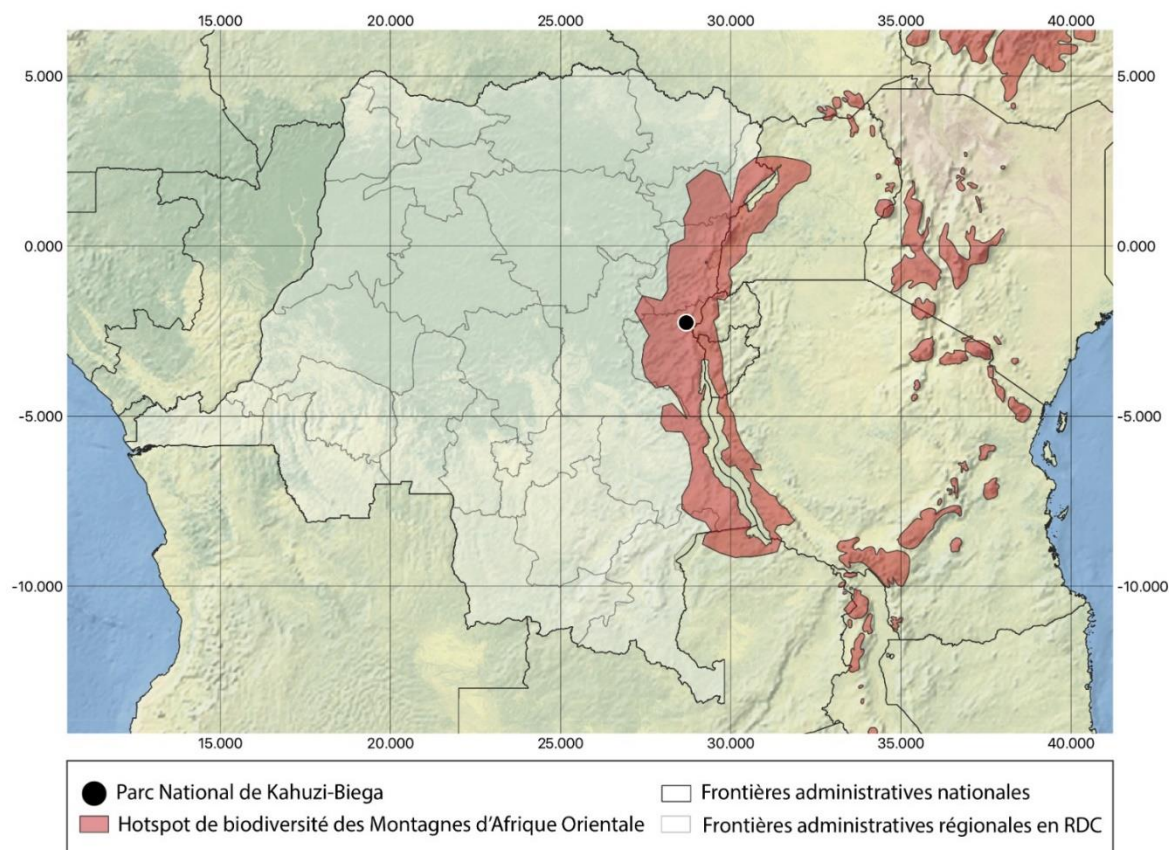


Figure 7. Archipel montagnard d'Afrique orientale (afromontane orientale) et localisation du mont Kahuzi dans le Parc National de Kahuzi Biega (PNKB) en RD Congo.

L'afromontane orientale est une sous-région de l'écozone afrotropicale et se présente comme un réseau d'îles terrestres (montagnes isolées au milieu de basses terres) allant du Zimbabwe jusqu'à la mer Rouge.

L'un des écosystèmes tropicaux qui fait l'objet de ce travail est le Parc National de Kahuzi Biega (PNKB). Il se situe entre la province du Maniema et du Sud-Kivu, au centre des régions phytogéographiques guinéo-congolaise et afro montagnarde (Figure 6) réputées pour leur haut niveau d'endémisme et leur biodiversité (White, 1983; Mangambu et al., 2010). La végétation du PNKB s'étend depuis les zones basses jusqu'à celles qui sont en haute montagne et reste diversifiée en termes d'habitats, constitués d'une flore et d'une faune riches et caractéristiques (Mangambu et al., 2010). Une végétation de plaine composée d'une forêt ombrophile, suivie de forêts de montagne, est reliée par un couloir écologique formé par la forêt submontagnarde de transition. Cette dernière est observée entre les composantes floristiques et fauniques des basses et hautes altitudes (Mühlenberg et al., 1994; Nishuli, 2009).

Le PNKB s'étend sur trois niveaux d'altitude au sein desquels la végétation varie énormément. Cette variabilité suit la règle qui semble générale selon laquelle plus le gradient altitudinal augmente, plus la température diminue, et par conséquent, la diversité en espèces, leur distribution et leur abondance diminuent également. En revanche, au sens global, l'augmentation des températures due aux changements climatiques tend à déplacer certains végétaux de leurs aires de distribution vers les zones de plus haute altitude (Jump et al., 2009). Spécifiquement, Cirimwami et al., (2019) ont trouvé que la diversité en espèce de la végétation du PNKB diminue en fonction de l'augmentation de l'altitude. Cependant, cette variation demeure contrastée en fonction des types des végétations. Il s'avère que la richesse spécifique des herbacées augmente en fonction que l'altitude augmente. Ceci s'explique par le fait qu'en altitude il y a augmentation de la lumière et une bonne exposition à un espace ouvert de cette végétation ombragée en basse altitude. D'autres études montrent que la diversité et l'abondance au sein des espèces végétales ligneuses, fourragères et de leurs alliés au sein du PNKB diminue considérablement au-delà de 2600 mètres d'altitude. Aux points les plus élevés du PNKB, on trouve des lithosols peu profonds, surtout sur de fortes pentes, ce qui limite la distribution des fougères et de leurs alliés à moins de 71 % sur tout le gradient d'altitude (Ndabaga et al., 2014; Mokoso et al., 2013)). Selon le rapport de l'ICCN (2019), le mont Kahuzi regorge d'un paysage caractérisé par une forte diversité botanique et son gradient altitudinal très marqué en fait l'un des endroits touristiques le plus visité au sein du PNKB.

On déplore aujourd'hui le fait que la biodiversité du PNKB s'est vue dégradée au fil des années à cause des plusieurs guerres qui se sont succédées, provoquant l'afflux des réfugiés dans ce parc qui était occupé par les peuples autochtones pygmées. Ce parc a été exposé à des activités anthropiques intenses, notamment l'exploitation du bois, les activités minières, le braconnage, les feux de brousse, la coupe des bambous, les concessions accordées à des particuliers, etc. Cette accélération de la pression anthropique sur les ressources naturelles a négativement impacté la biodiversité existante ainsi que la physionomie floristique de la région. Ces modifications, couplées aux effets de plus en plus visibles du changement climatique, sont à l'origine de l'augmentation de la température, de l'apparition de trouées dans la végétation, et de clairières qui ont favorisé le développement d'une savanisation poussée de la forêt mésophile, menaçant la biodiversité et le fonctionnement de cet écosystème (Mokoso et al., 2013; Nzabandora et al., 2011).

1.6. Services écosystémiques des abeilles et perception populaire

Les services écosystémiques font référence directement aux bénéfices tirés par la population au sein des écosystèmes (MEA, 2005). Ces services ont été classés par le MEA, (2005) en quatre groupes principaux en lien avec le bien-être humain. Les différents services écosystémiques fournissent directement ou indirectement une forte potentialité en termes de biens et services à la communauté. Par ailleurs, les évaluations de ces derniers par rapport à leurs apports socio-économiques semblent dégager une disproportionnalité entre les services écosystémiques et les indicateurs du bien-être. Le service culturel et les relations sociales sont moins évalués et pris en compte dans les évaluations, contrairement aux autres composantes. La figure 8 ci-dessous en donne une synthèse d'illustration.

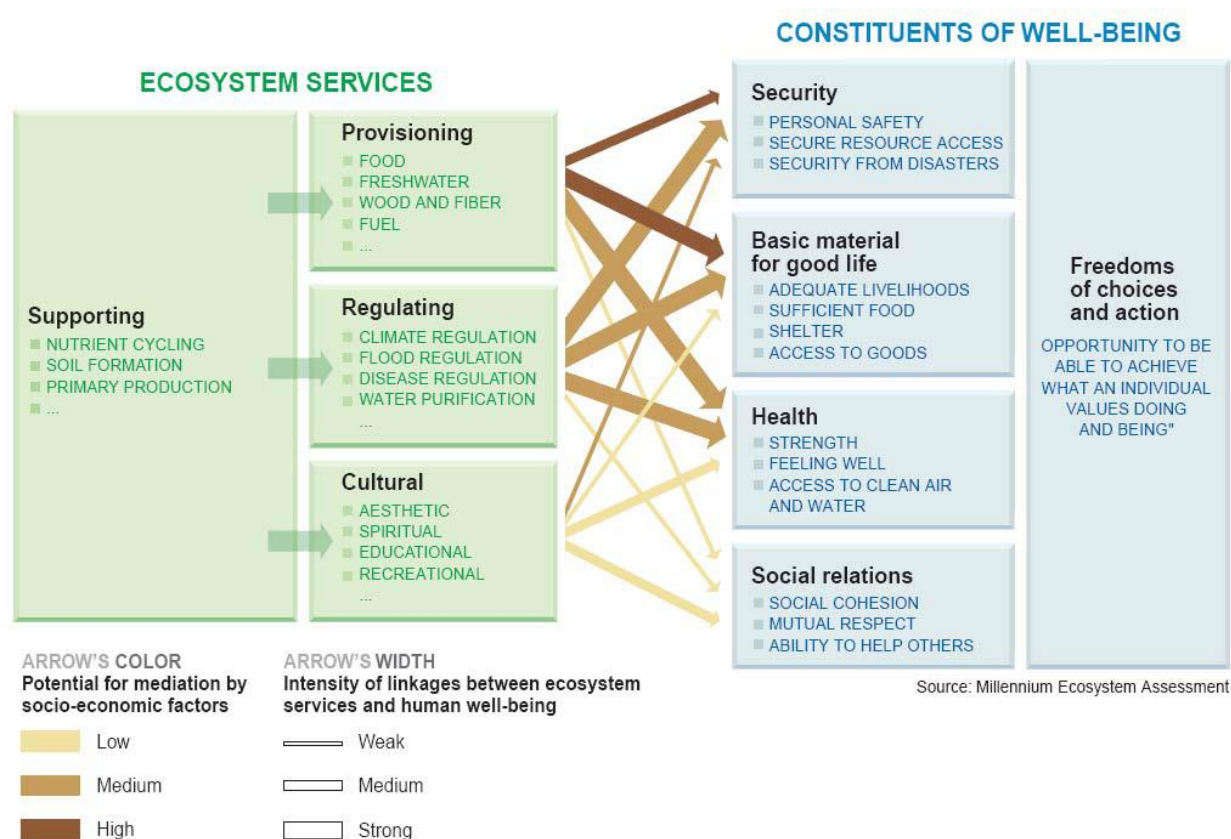


Figure 8. Classification des services écosystémiques (MEA, 2005)

Les services de support ou de soutien sont à la base des autres services écosystémiques regroupés en services de provision, régulation et culturels afin d'assurer le bien-être de l'homme et des ressources naturelles. Ce bien-être passe par la promotion de la sécurité de la vie individuelle et des écosystèmes, la santé, les relations sociales et la liberté des choix et des actions.

Au-delà de la biodiversité végétale, les abeilles et les syrphes jouent un rôle important dans le maintien des écosystèmes en fournissant plusieurs services écosystémiques à la communauté. Parmi ces services, ceux qui concernent la **régulation** comprennent notamment la pollinisation et la bio-indication de la dégradation du milieu, etc. ; ceux de **provision**, tels que le miel et les produits dérivés du miel, ainsi que les matériaux, et enfin ceux qui sont **culturels**, incluant les savoirs traditionnels et les manipulations des abeilles (Matias et al., 2017a). Les abeilles fournissent une gamme de produits (miel, propolis, gelée royale, cire, pollen, etc.) et d'actions (butinage des fleurs) qui sont à la base de ces nombreux bénéfices et du bien-être humain et des écosystèmes. Parmi ces bénéfices, on trouve notamment : l'alimentation assurée par le miel et la gelée royale, la fourniture de matériaux tels que la propolis et la cire, l'utilisation en médecine pour certains traitements des maladies, un rôle culturel dans la promotion de la vie religieuse ou sociale, et la pollinisation des cultures grâce aux visites florales et à la collecte du pollen et du nectar sur différentes plantes (Midgley et al., 2023). Ces services sont perçus de manière parfois partielle, variable et incomplète par les populations. Certains considèrent les abeilles comme une source de production de produits à collecter, à consommer, à manipuler et à vendre pour améliorer les revenus économiques au sein des ménages. D'autres ont une vision plus large des activités des abeilles en termes de pollinisation et d'utilisations non alimentaires des abeilles et de leurs produits (Matias et al., 2017a).

1.7. Problématique de l'étude

La variation de l'altitude semble demeurer le facteur majeur de la variation démographique des espèces et de leur diversité. D'après les éléments théoriques disponibles dans la littérature, nous nous attendons à observer une richesse spécifique et une abondance intraspécifique plus élevée entre les altitudes faibles et moyennes (700-1300 m ; 1300-1900 m), tandis qu'au-delà de 1900 m, il semble que les paramètres démographiques et de diversité sont sujets à une forte diminution (Baumann et al., 2021; Egawa & Itino, 2020; Perillo et al., 2021). À ce jour, il y a relativement peu d'études sur la répartition biogéographique des abeilles sauvages et des syrphes en Afrique subsaharienne, contrairement à d'autres groupes d'insectes (Patiny et al., 2009; Wilson et al., 2010), et l'évolution de leur richesse spécifique, de leur abondance et de leur endémisme le long d'un gradient altitudinal demeure encore largement inexplorée.

Si l'évocation du mot « abeille » résonne systématiquement chez les populations locales qui expriment la nécessité de les protéger, les connaissances relatives aux rôles multiples de ces pollinisateurs, à leur diversité ou encore à leur différenciation restent beaucoup plus floues. Une étude récente menée aux Etats-Unis d'Amérique a par exemple démontré que plus de 80 % de

la population enquêtée confirmait que les abeilles ont un rôle important, sans pour autant que les personnes interrogées soient capables de distinguer visuellement une abeille d'un autre insecte appartenant au même ordre (hyménoptères) ou à un autre (coléoptères, lépidoptères, etc.) (Wilson et al., 2017). Seule l'abeille domestique (*Apis mellifera*) semble faire l'unanimité en étant reconnue plus régulièrement et par des populations contrastées, en ville comme en milieu rural. Ce décalage apparent entre la reconnaissance de l'importance de protéger ces pollinisateurs non-*Apis* (sauvages) d'une part, et cette vision très limitée de leur diversité est particulièrement préoccupante dans un contexte de dégradation des paysages naturels et agricoles, induite par les activités anthropiques et menant au déclin des populations et des espèces d'abeilles dans de nombreuses régions du monde (Potts et al. 2016 IPBES). Ces éléments s'appliquent également aux syrphes qui sont très peu étudiés à ce jour dans la plupart des régions tropicales africaines (Cao et al., 2022; van Rijn et al., 2013), faute de clés d'identification spécifiques pour cette région (Kamdem et al., 2023) et de recherche orientée sur leur diversité (Azo'o Ela et al., 2022; Midgley et al., 2023),.

2. Objectifs et hypothèses de l'étude

Dans cette recherche, nous envisageons de mieux comprendre comment les abeilles sauvages et les syrphes sont distribuées le long du gradient altitudinal du mont Kahuzi, en lien avec la structure de la végétation. Cette partie de l'étude est basée sur des inventaires de terrain réalisés au cours de la saison pluvieuse 2023. Parallèlement à cela, nous avons entrepris de sonder les populations locales afin de mieux comprendre leur degré de connaissance des abeilles de la région et des services écosystémiques qu'elles fournissent aux populations pygmées riveraines du PNKB.

Dans cette perspective, nous avons formulé certaines hypothèses au vu de la littérature existante. De ces hypothèses, on s'attend à ce que les patrons de la biodiversité des abeilles et des syrphes soient congruents en fonction de la variation du gradient d'altitude. Ainsi, spécifiquement nous estimons que la richesse générique ou spécifique ainsi que l'abondance diminuent au fur et à mesure que l'altitude augmente. Cependant, il s'observe un fort endémisme des espèces au niveau de l'altitude 4 comparativement aux autres niveaux d'altitudes. Ainsi, le changement de diversité spécifique en fonction de l'altitude et les communautés d'abeilles et des syrphes sur le mont Kahuzi sont relativement pauvres en espèces car dominées par les espèces généralistes. En plus, nous estimons que le turnover d'espèces est

plus important que l'emboîtement au sein du gradient d'altitude. Nous estimons que la structure de la biodiversité du mont Kahuzi suit l'allure des courbes reprises à la figure 9.

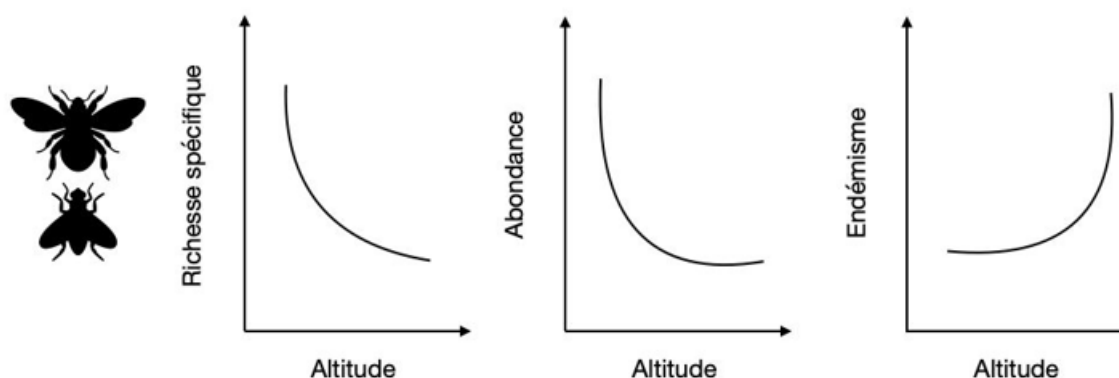


Figure 9. Allure générale théorique de la distribution de la RG/RS, abondance et endémisme

En ce qui concerne le degré de connaissance sur les abeilles sauvages, nous estimons qu'il est tributaire des certains caractères individuels notamment le niveau élevé des études, le genre masculin et le milieu de vie rural qu'urbain. En fin, nous présumons que les grands services écosystémiques fournis par les abeilles au PA sont ceux de provision, culturel et de régulation.

L'ensemble des données issues de cette étude constitue des bases écologiques robustes sur lesquelles les chercheurs s'appuieront pour des recherches comparatives en cours, notamment sur d'autres sites afromontagnards en Tanzanie et au Kenya. De plus, ces données permettront aux acteurs impliqués dans la protection de l'environnement et de la biodiversité de promouvoir une éducation environnementale, ainsi qu'une gestion plus raisonnée de la végétation et des habitats concernés.

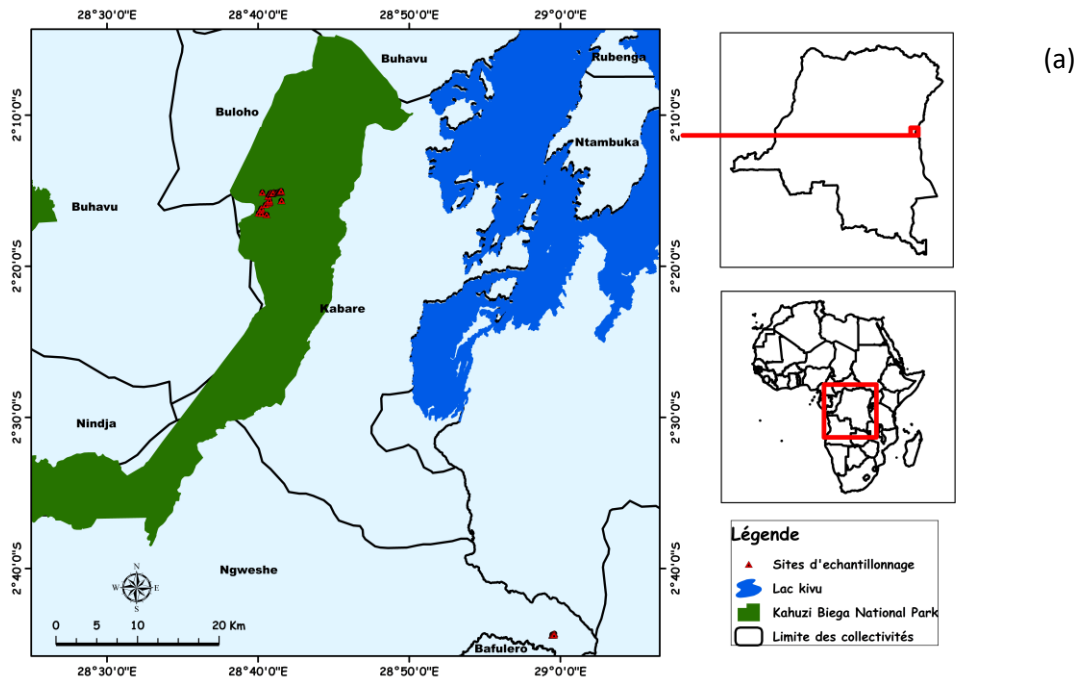
3. Milieux, matériels et méthodes

3.1. Sites d'échantillonnage

Cette recherche s'inscrit dans la logique des travaux de recherche menés par l'Agroecology Lab de l'ULB et qui portent sur l'étude de la diversité et de la conservation des abeilles sauvages. Des collectes entomologiques ont été menées durant la période allant du mois de mi-mars à fin mai 2023 au sein du parc national de Kahuzi Biega en province du Sud-Kivu. Le PNKB est l'un des écosystèmes protégés de la RDC et un site classé au patrimoine mondial de l'UNESCO. Il est situé géographiquement entre 1°36' et 2°37' de latitude sud, et 27°33' à 28°46' de longitude est, comme illustré par les Figures 8 et 9 ci-dessous. Créé en 1970, ce parc possède une flore et une faune riches et abrite les massifs montagneux le long de la chaîne de Mitumba (Mangambu et al., 2010). Notre collecte de données a été réalisée sur le mont Kahuzi, qui est l'un des sommets les plus élevés de cette chaîne et atteint jusqu'à 3308 mètres d'altitude. Ce mont se trouve dans la partie des hautes montagnes Africaines avec une végétation afro-subalpine qui s'étend au-delà de 2600 mètres. En moyenne, dans cette zone montagneuse, la température varie entre 19°C et 14,8°C, avec une diminution de 0,6°C/100 mètres d'altitude. Les précipitations varient en fonction de l'altitude, allant de 1500 à 2000 millimètres, et la radiation globale moyenne est de 421,8 calories/cm³/mois (Gérard et al., 2016; Mangambu et al., 2010; Yamagiwa et al., 2005). Une humidité relative moyenne de 86 % est observée (Mangambu M., 2013). En se basant sur les travaux réalisés par Fischer (1996) et Lebrun (1960), qui ont été cités par Zabandora (2015), ces chercheurs ont établi un inventaire botanique de la succession de la végétation sur le flanc du PNKB. Ils ont identifié de la forêt ombrophile de montagne entre 1700m et 2400m, une zone hétérogène avec des bambous, *Hagenia* et *Podocarpus* entre 2400m et 2700m, une ceinture avec des *Ericaceae* entre 2700m et 3200m, ainsi que des formations herbeuses et arbustives afro-alpines au-delà de 3200m.

Les enquêtes sociologiques ont été menées au sein de la population pygmée riveraine du PNKB dans les territoires de Kabare et Kalehe, ainsi que dans la population urbaine de la ville de Bukavu au Sud-Kivu par une équipe de 4 personnes dont trois étudiants en année terminale des universités locales et moi. Dans les territoires, ces enquêtes ont été conduites dans les villages périphériques du PNKB où sont localisés les campements des communautés locales des peuples autochtones Batwa (pygmées). Ces villages sont les suivants :

- Territoire de Kabare : Muyange, Bulindi, Cibati, Choboka, Kahungu, Mwanda,
- Territoire de Kalehe : Kainga, Musenyi, Bitale.



Les points triangulaires rouges sur la figure 10 (a) indiquent les sites de collecte des abeilles et des syrphes depuis la basse altitude jusqu'au sommet de la montagne au sein du mont Kahuzi dans le PNKB.

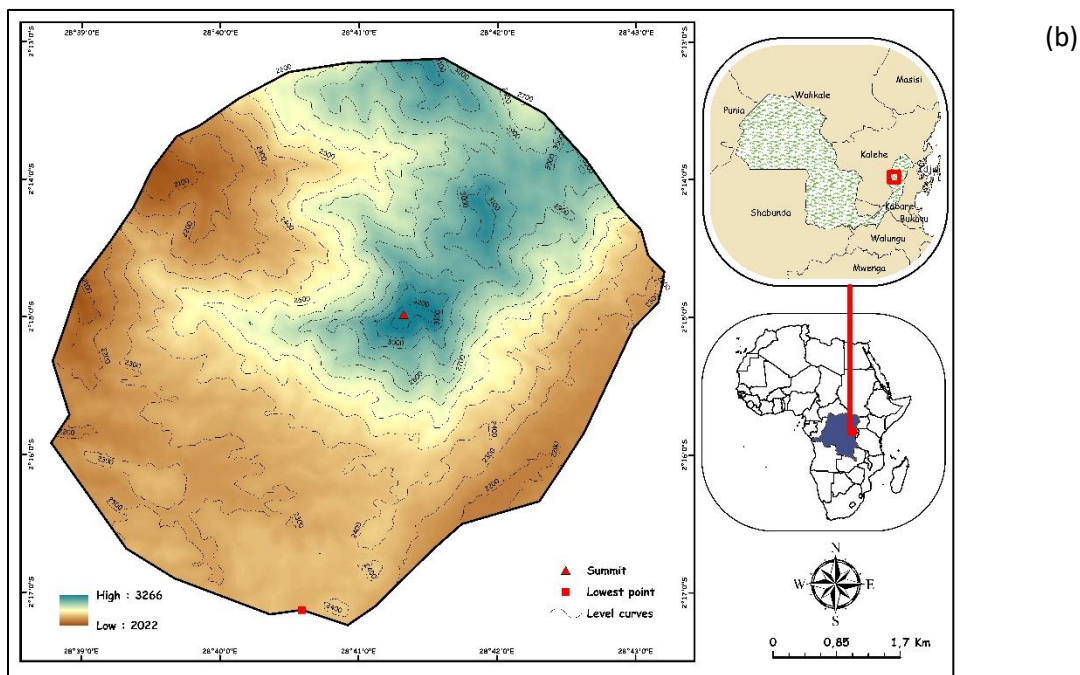


Figure 10. Sites de collecte des données sur le mont Kahuzi avec localités environnantes (a) et courbe de niveau (b)

La figure 10 (b) présente la variation de l'altitude suivant les courbes de niveau du point inférieur de collecte au bas de la montagne jusqu'au point supérieur de la montagne au-delà de 3200m d'élévation.

3.2. Méthodologie

3.2.1. Caractériser et Identifier la structure des communautés des abeilles sauvages sur le gradient altitudinal du mont Kahuzi

1. Protocole de collecte

La collecte des abeilles sur le mont Kahuzi a été réalisée en suivant un protocole standard utilisé par Westphal et al. (2008). Cette collecte a été organisée chaque semaine pendant la période allant de mi-mars 2023 à fin mai 2023. Le mont Kahuzi a été subdivisé en 4 strates d'altitudes qui variaient entre 2158 et 2400 m (altitude 1), 2400 – 2700 m (altitude 2), 2700 – 3000 m (altitude 3), et de 3000 m et plus (altitude 4). Nous avons mené des collectes de manière alternée et continue entre ces strates. Tous les insectes ont été capturés, mais nous nous sommes réservés à conserver uniquement les abeilles sauvages, les abeilles domestiques et les syrphes. Pendant cette période, nous avons collecté 912 spécimens d'abeilles et 230 syrphes. Deux méthodes de collecte ont été utilisées :

➤ Une méthode active :

La méthode consistait à collecter les abeilles à l'aide d'un filet fauchoir dans des endroits accessibles et partiellement ouverts. Pour ce faire, nous parcourions les lisières et les zones ouvertes des différents sites d'étude afin de collecter les spécimens en vol, sur la végétation, et en particulier sur les fleurs. Après chaque capture sur une plante, nous prélevions également directement les espèces végétales sur lesquelles les insectes avaient effectué des visites florales. Cette méthode exigeait une observation minutieuse pour recueillir les espèces les plus petites. Les récoltes se faisaient le matin et l'après-midi en fonction des variations des conditions climatiques. Pour éviter tout biais dans la collecte, nous avons effectué des captures à raison d'1 heure et 30 minutes chaque matin et chaque après-midi, soit de 8h30 à 10h et de 15h30 à 17h sur chaque site. Cependant, il ne se passait pas deux jours consécutifs sans qu'il pleuve, ce qui perturbe indéniablement les mouvements des insectes et des collecteurs. Plus une espèce végétale est en floraison, plus il y a de visites d'abeilles, ce qui augmente les chances de capture (Popic et al., 2013). Pour capitaliser sur cette notion, nos différentes captures se sont réalisées lorsque la plupart des plantes étaient en pleine floraison. Les images des captures actives sont présentées ci-dessous.



Méthode de collecte active par capture au filet dans les milieux ouverts au sein de la montagne

Figure 11. Pièges actives de collectes des données

➤ Une méthode passive

La méthode passive consistait à installer des pièges à insectes le long d'un transect linéaire en fonction de la variation du gradient d'altitude du mont Kahuzi. En fonction de la variation de la végétation dès la base du mont Kahuzi jusqu'au sommet, le dispositif d'installation des pièges a varié. Du pied du mont situé à 2158m jusqu'au premier sommet à 2700m, les pièges ont été installés le long du sentier traversant le mont et de la route qui s'en approche. De plus, certains pièges ont également été installés dans des endroits faiblement couverts en raison de la végétation arborée. Au-delà de cette altitude, des transects linéaires ont été réalisés en combinaison avec des méthodes purement aléatoires pour l'installation des pièges. Les coordonnées géographiques ont été relevées aux points de collecte à l'aide d'un GPS.

Pour la collecte, nous avons utilisé :

- Les coupelles à coloration jaune fluorescente (« pan traps »).

Ce choix a été motivé par leur attractivité envers les abeilles sauvages et autres pollinisateurs dans les écosystèmes tropicaux, ce qui demeure un facteur crucial pour la capture des insectes (Leong & Thorp, 1999; Westphal et al., 2008). Les coupelles (« pan traps ») sont des assiettes profondes en plastique blanc, peintes manuellement et artisanalement avec une bombe aérosol de peinture jaune, et elles sont remplies d'eau savonnée avant d'être installées sur le site, généralement à même le sol lorsque la végétation n'est pas trop haute ou trop dense, ainsi que sur les pierres situées à des altitudes élevées au milieu de la végétation arbustive (Figure 12). Ces pièges ont été exposés et suivies sur chaque site pendant 48 à 96 heures le long de transects linéaires avec des espacements de 15, 35, 55 et 100 mètres.

- Les blue vane traps, également appelés pièges à ailettes de type américain.

Ils se composent d'un pot en plastique transparent sur lequel est monté un dispositif de couleur bleue formant une structure semblable à une fleur. Ces pièges étaient souvent attachés aux branches d'arbres ou d'arbustes à travers les ailettes verticales contenant des trous d'attache dans

la partie supérieure (Gibbs et al., 2017). Dans le cadre de notre étude, ils ont été fixés à l'aide de cordes en nylon sur les branches des arbres, à une hauteur de 1 à 2 mètres, et ont été placés à distance des coupelles colorées (pan traps) (Figure 12). Sur chaque site, six blue vane traps ont été installés, espacés les uns des autres. Ils étaient régulièrement surveillés en même temps que les pan traps (Joshi et al., 2015).

La combinaison des données provenant de ces deux méthodes et de trois pratiques différentes nous a permis de déterminer et de caractériser l'abondance, la richesse spécifique, la diversité fonctionnelle et spécifique des abeilles sauvages sur différentes strates végétales du mont Kahuzi. Cette combinaison permet également d'éviter les biais associés à chacune de ces méthodes (Geroff et al., 2014; Westphal et al., 2008).



(a)

Capture par coupelle colorée « pane trap » déposée au sol ou sur les pierres et récupération des spécimens capturés.



(b)

Capture par blue vane traps suspendus sur les arbres à des hauteurs variées entre 1-2m dans les endroits dégagés.

Figure 12. Les pièges passifs de collecte des données : (a) pan traps, (b) blue vane traps

2. Conservation des échantillons

Les spécimens récoltés ont été conservés dans de l'éthanol à 70% afin d'éviter leur dégradation avant des manipulations approfondies et leur épingleage. Cette méthode a été privilégiée en raison de la difficulté d'acheminer directement les échantillons des sites montagneux forestiers vers le laboratoire, où ils auraient pu être immédiatement placés dans un congélateur. Les spécimens ont donc été directement prélevés des pan traps ou des blue vane traps, puis placés dans des flacons qui, par la suite, ont été remplis d'éthanol. Cette même méthode a également

été appliquée aux spécimens récoltés au moyen des filets pour les mêmes raisons. Chaque flacon a été étiqueté avec indication de la date, le type de piège et la strate où la capture a eu lieu.

3. Préparation des échantillons, épinglage et étiquetage

Les spécimens ont tout d'abord été lavés à l'aide d'un bain à ultrasons contenant de l'eau savonneuse. Cette opération dure trois minutes au cours desquelles les insectes, plongés dans l'eau, sont agités sous l'effet des vibrations émises par l'appareil afin de déloger toutes les impuretés qui collaient à leur corps. Après cette étape, les insectes ont été rincés à l'eau claire avant d'être séchés. Ce dernier processus était réalisé à l'aide d'un sèche-cheveux, offrant la possibilité de contrôler la température pour un séchage optimal. Les insectes issus de cette opération ont ensuite été immédiatement étalés sur des plaques en polystyrène à l'aide d'épingles entomologiques. Toutefois, une séparation des abeilles d'autres arthropodes a été effectuée à l'aide d'une clé dichotomique Abc taxa des abeilles de l'Afrique subsaharienne (Eardley et al. 2010). Cette étape visait à faciliter l'observation des différentes parties de l'insecte pour une identification plus précise. Ainsi, les pattes antérieures ont été étirées vers l'avant, les pattes latérales repliées étroitement, et les pattes postérieures orientées vers l'arrière. Les antennes ont été élevées et dirigées vers l'avant, tandis que les ailes ont été séparées du corps et maintenues verticalement ou à plat. Les individus étalés ont ensuite été séchés sur des plaques en polystyrène pendant sept jours avant de recevoir un code correspondant à leurs caractéristiques. Au laboratoire, un étiquetage méticuleux a été effectué, associant chaque individu à des informations spécifiques. Ainsi, les étiquettes contenaient des informations telles que le pays, le lieu de collecte, la date de collecte, les coordonnées GPS et le nom du collecteur.

La figure 13. Montre un exemple d'étiquetage réalisé au Laboratoire Agroecology lab de l'ULB.

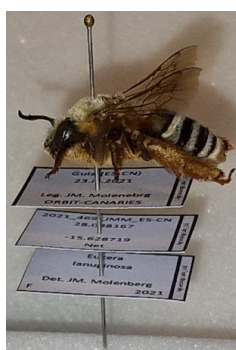


Figure 13. Exemple d'étiquetage des spécimens pour une bonne conservation

4. Identification

Après l'étape d'épingleage et d'étiquetage, nous avons procédé à une identification jusqu'au niveau du genre pour les abeilles et à l'espèce pour les syrphes étant donné que le genre est la plus petite unité commune d'identification. Cela est dû au fait que nous n'avions pas la possibilité de solliciter un spécialiste des abeilles de l'Afrique subsaharienne capable de procéder à l'identification des espèces voire des taxons encore non-décrits. Nous avons utilisé une clé d'identification générale (Michener et al., 2007) ainsi qu'une clé spécifique aux abeilles sauvages d'Afrique (C. Eardley et al., 2010). Cette étape a été réalisée par mon promoteur, Prof. Nicolas Vereecken, et d'Oumayma Ihsane qui est une doctorante du laboratoire d'Agroecology lab. Concernant les syrphes, nous sommes allés jusqu'à l'identification de l'espèce car cette opération a été réalisée par le Professeur Kurt Jordaens (MRAC Tervuren) qui est spécialiste des syrphes de l'Afrique centrale.

5. Analyses de la structure des communautés

Pour ce faire, au cours de cette étude, nous avons déterminé la diversité alpha (α) pour chaque site et la diversité bêta (β) entre les sites. Les spécimens collectés ont été encodés dans un tableau croisé sous Excel, où nous avons attribué un numéro, une référence et une localisation de site à chaque spécimen. Une matrice de présence et d'absence a été construite à l'aide du logiciel R, attribuant une valeur de 1 en cas de présence de l'espèce sur le site, et de 0 en cas d'absence. En croisant les différentes données en utilisant les indices de Simpson, Shannon et Piélou, nous avons réussi à mettre en évidence les relations entre les différents genres ou espèces et les sites en fonction de l'altitude.

➤ Indices écologiques de composition

La détermination de la diversité est passée par l'évaluation de l'abondance et de la richesse générique ou spécifique des espèces.

- Abondance relative

Évoque le rapport entre le nombre total d'une espèce ou d'un taxon par rapport à l'effectif total des espèces ou des taxons sur un site (Boulinier et al., 1998). Il se calcule de la manière suivante :

$$A. R(\%) = ni * \frac{100}{N}$$

Où *ni* représente le nombre d'individus de l'espèce ou taxon cible et *N* représente le nombre total d'individus sur le site.

- Richesse générique/spécifique

Elle ne représente rien d'autre que l'ensemble des genres ou espèces constituant une communauté cible et présents sur un site pendant une période donnée au cours d'une étude (Boulinier et al., 1998).

Nous avons comparé l'abondance du nombre des genres d'abeilles et des espèces des syrphes récoltés sur nos différentes strates avec la richesse générique et spécifique de ces sites. Pour caractériser qualitativement la présence de tel ou tel genre ou espèce sur les différents sites, nous avons construit des cartes de chaleur ou d'accumulation.

➤ **Indices écologiques de structure**

Une étude de similarité a été réalisée pour comprendre la variation entre les genres d'abeilles et les espèces des syrphes en fonction de l'altitude. Pour ce faire, nous avons utilisé l'indice de Sørensen, qui évalue la similarité entre espèces ou taxons. Nous avons également étudié le rang d'abondance afin de saisir la représentativité des genres ou espèces les plus dominants dans les différentes strates. Nous avons mobilisé et utiliser différents autres indices de diversité pour comprendre la structure des populations d'abeilles et des syrphes.

➤ **Diversité Alpha et indices associés**

- ***L'indice de Simpson (S)*** (Simpson 1949) :

Cet indice permet d'établir la probabilité que deux individus choisis aléatoirement appartiennent à deux espèces différentes. Pour calculer cet indice, il est nécessaire de disposer de l'abondance relative pour chaque espèce. Ainsi, il apparaît que l'espèce présentant une forte abondance semble influencer le calcul de cet indice. La valeur de cet indice varie entre 0 et 1. Plus la valeur se rapproche de 1, plus cela indique que le site est très diversifié, tandis que l'inverse indique le contraire (Mouillot & Leprêtre, 1999).

$$C = 1 - \sum_{i=1}^{i=s} p_i^2$$

➤ ***L'indice de Shannon (H)***

Utilisé dans la même optique que l'indice de Simpson. Cependant, les deux se différencient par le fait que pour Simpson, l'abondance relative des espèces est comprise entre 0 et 1, tandis que pour Shannon, elle varie entre 0 et log S. Cet indice est une expression mathématique de la combinaison entre l'abondance relative et la richesse spécifique. Il permet ainsi de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité au fil du temps (Mouillot & Leprêtre, 1999).

$$H = - \sum_{i=1}^{i=s} p_i \log_2 p_i$$

Avec p_i l'abondance relative : n_i/N

➤ **L'indice de Piélou (*R*)**

Cet indice est utilisé pour évaluer l'équitabilité des espèces au sein de la communauté d'abeilles (Mouillot & Leprêtre, 1999). Il constitue le rapport entre la diversité effective de la communauté et la diversité théorique. Sa valeur varie de 0 à 1. Plus elle tend vers zéro, c'est-à-dire qu'une espèce semble être plus abondante que les autres. Plus elle tend vers 1, c'est-à-dire que toutes les espèces ont tendance à avoir une abondance relative similaire.

$$R = \frac{H}{\log_2 S}$$

Avec *H* comme indice de Shannon et *S* comme richesse spécifique.

➤ **Diversité beta et indices associés**

Nous avons ainsi déterminé la diversité bêta pour comprendre comment les communautés des espèces des syrphes et des genres d'abeilles varient en fonction de la variation du gradient d'altitude.

- **Indice de Sorensen**

Cet indice est utilisé pour évaluer la similarité ou la dissimilarité entre les espèces (Dent & Joseph Wright, 2009; Legendre, 2014). La dissimilarité de Sorensen est présentée de la manière suivante :

$$\beta_{sor} = \beta_{sim} + \beta_{nes}$$

Avec β_{sim} étant la composante de renouvellement "turnover" et β_{nes} étant la composante de l'emboîtement "nestedness". Les valeurs varient également entre 0 et 1, ayant comme interprétation que 0 signifie que toutes les espèces n'ont pas de différences et sont identiques, tandis que 1 signifie que toutes les espèces sont différentes.

➤ **Diversité de composition entre les sites**

À l'issue de ce travail, nous avons comparé les différentes strates du mont Kahuzi en termes de diversité en espèces afin de les classer en fonction de leur ressemblance. Le groupement des sites d'altitudes en fonction de leur ressemblance en termes des genres d'abeilles ou espèces des syrphes a été fait à travers une classification hiérarchique. Pour ce faire, nous avons construit un dendrogramme en nous basant sur une matrice de dissimilarité. Cependant, nous avons utilisé et testé des méthodes standards pour établir la classification de nos sites d'altitude en fonction de la similarité et de la dissimilarité en termes de richesse générique ou spécifique.

6. Analyses et tests statistiques

Différentes analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 4.3. Nous avons utilisé diverses fonctions et packages tirés du travail de fin d'étude de Victor Eklund en 2019,

de l'Agroecology Lab (ULB), ainsi que des workshops animés par le Prof. Nicolas Vereecken de l'ULB. Grâce à ces analyses, nous avons évalué l'échantillonnage en observant la courbe d'accumulation. Pour ce faire, nous avons utilisé la fonction `specaccum()` du package "vegan" (Oksanen et al., 2019). De plus, nous avons employé un indicateur non paramétrique, le Chao1, pour évaluer la différence entre les espèces ou genres observés et ceux supposés pouvant exister (extrapolées). Pour étudier l'abondance et la richesse générique ou spécifique à différentes altitudes, nous avons construit des cartes de chaleur à l'aide de la fonction `pheatmap()` des packages "graphics" (R Core Team, 2019) et (Kolde, 2019).

Nous avons réalisé une analyse de similarité entre les quatre altitudes. Pour ce faire, nous avons appliqué un test ANOSIM, qui permet d'évaluer s'il existe des différences d'espèces ou de genres entre les groupes. La fonction `anosim()` du package "vegan" a été utilisée (Oksanen et al., 2019). De plus, nous avons créé un diagramme de Venn reprenant les genres et espèces communs à l'aide de la fonction `venn.diagram()` du package "VennDiagram" (Chen, 2018).

Pour déterminer le rang d'abondance de chaque genre ou espèce, nous avons utilisé la fonction `rankabundance()` du package "BiodiversityR" (Kindt and Coe, 2005). Afin de saisir la variation de l'abondance et de la richesse générique ou spécifique parmi les différentes altitudes, nous avons calculé différents indices, notamment ceux de Simpson, Shannon et Piélu, grâce à la fonction `diversitycomp()` du package "vegan" (Oksanen et al., 2019).

En ce qui concerne la diversité bêta, nous avons appliqué l'indice de Sørensen à l'aide de la fonction `beta.multi()` du package "BAT" (Cardoso et al., 2018) et `betapart.core()` du package "betapart" (Baselga et al., 2018).

Enfin, nous avons évalué la diversité de la composition des sites en construisant des dendrogrammes à partir des données de dissimilarité de Bray-Curtis. Ces derniers ont été générés à l'aide de la fonction `hclust()` du package "vegan" (Oksanen et al., 2019). Aussi, nous avons effectué un PCA pour comprendre quelle espèce ou genre différencie une altitude par rapport à l'autre. Une matrice visuelle de dissimilarité a été en plus construite et une ordination NMDS a été faite.

3.2.2. Déterminer la flore caractéristique qui influence la présence des différentes espèces d'abeilles ou des syrphes à différentes strates.

Pour ce faire, nous avons utilisé deux méthodes différentes pour comprendre cette interaction plante-pollinisateur. La première méthode consistait à cibler des zones accessibles, ayant une superficie moyenne de 0,1 hectare sur chacune des strates, ainsi que sur les abords de la route

et les lisières de la basse altitude du mont Kahuzi. Ensuite, les échantillons des plantes visitées par les abeilles et les syrphes ont été collectés en suivant un transect aléatoire (Pauly et al., 2015). Une récolte de la fleur visitée et la constitution d'un herbier ont également été réalisées. Pendant les périodes sans pluie, les observations des mouvements des abeilles sur les plantes se sont effectuées au même moment que la collecte et le suivi des pièges.

Pour saisir les interactions entre la plante et les pollinisateurs, nous nous sommes servis d'un modèle standard DWC, dont le principe est le suivant : les données collectées pour justifier une interaction doivent être trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables (« FAIR » pour Findability, Accessibility, Interoperability, and Reusability, voir <https://www.nature.com/articles/sdata201618>). Pour déterminer cette interaction entre la plante et le pollinisateur, ce modèle stipule de regarder comment s'effectue la collecte du pollen ou du nectar par les pollinisateurs, le lieu de collecte, l'heure de la collecte et l'observateur.

Cependant, pour caractériser le type d'interaction entre les plantes et les pollinisateurs, il faut faire usage du guide de référence rapide. Le guide de référence qui est d'usage et qui crée un consensus à grande échelle entre les chercheurs est Darwin Core. Il permet de documenter les interactions biologiques en uniformisant les termes d'usage entre les pollinisateurs et les plantes. Nous avons utilisé la version actualisée du DWC, *dwc resource relationship*, pour relier les occurrences, les taxons et les spécimens. Ce Guide de référence rapide sur le vocabulaire des interactions plantes-pollinisateurs est consultable sur <https://ppi.rebipp.org.br/terms/>.

Ainsi, pour étudier cette interaction, les éléments des plantes à prendre en compte sont les suivants : les familles et espèces des plantes butinées, le type de végétation caractéristique du site, la couleur de la fleur, le sexe de la fleur, la partie du corps qui collecte du nectar chez l'abeille, et la partie de la fleur qui a été en contact avec l'abeille. Cependant, dans le cadre de cette étude, nous avons pris en compte uniquement les familles et espèces des plantes butinées, le type de végétation caractéristique du site, ainsi que la couleur de la fleur.

Pour l'identification des plantes, une fois l'herbier constitué, celle-ci a été réalisée en comparant les plantes collectées avec les données des espèces existantes. Nous avons également consulté l'ouvrage « Illustrated Field Guide to the Plants of Nyungwe National Park, Rwanda » (E. Fischer et Dorothée K., 2008) pour la description des espèces identifiées avec l'expertise du Professeur BALEZI Zihahirwa, spécialiste dans ce domaine.

Les abeilles sauvages et les syrphes entretiennent une relation de mutualisme avec les plantes, où ils tirent des ressources utiles pour leur survie, tandis que les plantes bénéficient de l'aide à

la reproduction. Cette interaction mutualiste a permis la constitution d'un réseau d'interactions bipartites entre les abeilles et les plantes. Ce réseau est très complexe et parfois asymétrique entre les pollinisateurs et les végétaux en fonction de l'intensité du degré d'interaction (Bascompte et al., 2006). La définition de ces interactions entre chaque genre d'abeilles, espèce des syrphes et chaque espèce de plante aurait nécessité un travail fastidieux. C'est dans ce contexte que nous nous sommes limités à identifier ces interactions de manière superficielle, sans entrer dans les détails.

3.2.3. Evaluer le degré de connaissance et déterminer les services écosystémiques fournis par les abeilles sauvages au sein des populations locales et riveraines du PNKB.

Cette évaluation a porté sur les différentes connaissances populaires (profanes) et scientifiques incarnées par les communautés urbaines du Sud-Kivu et les peuples autochtones pygmées concernant les services écosystémiques produits par les abeilles sauvages au sein de leurs communautés.

1. Caractéristiques des enquêtes

Le tableau ci-dessous repris, présente la structure des âges, des niveaux d'étude et du genre de nos enquêtés.

Tableau 1. Structure des enquêtés

Les caractéristiques spécifiques cibles pour comprendre nos enquêtés ont été le genre, l'âge, et le niveau d'étude qui sont repris dans le tableau ci-dessous.

		Bukavu (ville)		Parc National Kahuzi Biega	
Variables		Effectif	Pourcentage	Effectif	Pourcentage
Genre	Féminin	201	44,87	53	32,72
	Masculin	247	55,13	109	67,28
	Total	448	100	162	100
Age	18-20	11	2,455		
	21-30	252	56,25	42	25,93
	31-40	109	24,33	57	35,19
	41-50	40	8,929	30	18,52
	51-60	28	6,25	17	10,49
	61-70	6	1,339	16	9,88
	71-80	1	0,223		
	81+	1	0,223		
	Total	448	100	162	100
Etudes	Master	28	6,25	Néant	Néant
	Licencié	153	34,152	Néant	Néant
	Gradué	155	34,598	Néant	Néant

Diplôme	83	18,527	2	1,23
Secondaire	Néant	Néant	2	1,23
Primaire	18	4,018	54	33,33
Formation extra- scolaire	11	2,455	13	8,02
Aucun	Néant	Néant	91	56,17
Total	448	100	162	100

Les enquêtes réalisées aux alentours du PNKB, dans le campement des PA et dans la ville de Bukavu, ont davantage impliqué les hommes que les femmes dont la majorité d'entre eux étant âgée de 20 à 40 ans. Très peu de personnes âgées de 60 à 80 ans ont été interrogées. Une forte proportion de personnes ayant un diplôme de licence ou un grade universitaire a été enquêtée en ville, contrairement aux PA, dont la plupart n'ont pas fait d'études supérieures et possèdent un niveau primaire ou sont sans formation quelconque.

Des approches méthodologiques à la fois qualitatives et quantitatives ont été utilisées. Des enquêtes exhaustives basées sur des entretiens et l'utilisation de questionnaires ont été menées auprès de ces communautés.

2. Conduite des enquêtes

Un questionnaire à double volet, dont l'un comprend les questions concernant le degré de connaissance des abeilles sauvages et l'autre les services écosystémiques, a été soumis à l'enquêté (e) en fonction de son milieu de vie.

Pour évaluer le niveau de connaissance des abeilles sauvages au sein de la population, nous avons utilisé la méthode employée par Wilson et al., 2017. Les informations recueillies visaient à déterminer le degré d'importance que l'enquêté(e) accorde aux abeilles. Une échelle d'appréciation lui était proposée : Plus important (1), moins important (2), ni plus important ni moins important (3), Important (4) ou Critiquable (5).

Ensuite, nous avons exploré sa connaissance de la diversité des espèces d'abeilles. Pour ce faire, il s'agissait de lui demander d'estimer, de manière arbitraire, combien d'espèces d'abeilles il pense qu'il existe dans toute la province du Sud-Kivu.

En outre, une plage de collage sur laquelle ont été confectionnées une dizaine d'espèces d'insectes, comprenant les abeilles et les non-abeilles, toutes d'origine Est africaine, a été présentée aux enquêtés pour les distinguer (Fig. 14).

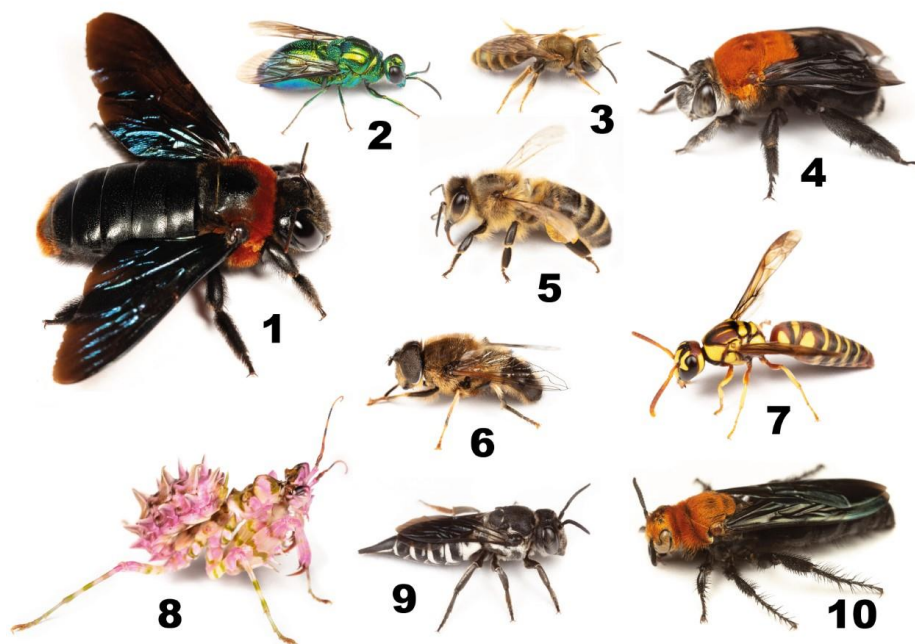


Figure 14. Plage d'images des abeilles et autres insectes présentée aux enquêtés (© NJ Vereecken, Agroecology Lab, ULB)

Une question compréhensive sur les motivations du choix entre ces deux groupes a été posée. C'est-à-dire comment ils reconnaissent et différencient ces abeilles, comment ils les manipulent, comment ils en parlent entre eux, et quelles catégories d'abeilles sont utilisées et pourquoi. Enfin, nous demandions à l'enquêté de nous donner son niveau d'instruction (primaire, secondaire, gradué universitaire, licencié, master, docteur, aucun) et de s'auto-évaluer par rapport à son niveau de connaissance des abeilles. Les échelles d'appréciation lui ont été proposées : aucune connaissance, pas trop de connaissance, quelques connaissances, bonne connaissance. Sur la base de la réponse donnée à la question principale sur l'importance des abeilles, nous demandions à l'enquêté de nous indiquer à quel service écosystémique il associe cette importance.

Selon (Martín-López et al., 2012; Matias et al., 2017a), les services écosystémiques varient en fonction des écosystèmes. Les outils à mobiliser pour leur évaluation varient aussi. Sur la base des connaissances constatées auprès des riverains du PNKB en rapport avec les abeilles sauvages, nous amenions notre enquête à pouvoir donner les services écosystémiques tirés de ces dernières.

Afin d'évaluer les services écosystémiques fournis par les abeilles du PNKB à la population riveraine de ce parc, nous avons utilisé la méthode reprise par Lhoest et al., 2019 & Matias et al., 2017. Cette méthode consiste à adresser un questionnaire reprenant en détail les différents

services écosystémiques produits par les abeilles, notamment la fourniture de nourriture, de médicaments, leur rôle dans la pollinisation, ainsi que leur utilisation dans la vie religieuse, sociale et culturelle. Ces services procurent des avantages matériels, sociaux et culturels, et peuvent être échangés contre des revenus. Les interactions entre les abeilles sauvages et les humains ont également été étudiées. Matias et al., 2017 ont identifié les voies par lesquelles ces interactions sont établies : pendant la récolte des produits apicoles, l'apiculture, l'utilisation des produits apicoles, le commerce du miel, la chasse aux abeilles, etc. Ensuite, nous avons tenté de comprendre les différents liens existants entre plusieurs facteurs personnels indépendants de la population et la connaissance, l'exploitation des abeilles. Les différents services ont été proposés aux enquêtés, qui devaient désigner les services écosystémiques qu'ils estimaient présents. Nous les encourageons à faire un petit commentaire sur chaque service désigné afin de mieux appréhender l'interaction créée par ce dernier. Pour les populations urbaines, nous leur avons présenté les différents services écosystémiques améliorés par les abeilles en agriculture afin d'en évaluer l'importance. (de Groot et al., 2002), classent ces services en différentes catégories, notamment ceux de production, culturels, de régulation et d'approvisionnement.

Ci-dessous les principaux points qui ont fait l'objet du questionnaire en fonction des différents services écosystémiques :

A. Question ouverte sur les SE

- Quels bénéfices tirez-vous du PNKB en rapport avec les abeilles (sauvages), comment et quels sont ces abeilles ?

B. Questions directes sur les SE (questions proposées à l'enquête)

➤ SE Provision	Miel	Quelle quantité produite pour une saison ? Quelle Fréquence de récolte dans la forêt ? Quelles espèces d'abeilles sauvages (décrivez nous à quoi elles ressemblent)
	Propolis	
	Gelée royal	
	Cire	
	Cérumen	
	Autres produits	
	Médicament traditionnel	Il y a-t-il des traitements que vous faites avec des produits issus des abeilles ? Lesquelles et comment ?
➤ SE Régulation	Pollinisation	Constatez-vous la présence d'abeilles dans vos cultures ? Surtout dans quelles cultures ? Avez-vous

		observé des changements dans ces cultures avec la présence de ces abeilles ? Lesquels ? Quand ?
➤ SE Culturel	Expérience spirituelle	Il y a-t-il des expériences rituelles ou coutumières que vous réalisez au travers les abeilles ou les produits des abeilles ? Comment ?

Une question sur ce que les enquêtés pensent être amélioré par les abeilles leur a été adressée. Cette question a concerné la population urbaine, à qui les questions portant sur les services écosystémiques retirés du PNKB ne leur ont pas été adressées. Ainsi, une série de propositions de réponses leur a été mise à disposition, avec la possibilité de faire plusieurs choix. Ces propositions portaient sur les améliorations concernant : le rendement des cultures, la qualité nutritionnelle, la couleur des fruits, la survie des plantes, la reproduction des plantes, la diversification des plantes, la fertilité des sols, la protection des sols, le cycle de l'eau, le paysage.

Ces enquêtes ont concerné une vaste couche de la population allant des communautés locales vivant aux alentours du PNKB, notamment les peuples autochtones pygmées BATWA, aux Bantous vivant dans le milieu urbain, dont la ville de Bukavu. Nous avons appliqué deux méthodes d'échantillonnage : une méthode complètement aléatoire simple pour avoir un aperçu général de la population sur les abeilles, ainsi que la méthode du focus group, qui consistait à recueillir des informations au travers des discussions au sein de petits groupes de personnes. Cette dernière méthode s'est imposée en fonction de la réalité sociale de la vie communautaire des populations pygmées dans leurs campements. Au total, 18 focus groups ont été tenus, au cours desquels les différentes questions de notre questionnaire ont été débattues. Sur base des informations reçues concernant les services écosystémiques fournis par les abeilles sauvages du PNKB, nous avons envoyé deux groupes de la population pygmée pour nous apporter des échantillons de ces espèces d'abeilles qu'ils utilisent.

Concernant les enquêtes réalisées en ville, nous avons tenu compte de la représentativité d'une large catégorie de personnes travaillant dans divers domaines de la vie. Une hétérogénéité de la population à interviewer a été davantage considérée car c'est là où réside la force des enquêtes qualitatives et quantitatives (Jean-Claude Kaufmann, 1996).

Pour déterminer la taille de l'échantillon dans les deux types de conditions, premièrement, il nous a été difficile d'obtenir des effectifs totaux de la population pygmée vivant dans les différents villages où étaient situés leurs campements. Mais aussi le mode de survie en groupe

qui nous a conduit à réaliser davantage de focus groups et à sélectionner aléatoirement quelques personnes pour tester leurs connaissances particulières. En ce qui concerne la perception au niveau urbain, nous savons que la ville de Bukavu est formée par une population variant autour de 1.190.370 habitants selon World Population Review, Demographics, maps, Graphs, <https://worldpopulationreview.com> , consulté le 30 avril 2022 et cité par (Kanani et al., 2022). Afin de réaliser notre enquête, nous nous sommes servis des marges proposées par Krejcie et Morgan, (1970), qui stipulent que pour une population supérieure à 1 000 000, la taille de l'échantillon doit être d'au minimum 384.

3. Analyses statistiques

Aussitôt ces différentes informations mentionnées ci-dessus ont été recueillies, des analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Stata. Cela avait pour but d'étudier le lien existant entre les différentes variables indépendantes, qui sont catégorielles, et la significativité de leur relation. Un test de corrélation a été employé pour déterminer s'il existe une corrélation entre les quantités de miel produites, les fréquences des récoltes et les revenus obtenus (Wilson et al., 2017).

4. Résultats

4.1. Analyse de la biodiversité

1. Estimation de la fiabilité de l'échantillonnage

En testant la taille de notre échantillon, nous avons trouvé des courbes d'accumulation tendant vers un plateau chez les abeilles ainsi que chez les syrphes. Ceci confirme que notre échantillon était de qualité par suite d'un effort important de collecte des données. La figure 15 en fait la preuve.

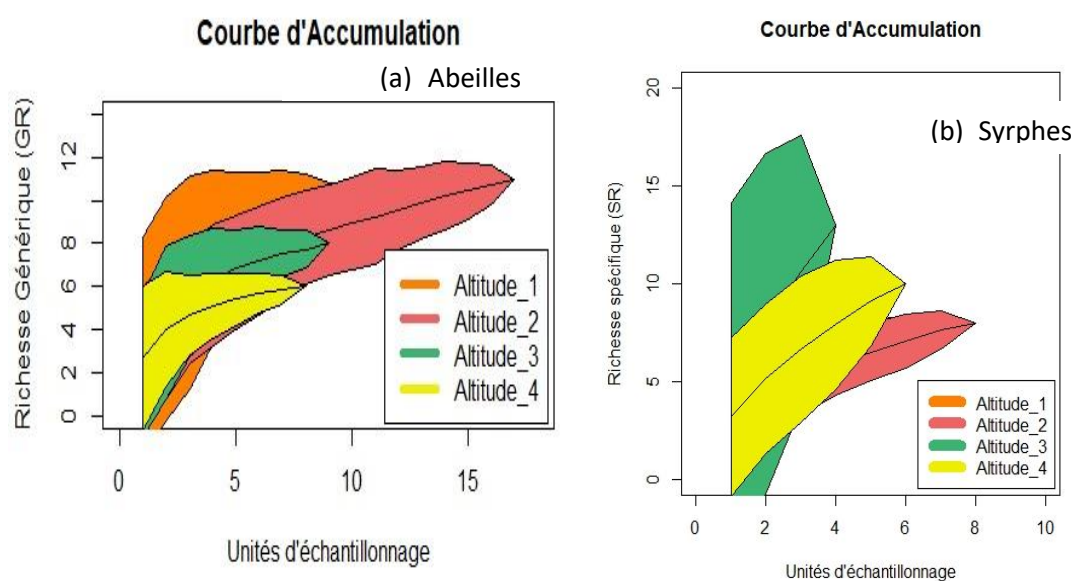


Figure 15. Courbes d'accumulations des abeilles (a) et des syrphes (b)

2. Richesse spécifique observée et extrapolée par altitude

Le tableau 2 montre que la diversité globale des abeilles observée aux quatre altitudes est bien égale et proche de celle estimée pouvant exister sur le mont Kahuzi. Aucune différence significative n'a été observée entre la richesse générique observée et celle extrapolée ($P = 0,11$). En ce qui concerne les estimations du rapport entre la richesse spécifique réelle sur celle qui est extrapolée des syrphes, aucune différence significative n'a été constatée ($P = 0,5556$). Cependant les taux des estimations de la richesse observée comparativement à la richesse extrapolée varient entre 100% et 64% pour les abeilles, témoignant un effort très considérable de collecte. Une variation allant de 100 % jusqu'à 40% pour les syrphes, démontre une caractéristique particulière dans leur distribution sur l'altitude 3 et 4 où a été enregistré une forte concentration en espèces mais faiblement abondantes.

Tableau 2. Richesse générique et spécifique extrapolée des abeilles et Syrphes selon l'indice de Chao1

	Abeilles					Syrphes				
	Abondance	S.obs	S.chao1	se.chao1	RG.obs/Chao1 (%)	Abondance	S.obs	S.chao1	se.chao1	RG.obs/Chao1 (%)
Altitude 1	263	10	10	0,47	100	73	8	8	0,46	100
Altitude 2	243	11	17	7,15	64,7	69	8	11	4,46	72,72
Altitude 3	215	8	8	0,46	100	54	13	15,5	3,14	83,87
Altitude 4	189	6	6	0,45	100	34	10	25	13,54	40

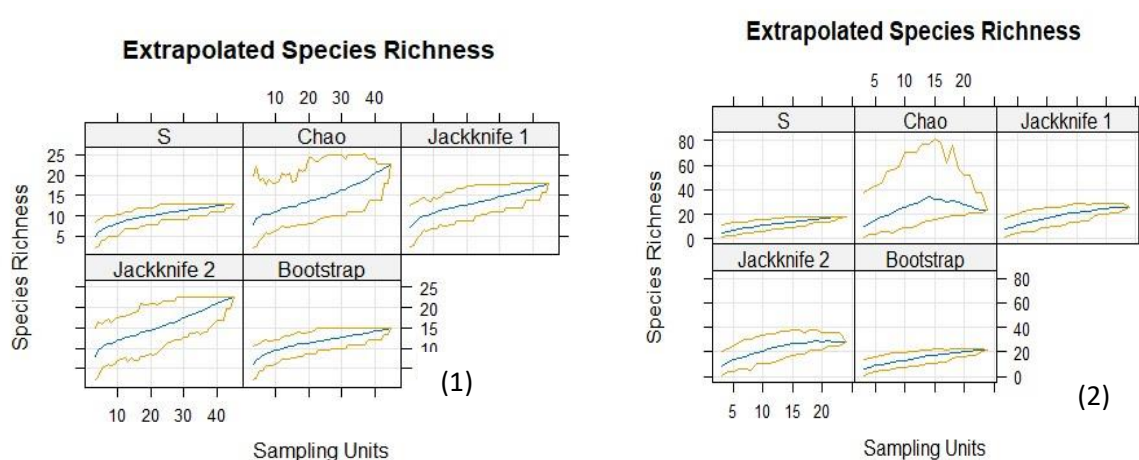


Figure 16. Courbe de la richesse générique et spécifique extrapolée des abeilles (1) et syrphes (2)

3. Rang d'abondance entre altitudes

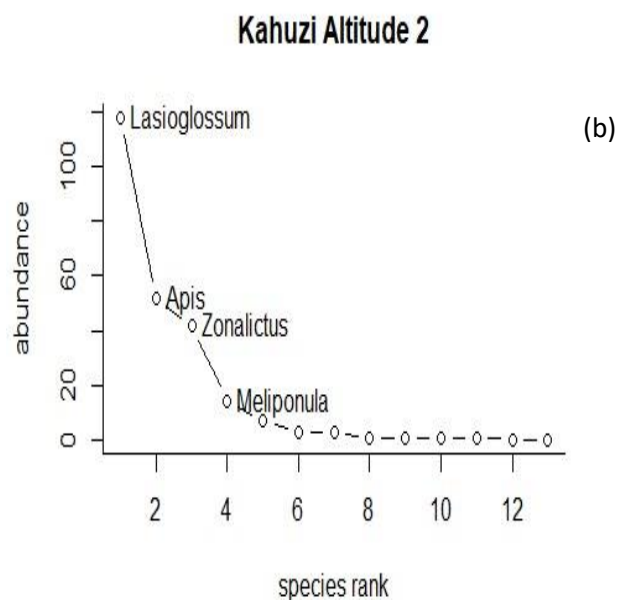
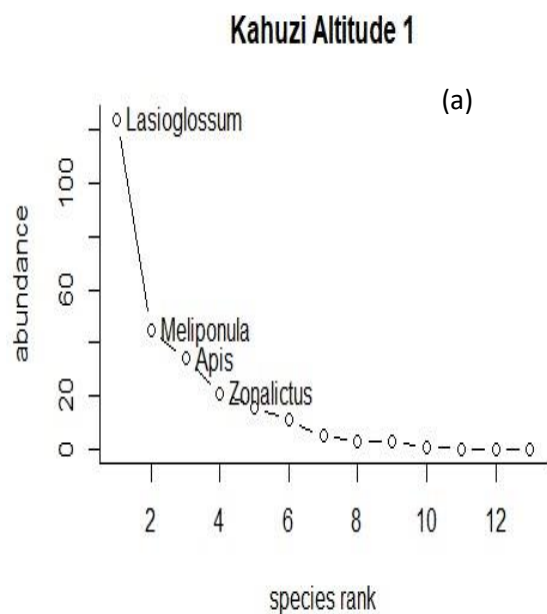
Les résultats présentés dans le tableau 3 et illustrés par la figure 17 ci-dessous montrent que le genre *Lasioglossum* est le plus dominant sur le Mont Kahuzi, avec une abondance représentant une proportion allant jusqu'à 45,3%. Avec cette domination d'environ la moitié des individus collectés, il est suivi du genre *Apis*, qui représente 24,2%, puis du genre *Zonalictus* avec 9,6%, *Meliponula* 8,9%, et *Patellapis* 5,9%. Les autres catégories, avec des proportions très faibles allant jusqu'à 0,1% ou un individu collecté, ont été identifiées. Les figures (a), (b), (c), (d) donnent une représentation de l'alternance entre les différents genres selon les sites.

Dans la catégorie des syrphes, plusieurs espèces sont présentes à différentes altitudes. L'espèce *Phytomyia melas* est abondante, représentant jusqu'à 26,5% de l'effectif total collecté. Les espèces *Asarkina sp1* et *Anasimyia sp1* suivent avec 23% et 18% chacune. Néanmoins, les espèces *Allograpta sp1*, *Asarkina sp2*, *Betasyrphus sp2*, *Eristalinus sp1*,

Phytomia aff. melasse2, *Phytomia poensis* n'étaient présentes qu'à 0,4% soit 1 individu collecté.

Tableau 3. Rang d'abondance des abeilles et des syrphes sur le mont Kahuzi

Abeilles					Syrphes				
Genres	Rang	Abondance	Proportion	Proportion cumulée	Espèces	Rang	Abondance	Proportion (%)	Proportion cumulée (%)
<i>Lasioglossum</i>	1	412	45.3	45.3	<i>Phytomia melas</i>	1	61	26.5	26.5
<i>Apis</i>	2	220	24.2	69.5	<i>Asarkina sp1</i>	2	53	23.0	49.6
<i>Zonalictus</i>	3	87	9.6	79	<i>Anasimyia sp1</i>	3	42	18.3	67.8
<i>Meliponula</i>	4	81	8.9	87.9	<i>Allograpta sp3</i>	4	21	9.1	77.0
<i>Patellapis</i>	5	54	5.9	93.8	<i>Betasyrphus sp1</i>	5	21	9.1	86.1
<i>Xylocopa</i>	6	24	2.6	96.5	<i>Anasimyia sp2</i>	6	11	4.8	90.9
<i>Amegilla</i>	7	16	1.8	98.2	<i>Allograpta sp2</i>	7	3	1.3	92.2
<i>Megachile</i>	8	9	1.0	99.2	<i>Eristalinus megametapodus</i>	8	3	1.3	93.5
<i>Dactylurina</i>	9	3	0.3	99.6	<i>Melanostoma sp1</i>	9	3	1.3	94.8
<i>Braunsapis</i>	10	1	0.1	99.7	<i>Melanostoma sp2</i>	10	2	0.9	95.7
<i>Ceratina</i>	11	1	0.1	99.8	<i>Pelloloma sp1</i>	11	2	0.9	96.5
<i>Ctenoplectra</i>	12	1	0.1	99.9	<i>Phytomia aff. melasse1</i>	12	2	0.9	97.4
<i>Pachynomia</i>	13	1	0.1	100.0	<i>Allograpta sp1</i>	13	1	0.4	97.8
					<i>Asarkina sp2</i>	14	1	0.4	98.3
					<i>Betasyrphus sp2</i>	15	1	0.4	98.7
					<i>Eristalinus sp1</i>	16	1	0.4	99.1
					<i>Phytomia aff. melasse2</i>	17	1	0.4	99.6
					<i>Phytomia poensis</i>	18	1	0.4	100.0



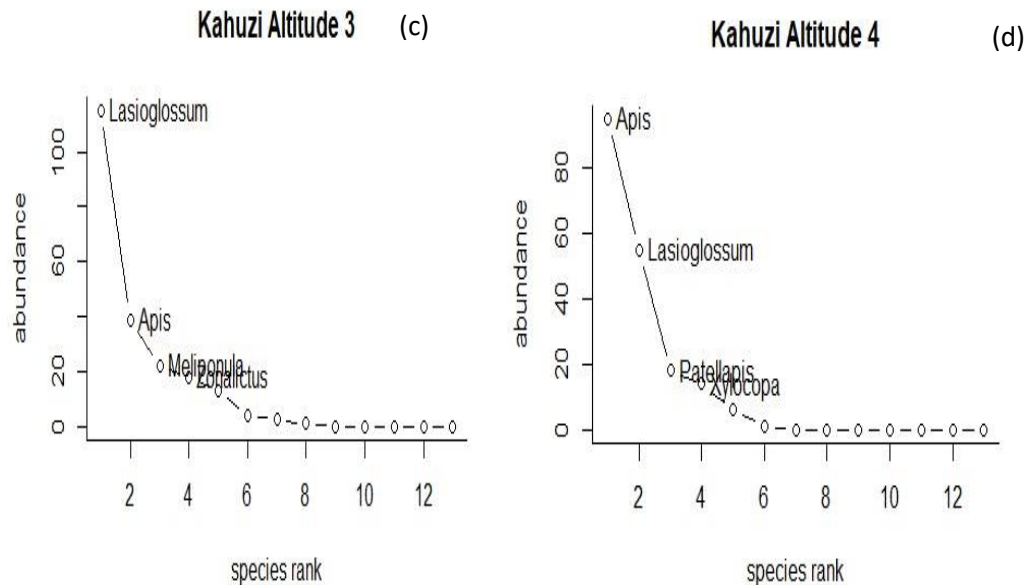


Figure 17. Distribution des abeilles sur les altitudes du mont Kahuzi (a), (b), (c), (d).

4. Carte de chaleur en fonction des altitudes

La figure 18 ci-dessous montre la variation en termes d'abondance de chacune des genres d'abeilles et des espèces des syrphes à différents niveaux d'altitude. On constate chez les abeilles que le genre *Lasioglossum* est très abondant sur les trois premiers niveaux d'altitude et reste abondant à l'altitude 4. De plus, le genre *Apis* est abondant sur les 4 niveaux, cependant, il est beaucoup plus concentré à l'altitude 4. Le genre *Meliponula* est davantage observé aux altitudes 1 et 3, tandis que le genre *Zonalictus* est concentré au niveau d'altitude 2 et réparti sur les autres niveaux.

Les syrphes se caractérisent par une forte abondance de l'espèce *Phytomyia melas*, qui est concentrée aux altitudes 1, 3 et 4, tandis que l'espèce *Asarkina sp1.* est plus concentrée à l'altitude 2. L'espèce *Anasimyia sp1* est très concentrée entre l'altitude 1 et 3.

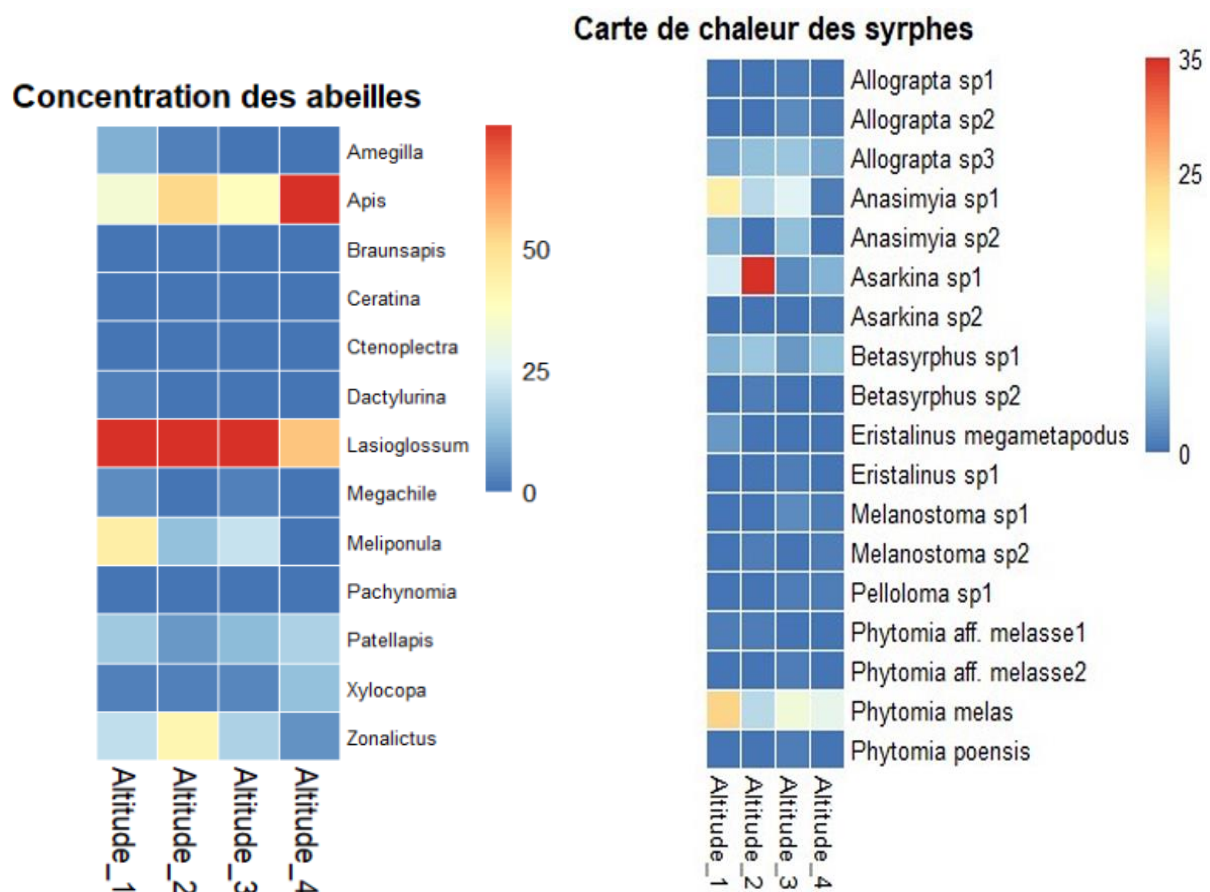


Figure 18. Cartes de chaleur de la distribution des abeilles et des syrphes

5. Diversité alpha et indices associés

Les valeurs de l'indice de Simpson, étant très proches entre les 4 strates d'altitude et tendant légèrement vers 1, prouvent qu'il existe une diversité considérable des genres d'abeilles au sein de chaque altitude. Ensuite, l'indice de Piélou montre l'existence d'une faible différence entre les abondances relatives entre les différents niveaux d'altitude.

Il ressort l'existence d'une diversité considérable entre les différentes espèces des syrphes au sein de chacune des 4 strates d'altitude du mont Kahuzi comme le montre l'indice de Simpson dont les valeurs sont proches de 1. Cependant, la répartition de ces espèces en fonction des abondances relatives montre qu'il existe une forte concentration des certaines espèces par rapport aux autres dans chacune des altitudes. L'indice de Shannon révèle que l'altitude 3 suivie de l'altitude 4 possèdent une forte concentration en diversité spécifique. Une équitabilité modérée de l'abondance relative se fait voir au sein de chaque altitude, comme l'indique l'indice de Piélou.

Tableau 4. Indices de diversité alpha et valeurs associées des abeilles et des syrphes

Abeilles							
Site	Abondance	GR	Simpson	Shannon	Piélou	Chao	ACE
Altitude 1	263	10	0,72	1,62	0,70	10	10,42
Altitude 2	243	11	0,68	1,44	0,60	17	17,42
Altitude 3	215	8	0,65	1,41	0,67	8	8,54
Altitude 4	189	6	0,64	1,26	0,70	6	7,11
Syrphes							
Altitude 1	73	8	0,77	1,72	0,82	8	8,29
Altitude 2	69	8	0,69	1,50	0,72	11	10,25
Altitude 3	54	13	0,83	2,09	0,81	15,5	19,27
Altitude 4	34	10	0,78	1,82	0,79	25	20,82

6. Diversité bêta et indices associés

La diversité des genres au sein des différentes strates d'altitudes a été évaluée grâce à l'indice de Sørensen. Il a été constaté qu'il existe une dissimilarité modérée entre les genres et les espèces se trouvant sur les différentes altitudes dans les deux cas (abeilles-syrphes). Pour les abeilles, une différence de 32% est constatée, tandis que pour les syrphes, c'est 51,17%, comme repris dans le tableau 5 ci-dessous. Ainsi, la composition en genres et en espèces entre ces différentes altitudes est partiellement différente.

Tableau 5. Indice de diversité bêta et valeurs associées des abeilles

Abeilles			
	β_{sim}	β_{nes}	β_{Sor}
Altitude 1	0,41	0,30	0,71
Altitude 2	0,57	0,19	0,76
Altitude 3	0,4	0,25	0,65
Altitude 4	0,18	0,35	0,54
Total	0,08	0,23	0,32
Syrphes			
Altitude 1	0,4594	0,1405	0,6
Altitude 2	0,509	0,1079	0,6170
Altitude 3	0,1428	0,4879	0,6307
Altitude 4	0,4333	0,2161	0,6494
Total	0,4	0,1172	0,5172

7. Recouvrement de la richesse générique des abeilles et des Syrphes

Nous avons trouvé que 6 genres d'abeilles, notamment le *Lasioglossum*, *Apis*, *Zonalictus*, *Amegilla*, *Patellapis*, et *Xylocopa*, se retrouvent essentiellement localisés sur les 4 strates d'altitude, tandis que nous constatons une distribution de 5 espèces pour les syrphes, notamment *Anasimyia sp1*, *Betasyrphus sp2*, *Allograpta sp3*, *Phytomia melas* et *Asarkina sp1*, comme cela est repris par la figure 19.

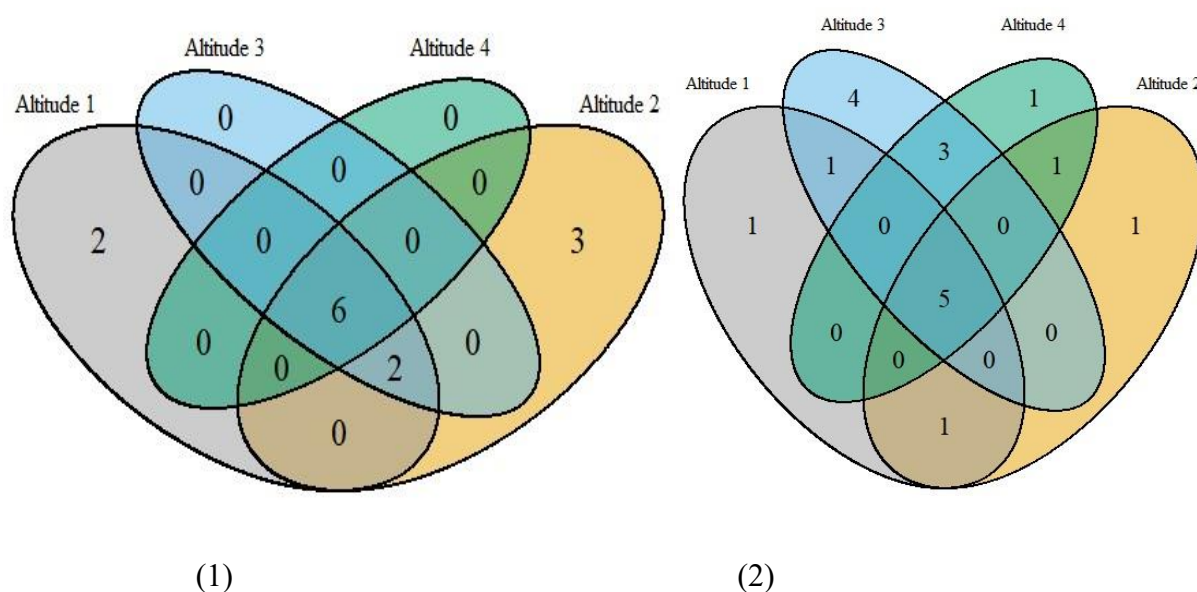
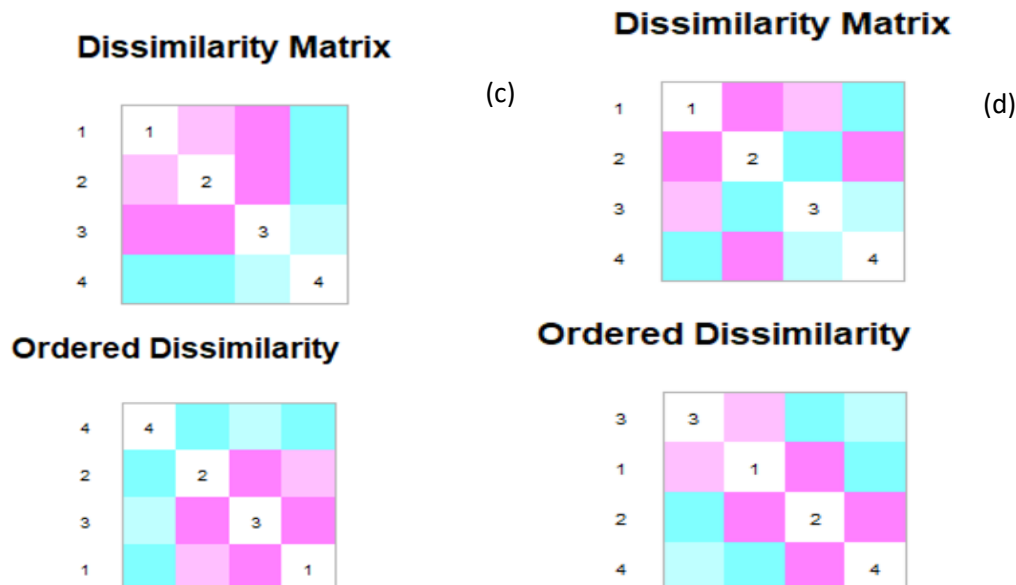
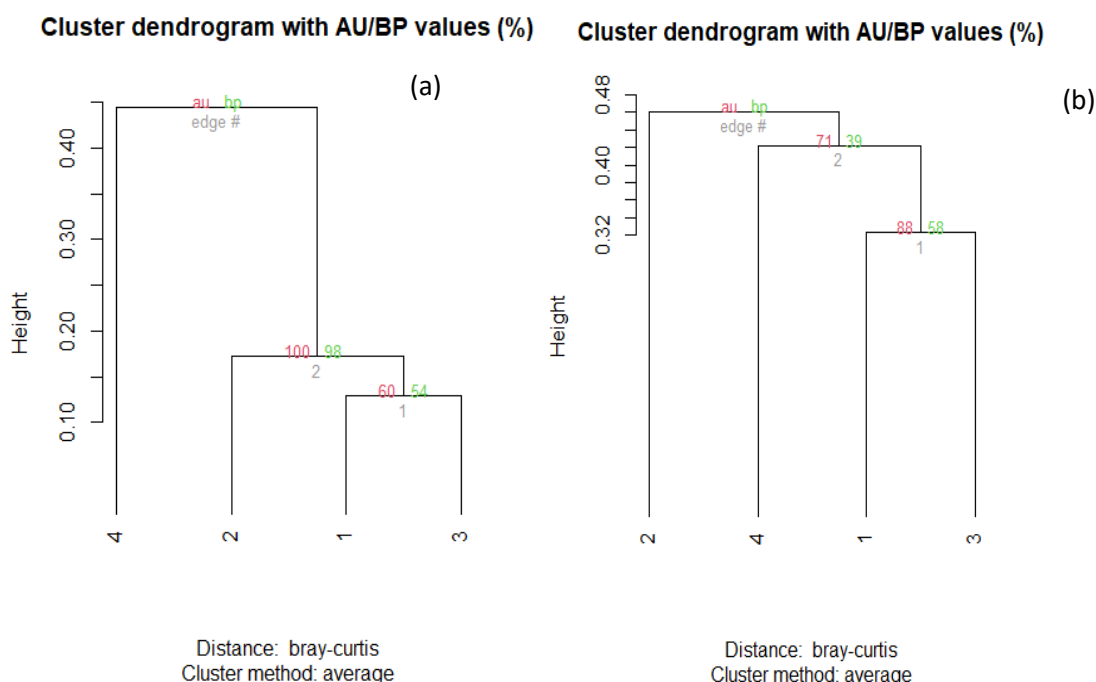


Figure 19. Diagramme de Venn de la richesse générique des abeilles (1) et des syrphes (2)

8. Classification hiérarchique des altitudes et Analyse de la dissimilarité

À travers la méthode de groupement des niveaux d'altitude selon la proximité ou la distance en termes d'abondance et de richesse générique des abeilles (figure 20 (a-c)), nous constatons que trois classes se dégagent. L'altitude 1-3 et 3-2 se rapprochent et forment deux groupes car sont faiblement distants dans la composition. L'altitude 4, demeure différente des autres et forme une classe à part. Quelle que soit cette répartition entre les différents genres des abeilles, la méthode de dissimilarité ANOSIM montre qu'il existe une différence entre les genres à toutes les altitudes, mais cette différence n'est pas significative ($R : 0,03$ et $P : 0,23$). Les croisements des couleurs repris à la figure 20c dégage le lien de cette similarité en fonction de la concentration de couleur. Plus elle est concentrée à l'intersection entre deux sites moins les sites sont distants et se rapprochent. De ce fait, nous constatons que la tendance de groupement se confirme. En identifiant les gradients qui sont distants entre eux par le NMDS (Figure 20e) trois gradients d'altitude se rapprochent et se distancient de l'altitude 4.

Concernant les syrphes, trois groupes sont formés, dont une similarité semble se dégager entre l'altitude 1-3, 1-2 et 2-4. Cependant concernant les syrphes, le test ANOSIM montre que les syrphes restent répartis entre les 4 altitudes qui présentent une dissimilarité modérée ($R : 0,16215$) et significative ($P = 0,031968$) en termes de composition. Les croisements des couleurs repris à la figure 20d dégage le lien de similarité et de dissimilarité entre les altitudes suivant que la couleur est concentrée et vive. La même tendance de classification hiérarchique se confirme. En établissant les gradients des distances (Figure 20f), nous constatons plutôt que le gradient d'altitude 1 et 2 semblent se rapprocher et le gradient 3 et 4 restent distants des autres.



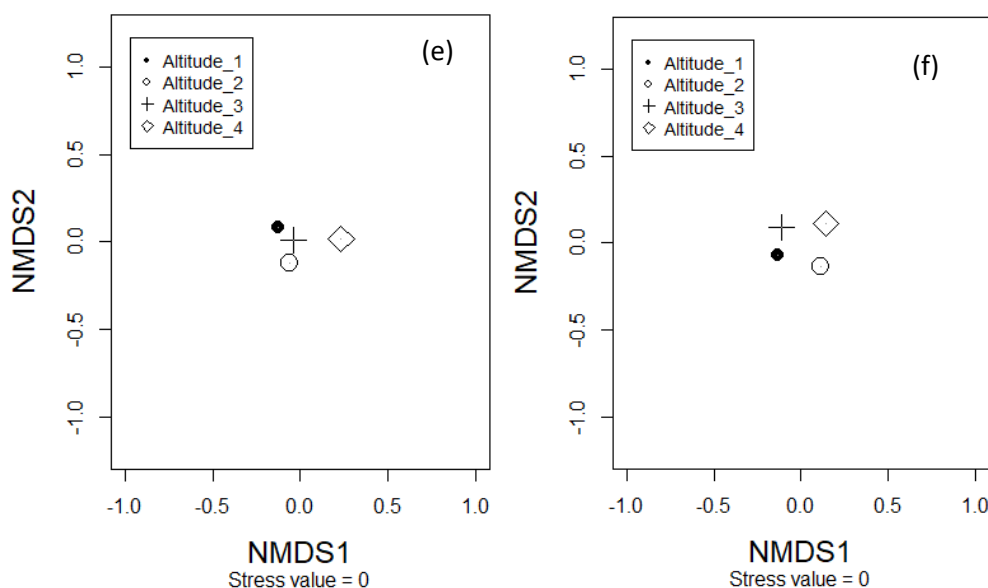


Figure 20. Classification hiérarchique (a-b), matrice de dissimilarité (c-d), ordination NMDS des altitudes en fonction de la RG/RS et l'abondance (a-c-e : Abeilles ; b-d-f : Syrphes)

9. Analyse en composante principale (ACP) entre les altitudes et les genres ou espèces.

Afin de saisir, les genres d'abeilles et les espèces des syrphes qui permettent de différencier les altitudes, nous avons effectué une ACP pour cette fin. Les genres d'abeilles les plus importants qui expliquent la variation afin de différencier les altitudes comme repris à la figure 21a sont : *Dactylurina* et *Amegilla* qui sont associés à l'altitude 1, *Meliponula* et *Zonalictus* qui sont associés à l'altitude 2 et 3, enfin le *Xylocopa* et *Patellapis* qui sont associées à l'altitude 4. Cependant, les espèces des syrphes pour différencier les altitudes et reprises à la figure 21b sont : *Anasimyia* sp 1, *Anasimyia* sp 2, associées à l'altitude 1, *Asarkina* sp1 associée à l'altitude 2, *Melograptia* sp1 associée à l'altitude 3.

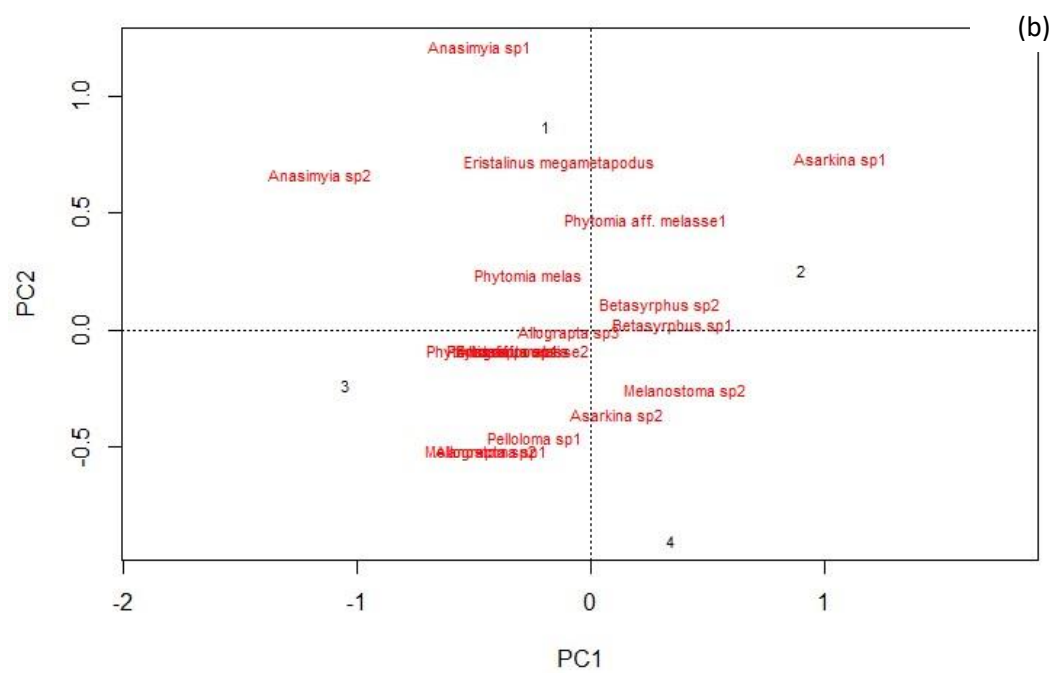
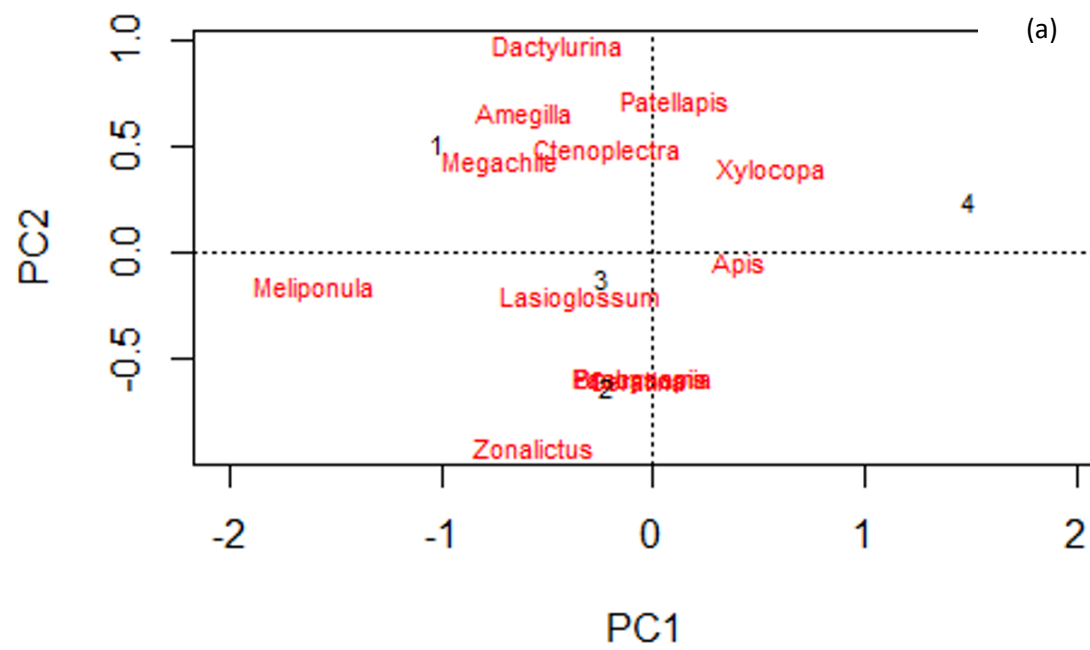


Figure 21. Analyse en composante principale des abeilles (a) et des syrphes (b) par rapport aux altitudes

4.2. Espèces végétales visitées par les abeilles sauvages

Pendant les différents travaux de collecte des abeilles sauvages, nous avons voulu comprendre l'interaction réciproque entre ces dernières et les plantes. Pour ce faire, nous avons recensé les plantes qui ont fait l'objet de visites florales par site d'altitude et les avons classées comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6. *Espèces végétales butinées par les abeilles sauvages sur le mont Kahuzi*

Id	Espèce de plante butinée	Famille	couleur de la fleur	Sites	Végétation dominante du site	Altitude
1	<i>Bothriocline ugandensis</i> (S.Moore) M. Gilbert	Asteraceae	mauve et blanche	S1,S2	Ceinture à Ericaceae	2700 -3000 m
2	<i>Vaccinium stanleyi</i> Schweinf.	Ericaceae	rose	S1,S2,S3	Ceinture à Ericaceae	2700-3300 m
3	<i>Vernonia scaettae</i> Humbert & Staner	Asteraceae	mauve et blanche	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
4	<i>Cyanotis barbata</i> D. Don	Commelinaceae	bleu à violette	S1,S2,S3	Ceinture à Ericaceae	2900-3200 m
5	<i>Helichrysum globosum</i> Schultz-Bip	Asteraceae	jaune et blanche	S1,S2,S3	Ceinture à Ericaceae	3200- 3308 m
6	<i>Erica bequaertii</i> De Wild	Ericaceae	rose légère	S1,S2,S3	Ceinture à Ericaceae	2700-3200 m
7	<i>Spermacoce princiae</i> (K. Schum)	Rubiaceae	Blanche	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
8	<i>Rubus steudneri</i> Schweinf	Rosaceae	rose légère	S1,S2,S3	Ceinture à Ericaceae	2800 -3000 m
9	<i>Senecio maranguensis</i> O. Hoffm	Asteraceae	jaune	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
10	<i>Mikania chenopodiifolia</i> Willd.	Asteraceae	Blanche	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
11	<i>Impatiens niamniamensis</i> Gilg	Balsaminaceae	rouge et jaune	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
12	<i>Guizotia scabra</i> (Vis.) Chiov.	Asteraceae	Jaune	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m

13	<i>Rubus pinnatus</i> var. <i>afrotropicus</i> (Engl.) Gustafsson	Rosaceae	rose et blanche	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
14	<i>Helichrysum argyranthum</i> O. Hoffm	Asteraceae	jaune	S1,S2,S3	Ceinture à Ericaceae	3200-3308 m
15	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Dennstaedtiaceae	Aucune	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes fougère beaucoup visitée par les syrphes	2158-2400 m
16	<i>Asistasia</i> sp.	Acanthaceae	mauve	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
17	<i>Pentas longiflora</i> Oliv.	Rubiaceae	blanc à blanc bleuâtre	BS1, S1	Forêt de bambous et <i>Podocarpus</i>	2400-2700 m
18	<i>Virectaria major</i> (K. Schum.) verdc.	Rubiaceae	blanc et rose	BS1, S1	Forêt ombrophile et forêt de bambous avec <i>Podocarpus</i>	2158-2700 m
19	<i>Polygala ruwenzoriensis</i> Chodat	Polygalaceae	Violette	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
20	<i>Crotalaria</i> sp.	Fabaceae	Jaune	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
21	<i>Conyza welwitschii</i> (S. Moore) Wild	Asteraceae	Jaune	BS1	Forêt ombrophile à arbres géants et arbustes	2158-2400 m
22	<i>Kniphofia grantii</i> Baker	Asphodelaceae	Jaune à orange	S1,S2,S3	Ceinture à Ericaceae	2900-3300 m
23	<i>Crassocephalum</i> sp.	Asteraceae	Jaune	S2,S3	Ceinture à Ericaceae	2700-3000 m

BS1 : Bas du sommet 1, S1 : Sommet 1, S2 : Sommet 2, S3 : Sommet 3

4.3. Analyse des connaissances et des services écosystémiques des abeilles

1. Aptitudes de différenciation entre abeilles et non abeilles

Ci-dessous sont repris les taux de reconnaissance visuelle des abeilles et des non-abeilles, choisis par les enquêtés en fonction de la plaque de collage qui leur a été présentée.

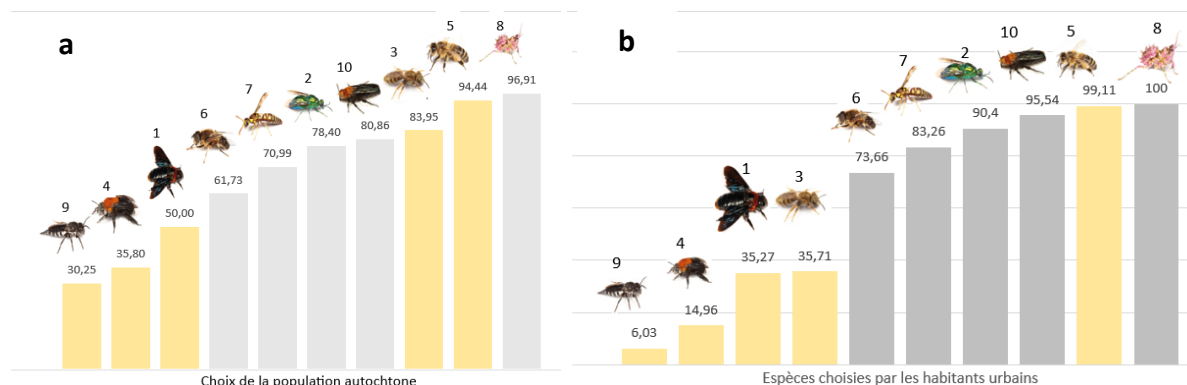


Figure 22. Taux de distinction entre les abeilles et les non-abeilles par les PA (a) et les urbains (b)

Sachant que les espèces 1, 3, 4, 5, 9 sont des abeilles et les autres ne le sont pas, nous observons que 94,44 % et 99,11 % de la population autochtone et urbaine reconnaissent très bien l'abeille domestique. Cependant, l'abeille #3, une espèce solitaire du genre *Seladonia*, ayant une morphologie proche de celle de l'abeille domestique, a été reconnue à 83,95 % par les PA, mais seulement à 35,71 % par les urbains. Les autres abeilles sont faiblement reconnues par la population. Une marge de 30 à 50 % les reconnaît dans les PA, tandis qu'une marge de 6 à 35 % seulement pour les urbains. Cependant, le degré de différenciation correcte des abeilles par rapport aux non-abeilles est plus élevé dans la communauté des PA que chez les populations urbaines.

2. Traits de reconnaissance des abeilles par les peuples autochtones pygmées (PA)

Le tableau ci-dessous liste l'ensemble des multiples traits morphologiques et comportementaux utilisés par les PA pour identifier les abeilles.

Tableau 7. Traits morphologiques et sonores d'identification des abeilles sauvages

	Traits de la reconnaissance	Effectifs	Pourcentage (%)	Rang
1	Couleur	123	75,93	1
2	Vitesse et hauteur de vol	101	62,35	2
3	Taille spécifique	77	47,53	3
4	Forme du corps spécifique	69	42,59	4
5	Bourdonnement	63	38,89	5
6	Mode de nichage	55	33,95	6
7	Manière de manger	40	24,69	7

8	Forme de la tête	36	22,22	8
9	Taille et forme de l'abdomen	35	21,60	9
10	Acquisition innée	34	20,99	10
11	Deux Pairs d'ailes	30	18,52	11
12	Recouvrement du corps (poils)	28	17,28	12
13	Mode d'atterrissage	19	11,73	13
14	Manière de piquer	17	10,49	14
15	Grosseur des pieds et rapprochement	8	4,94	15

Au travers des connaissances profanes des PA, il apparaît que les traits de reconnaissance des abeilles sauvages les plus couramment utilisés sont principalement la couleur (75,93%), la hauteur et la vitesse de vol (62,35%). En plus de ces traits dominants, 47,53% de la population se fient à la forme du corps de l'insecte, tandis que 38% détectent le son du bourdonnement. Seulement 22,22% observent la forme de la tête, et 18,52% le nombre d'ailes constitué en paires. Certains (4,94%) vont même jusqu'à observer la grosseur et l'espacement des pattes. D'autres traits morphologiques et comportementaux ont été mentionnés par les PA car ils sont plus facilement observables. Pour certains, ils estiment qu'à force de chercher des abeilles en forêt, ils ont développé un automatisme inné pour les identifier. C'est ainsi que certains affirment que dès qu'ils sont assis en forêt ou à l'extérieur de celle-ci, quelle que soit la taille de l'insecte, ils parviennent à détecter s'il s'agit d'une abeille ou non en observant la vitesse de vol et l'inclinaison adoptée lors de son atterrissage.

3. Relations entre les facteurs personnels et la connaissance des abeilles

La connaissance des abeilles dépend de plusieurs facteurs individuels, tels que le genre, l'importance accordée aux abeilles, le niveau d'instruction, l'orientation technique, etc. Pour ce faire, nous détaillons ci-dessous les facteurs personnels qui influencent la connaissance des abeilles sauvages.

- Influence du genre sur l'appréciation du niveau de connaissance des abeilles.

Tableau 8. Lien entre le genre et le niveau de connaissance des abeilles

	Genre	Aucune connaissance	Bonne connaissance	Pas trop de connaissance	Quelques peu de connaissance	Total	Chi-2	Probabilité
Bukavu	Féminin	32	8	90	71	201	22.76	0.000
		15.92%	3.98	44.78	35.32	100.00		
	Masculin	25	44	107	71	247		
		10.12	17.81	43.32	28.74	100.00		
	Total	57	52	197	142	448		
		12.72	11.61	43.97	31.70	100.00		
PNKB	Féminin	18	14	-	21	53	42.10	0.000
		33.96	26.42	-	39.62	100.00		
	Masculin	5	83	-	21	109		
		4.59	76.15	-	19.27	100.00		
	Total	23	97	-	42	162		
		14.20	59.88	-	25.93	100.00		

Une différence significative est observée entre le genre et le niveau d'appréciation des connaissances des abeilles sauvages dans les deux milieux d'études. Cette situation dans la communauté des PA peut être due, d'une part, à la discrimination constatée envers les femmes au sein de leur propre communauté. De plus, avec les nouvelles mesures établies par les questionnaires du PNKB, il est formellement interdit aux PA d'entrer dans le parc pour y chercher les PFNL. Cette situation a créé, pour certaines populations plus jeunes, une rupture de la cohabitation avec la forêt et certains PFNL dont les abeilles sauvages. Dans l'autoévaluation de la connaissance des abeilles, les hommes estiment détenir une meilleure connaissance que les femmes. En ville, toutes les catégories pensent avoir peu de connaissance ou pas assez de connaissances sur les abeilles, tandis que dans les communautés des PA, ce sont principalement les femmes (39 %) qui estiment détenir peu de connaissances.

➤ Influence du genre sur l'importance perçue des abeilles

Tableau 9. Influence du genre sur l'importance des abeilles

		Critiquable	Important	Moins important	Ni plus ni moins important	Plus important	Total	Chi2	Probabilité
Bukavu	Féminin	7	53	11	33	97	201	20,14	0,000
		3,48	26,37	5,47	16,42	48,26	100,00		
	Masculin	18	62	19	18	130	247		
		7,29	25,10	7,69	7,29	52,63	100,00		
	Total	25	115	30	51	227	448		
		5,58	25,67	6,70	11,38	50,67	100,00		
PNKB	Féminin		17	14		22	53	12,29	0,015
			32,08	26,42		41,51	100,00		
	Masculin		27	5		77	109		
			24,77	4,59		70,64	100,00		
	Total		44	19		99	162		
			27,16	11,73		61,11	100,00		

L'importance des abeilles varie énormément dans nos différents milieux. Près de la moitié des enquêtés hommes comme femmes en ville montrent que les abeilles sont plus importantes. En ce qui concerne les PA, 70% d'hommes affirment cette grande importance des abeilles tandis que la moitié de femmes l'affirme. Cependant, 26% de femmes des PA estiment que ces abeilles sont moins importantes. Cette situation dans le contexte des PA peut être attribuée parfois à l'isolement des certaines femmes dans l'activité de recherche des produits des abeilles en forêt ou à la mauvaise distribution des ressources provenant de la forêt. La combinaison de ces deux facteurs peut entraîner un désintéressement des femmes vis-à-vis des abeilles.

4. Influence du niveau d'étude sur l'importance des abeilles sauvages

Tableau 10. Influence du niveau d'étude sur l'importance des abeilles sauvages

	Critiquable	Important	Moins important	Ni plus important ni moins important	Plus important	Total
Master et plus	0	6	0	0	22	28
	0,00	21,43	0,00	0,00	78,57	100,00
Licencié	11	38	4	16	84	153
	7,19	24,84	2,61	10,46	54,90	100,00
Gradué Universitaire	4	37	14	16	84	155
	2,58	23,87	9,03	10,32	54,19	100,00
Secondaire	4	28	10	9	32	83
	4,82	33,73	12,05	10,84	38,55	100,00
Primaire	6	2	2	6	2	18
	33,33	11,11	11,11	33,33	11,11	100,00
Formation extra scolaire	0	4	0	4	3	11
	0,00	36,36	0,00	36,36	27,27	100,00
Total	25	115	30	51	227	448
	5,58	25,67	6,70	11,38	50,67	100,00

Chi2 = 78.0837 ; Pr = 0.000

L'importance accordée aux abeilles varie en ville en fonction du niveau d'études ($p = 0.000$). Ainsi, 78,57 % des personnes ayant un master ou plus estiment que les abeilles sont plus importantes. 54 % des personnes ayant un diplôme de licence ou un grade d'études supérieures partagent cette opinion. En revanche, la plupart des gens ayant un niveau primaire, ainsi que quelques-uns avec une formation extrascolaire, considèrent que cette importance est critiquable, car les abeilles ne sont ni plus importantes ni moins importantes. Aucune influence du niveau d'études sur l'importance accordée aux abeilles n'est observée au sein des populations autochtones du PNKB (Pearson $\chi^2 = 9,3673$, $p = 0,312$). Ceci peut être dû à la faible scolarité constatée.

5. Estimation du nombre d'espèces d'abeilles existantes et influence du niveau d'étude

Pour comprendre la perception de la population concernant la connaissance de la diversité des abeilles, une question leur a été posée concernant le nombre d'espèces qu'ils estiment exister dans la région. Les estimations aléatoires du nombre d'espèces supposées être dans la province du Sud-Kivu sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11. Nombre d'espèces supposé exister dans la région

PNKB					BUKAVU			
Id	Effectif	Pourcentage	Influence niveau d'étude (Pr)	Intervalle d'estimation	Effectif	Pourcentage	Chi-2	Probabilité
1	64	39,51	0.6115	1-5	339	75,67	5,46	0.0004
2	91	56,17		6-25	80	17,857		
3	6	3,7		26-125	23	5,134		
4	1	0,62		126-625	3	0,67		
5				626-3125	3	0,67		
Total	162	100			448	100		

Les données étant extrêmement dispersées en raison de la sous-estimation ou de la surestimation, nous avons regroupé les différentes réponses en classes d'intervalles avec un facteur de multiplication de 5. Une forte tendance à la sous-estimation est observée. Plusieurs facteurs peuvent être associés à cette estimation. Au sein des PA, un ancrage important dans leurs connaissances locales est à la base de cette estimation. La tendance est que seules les espèces que chacun suppose connaître sont celles qui existent. D'un autre point de vue, il est observé en milieu urbain que cette estimation dépend du niveau d'étude, comme l'illustre la figure ci-dessous. Par conséquent, il convient de noter que, à l'exception de l'estimation élevée entre 1 et 5, certaines personnes ayant un niveau d'étude supérieur (master, licence, grade) ont estimé un nombre supérieur aux intervalles de 1 à 5, 6 à 25, 26 à 125, 126 à 625 et 625 ou plus. Les moyennes par niveau d'étude sont présentées dans les boxplots ci-dessous.

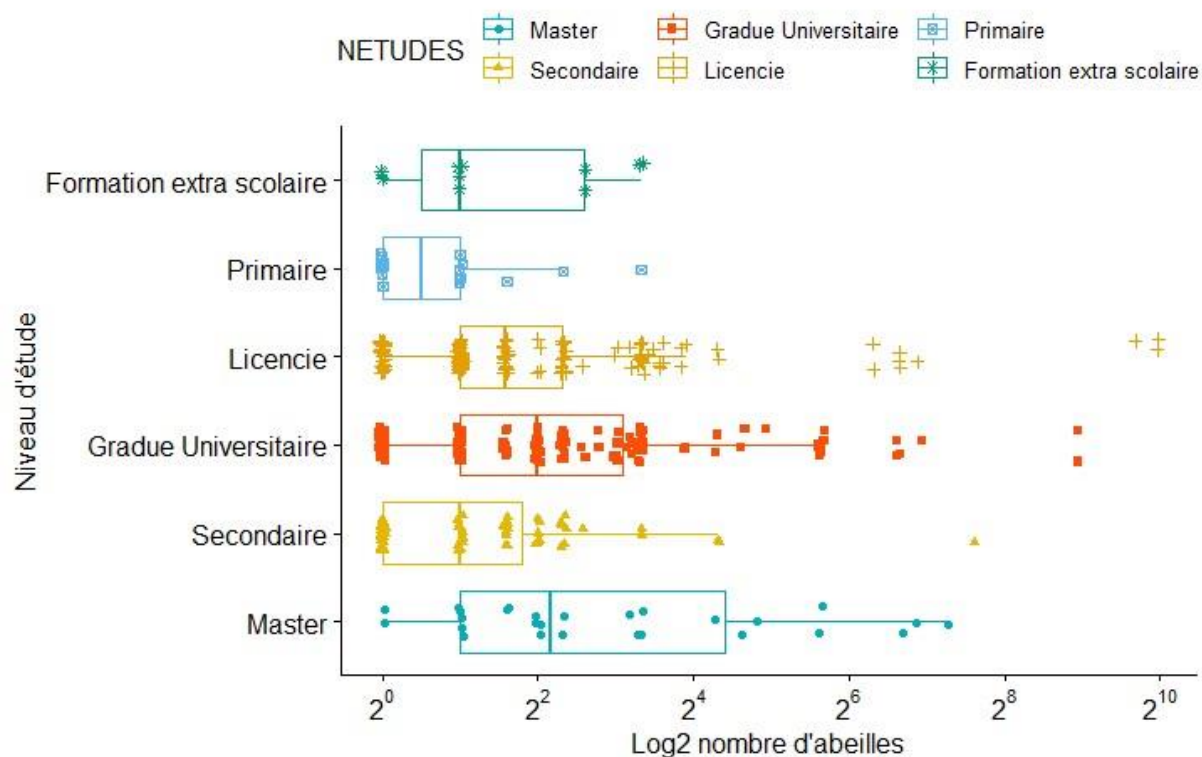


Figure 23. Influence du niveau d'étude sur l'estimation du nombre d'abeilles.

7. Degré de connaissance des services écosystémiques fournis par les abeilles en agriculture

Pour saisir l'intérêt de la population urbaine pour la survie des abeilles en agriculture, on lui a demandée de choisir ce dont elle pense être amélioré par les abeilles dans l'agroécosystème jusqu'à la plante. Son appréciation est reprise dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12. Services écosystémiques améliorés par les abeilles en agriculture

	Services améliorés	Effectifs	Pourcentage (%)	Rang
1	Le rendement des cultures	229	51,12	1
2	La reproduction des plantes	220	49,11	2
3	Le paysage	162	36,16	3
4	La diversification des plantes	123	27,46	4
5	La qualité nutritionnelle	123	27,46	4
6	La survie des plantes	106	23,66	5
7	La couleur des fruits	75	16,74	6
8	Le cycle de l'eau	16	3,57	7
9	La fertilité des sols	13	2,9	8

La proposition de ces services a été adressée à la population urbaine supposée avoir un certain niveau d'instruction. En ce qui concerne les services écosystémiques proposés et supposés être améliorés en agriculture, 30 % à 50 % de la population pensent que les abeilles contribuent à l'amélioration du rendement des cultures, à la reproduction des plantes et permettent d'améliorer le paysage. De plus, 20 % à 30 % pensent aussi que les abeilles contribuent fortement à améliorer la diversification des plantes, à améliorer la qualité nutritionnelle et à assurer la survie des plantes. Seuls 17 % de la population croient aussi que les abeilles contribuent à améliorer la couleur des fruits. Un faible pourcentage (< 5%) pense que les abeilles peuvent aussi contribuer à améliorer le cycle de l'eau, la fertilité des sols et la protection des sols.

Néanmoins, en voulant saisir l'importance accordée aux abeilles en agriculture par les PA, nous trouvons que 100 % d'entre eux affirment constater des visites florales par les abeilles. Paradoxalement, ils estiment que les abeilles ont plus d'inconvénients sur les plantes vu la manière dont elles s'installent sur les fleurs. La plupart stipulent donc qu'aucun changement ne peut être impulsé par les abeilles sur les cultures.

8. Genre des abeilles sauvages ciblées et exploitées par les PA du PNKB

En dépit des nombreuses espèces d'abeilles qui existent, les PA exploitent certaines d'entre elles pour collecter différents produits utiles.

Tableau 13. *Espèces exploitées par les PA*

	Espèces exploitées	Effectifs	Pourcentage (%)	Noms vernaculaires
1	<i>Apis mellifera</i>	162	100	Kajuchi, Nyabungwe, Nyuki, Njuchi,
2	<i>Xylocopa sp.</i>	78	48,15	Nyamunzunguri, munzuli, bunyake
3	<i>Meliponula sp.</i>	146	90,12	Muhumba, Kalimeno, Nachumba, Mboko, Bunombe, Burobi, Kalimeno
4	<i>Dactylurina sp.</i>	28	17,28	Bukumbanviri

Les espèces présentes dans le tableau ci-dessus suscitent l'intérêt de l'exploitation par les PA. Surnommées par plusieurs noms en fonction de l'appartenance tribale des gens, cette différenciation varie également en fonction de la couleur, de la taille, etc. Les nids de ces 4 espèces d'abeilles sont recherchés afin que les PA y récoltent différents produits utiles. Nos

enquêtes ont ainsi prouvé que 100% de la population qui récolte les produits des abeilles en forêt s'oriente vers la recherche d'*Apis mellifera*, tandis que 90,12% s'oriente vers les *Meliponula* sp., 48,15% vers *Xylocopa* sp. et seulement une petite fraction des gens soit 17,28% vers le *Dactylurina* sp.

09. Produits récoltés et utilisés issus des abeilles

Les différents produits issus des abeilles sont recherchés par les PA afin de s'en servir à de multiples fins. Pour ne pas créer de confusion, le miel produit par les mélipones est également appelé le 'cortex alimentaire'.

Tableau 14. *Produits issus des abeilles*

	Produits utilisés issus des abeilles	Effectifs	Pourcentage (%)
1	Miel	162	100
2	Propolis	144	88,89
3	Cire	42	25,93
4	Cortex alimentaire	120	74,07
5	Couvain	145	89,51

Le miel issu des abeilles domestiques est utilisé par l'ensemble des PA, et 89,5% de la population fait usage, notamment du couvain, qui est constitué des larves des abeilles, et qui est souvent récolté pour la consommation. La propolis est recueillie et utilisée pour réparer les objets et matériels endommagés en les collant. En ce qui concerne les abeilles sauvages, 74% des enquêtés ont affirmé utiliser le 'cortex alimentaire' (miel des abeilles sauvages). Les utilisations de ce dernier sont similaires à celles du miel, mais avec une certaine appréciation particulière dans certains usages.

10. Quantification et évaluation des miels et cortex alimentaires récoltés

Le tableau 15 ci-dessous fournit les données relatives à la quantité de miel produite, aux prix du marché et aux fréquences de collecte.

Tableau 15. Quantification et évaluation économique des miels et cortex alimentaire

	Observations	Moyenne	Erreur standard	Minimum	Maximum
Quantité du miel (l)	162	27.302	22.459	0	100
Quantité du cortex alimentaire (l)	162	1.617	1.653	0	6
Quantité globale (l)	158	29.652	23.094	2	106
Fréquence de récolte	162	2.457	1.623	0	12
Prix par litre	162	5.62	1.42	0	8.7
Revenu total (\$)	158	165.217	138.509	0	714

Il s'observe dans le tableau ci-dessus que la moyenne de production collectée annuellement pour les abeilles domestiques est de 27,3 litres, tandis que pour les espèces issues du genre *Meliponula*, la moyenne est de 1,7 litre. Une fréquence de collecte est estimée à une moyenne d'environ 2,5 fois par an.

Tableau 16. Corrélation entre la quantité produite, la fréquence de récolte et le revenu

	Revenu total	Quantité du miel	Quantité du cortex alimentaire	Fréquence de récolte
Revenu total	1.000			
Quantité du miel	0.949*	1.000		
	(0.000)			
Quantité du cortex alimentaire	0.454*	0.461*	1.000	
	(0.000)	(0.000)		
Fréquence de récolte	0.571*	0.561*	0.104*	1.000
	(0.000)	(0.000)	(0.189)	

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

Ce tableau de corrélation entre les trois éléments ci-dessus prouve suffisamment qu'une relation positive et significative est observée entre le revenu et la quantité de miel, de cortex produit ainsi que la fréquence. De plus, une autre relation positive et significative est observée entre la quantité de miel produite et la quantité de cortex alimentaire. En revanche, aucune relation significative n'est observée entre la quantité de cortex alimentaire produite et la fréquence des collectes.

11. Catégories des services écosystémiques

En regroupant les différents services écosystémiques fournis par les abeilles au sein du PNKB, les PA ont recensé quatre groupes de services. Trois services ont été cités en fonction de leur importance. Il s'agit de l'alimentation, des médicaments et des revenus économiques. Ces trois services correspondent au service de provision. Un autre service, celui de la protection, a été cité par 5,56% de la population. Les enquêtés ont montré que l'installation du nid des abeilles sauvages (mélipones) appartenant au genre *Dactylurina sp*, sur un arbre près de la maison, permettrait une protection contre la foudre. Ce qui permet de classer ce service comme étant un service culturel. Au-delà des services écosystémiques cités, nous avons proposé une série de cinq services fournis par les abeilles que nous avons recensé dans les articles scientifiques. De ces services, 100% des personnes interrogées s'accordent sur le fait qu'elles retirent des composantes d'**alimentation** et des **médicaments** issus de l'activité des abeilles. Plus de la moitié, soit 71,6% et 69%, ont affirmé tirer des produits des abeilles des **revenus économiques** et aussi les utilisent lors de **cérémonies d'initiation à différentes rituelles** liées à leurs coutumes. Toutefois, 40% de la population estime que pour collecter ces produits dans le parc, elle s'organise pour faire face aux obstacles ou aux attaques des écogardes. Cette organisation conduit à la création de certains liens sociaux au sein de la communauté. Ces liens vont jusqu'à favoriser le partage d'informations sur la manière de trouver les nids d'abeilles, comment mener les collectes, etc. Ceci nous pousse à rattacher ces liens en tant que faisant partie des services culturels. Enfin, seulement 6% de la population estime que les abeilles participent à la **pollinisation**. La plupart des enquêtés pensent que les visites florales ont un effet négatif, voire néfaste pour les cultures. Ils estiment que les abeilles sont à l'origine de la chute des fleurs, ce qui influe négativement sur la culture.

La figure 24 montre la distribution de ces services écosystémiques en fonction de l'importance accordée à chacun d'eux.

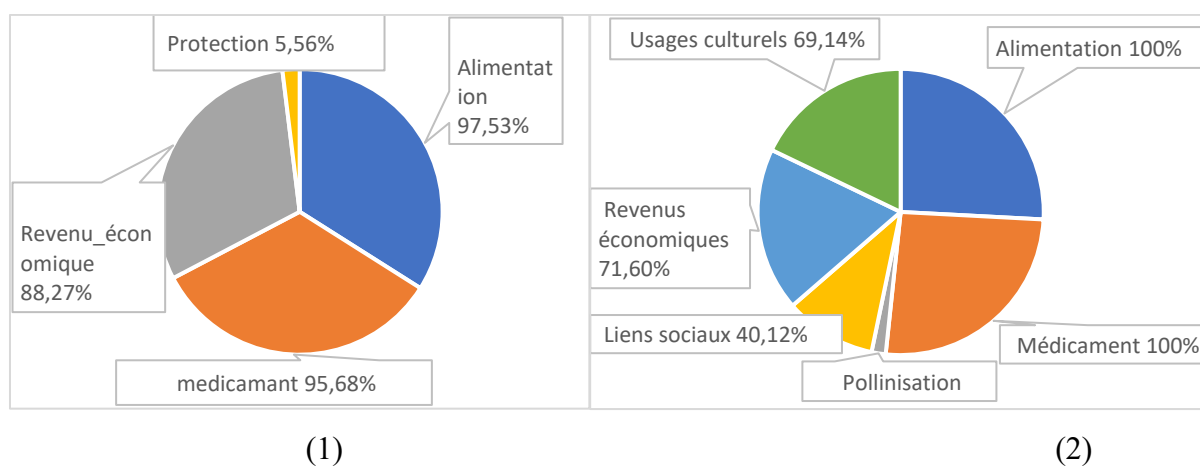


Figure 24. Services écosystémiques évoqués (1) et proposés (2) aux PA riveraines du PNKB

12. Usages non alimentaire des produits issus des abeilles sauvages

Les services écosystémiques répertoriés et classés sont directement liés à différents produits issus des abeilles. Cependant, ces derniers sont utilisés à des fins multiples, à la fois alimentaires et non alimentaires. Ainsi, le tableau 17 reprend les usages non alimentaires de ces produits par les PA du PNKB.

Tableau 17. Usages non alimentaires des produits issus des abeilles

	Usages multiples	Effectifs	Pourcentage (%)	Rang
1	Toux	162	100,00	1
2	Estomac	151	93,21	2
3	Poitrine	142	87,65	3
4	Peau	131	80,86	4
5	Rein	118	72,84	5
6	Usages mystiques	97	59,88	6
7	Expériences rituelles	95	58,64	7
8	Appétit	89	54,94	8
9	Aphrodisiaque	83	51,23	9
10	Circoncision	80	49,38	10
11	Articulation	64	39,51	11
12	Relaxation	41	25,31	12
13	Croissance des cheveux	40	24,69	13
14	Sang	29	17,90	14
15	Diarrhée	19	11,73	15
16	Hépatites	14	8,64	16
17	Douleur menstruelle	13	8,02	17
18	Mariage	12	7,41	18

Un total de 18 usages différents a été recensé et classé en fonction de l'importance, selon le choix des enquêtés. De plus, pendant les focus groupes et les entretiens compréhensifs, plusieurs autres usages ont été cités pour chaque espèce.

Il a été constaté que ces usages non alimentaires servent à soigner certaines maladies et faiblesses corporelles, etc. De plus, ces produits sont utilisés par les tradipraticiens lors de l'exécution de certaines manipulations mystiques et dans la composition de leurs

traitements. Sur le plan culturel, le miel et le cortex alimentaire sont offerts aux ancêtres ou aux esprits supposés protéger l'environnement et agir en faveur des PA. De plus, lors des rites d'initiations culturelles des plus jeunes appelés « YANDO », le miel ainsi que le cortex alimentaire sont utilisés comme nourriture et comme produits accompagnant la réalisation de certaines cérémonies culturelles.

Une particularité dans l'usage des produits issus des abeilles comme aphrodisiaque a été soulevée. Nos enquêtés ont confirmé que la consommation des larves des abeilles que nous avons appelé couvains, améliorent la performance sexuelle contrairement au miel qui ne produit aucun effet.

5. Discussion des résultats

5.1. Compréhension de l'effet de l'altitude sur la répartition des abeilles

A l'issue de cette étude, 14 genres des abeilles sauvages et 18 espèces des syrphes ont été inventoriés sur le Mont Kahuzi. Parmi les abeilles, seuls 6 genres (*Lasioglossum*, *Apis*, *Zonalictus*, *Amegilla*, *Xylocopa* et *Patellapis*) ont été détectés à chacune des 4 strates d'altitudes. A l'exception du genre *Apis*, le genre *Lasioglossum* (Halictidae) constitue le genre le mieux représenté en nombre de spécimens, ce qui corrobore des résultats obtenus par Pauly et al., (2019) le long d'un gradient altitudinal sur le mont Meru en Tanzanie. Ces auteurs ont en effet constaté que les espèces de la famille des Halictidae sont proportionnellement plus abondantes que celles des autres familles, et peuvent représenter jusqu'à 90% des collectes dans les pièges passifs (coupelles colorées). Le sous-genre *Lasioglossum* (*Afrodialictus*) était particulièrement dominant dans cette étude en Tanzanie, suivi du genre *Zonalictus*.

Parmi les espèces récoltées exclusivement à haute altitude (au-dessus de 2000m), Pauly et al. (2019) décrivent notamment deux espèces du genre *Eupetersia* (Halictidae) qui représentent des espèces cleptoparasitiques peu diversifiées à l'échelle mondiale et africaine (Pauly, 1981)(Pauly 1981 ; Kuhlmann 2013). Selon ces auteurs, les conditions environnementales de haute altitude auraient favorisé l'émergence d'espèces cleptoparasites chez les Halictidae, au sein des sous-genres *Lasioglossum* (*Afrodialictus*) parasitant d'autres *Lasioglossum* (*Afrodialictus*), suivant la loi d'Emery (1909)) et *Eupetersia* (parasitant des *Zonalictus*). De nombreux spécimens de *Lasioglossum*, notamment dans le sous-genre *Afrodialictus*, ont été récoltés au cours de notre étude, et un examen approfondi afin de déterminer si nous sommes également en présence d'un mélange d'espèces-hôtes et de leurs cleptoparasites associés se poursuit.

L'étude de Pauly et al. (2019) sur le Mont Meru indique aussi la présence d'un turnover générique marqué en fonction de l'altitude : typiquement, les genres *Ceratina* et *Braunsapis* (Apidae) ont été collectés dans les basses altitude jusqu'à 1400m, mais étaient absentes plus haut et jusqu'à 2500m. Nos résultats diffèrent quelque peu puisque ces deux genres ont été inventoriés jusqu'à 2400-2700m d'altitude. Globalement, notre étude a permis de confirmer un turnover générique pour les abeilles et spécifique pour les syrphes en fonction de l'altitude. Ce qui nous amène à décrire les changements de distribution altitudinale comme suit :

- Six genres communs des abeilles qui sont les plus abondants se répartissent sur les quatre altitudes. Cependant le turnover à l'altitude 4 est fonction du filtrage environnemental des genres qui disparaissent au fur et à mesure que l'élévation augmente. C'est ainsi que nous avons 8 genres en communs entre les trois premières altitudes et entre l'altitude 1 et 2 chacune possède trois autres genres spécifiques. Nous constatons que la diversité générique diminue avec l'augmentation de l'élévation. De ces 6 genres qui se sont maintenus jusqu'à l'altitude 4 nous avons :
 - Les genres à espèces ubiquistes : le *Xylocopa*
 - Les genres à espèces sociales : *Apis* (*Apis mellifera*),
 - Les genres à espèces spécialisées : *Lasioglossum* (*Lasioglossum (Afrodialictus)*), *Amegilla*, *Patellapis*, *Zonalictus*.

Ces diverses catégories ci-haut énumérées sont celles les plus souvent qui caractérisent la diversité des hautes altitudes. Nous présageons donc que parmi ces genres il existeraient les espèces fortement endémiques d'Afrique.

- Pour les syrphes, nous remarquons un turnover inverse par rapport aux abeilles. Il se constante une forte concentration des espèces en hauteur qu'en basse altitude. Un plateau est atteint à l'altitude 3 avec une RS de 13 et décroît à 10 pour l'altitude 4 cependant en altitude 1 et 2 elle décroît davantage avec 8 espèces chacune.

Ainsi, nous avons trouvé que la structure de la distribution de l'abondance des genres et des espèces suivent une allure presque uniforme chez les abeilles et les syrphes (figure 25a). Cependant, la structure en fonction de la RG ou RS change (Figure 25b). Ce changement est expliqué par ce turnover observé entre la haute altitude (strate 4) par rapport aux autres (strate 1, 2 et 3).

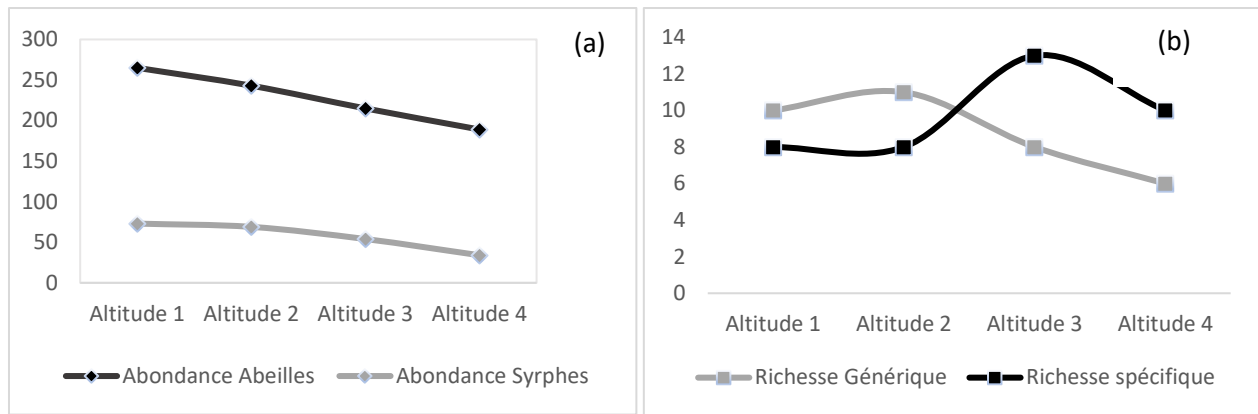


Figure 25. Structure de la distribution de l'abondance (a), de la RG et RS (b)

Les allures des différentes courbes montrent que l'abondance des genres d'abeilles et des espèces des syrphes varie d'une manière décroissante au fur et à mesure qu'on monte en altitude. La richesse générique pour les abeilles suit aussi le rythme décroissant contrairement aux syrphes qui suivent un rythme croissant jusqu'à atteindre un optimum à l'altitude 3 avant de baisser à l'altitude 4.

Dans le cas d'espèce, nos résultats trouvés montrent une différence en termes d'abondance et de la richesse générique des abeilles entre les strates d'altitude (p -value = 0,03). Une forte concentration est visible dans la première altitude tandis qu'une baisse se constate à la quatrième strate qui va au-delà de 3000m.

Les indices de Simpson, Shannon et Piélou montrent une faible différence entre l'abondance et la richesse générique des abeilles sur les différentes strates. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce faible changement. Egawa et Itino (2020) ont montré que plus la variation de l'altitude est importante, plus la variation des espèces l'est aussi. Ils ont souligné qu'une forte population d'abeilles se trouve entre les basses et moyennes altitudes entre 700 à 1900 m. Au-dessus de 1900 m, il y a une forte diminution de la population d'abeilles. Celle-ci est tributaire des conditions climatiques extrêmes caractérisées par une diminution des températures, d'une augmentation de la pression du vent, d'une augmentation de l'humidité, etc. Ces conditions ne sont pas favorables à plusieurs espèces des abeilles. Dans le cas du Mont Kahuzi, la température varie de 18°C à 15°C en dessous de 2500 mètres. Au-dessus, la température chute à 7°C et peut descendre jusqu'à -2°C (Gérard et al., 2016; Mangambu et al., 2010; Yamagiwa et al., 2005). Ensuite, la variation de l'altitude donne lieu à la modification des habitats ce qui favorise plus les espèces spécialisées. En outre, une fragmentation des habitats à la suite de la variation du relief et ses éléments, les compétitions entre espèces pour les ressources et l'espace, l'effet de l'altitude peuvent expliquer cette diminution des abeilles sauvages (Baumann et al. 2021, Egawa et Itino, 2020, Perillo et al., 2021, Minachilis et al., 2021). Cependant, le mont Kahuzi est déjà au-delà de 1900m d'altitude ce qui nous amener à croire à la faible différence dans la variation de la richesse générique et de

l'abondance. En outre, la succession de différents types des végétations peuvent expliquer cette distribution. En basse altitude (altitude 1) jusqu'au deuxième sommet il y a une végétation arborée et de bambou. Très peu d'espace savaniques ou herbeuses, ce qui nous a conduit à ne récolter que sur ces espaces et sur des lisières forestières.

Hoiss et al. (2012) ont constaté que l'abondance et la richesse spécifique des abeilles diminuaient linéairement avec l'augmentation de l'altitude. Les conditions environnementales jouent donc un rôle clé dans le filtrage des écosystèmes (Sydenham et al., 2015). Les espèces sociales et celles qui nichent au sol augmentent en altitude, tout comme leur taille. C'est peut-être la raison pour laquelle ces six espèces sont réparties sur les quatre strates d'altitude. L'abondance diminue également avec la baisse de la couverture florale (Hoiss et al., 2012). Cette variation d'abondance peut être liée à cette dernière affirmation, car nous avons constaté que la plupart des espèces végétales visitées par les abeilles sont dominées par les Astéracées et quelques Ericacées à des altitudes plus élevées.

Concernant les syrphes, quelle que soit la distribution des espèces sur les différentes altitudes, la valeur $P = 0.48515$ démontre l'existence d'une bonne équitabilité dans la distribution des espèces observées entre les différentes altitudes. Aucune différence significative n'est observée en termes d'abondance et de la richesse spécifique entre altitudes, ce qui témoigne d'une plus large amplitude environnementale des espèces concernées.

5.2. Évaluation du niveau de connaissances sur les abeilles

Une connaissance intrinsèque des abeilles a été développée par les PA pour contrôler le mouvement des abeilles et les différencier des autres insectes. Les principaux traits utilisés sont le plus souvent la couleur, la vitesse, la hauteur du vol, la taille spécifique, la forme spécifique du corps, le bourdonnement, le mode de nidification, etc. Ce corpus de connaissances semble trop profane, car il est lié à des connaissances locales développées par bon sens au sein de la population. Signalons que certains des traits utilisés sont documentés par des recherches établies. Eardly et al. (2010) ; Michener (2007) ont établi les clés d'identification des abeilles, où ils montrent que ces dernières se reconnaissent à travers plusieurs traits morphologiques qui nécessitent plus d'attention soutenue. Ces caractéristiques semblent avoir été mentionnées par les PA, mais certains détails ne leur sont pas très utiles. Pour certains caractères mentionnés par les PA, des études approfondies sont nécessaires pour établir leur véracité et leur logique. Il s'agit de la vitesse et de la hauteur de vol, de la manière de piquer, etc. En dehors des traits mentionnés par les PA pour connaître et différencier les abeilles, une grande partie de la population reste persuadée que la connaissance des abeilles intervient dans leur organisation sociale et

quotidienne. Zamudio & Hilgert, (2018) ont trouvé que par-dessus des facteurs psychologiques (p.ex. la beauté) et culturels, certains facteurs permettent de comprendre l'interaction entre la population et son environnement. Ainsi, ces auteurs montrent que la probabilité d'observer régulièrement certaines espèces d'abeilles est à la base d'une meilleure (re-)connaissance de certaines espèces.

À un niveau plus large, nous avons enquêté sur les connaissances de la population sur les abeilles. La population a été invitée à différencier les abeilles et les non-abeilles sur les plages de collage. Nous avons constaté que plus de 90 % de la population pouvait distinguer l'abeille domestique des autres insectes. Cependant, entre 30 et 80 % des PA étaient capables de distinguer les abeilles sauvages des autres insectes. Parmi les citoyens, moins de 35 % de la population était capable de distinguer les abeilles sauvages des autres insectes.

En évaluant le niveau d'identification de certaines espèces, Wilson et al, (2017) ont également constaté que l'abeille domestique est beaucoup mieux connue que toutes les autres espèces, et qu'environ 57 % de la population pouvait identifier d'autres espèces d'abeilles. D'après les auteurs, ce phénomène serait lié à la (sur-)médiation de l'abeille domestique dans le contexte des projets sur les pollinisateurs. Cela semble être proche des résultats trouvés pour les PA, mais loin de ceux des citoyens. Cette étude montre que l'importance accordée aux abeilles semble attirer davantage de personnes de manière passive, puisqu'une grande partie de la population est incapable d'identifier les abeilles sauvages. Ce constat est corroboré par les mêmes résultats de notre enquête.

Un aspect particulier de la connaissance des abeilles varie également en fonction du niveau d'éducation et du statut de la personne (Wilson et al, 2017). Il a été constaté que plus le niveau d'éducation des personnes interrogées est élevé, plus elles accordent de l'importance aux abeilles. Par contre, plus le niveau d'éducation (primaire et extrascolaire) est bas, plus les personnes interrogées sont critiques quant à l'importance des abeilles. Ce jugement dans la ville est lié à la diffusion de l'information. Les meilleurs canaux d'acquisition de cette information peuvent être l'enseignement scolaire, la curiosité de la lecture, la documentation via les médias en ligne, etc. Pour accéder à ces canaux, un certain niveau de lecture et de compréhension est nécessaire. Contrairement aux PA, dont la majorité n'a pas un niveau d'instruction supérieur leur permettant de se documenter. Le fait de manipuler certaines catégories d'abeilles crée en eux ce jugement positif.

La sous-estimation du nombre d'espèces d'abeilles observée dans notre étude confirme la thèse selon laquelle les gens ne sont pas informés sur la diversité des abeilles sauvages. Certains des résultats obtenus par Wilson et al, (2017) vont de pair avec ceux que nous avons trouvés, et d'autres sont complètement différents. Wilson et al, (2017) ont constaté que la plupart des personnes interrogées aux États-Unis pensaient que les abeilles étaient importantes ou critiques. Et plus de 79 % de la population sous-estimait le nombre d'espèces d'abeilles existantes. La capacité à identifier les abeilles était faiblement influencée par le niveau d'éducation, mais davantage par l'autodétermination des répondants.

Sur la base de l'évaluation personnelle des connaissances sur les abeilles, nous constatons que les hommes sont plus rassurés sur leurs connaissances que les femmes. Cependant, ces résultats sont en contradiction avec ceux trouvés par Bhattacharyya et al., (2017) en Inde, où les femmes détiennent 4 fois plus de connaissances pour différencier les abeilles que les hommes. Ils ont aussi constaté que cette capacité est également fonction du niveau d'études entre les individus. De plus, lorsqu'il s'agit de comprendre l'importance attribuée aux abeilles, la majorité de nos répondants urbains ont montré que les abeilles sont importantes, alors que dans le cas des PA, la majorité a déclaré que les abeilles sont très importantes. Ces mêmes résultats semblent être trouvés par Bhattacharyya et al., (2017), qui ont trouvé que la population estime que les abeilles permettent d'obtenir de larges bénéfices. Quelle que soit l'importance accordée, il s'avère donc que l'éducation orientée vers ces pollinisateurs reste très faible. (Frantz & Mayer, 2014) montrent que cette situation peut s'expliquer par la déconnexion de la majorité de la population avec la nature et la faible éducation environnementale. Ils proposent de renouer avec l'éducation environnementale, ce qui rejoint les propos de Pierre Rabhi repris par (Doré & Bellon, 2019) qui pensent que refonder le lien à la nature et à l'homme est parmi les solutions centrales pour faire des choix idéaux pour la protection de l'environnement, des espèces qui s'y trouvent et des choix techniques raisonnés. Quoi qu'il en soit, il s'est avéré que cette importance est également fonction du genre. En effet, les hommes accordent apparemment plus d'importance aux abeilles que les femmes. Cette situation est consolidée par le fait que certaines femmes PA se sentent complètement exclues de la recherche sur les produits apicoles, une posture justifiant une discrimination dans la répartition des tâches. Soro et al., (2020), ayant analysé les connaissances traditionnelles sur les abeilles sauvages en Côte d'Ivoire, ont trouvé que la récolte du miel des abeilles sauvages est une activité réservée exclusivement aux hommes, tandis que le miel des abeilles sans dard est pour les femmes. Ce qui les a amenés à proposer la mise en place de la méliponiculture pour l'autonomisation de la femme dans cette région.

Une expérience menaçante au cours de cette étude a été que lors d'un focus group, les hommes se sont séparés des femmes sous prétexte que les femmes ne connaissaient rien sur les abeilles et que ce n'était pas leur travail. Cela nous a amenés à mettre en place deux groupes de discussion distincts. Ce phénomène peut être à l'origine du manque d'intérêt de certaines femmes pour les abeilles. Cette attitude va à l'encontre de la protection de la valeur humaine et sociale, qui doit être promue selon la FAO (2018). Cette dernière propose la suppression des inégalités de sexe en redonnant ou en renforçant les capacités d'action et d'autonomie des femmes.

Dans le même ordre d'idées, nous avons évalué les connaissances des populations urbaines sur les services écosystémiques fournis par les abeilles dans l'agriculture. Nous avons constaté que moins de 50 % de la population pensait que les abeilles contribuaient au rendement des cultures, à la reproduction des plantes et à l'amélioration des paysages. Moins de 30 % pensaient que les abeilles pouvaient également contribuer à la qualité nutritionnelle, à la survie des plantes, etc. Au vu de ces résultats, nous revenons à l'observation soulevée par Wilson et al, (2017), selon laquelle la faible sensibilisation et la couverture médiatique sont à l'origine de la sous-information sur les abeilles sauvages. De plus, une focalisation particulière sur l'abeille domestique a fait oublier la présence et l'action d'autres pollinisateurs efficaces, à savoir les abeilles sauvages. Une observation particulière montre que la grande majorité de la population n'est pas informée des services écosystémiques fournis par les abeilles. Cette population ne comprend pas les pertes subies par l'agriculture en raison de la surexploitation ou de l'absence de protection des abeilles, en particulier des abeilles sauvages. Les résultats obtenus par Gallai et al, (2009) sur la perte de 153 à 500 milliards d'euros due au déclin des pollinisateurs restent alarmants. Cependant, ces résultats n'ont pas été communiqués au grand public afin qu'il prenne en compte le risque de la perte due par les abeilles en général et les abeilles sauvages en particulier.

5.3. Évaluation des services écosystémiques liés aux abeilles sauvages

Les services prioritaires mentionnés par les PA sont principalement des services de provision, notamment la nourriture, les médicaments, le revenu économique, et seulement très peu la protection. En ce qui concerne les services proposés, les PA ont à nouveau montré un niveau élevé de considération pour les services d'approvisionnement, suivis des services culturels, et enfin, un très faible niveau de reconnaissance pour le service de régulation, tels que la pollinisation. Ces résultats sont en ligne avec ceux trouvés par Lhoest et al, (2019), qui ont indiqué qu'une grande partie de la population camerounaise riveraine de la forêt (93,3%) trouve plus des services écosystémiques d'approvisionnement dans cette dernière. En plus de ceux-ci, des services culturels et de régulation ont également été mentionnés. Ce qui n'est pas le cas dans

notre contexte spécifique lié uniquement aux abeilles. Une fois les différents services proposés, la majorité de la population a confirmé qu'elle bénéficiait de trois services différents, à savoir les services d'approvisionnement, de régulation, et culturels (Lhoest et al., 2019). La même observation a été faite dans le cas de notre étude, où l'approvisionnement et les services culturels ont été considérés comme prioritaires par les PA. Très peu d'entre eux pensent que les abeilles fournissent un service de régulation, notamment la pollinisation. Cette dernière affirmation peut être liée à une méconnaissance du rôle des abeilles, à part la production de certains produits tels que le miel, la propolis, et la cire. D'autres vont jusqu'à penser que le fait des abeilles de visiter plusieurs fois les fleurs en collectant du pollen ou en cherchant du nectar peut détruire les plantes. Une pensée témoignant fortement du faible niveau de connaissance sur le rôle des abeilles. Soro et al., (2020) ont trouvé que 12,4% de la population agricultrice de l'est de la côte d'Ivoire enquêtée estime que les abeilles contribuent à la diminution du rendement en raison de la destruction des fleurs. Dans cette même optique, Héger et al., (2023) ont recensé trois services clés mentionnés par la population du Kenya en rapport avec les abeilles mélipones qu'ils élèvent. Ces services sont ceux de provision alimentaire, médicinale et économique.

Dans le contexte social de l'évaluation des services écosystémiques rendus par les abeilles, Matias et al (2017) montrent que l'interaction entre les humains et les abeilles est soutenue par l'exploitation de divers produits, notamment le miel, le pollen, la gelée royale, et la cire. Ces produits constituent la base de divers services ou bénéfices écosystémiques. Dans le cas de notre étude, nous avons également constaté que les PA utilisent divers produits apicoles, notamment le miel ou le cortex alimentaire, la propolis, la cire, et le couvain ou les larves d'abeilles, dont ils tirent des bénéfices. A l'exception que les PA n'utilisent pas de gelée royale, mais consomment et vendent des larves d'abeilles. Le service de pollinisation est discrédité par les PA, contrairement à ce qui est affirmé par Matias et al. (2017) et repris par le MEA (2005).

Les PA ont indiqué que l'abeille domestique est l'espèce la plus exploitée dans le PNKB, suivie par les espèces du genre *Meliponula*, du *Xylocopa*, et enfin du *Dactylurina*. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce choix. La grande quantité de miel produite par l'abeille domestique a poussé les PA à lui accorder une importance supérieure à celle des autres espèces. Les recherches menées par Vereecken et al, (2015) montrent que la population a tendance à accorder plus d'importance à l'abeille domestique qu'à l'abeille sauvage. Cela peut s'expliquer par l'intérêt créé autour de l'abeille domestique au détriment de l'abeille sauvage. Cet intérêt est davantage d'ordre économique, mais aussi cognitif, en ce sens que les résultats issus de l'étude réalisée par Soro et al., (2020) ont montré que la qualité du miel des abeilles domestiques est jugée plus savoureuse

et sucrée que celle des abeilles sauvages par la population. Les PA récoltent le miel, le cortex alimentaire et les larves d'abeilles dans la forêt pour la vente et d'autres usages multiples. En moyenne 29,65 litres de miel sont récoltés chaque année, avec une fréquence de 2,4 récoltes par an, ce qui donne un revenu annuel moyen estimé à 165,21 dollars US. Dans cette quantité globale, le cortex alimentaire issu des abeilles sauvages ne représente que 1,67 litre. Les prix de vente demeurent les mêmes entre ces produits. Ce revenu est positivement corrélé avec la quantité de miel produite et la fréquence de récolte. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Staff, (2015), qui, au Brésil, a constaté que seulement 30 % des apiculteurs sauvages vendent le miel qu'ils produisent. Une moyenne d'environ 50 litres de miel est produite et vendue.

Plusieurs études attestent de l'utilisation des produits des abeilles sauvages pour de multiples services. (Adler et al., 2023) et les autres ont ainsi trouvé que dans la méliponiculture en Bolivie, les paysans parviennent à produire de 1 à 4 litres de miel par an par colonie. Mais aussi, ils récoltent du pollen, du cérumen ainsi que de la propolis en petite quantité. Ils utilisent le miel comme alimentation et médicament. Cela ne dépend pas de la fréquence mais du nombre de colonies détenues par l'apiculteur. En plus de la collecte de ces produits dans la forêt, certains PA possèdent des ruches traditionnelles utilisées pour piéger les abeilles domestiques. Ils disent vouloir capturer le plus grand nombre d'espèces d'abeilles possible dans les ruches afin de maximiser leur production. Cependant, ils constatent que les abeilles qui ne sont pas des *Apis mellifera* n'entrent pas dans les ruches et que, si elles le font, d'autres espèces d'abeilles les chassent. Cette situation s'explique par la concurrence entre les différentes espèces d'abeilles, basée sur l'exploitation de ressources partagées. Un autre risque est la transmission de maladies entre les abeilles mellifères et les abeilles sauvages (Vereecken et al., 2015).

Les liens sociaux créés par l'exploitation des abeilles sauvages résident dans le fait que la communauté s'organise pour établir les principes de la cueillette et de la vente des produits récoltés. En ce qui concerne la cueillette, la communauté développe des mécanismes pour échapper au contrôle des écogardes, que ce soit en identifiant les zones peu patrouillées, en formant des groupes pour faire face aux écogardes, ou en envoyant les femmes dans le parc, car elles sont rarement attaquées et se font facilement pardonner lorsqu'elles sont attrapées. En ce qui concerne les principes de vente, ils déterminent où et à qui ils livrent leurs produits, ainsi que les prix. Des études réalisées par Zamudio & Hilgert, (2018) sur les abeilles sans dard ont montré que le choix des populations locales parmi certaines abeilles n'est pas seulement lié à l'apparence ou aux caractéristiques du miel de ces abeilles. Plusieurs facteurs sont pris en compte par les populations locales, qu'il s'agisse de variables esthétiques, comportementales, d'habitudes non

hygiéniques, ou d'autres comportements intrinsèques. Ce qui n'est pas le cas dans notre étude, où le choix des abeilles est lié à l'abondance du miel ainsi qu'à l'usage culturel autour de l'espèce.

- **Caractéristiques de certaines espèces d'abeilles sauvages**

En ce qui concerne certains services écosystémiques, plusieurs utilisations non alimentaires des produits apicoles ont été mentionnées par les PA. Toutefois, certaines utilisations sont considérées comme plus efficaces pour des produits provenant d'espèces particulières. Un récit sur les manipulations du miel par les PA est ainsi constitué et nécessite un approfondissement en vue de vérifier en profondeur le fond. Les espèces d'abeilles exploitées sont les suivantes :

- *Meliponula sp* : Le miel de ces espèces serait efficace et largement utilisé pour lutter contre l'intoxication causée par le poison ou la nourriture. Ce même miel serait utilisé pour combattre les maux de tête sévères, les brûlures par le feu, le kwashiorkor (une forme de malnutrition sévère) et la déshydratation. Ce miel (cortex alimentaire) serait utilisé en le plaçant sous la chaleur du feu jusqu'à ébullition, afin qu'il puisse être consommé immédiatement ou mélangé à d'autres ingrédients locaux. Ce miel serait également utilisé pour lutter contre la teigne tondante, limiter les complications qui peuvent survenir pendant la grossesse (hémorragies chez la mère) et augmenter la quantité de lait maternel pendant l'allaitement. Pour les hommes, il permettrait de lutter contre l'impuissance sexuelle.

- *Xylocopa sp* : Le miel obtenu à partir de ces espèces se présente sous forme de boules, et en très petites quantités, il se trouve toujours dans le bois sec et serait le plus souvent consommé par les femmes pour combattre les hémorroïdes. Il serait également utilisé pour éliminer le poison ou l'intoxication et pour soigner l'hernie. Pour les maux de dos, il est préférable de ne pas prendre le miel mais le spécimen lui-même, le brûler, et la poudre obtenue serait utilisée après une incision sur le côté affecté. En outre, le miel augmenterait les performances érectiles et combattrait la stérilité chez les femmes.

Dactylurina sp : Cette espèce est très agressive, avec la particularité de vouloir pénétrer soit les voies nasales, soit les oreilles. Les vertus du miel de cette espèce seraient nombreuses. Lorsqu'un homme a commis une infidélité alors que sa femme est enceinte, il cherche une quantité de miel de cette espèce et en applique une petite quantité sur la nourriture ou la casserole pendant la cuisson ce qui empêcherait la femme un avortement ou une mort. Ce même miel serait souvent utilisé pour soigner toutes les catégories de l'hépatite qui est à un stade avancé et tend vers une cirrhose du foie. Le miel de cette espèce serait efficace pour traiter les douleurs de l'estomac et de l'abdomen, l'amibe, la stérilité féminine, la prostate, le rhumatisme, les douleurs de la poitrine,

le paludisme, l'hypertension et les douleurs des genoux. Ce miel serait également utilisé pour lutter contre les maux d'oreilles. En outre, ce miel serait souvent utilisé en période de conflits communautaires ou pendant des attaques par les écogardes pour se protéger. Il serait mélangé aux feuilles de certaines plantes forestières avec la cendre de certains insectes brûlés, et il serait supposé servir comme répulsif aux balles une fois appliqué. Le miel de cette espèce est souvent utilisé par les fétichistes pour mélanger leurs ingrédients. Enfin, ce miel serait mélangé à d'autres ingrédients locaux pour lutter contre l'épilepsie et les vertiges sévères. En plus d'utiliser leurs miels, ces abeilles seraient également utilisées directement vivantes comme des anti-foudre. Une partie de leur colonie installée près d'une maison éloignerait cette dernière d'être touchée par la foudre. Ces abeilles sont souvent capturées dans la forêt, transportées dans la cité pour remplir ce rôle. Elles font partie des espèces d'abeilles les plus recherchées et sont vendues en divisant leurs colonies en plusieurs parties. Chaque partie évolue et produit davantage. Le nid est souvent suspendu aux arbres.

Ces expériences ci-haut reprises montrent davantage des usages médicaux des abeilles sauvages. Ceux-ci rencontrent les résultats trouvés par Kiprono et al., (2022), ainsi que Héger et al., (2023) au Kenya, qui ont recensé plusieurs maladies soignées par le miel issu des abeilles sauvages. Ces maladies sont celles liées aux complications ou désordres respiratoires, gastro-intestinaux, infections, nausées, manque d'appétit, irritations, etc. Dans cette même perspective, Héger et al. (2023) ont pu recenser d'autres usages que ceux d'ordre médical. L'usage du cortex alimentaire dans les différentes cérémonies et traditions culturelles et spirituelles, ainsi que son utilisation comme aphrodisiaque.

De futures études dans la région prospectée pourraient affiner nos connaissances sur les usages non-alimentaires des miels de mélipones, et ainsi offrir une base de comparaison avec ces usages au travers de la région Afrotropicale.

Les 4 espèces détenant plusieurs variétés à leur sein sont exploitées dans cette région péri forestière. Ci-dessous sont présentées les images apparentées à des différents genres recherchés et à partir desquels leurs différents produits sont collectés.



Figure 26. Genres des abeilles sauvages utilisés par les PA

La figure 26 regroupe cet ensemble des abeilles qui fournissent différents services écosystémiques que les villageois nous ont attrapé et amené.

6. Conclusion générale

La caractérisation de la distribution des abeilles et des syrphes afro-montagnards tropicaux constitue un prérequis inévitable pour comprendre l'impact anthropique et du changement climatique sur ces pollinisateurs. Notre étude sur les pollinisateurs sur le mont Kahuzi offre des perspectives de biogéographie comparative avec d'autres études en cours ou à développer, afin d'atteindre le seuil de connaissances requis pour une méta-analyse sur la biogéographie des abeilles sauvages afromontagnardes, sur le modèle des récentes études à large échelle portant p.ex. sur l'avifaune des mêmes milieux (Cooper, 2021) ou sur les abeilles sauvages du Chili (Marshall et al., 2023). Au sein de l'archipel afromontagnard oriental, des prospections ciblées dans des zones contrastées comme :

- Les Hauts Plateaux du Kenya et de Tanzanie : les communautés du Mt. Kenya, du Mt. Elgon (Kenya) et celles du trio Ngorongoro-Meru-Kilimanjaro (Tanzanie) semblent former deux sous-ensembles cohérents bien que relativement similaires ;
- La Région des Grands Lacs : les communautés du Mt. Rwenzori (RDC et Kenya), du Mt. Aburo et du Mt. Mohi (RDC) sont susceptibles de former des communautés originales et différentes ;

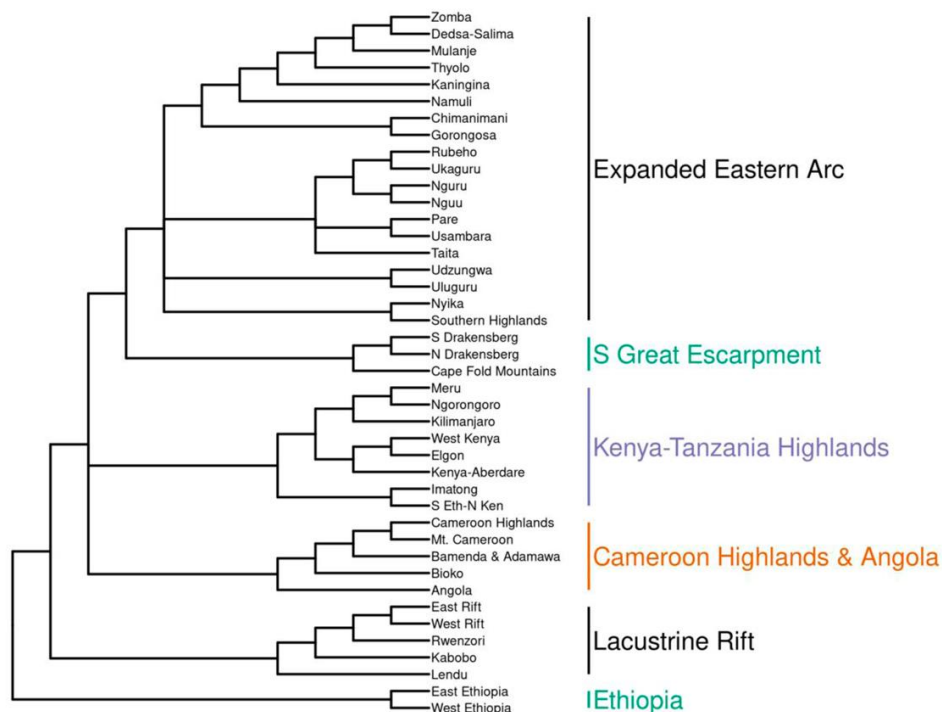


Figure 27. Classification hiérarchique des communautés d'oiseaux afromontagnards. Les localités voisines dans le dendrogramme présentent le plus d'affinité de composition faunistique.

- Les Hauts Plateaux de Taita (SE du Kenya et NE de la Tanzanie) et le Mt. Usambara (NE Tanzanie) constituent les chaînes les plus orientales des montagnes de l'archipel afromontagnard oriental : elles sont peu inventoriées et remarquables parce qu'elles sont encore couvertes de forêts tropicales, une caractéristique qui, autrement, reste principalement limitée à l'Afrique de l'Ouest sur le continent.

L'étude des abeilles sauvages et des services écosystémiques associés serait tout à fait pertinente dans certains de ces habitats de haute altitude qui conjuguent une haute valeur environnementale (hotspots de biodiversité végétale) avec une certaine précarité socio-économique des populations locales qui dépendent de l'utilisation durable des ressources naturelles (fruits, légumes, plantes, produits forestiers ligneux et non-ligneux, animaux, etc.), étant par défaut éloignés des zones plus anthropisées et sujettes à la globalisation. Il y a fort à parier qu'une partie essentielle de la médecine traditionnelle est notamment issue de certaines plantes aux interactions étroites avec les abeilles, ainsi que de l'utilisation de miels forestiers produits par les abeilles du genre *Apis* et/ou par les mélipones (p.ex. *Meliponula beccarii*) (Héger et al., 2023). Une étude comparative de ces services écosystémiques entre différents milieux afromontagnards contrastés permettrait d'évaluer les patrons de convergence/divergence des usages alimentaires et non-alimentaires des ressources naturelles locales, notamment celles en lien avec l'activité des abeilles.

Enfin, il nous semble que la réalisation de ce type d'étude transdisciplinaire, même si elle est limitée dans ses ambitions par le cadre du mémoire, permettrait d'aboutir à une connaissance plus fine et plus polyphonique des savoirs écologiques relatifs à ces pollinisateurs essentiels, dans des milieux et habitats tout à fait hors du commun d'un point de vue de leur biodiversité, et qui sont amenés à faire face à des changements radicaux dans les décennies à venir sous l'effet conjoint du changement climatique et de la pression anthropique. Sans éducation à la base et sensibilisation des universitaires, des élus et du grand public à ces questions urgentes, nous perdrons probablement une partie significative de nos pollinisateurs, cet héritage naturel et culturel qui contribue encore aujourd'hui à la sécurité alimentaire et au bien-être des populations locales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adler, M., Escóbar-Márquez, L., Solis-Soto, M. T., & Pinto, C. F. (2023). Stingless bees : Uses and management by meliponiculturist women in the Chaco region of Bolivia. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 19(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s13002-022-00574-0>
- Ascher, J. S., & Pickering, J. (2020). *Discover Life bee species guide and world checklist (Hymenoptera : Apoidea: Anthophila)*.
- Azo'o Ela, M., Bissou Wangbara, B., & Jordaens, K. (2022). Diversity of flower-visiting hoverflies (Diptera : Syrphidae) on ground cover vegetation from the market-gardening area of Mesquine (Far-North Region, Cameroon). *African Journal of Ecology*, 60(1), 58-66. Scopus. <https://doi.org/10.1111/aje.12922>
- Ball and Morris. (2013). Britain's hoverflies. *La Galerie de Quel est cet Animal*. <https://quelestcetanimal-lagalerie.com/dipteres/brachyceres/syrphidae/>
- Bascompte, J., Jordano, P., & Olesen, J. M. (2006). Asymmetric Coevolutionary Networks Facilitate Biodiversity Maintenance. *Science*, 312(5772), 431-433. <https://doi.org/10.1126/science.1123412>
- Baumann, K., Keune, J., Wolters, V., & Jauker, F. (2021). Distribution and pollination services of wild bees and hoverflies along an altitudinal gradient in mountain hay meadows. *Ecology and Evolution*, 11(16), 11345-11351. <https://doi.org/10.1002/ece3.7924>
- Bendifallah, L., Koudjil, M., Acheuk, F., Doumandji, S., Louadi, K., Boudia, I., & Achour, O. (2015). *Distribution spatio-temporelle des abeilles sauvages à travers les régions du Nord-Ouest d'Algérie*. 12, 84-97.
- Bergamo, P. J., Streher, N. S., Zambon, V., Wolowski, M., & Sazima, M. (2021). Pollination generalization and reproductive assurance by selfing in a tropical montane ecosystem. *Science of Nature*, 108(6). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s00114-021-01764-8>
- Bhattacharyya, M., Acharya, S. K. R., & Chakraborty, S. K. (2017). Pollinators Unknown : People's Perception of Native Bees in an Agrarian District of West Bengal, India, and Its Implication in Conservation. *Tropical Conservation Science*, 10. Scopus. <https://doi.org/10.1177/1940082917725440>
- Boulinier, T., Nichols, J., Sauer, J., Hines, J., & Pollock, K. (1998). Estimating Species Richness : The Importance of Heterogeneity in Species Detectability. *Ecology*, 79, 1018-1028. <https://doi.org/10.2307/176597>
- CANE, J. H. (2021). A brief review of monolecety in bees and benefits of a broadened definition. *Apidologie*, 52(1), 17-22. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00785-y>
- Cao, L., Zeng, Q., Ren, Q., Zeng, A., & Zhang, Y. (2022). Morphological characteristics and biological cycle of the hoverfly *Eristalinus arvorum* (Fabricius, 1787) (Diptera, Syrphidae). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.1052908>
- Cirimwami, L., Doumenge, C., Kahindo, J.-M., & Amani, C. (2019). The effect of elevation on species richness in tropical forests depends on the considered lifeform : Results from an East African mountain forest. *Tropical Ecology*, 60(4), 473-484. <https://doi.org/10.1007/s42965-019-00050-z>
- Classen, A., Steffan-Dewenter, I., Kindeketa, W. J., & Peters, M. K. (2017). Integrating intraspecific variation in community ecology unifies theories on body size shifts along

- climatic gradients. *Functional Ecology*, 31(3), 768-777. Scopus. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12786>
- Cooper, J. C. (2021). Hierarchical analyses of avian community biogeography in the Afromontane highlands. *Frontiers of biogeography*, 13(4), e51310. <https://doi.org/10.21425/f5fbg51310>
- de Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Dent, D. H., & Joseph Wright, S. (2009). The future of tropical species in secondary forests : A quantitative review. *Biological Conservation*, 142(12), 2833-2843. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.05.035>
- Doré, T., & Bellon, S. (2019). *Les mondes de l'agroécologie*. Éditions Quae.
- dos Santos, F. M., Beiroz, W., Antonini, Y., Martén-Rodríguez, S., Quesada, M., & Fernandes, G. W. (2020). Structure and composition of the euglossine bee community along an elevational gradient of rupestrian grassland vegetation. *Apidologie*, 51(4), 675-687. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00752-7>
- Dzekashu, F. F., Pirk, C. W. W., Yusuf, A. A., Classen, A., Kiatoko, N., Steffan-Dewenter, I., Peters, M. K., & Lattorff, H. M. G. (2023). Seasonal and elevational changes of plant-pollinator interaction networks in East African mountains. *Ecology and Evolution*, 13(5). Scopus. <https://doi.org/10.1002/ece3.10060>
- Egawa, S., Hirose, K., & Itino, T. (2020). Geographic changes in pollinator species composition affect the corolla tube length of self-heal (*Prunella vulgaris* L.): Evidence from three elevational gradients. *Ecological Research*, 35(5), 819-825. Scopus. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12146>
- Egawa, S., & Itino, T. (2020). Contrasting altitudinal patterns of diversity between bumblebees and bumblebee-visited flowers : Poverty of bumblebee diversity in a high mountain of Japan. *Ecological Research*, 35(3), 504-510. Scopus. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1010>
- F. White. (1983). *The Vegetation of Africa; a descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa—UNESCO Bibliothèque Numérique*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000058054>
- Fisler, L., & Gander, A. (2021). Les syrphes comme indicateurs de la diversité fonctionnelle en forêt. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 172(6), 380-383. <https://doi.org/10.3188/szf.2021.0380>
- Fourcade, Y., Åström, S., & Öckinger, E. (2019). Climate and land-cover change alter bumblebee species richness and community composition in subalpine areas. *Biodiversity and Conservation*, 28(3), 639-653. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1680-1>
- Francis, F., Colignon, P., Gaspar, C., & Haubruge, E. (2003). Evaluation de la présence des Syrphidae en cultures maraîchères et relation avec les populations aphidiennes. *5ème Conférence Internationale Francophone d'Entomologie*. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/83295/1/1538.pdf>
- Frantz, C. M., & Mayer, F. S. (2014). The importance of connection to nature in assessing environmental education programs. *Studies in Educational Evaluation*, 41, 85-89. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2013.10.001>

- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810-821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Kremen, C., Carvalheiro, L. G., Harder, L. D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Freitas, B. M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., ... Klein, A. M. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science (New York, N.Y.)*, 339(6127), 1608-1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Gérard, I. M., Louis, Z., Riera, B., Jean-Claude, M. M. I., Franclin, B., & Faustin, B. (2016). Variabilité Structurale Des Peuplements D'arbres En Forêt De Montagne Du Parc National De Kahuzi-Biega Et Ses Environs, RD. Congo. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(23), Article 23. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n23p88>
- Geroff, R. K., Gibbs, J., & McCravy, K. W. (2014). Assessing bee (Hymenoptera : Apoidea) diversity of an Illinois restored tallgrass prairie: methodology and conservation considerations. *Journal of Insect Conservation*, 18(5), 951-964. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9703-z>
- Geslin, B., Gauzens, B., Baude, M., Dajoz, I., Fontaine, C., Henry, M., Ropars, L., Rollin, O., Thébault, E., & Vereecken, N. J. (2017). Chapter Four—Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant–Pollinator Interactions. In D. A. Bohan, A. J. Dumbrell, & F. Massol (Éds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 57, p. 147-199). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.10.007>
- Hanula, J. L., Ulyshen, M. D., & Horn, S. (2016). Conserving Pollinators in North American Forests : A Review. *Natural Areas Journal*, 36(4), 427-439. <https://doi.org/10.3375/043.036.0409>
- Héger, M., Noiset, P., Nkoba, K., & Vereecken, N. J. (2023). Traditional ecological knowledge and non-food uses of stingless bee honey in Kenya's last pocket of tropical rainforest. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 19(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00614-3>
- Hoiss, B., Krauss, J., Potts, S. G., Roberts, S., & Steffan-Dewenter, I. (2012). Altitude acts as an environmental filter on phylogenetic composition, traits and diversity in bee communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1746), 4447-4456. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1581>
- Jean-Claude Kaufmann. (1996). *L'entretien compréhensif (Jean-Claude Kaufmann)*.
- Joshi, N., Leslie, T., Rajotte, E., Kammerer, M., Otieno, M., & Biddinger, D. (2015). Comparative trapping efficiency to characterize bee abundance, diversity, and community composition in apple orchards. *Ann. Entomol. Soc. Am*, 108, 785-799. <https://doi.org/10.1093/aesa/sav057>
- Jump, A. S., Mátyás, C., & Peñuelas, J. (2009). The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 694-701. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.007>
- Kamdern, M. M., Ramoejane, M., & Voua Otomo, P. (2023). Local-Scale DNA Barcoding of Afrotropical Hoverflies (Diptera : Syrphidae): A Case Study of the Eastern Free State of South Africa. *Insects*, 14(8). Scopus. <https://doi.org/10.3390/insects14080692>

- Kanani, A. C., David, S. B., & Jérôme, R. S. (2022). Importation des Nourritures et Securite Alimentaire des Menages a Bukavu. *European Scientific Journal, ESJ*, 18(20), 172. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n20p172>
- Kiprono, S. J., Mengich, G., Kosgei, J., Mutai, C., & Kimoloi, S. (2022). Ethnomedicinal uses of stingless bee honey among native communities of Baringo County, Kenya. *Scientific African*, 17, e01297. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01297>
- Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2006). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Körner, C. (2007). The use of ‘altitude’ in ecological research. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(11), 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610. <https://doi.org/10.1177/001316447003000308>
- Legendre, P. (2014). Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 23(11), 1324-1334. <https://doi.org/10.1111/geb.12207>
- Leong, JoaN. M., & Thorp, R. W. (1999). Colour-coded sampling : The pan trap colour preferences of oligolectic and nonoligolectic bees associated with a vernal pool plant. *Ecological Entomology*, 24(3), 329-335. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1999.00196.x>
- Lhoest, S., Dufrêne, M., Vermeulen, C., Oszwald, J., Doucet, J.-L., & Fayolle, A. (2019). Perceptions of ecosystem services provided by tropical forests to local populations in Cameroon. *Ecosystem Services*, 38, 100956. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100956>
- Mangambu, J. de D., Habiwaremye, F. M., Lina, A., & Ntahobavuka, H. (2010). *L'importance du groupement à Cyathea manniana dans la biodiversité du Parc National de Kahuzi -Biega, R. D. Congo*. 34 : 45-62.
- Mangambu M. (2013). *Taxonomie, biogéographie et écologie des Ptéridophytes de l'écosystème forestier des montagnes du Parc National de Kahuzi-Biega à l'Est de la R.D. Congo*. <https://www.uantwerpen.be/en/research-groups/geobiology/research/phd-dissertations/>
- Marshall, L., Ascher, J., Villagra, C., Beaugendre, A., Herrera, V., Henríquez-Piskulich, P., Vera, A., & Vereecken, N. (2023). Chilean bee diversity : Contrasting patterns of species and phylogenetic turnover along a large-scale ecological gradient. *Ecosphere*, 14, e4535. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4535>
- Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., Amo, D. G. D., Gómez-Baggethun, E., Oteros-Rozas, E., Palacios-Agundez, I., Willaarts, B., González, J. A., Santos-Martín, F., Onaindia, M., López-Santiago, C., & Montes, C. (2012). Uncovering Ecosystem Service Bundles through Social Preferences. *PLOS ONE*, 7(6), e38970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038970>
- Matias, D. M. S., Leventon, J., Rau, A.-L., Borgemeister, C., & von Wehrden, H. (2017a). A review of ecosystem service benefits from wild bees across social contexts. *Ambio*, 46(4), 456-467. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0844-z>

- Matias, D. M. S., Leventon, J., Rau, A.-L., Borgemeister, C., & von Wehrden, H. (2017b). A review of ecosystem service benefits from wild bees across social contexts. *Ambio*, 46(4), 456-467. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0844-z>
- McCabe, L. M., Colella, E., Chesshire, P., Smith, D., & Cobb, N. S. (2019). The transition from bee-to-fly dominated communities with increasing elevation and greater forest canopy cover. *PLOS ONE*, 14(6), e0217198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217198>
- MEA. (2005). *millennium ecosystem assessment 2005 pdf*—Recherche Google.
- Mengual, X., Mayer, C., Burt, T. O., Moran, K. M., Dietz, L., Nottebrock, G., Pauli, T., Young, A. D., Brasseur, M. V., Kukowka, S., Kelso, S., Etzbauer, C., Bot, S., Hauser, M., Jordaens, K., Miranda, G. F. G., Ståhls, G., Van Steenis, W., Peters, R. S., & Skevington, J. H. (2023). Systematics and evolution of predatory flower flies (Diptera : Syrphidae) based on exon-capture sequencing. *Systematic Entomology*, 48(2), 250-277. <https://doi.org/10.1111/syen.12573>
- Michener, C. D. (1974). *The Social Behavior of the Bees : A Comparative Study*. Harvard University Press.
- Michener, C. D. (1979). Biogeography of the Bees. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 66(3), 277-347. <https://doi.org/10.2307/2398833>
- Midgley, J. M., Muller, B. S., Theron, G. L., Phoofolo, M., Bellingan, T. A., & Jordaens, K. (2023). The Diptera of Lesotho : A history of collecting in the Mountain Kingdom, summary of recent collecting sites and introduction to the topical collection in African Invertebrates. *African Invertebrates*, 64(3), Article 3. <https://doi.org/10.3897/afrinvertebr.64.108525>
- Minachilis, K., Kantsa, A., Devalez, J., Vujic, A., Pauly, A., & Petanidou, T. (2023). High species turnover and unique plant–pollinator interactions make a hyperdiverse mountain. *Journal of Animal Ecology*, 92(5), 1001-1015. Scopus. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13898>
- Minachilis, K., Kougioumoutzis, K., & Petanidou, T. (2021a). Climate change effects on multi-taxa pollinator diversity and distribution along the elevation gradient of Mount Olympus, Greece. *Ecological Indicators*, 132. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108335>
- Minachilis, K., Kougioumoutzis, K., & Petanidou, T. (2021b). Climate change effects on multi-taxa pollinator diversity and distribution along the elevation gradient of Mount Olympus, Greece. *Ecological Indicators*, 132. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108335>
- Ministère de la Transition écologique. (2022). *Les insectes pollinisateurs nous en mette plein la vue -Ministère de la Transition écologique*. <https://www.ecologie.gouv.fr/insectes-pollinisateurs/>
- Mokoso, J. M., Habiyaemye, F. M., Janssen, T., van Diggelen, R., Robbrecht, E., & Habimana, H. N. (2013). Diversité des Fougères et leurs alliées le long du gradient altitudinal au sein de l'écosystème forestier des montagnes du Parc National de Kahuzi-Biega (RD CONGO). *International Journal of Environmental Studies*, 70(2), 259-283. Scopus. <https://doi.org/10.1080/00207233.2013.778007>
- Montoya, A., Pérez, S., & Wolff, M. (2012). The Diversity of Flower Flies (Diptera : Syrphidae) in Colombia and Their Neotropical Distribution. *Neotropical Entomology*, 41(1), 46-56. <https://doi.org/10.1007/s13744-012-0018-z>

- Morandin, L. A., & Kremen, C. (2013). Bee Preference for Native versus Exotic Plants in Restored Agricultural Hedgerows. *Restoration Ecology*, 21(1), 26-32. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00876.x>
- Mouillot, D., & Leprêtre, A. (1999). A comparison of species diversity estimators. *Researches on Population Ecology*, 41(2), 203-215. <https://doi.org/10.1007/s101440050024>
- Ndabaga, M., Muhashy, C. H., & Pierre, M. (2014). Density of Lianas Following the Topo-Sequence in the Mountainous Rainforest of Kahuzi-Biega National Park. In *Mountains : Geology, Topography and Environmental Concerns* (p. 251-262). Scopus.
- Nzabandora, C. K., Salmon, M., & Roche, E. (2011). *Le Parc National de Kahuzi—Biega (R. D. Congo), patrimoine en péril ? Le secteur « Haute Altitude », situation et perspectives. Geo-Eco-Trop.*, 35: 1-8, 10.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Orr, M. C., Hughes, A. C., Chesters, D., Pickering, J., Zhu, C.-D., & Ascher, J. S. (2021). Global Patterns and Drivers of Bee Distribution. *Current Biology*, 31(3), 451-458.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.053>
- Osorio-Canadas, S., Flores-Hernández, N., Sánchez-Ortiz, T., & Valiente-Banuet, A. (2021). Changes in the structure and composition of the « Mexical » scrubland bee community along an elevational gradient. *PloS One*, 16(7), e0254072. Scopus. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254072>
- Patiny, S., Michez, D., Kuhlmann, M., Pauly, A., & Barbier, Y. (2009). Factors limiting the species richness of bees in Saharan Africa. *Bulletin of Entomological Research*, 99(4), 337-346. Scopus. <https://doi.org/10.1017/S0007485308006433>
- Pauly, A. (1981). (*Hymenoptera, Halictidae*) " '.
- Pauly, A., Nzigidahera, B., Eardley, C., Ndayikeza, L., & Habonimana, B. (2015). *Belgian Journal of Entomology*.
- Perillo, L. N., Castro, F. S. D., Solar, R., & Neves, F. D. S. (2021). Disentangling the effects of latitudinal and elevational gradients on bee, wasp, and ant diversity in an ancient neotropical mountain range. *Journal of Biogeography*, 48(7), 1564-1578. Scopus. <https://doi.org/10.1111/jbi.14095>
- Perillo, L. N., Neves, F. D. S., Antonini, Y., & Martins, R. P. (2017). Compositional changes in bee and wasp communities along Neotropical mountain altitudinal gradient. *PLoS ONE*, 12(7). Scopus. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182054>
- Popic, T. J., Davila, Y. C., & Wardle, G. M. (2013). Evaluation of Common Methods for Sampling Invertebrate Pollinator Assemblages : Net Sampling Out-Perform Pan Traps. *PLOS ONE*, 8(6), e66665. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066665>
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines : Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), Article 7632. <https://doi.org/10.1038/nature20588>

- Rashed, A., Khan, M. I., Dawson, J. W., Yack, J. E., & Sherratt, T. N. (2009). Do hoverflies (Diptera : Syrphidae) sound like the Hymenoptera they morphologically resemble? *Behavioral Ecology*, 20(2), 396-402. <https://doi.org/10.1093/beheco/arn148>
- Rasmussen, C., Engel, M., & Vereecken, N. (2020). A primer of host-plant specialization in bees. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4. <https://doi.org/10.1042/ETLS20190118>
- Ropars, L. (2020). *Les communautés d'abeilles sauvages dans les habitats protégés méditerranéens : Diversité, interactions et co-occurrence avec l'abeille domestique*.
- Rubene, D., Schroeder, M., & Ranius, T. (2015). Diversity patterns of wild bees and wasps in managed boreal forests : Effects of spatial structure, local habitat and surrounding landscape. *Biological Conservation*, 184, 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.029>
- Soro, N. A., Kouakou, L. M. M., Ouattara, K., & Kone, N. A. (2020). *Connaissances traditionnelles des populations locales à la périphérie du Parc National de la Comoé sur les abeilles sociales dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire*.
- Staff, T. P. O. (2015). Correction : Bees for Development: Brazilian Survey Reveals How to Optimize Stingless Beekeeping. *PLOS ONE*, 10(6), e0130111. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130111>
- Sydenham, M. A. K., Moe, S. R., Totland, Ø., & Eldegard, K. (2015). Does multi-level environmental filtering determine the functional and phylogenetic composition of wild bee species assemblages? *Ecography*, 38(2), 140-153. <https://doi.org/10.1111/ecog.00938>
- van Rijn, P. C. J., Kooijman, J., & Wäckers, F. L. (2013). The contribution of floral resources and honeydew to the performance of predatory hoverflies (Diptera : Syrphidae). *Biological Control*, 67(1), 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.014>
- Vereecken, N. J. (2017). A phylogenetic approach to conservation prioritization for Europe's bumblebees (Hymenoptera : Apidae: Bombus). *Biological Conservation*, 206, 21-30. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.009>
- Vereecken, N. J., Cozzolino, S., & Schiestl, F. P. (2010). Hybrid floral scent novelty drives pollinator shift in sexually deceptive orchids. *BMC Evolutionary Biology*, 10(1), 103. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-10-103>
- Vereecken, N. J., Dufrêne, E., & Aubert, M. (2015). Sur la coexistence entre l'abeille domestique et les abeilles sauvages. *Rapport de synthèse sur les risques liés à l'introduction de ruches de l'abeille domestique (Apis mellifera) vis-à-vis des abeilles sauvages et de la flore. Observatoire des Abeilles (OA)*.
- Vereecken, N., Toffin, E., Gosselin, M., & Michez, D. (2006). Observations relatives à la biologie et à la nidification de quelques abeilles sauvages psammophiles d'intérêt en Wallonie. 1. *Observations printanières. Parcs Réserves*, 61, 8-13.
- Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Potts, S. G., Roberts, S. P. M., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B. E., Wojciechowski, M., Biesmeijer, J. C., Kunin, W. E., Settele, J., & Steffan-Dewenter, I. (2008). Measuring Bee Diversity in Different European Habitats and Biogeographical Regions. *Ecological Monographs*, 78(4), 653-671. <https://doi.org/10.1890/07-1292.1>

- White, F. (1978). The Afromontane Region. In M. J. A. Werger (Éd.), *Biogeography and Ecology of Southern Africa* (p. 463-513). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-9951-0_11
- Wilson, J. S., Forister, M. L., & Carril, O. M. (2017). Interest exceeds understanding in public support of bee conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(8), 460-466. <https://doi.org/10.1002/fee.1531>
- Wilson, J. S., Wilson, L. E., Loftis, L. D., & Griswold, T. (2010). The montane bee fauna of north central Washington, USA, with floral associations. *Western North American Naturalist*, 70(2), 198-207. Scopus. <https://doi.org/10.3398/064.070.0206>
- Winfree, R., Griswold, T., & Kremen, C. (2007). Effect of Human Disturbance on Bee Communities in a Forested Ecosystem. *Conservation Biology*, 21(1), 213-223. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00574.x>
- Wong, D., Norman, H., Creedy, T. J., Jordaens, K., Moran, K. M., Young, A., Mengual, X., Skevington, J. H., & Vogler, A. P. (2023). The phylogeny and evolutionary ecology of hoverflies (Diptera: Syrphidae) inferred from mitochondrial genomes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 184, 107759. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2023.107759>
- Yamagiwa, J., Basabose, A. K., Kaleme, K., & Yumoto, T. (2005). Diet of Grauer's Gorillas in the Montane Forest of Kahuzi, Democratic Republic of Congo. *International Journal of Primatology*, 26(6), 1345-1373. <https://doi.org/10.1007/s10764-005-8856-8>
- Zamudio, F., & Hilgert, N. I. (2018). Cultural, Psychological, and Organoleptic Factors Related to the Use of Stingless Bees by Rural Residents of Northern Misiones, Argentina. In P. Vit, S. R. M. Pedro, & D. W. Roubik (Éds.), *Pot-Pollen in Stingless Bee Melittology* (p. 283-297). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61839-5_20
- Zaninotto, V. (2022). *Écologie et fonctionnement des communautés plantes-pollinisateurs en milieu urbain dense : L'exemple de la ville de Paris à travers les saisons* [Phdthesis, Sorbonne Université]. <https://theses.hal.science/tel-04143747>

