

Recherche de proxies servant à l'évaluation de la capacité de charge environnementale de colonies d'*Apis mellifera* à Moorea. Influence des densités de ruches et des ressources mellifères.

T. Allain ^{1,2}

Stage M2 BOE encadré par H. Jourdan³, K. Grignet¹

¹ Direction de l'agriculture de Polynésie française, Tahiti, Polynésie française

² Université de polynésie française, Tahiti, Polynésie française

³ Insitut de Recherche et Développement, Nouméa, Nouvelle-Calédonie

Financé par l'UE à travers le **Projet Régional Océanien des Territoires pour la Gestion durable des Écosystèmes (PROTEGE)**.

RÉSUMÉ

Au cours des 5 dernières années, le nombre et la densité des colonies d'*Apis mellifera* ont fortement augmenté en Polynésie française, y compris sur les îles de Tahiti et Moorea où s'est déroulée notre étude. Cette croissance rapide pourrait avoir des effets néfastes sur le secteur apicole car la concurrence entre *Apis mellifera* pour les ressources mellifères pourrait devenir un facteur limitant pour la production de miel en raison de la forte densité des ruches. À l'aide d'une enquête en ligne visant à comprendre l'état actuel de l'industrie apicole, nous avons pu dresser une image actualisée du secteur et tenté de prédire les tendances de croissance futures du nombre total de colonies ainsi que d'autres facteurs pertinents pour l'étude. Ensuite, à l'aide d'un système d'information géographique (SIG), nous avons testé une méthodologie préliminaire permettant par le calcul de deux indices d'apprécier la qualité mellifère de la zone de butinage autour d'un rucher ainsi que le niveau de compétition pour les ressources qu'elle entretient avec les autres ruchers. Nous nous concentrons sur l'île de Moorea et sa situation apicole. Une nouvelle méthodologie ainsi que les outils géographiques nécessaires à l'extraction des index ont été créés. Un ensemble de données limité initial a été collecté pour tester et améliorer cette méthodologie. Bien qu'actuellement insuffisantes pour corrélérer de manière robuste les différents facteurs étudiés, les limites de nos données actuellement disponibles sont discutées en profondeur et un protocole d'échantillonnage alternatif est proposé. Le développement d'un observatoire et la standardisation des pratiques apicoles permettraient de réduire les facteurs abiotiques importants impactant la production de miel et d'améliorer la qualité des données. D'autres limitations et améliorations possibles de notre méthodologie actuelle sont mentionnées et des alternatives à notre traitement des données sont suggérées.

Mots clés

Apis mellifera, ressources mellifères, durabilité apicole, capacité de charge, enquête.

INTRODUCTION

Les îles hautes et les atolls de la Polynésie française offrent un environnement riche en ressources pour les abeilles domestiques. Cet environnement tropical procure également des températures favorables aux abeilles tout au long de l'année et un accès aux ressources mellifères même pendant la période d'hiver tropical. Les prédateurs, les parasites et la plupart des maladies impactant *Apis mellifera* qui limitent son exploitation à l'échelle mondiale sont également absents de cet écosystème (Fert & Pajuelo, 2013). Avec 1621 colonies en 1995, le domaine apicole a suivi une expansion modérée jusqu'à ce que des restrictions sanitaires sur l'importation de miel soient mises en place en 2011 pour prévenir les risques d'importation de maladies. Le marché local s'est développé en réponse à la demande accrue. Les 2960 colonies enregistrées en 2012, sont passées à 12000 en 2022 (RGA 2012, BSA 2020). Avec 4700 colonies recensées sur les îles jumelles de Tahiti et Moorea, mais bien plus de ruches non déclarées, majoritairement détenues par des amateurs et semi-professionnels. Cependant, ce développement explosif du nombre de colonies pourrait renforcer les compétitions intraspécifiques entre *Apis mellifera* ainsi que la compétition interspécifique avec les pollinisateurs sauvages (Geslin & al, 2016; Ropars & al, 2019 ; Ropars et al, 2020). La non-durabilité d'un nombre élevé de colonies a déjà été démontrée dans d'autres études et une situation similaire pourrait émerger à Tahiti et Moorea (Casanelles-Abella & Moretti, 2022). Cette préoccupation croissante a conduit à notre étude dans le cadre de l'initiative PROTEGE, ce projet soutenu par le Fonds Européen de Développement (FED) et orchestré par la Communauté du Pacifique vise à développer une production agroécologique durable et un développement économique dans les pays d'outre-mer et territoires européen du Pacifique. Des études antérieures ont démontré la fluctuation temporelle des ressources mellifères à travers les périodes de floraison et de récolte du miel (Butaud, 2020 ; Lombard 2021). Cependant, une tentative d'estimation des ressources mellifères et de la capacité de charge offerte aux colonies d'abeilles par différents milieux n'avait jamais été effectuée sur les îles de Tahiti et Moorea d'un point de vue géographique. Les deux îles hautes ont été choisies comme sites d'étude car elles regroupent plus d'un tiers des ruches de la Polynésie française, offraient à la fois des milieux urbanisés et naturels et parce qu'une carte des nombreux types de végétation de Moorea était disponible pour comparaison dans l'étude (Pouteau & al, 2012). Une nouvelle méthodologie a dû être créée pour mesurer la concurrence pour la ressource et la pression qu'elle subit. La pression générée par *Apis mellifera* sur les ressources est principalement définie par deux facteurs : la densité du nombre de ruches dans un milieu donné et la qualité et la quantité des ressources mellifères dans ce milieu (Wakjira & Gela, 2019 ; Henry & Rodet, 2020). Notre objectif était de développer des indicateurs pertinents dans le contexte local sur la base d'autres méthodologies trouvées dans la littérature pour évaluer la disponibilité potentielle des ressources mellifères et la compétition intraspécifique d'*Apis mellifera* à un endroit donné. Ces résultats seraient les premiers pas vers une meilleure évaluation de la durabilité de la production de miel et aideraient à mieux orienter et gérer les choix d'installation des ruchers pour éviter une tragédie des communs (Hardin, 1968 ; Sari & al, 2020). Avec les indices nouvellement développés, on tenterait alors d'observer s'il existe des corrélations entre la qualité de l'environnement, la compétition entre colonies et la production de miel (Al-Ghamdi & al,

2016). Une corrélation négative significative et robuste entre la densité des colonies et la production pourrait prédire que la capacité de charge environnementale a été atteinte ou dépassée. Bien que nous soyons conscients de l'impact majeur que les pratiques apicoles auraient sur la production de miel car de mauvaises pratiques pourraient la limiter plus que l'environnement (Wakjira & Gela, 2019), un premier jeu de données a été collecté sur Moorea pour tester notre protocole, la viabilité des indices développés au cours de l'étude et les limites des données actuellement disponibles.

MÉTHODES

Questionnaires

Un formulaire Google en ligne a été créé et construit en trois parties distinctes. La première partie traitait des questions liées aux apiculteurs, à leurs pratiques apicoles et à la taille et la localisation de leurs ruchers. Les deuxième et troisième parties de l'enquête étaient des questions à choix multiples portant respectivement sur la connaissance des plantes mellifères et sur les pollinisateurs vivant en Polynésie française. Un lien internet menant à l'enquête a été envoyé par mail à tous les apiculteurs inscrits dans la base de données locale de la direction de l'agriculture ainsi que sur leurs réseaux sociaux officiels. L'enquête était ouverte du 3 au 24 mars 2022. Elle a été clôturée après une période de deux semaines sans qu'aucun nouveau volontaire n'ait été enregistré.

Des apiculteurs de Moorea ont été questionnés lors de l'expédition de terrain. Ces derniers ont été choisis car ils possèdent le nombre total de ruches et de ruchers les plus importants de l'île de Moorea. Ce choix a été fait de manière à avoir le plus grand nombre de reliquats possible (ruchers) et en tenant compte du fait que les apiculteurs professionnels ont tendance à avoir des pratiques plus homogènes réduisant ainsi ce facteur de biais dans la comparaison de leurs productions. Nous avons essayé de contacter les 15 apiculteurs avec les effectifs de colonies les plus élevés, ils auraient représenté 73,6% du total des colonies déclarées sur Moorea. Cinq d'entre eux, totalisant 489 ruches et représentant 37,6% des colonies, se sont portés volontaires pour partager l'emplacement de leurs ruchers, de leurs pratiques apicoles ainsi que la production de miel individuelle de chacun des ruchers pour pouvoir l'utiliser dans le cadre de notre étude. Des questions semi-dirigées ont été posées à l'aide d'un questionnaire. Toute information ou facteur supplémentaire pouvant avoir un impact sur la production de miel a été noté pour une possible prise en compte.

Gestion et méthodes de l'information géographique

Les deux trames de "Tahiti et Moorea © 2020 Maxar Technologies" ont été obtenues via le service des affaires foncières. Les vecteurs classant l'occupation du sol des îles ont été extraits librement sur [data.gouv.fr](https://www.data.gouv.fr), le centre national de données officiel Français, en utilisant le lien suivant :

<https://www.data.gouv.fr/en/datasets/base-de-donnees-cartographique-vectorielle/>

Le raster de couverture des espèces végétales de Moorea nous a été fourni par Benoît Stoll et a été créé à l'origine par Robin Pouteau lors de sa thèse de doctorat intitulée "SVM Selective Fusion (SELF) for Multi-Source Classification of Structurally Complex Tropical Rainforests" (2012).

Informations sur les ruchers

Les points de localisation des ruchers ont été collectés en demandant aux apiculteurs de les localiser sur une image satellite de Moorea. Le nombre de ruches et de ruchettes (définies comme ayant entre 8 et 10 cadres pour les ruches et 5 cadres pour les ruchettes) a été enregistré avec le nombre de celles-ci récoltées pendant les périodes de miellée de fin 2020 à début 2021 car elles représentent les deux dernières périodes de floraison et de récolte de miel enregistrées au moment de l'étude. (Butaud, 2020 ; Lombard 2021). On attribue à chaque rucher un identifiant unique et le nom du propriétaire affilié afin de tracer les pratiques apicoles utilisées pour leur entretien. La production de miel par ruche, si elle n'est pas directement donnée par le producteur, a été calculée en divisant la production annuelle par le nombre total de ruches du rucher, excluant les ruchettes récemment divisées ou réservées à la production de reines. Nous divisons par le nombre total de ruches plutôt que par celles récoltées pour mieux correspondre à la méthode actuelle d'estimation de la production de miel utilisée par la direction de l'agriculture. Les pratiques apicoles enregistrées étaient : la période de récolte des différentes miellées, la quantité de sirop de sucre donnée par ruche en centilitres, la quantité de protéines donnée par ruche en grammes et le modèle de ruches utilisé entre Dadant, Langstroth et Kenyan.

Représentation de la zone de butinage

Pour représenter la zone de butinage des ruchers, deux tampons circulaires ont été créés autour de l'emplacement de chaque rucher. La distance de recherche de nourriture moyenne estimée dans différentes études de 3 km a été utilisée pour la première zone tampon et un rayon plus court de 1,1 kilomètre représentant la zone avec une pression de butinage plus élevée sur les ressources mellifères (Fig 1) (Henry et Rodet, 2020).

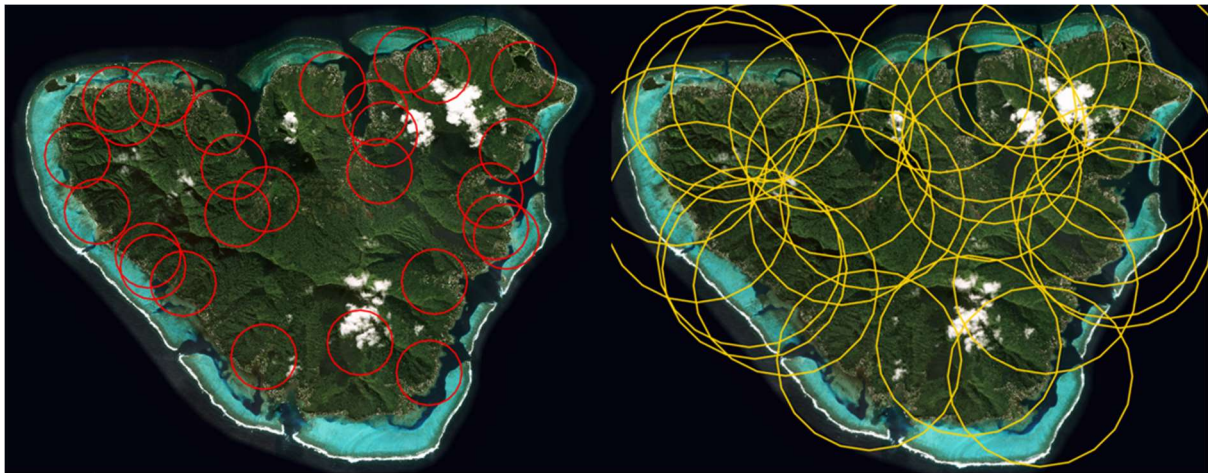


Figure 1 : Représentation des rayons des deux tampons représentant les zones de butinage des ruchers de 1,1km en rouge et 3km en jaune sur l'île de Moorea.

Création de vecteurs d'occupation du sol

Une zone tampon de 3 kilomètres a été créée autour de l'île pour générer un raster d'environnement "Mer", non présent dans les données gouvernementales. Les différents vecteurs polygonaux représentant les utilisations du sol ont été fusionnés en un seul vecteur. Les types d'utilisation des sols fournis par data.gouv étaient les utilisations agricoles, les cocoteraies, les cultures maraîchères, les plantations d'arbres (généralement des Pinus exploités pour le bois), les vergers, les constructions, les terrains rocheux, la "végétation basse" et la "végétation haute". Aucune de ces catégories ne se chevauchait sur la carte cependant une portion de l'utilisation de sols de Moorea restait indéterminée. Ces lacunes ont été comblées par la création d'une nouvelle couche de polygones et classées comme zones urbaines végétalisées car il s'agissait de la catégorie d'utilisation des sols manquante. Chaque couche mentionnée ci-dessus a ensuite été fusionnée pour créer une couche unique dont les classes d'occupation des sols sont individuellement exclusives et mutuellement exhaustives. Appelée plus loin "Couche d'extraction de base". Également, la donnée raster "Types de végétations" a été vectorisée et les polygones non identifiés de cette couche en ont été retirés. La couche vecteur en résultant a ensuite été utilisée fusionnée avec la "couche d'extraction de base" pour obtenir à nouveau une couche aux polygones individuellement exclusifs et mutuellement exhaustifs, appelée plus loin "Couche d'extraction avancée".

Méthodes d'extraction des données d'occupation du sol géographique

Les tampons circulaires de 1,1 km et 3 km autour des points des ruchers ont tous deux été utilisés pour découper des zones de la "couche d'extraction de base" ainsi que de la "couche d'extraction avancée". Fournissant quatre jeux de données, un pour chaque couche vecteur et à chaque échelle de la zone de butinage. La surface en mètre carré de chaque type d'occupation du sol a été extraite à l'intérieur des rayons de butinage pour chaque rucher. Les tableaux d'attributs de chaque jeu de données ont été extraits et exploités dans Excel pour obtenir le pourcentage de recouvrement de la zone de butinage pour chaque catégorie d'utilisation des sols et types de végétation avant d'être exportés pour analyse dans Jamovi et Rstudio.

Méthodes de calcul et d'extraction de l'indice de compétition

Pour représenter la compétition intraspécifique entre ruchers pour les ressources mellifères, un indice de compétition a dû être créé. Les tampons circulaires de 1,1 km et 3 km de rayon dont les surfaces se chevauchaient (respectivement entre tampons de 1.1km et 3km) étaient considérées en compétition, le pourcentage de surface en compétition a donc été extrait pour chaque rucher aux deux échelles mentionnées. La table attributaire résultante a été exportée vers Excel pour être exploitée. Pour un rucher donné, l'indice de compétition est égal au nombre de colonies composant le rucher plus les colonies des autres ruchers avec lesquels ils partagent la surface de butinage, multiplié par le pourcentage de surface de butinage partagée avec ces autres colonies. Cette méthodologie a été soutenue par une équation similaire utilisée pour estimer la densité d'*Apis mellifera* dans une autre étude (Ropars & al, 2020).

Équation mathématique

$$ACIx = \sum_{i=1}^N \text{Number of hives} \times Ofa$$

ACIx = indice de compétition apicole du rucher x, N = nombre de ruchers concurrents, Ofa = chevauchement de la zone de butinage (en pourcentage de la zone de butinage totale)

Alors que seules les données de production et pratiques apicoles de 27 ruchers ont été récupérées sur Moorea lors de notre enquête de terrain, pour les besoins de cette extraction les localisations des ruchers datant de 2018 ont été utilisées et mises à jour avec les derniers rapports effectifs. Au total 86 emplacements de ruchers dont les 27 nouvellement recensés ont composé cette extraction.

Méthodes d'analyse statistique de Rstudio

Les 4 jeux de données créés précédemment ont été préparés dans Excel afin que chacun d'eux contienne le pourcentage de recouvrement des types d'utilisations des sols dans la zone de butinage, les pratiques apicoles, la compétition et les indices de qualité mellifère pour chaque rucher individuel. Un ensemble de données distinct a été créé en analysant exclusivement les données de 13 ruches appartenant à un même apiculteur et avec des pratiques homogènes pour voir si des tendances plus fortes pouvaient être observées en excluant ces facteurs. Jamovi a été utilisé pour créer les matrices de corrélation de Spearman et visualiser les diagrammes de dispersion des données. Rstudio a été utilisé avec le package "ade4" pour créer des cercles de corrélation.

RÉSULTATS

Panorama de l'apiculture en Polynésie française

Nous décrivons ici les données recueillies lors du sondage en ligne. Au total, 85 apiculteurs ont répondu à l'enquête, représentant un total de 1613 ruches et 225 ruchers. 59 de ces volontaires sont originaires de Tahiti (48) et de Moorea (11), représentant respectivement 839 et 150 ruches pour un total de 1037 ruches, 132 ruchers à Tahiti et 18 à Moorea.

Profil des apiculteurs

49,4% des apiculteurs avaient plus de 5 ans d'expérience, 24,7% entre 3 et 5 ans, 14,1% entre un et deux ans de pratique, enfin 11,8% possédaient une ruche depuis moins d'un an.

For how long have you been practicing beekeeping?

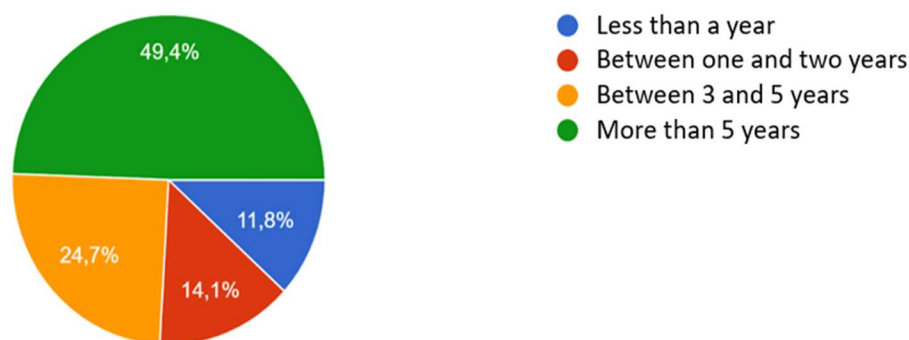


Figure 2 : Différents niveaux d'expérience pratique en apiculture des candidats à l'étude.

Tendance et croissance attendue du nombre de colonies

A la question, "Comment souhaitez vous modifier vos effectifs de ruches à l'avenir?" 61,2% des apiculteurs souhaitent agrandir leurs ruchers à l'avenir, 35,3% désirent maintenir la taille de leurs ruchers et seulement 3,6% veulent réduire ou arrêter leurs activités.

Tableau 1 : Somme des ruches actuellement possédées et effectifs futurs désirés en fonction du temps de pratique

Temps en pratique	Moins d'un an	Entre 1 et 2 ans	Entre 3 et 5 ans	Plus de 5 ans	Total
Somme des ruches possédées	56	151	228	1178	1613
Somme des ruches désiré	434	356	724	1569	3083

Alors que le nombre de ruches actuel dans cette étude était de 1609, l'effectifs désiré à l'avenir d'après la communauté des apiculteurs serait de 3073. Cela représenterait une augmentation de 91% de la densité de ruches en Polynésie française (Tableau 1). Cela indique clairement l'intention de croissance de la filière, en particulier des apiculteurs

relativement nouveaux avec moins de 5 ans d'expérience qui souhaitent observer une croissance de 348% du nombre de colonies en moyenne. Cependant le désir de certains apiculteurs semble hors de proportion. Afin de ne pas fournir une valeur fortement surestimée pour l'évolution possible de la filière, nous avons décidé de pondérer les attentes des apiculteurs pour ne considérer qu'un éventuel doublement de leur nombre actuel de colonies. A titre d'exemple, un apiculteur possédant 20 ruches, en désirant 100, l'effectif souhaité serait abaissé à 40 pour mieux représenter la croissance réellement possible d'un rucher sur les quelques années à venir. Nous avons obtenu un effectif total de ruches désiré de 2210 et une augmentation de 37,35 % du nombre de colonies. Dans tous les cas cependant, la population de ruches augmentera considérablement dans les années à venir si les apiculteurs sont en mesure d'agrandir leurs ruchers, même partiellement dans les proportions désirées.

Évaluation des ruches non déclarées

A la question «Avez vous déjà déclaré vos ruches à la direction de l'agriculture?», 16,5% des apiculteurs interrogés n'avaient jamais déclaré leurs ruches auparavant. Cela représente 144 ruches soit 8,9% du total des ruches enquêtées. Cependant, un candidat de l'enquête avait un rucher à l'effectif important de 80 colonies, ce qui a fortement impacté les moyennes. Après avoir retiré cet individu du jeu de données, la moyenne des taille de ruchers des apiculteurs non déclarés tombe à 4,9. Pour un total de 64 ruches non déclarées au sein de notre étude représentant 4,95 % des ruches enquêtées (Tableau 2).

Tableau 2 : Proportions des réponses à la question « Avez vous déjà déclaré vos ruches à la direction de l'agriculture? ».

	Non	Oui	Total
Nombre de ruches	144	1469	1613
Nombre moyen de ruches	10,28	20,69	18,97
Pourcentage du total de ruches enquêtées	8,93%	91,07%	100,00%
Nombre d'apiculteurs	14	71	85
Pourcentage du nombre d'apiculteurs enquêtés	16,47%	83,53%	100,00%

Cependant, ces chiffres ne permettent pas d'estimer le pourcentage de ruches non déclarées car le mode de publication de l'enquête était biaisé à cet égard. Les apiculteurs inscrits dans la base de données de la direction de l'agriculture et donc déjà recensés ont reçu un courriel contenant le lien vers l'enquête. 68,2% de nos individus provenaient de ces apiculteurs et 31,8% restants provenaient de la publication facebook ou ont reçus le lien par une

connaissance. De cette portion du sondage, comprenant 26 individus, 10 d'entre eux soit 38,4% n'avaient jamais été déclarés. La proportion de 4,9 % de colonies non déclarées dans la population calculée précédemment pourrait être considérée comme un strict minimum car il s'agit d'une sous-estimation évidente de la proportion réelle non déclarée.

Mise à l'échelle de l'indice de qualité mellifère des milieux environnant les ruchers

En l'absence de données quantitatives chaque type d'occupation des sols s'est vu attribuer empiriquement, sur la base de nos connaissances une note de « Qualité mellifère » allant de 0 à 5 et représentant la quantité de ressources nectarifères et pollinifères estimée disponible au sein de ces catégories (Tableaux 1 et 2). Ces valeurs arbitraires ayant été estimées sur la base de nos connaissances actuelles sur les propriétés mellifères fournies par les études antérieures ainsi que par l'observation des apiculteurs des espèces fleurissant en période de miellée (Rogers 2017, Butaud 2020).

L'indice de qualité mellifère d'un rucher est la somme des qualités mellifères attribuées aux types d'utilisation des sols multipliée par le pourcentage de couverture de chaque type de sol à l'intérieur de zone de butinage du rucher. Nous offrant une valeur de la qualité de l'environnement entourant le rucher sur une échelle de 0 à 5. Cette approche est une amélioration par rapport d'autres estimations car utilisant des pourcentages de couverture précis au lieu de catégories (Bruneau, 2021).

$$AMQIx = \sum_{i=1}^N \text{Melliferous quality} \times LuC$$

AMQIx = indice de qualité mellifère du rucher x, N = nombre de différentes utilisations des sols dans le zone de butinage, LuC = couverture du type d'utilisation des sols en pourcentage par rapport à l'air de butinage totale.

Tableau 3 : Classement des différentes occupations des sols et qualités mellifères attribuées.

Qualité mellifère	Types d'utilisations des sols
0	Constructions, Mer
1	Elevage, Terrain rocheux
2	Plantation d'arbres (<i>Pinus</i>)
3	Zones urbaines végétalisées, Végétation basse, Maraîchage
4	Végétation haute
5	Vergés, Cocoteraies

Table 4 : Classification du score de qualité mellifère des différentes espèces de plantes et types de végétations.

Qualité mellifère	Espèces de plantes et types de végétations
0	<i>Dicranopteris</i>
1	<i>Casuarina</i> , , <i>Typha</i>
2	Savane, <i>Pinus</i>
3	<i>Leucaena</i> , <i>Hibiscus</i> , <i>Aleurites</i> , <i>Spathodea</i>
4	<i>Inocarpus</i> , <i>Metrosideros</i> , <i>Neonauclea</i>
5	<i>Falcataria</i> , <i>Cocos</i>

Les catégories "Anthropique" et "Forêt nuageuse" initialement présente dans les travaux de Benoît Stoll ont été supprimées du jeu de données car leurs localisations ne correspondaient sur le raster Maxar 2020 à jour de Moorea, rendent l'attribution d'un qualité mellifère impossible.

Niveau de précision et catégories d'occupation des sols des deux couches vectorielles générées

À travers les étapes décrites dans la méthodologie, deux couches vectorielles ont été créées pour l'extraction de l'utilisation des terres et de la qualité mellifère environnementale (Fig 3, Fig 4)

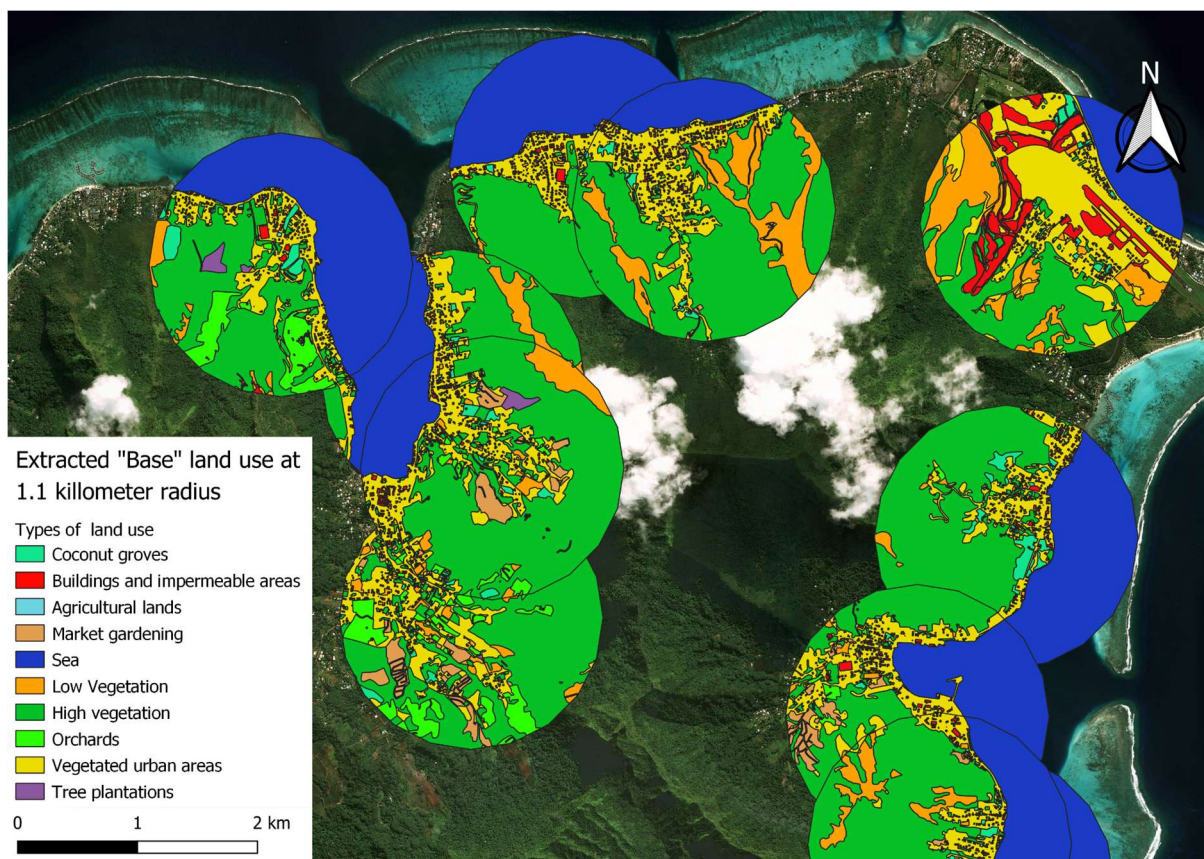


Figure 3 : Carte de la couche vectorielle "extraction de base" obtenue avec les données open source gouvernementales de Moorea à l'échelle 1/24000.

Une appréciation visuelle de la figure 3 donne déjà une estimation grossière de la qualité de l'environnement autour d'un rucher donné. La "Végétation haute" et la "Végétation basse" constituent une grande portion de la surface terrestre couverte. Elles sont cependant très imprécises d'un point de vue botanique car les données se concentrent sur les zones urbaines. On dispose ainsi d'informations précises sur les types de bâtiments et de constructions ou encore sur des zones végétales anthropisées comme les terrains de golf ou hôtels auxquels on peut attribuer des qualités mellifères variables. Comme la majorité des ressources proviendrait des milieux naturels aux types de végétation peu précis entourant le contexte urbain, dans le cas de Moorea, les informations supplémentaires concernant les types de végétation sont d'une nécessité absolue pour produire des indices précis.

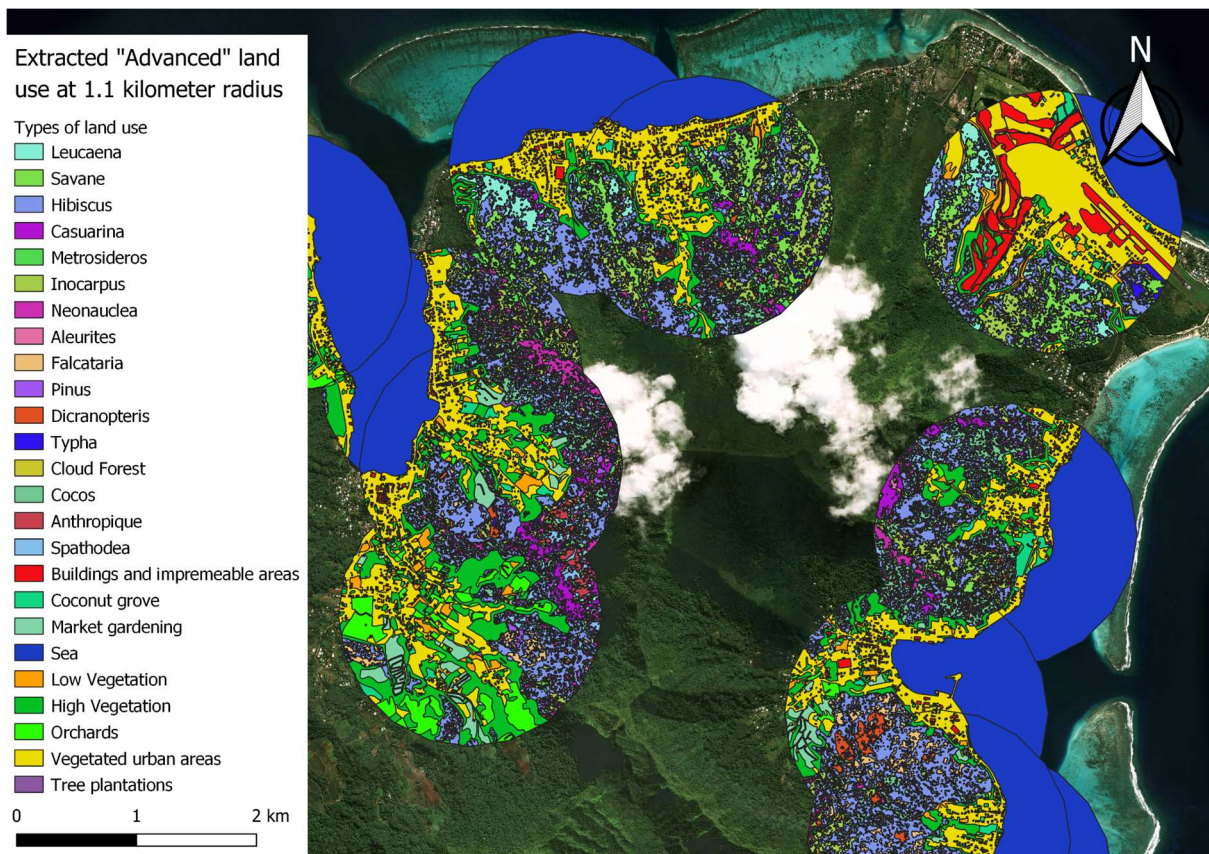


Figure 4 : Carte de la couche d'extraction "Extraction avancée" obtenue en fusionnant les données gouvernementales de Moorea et les cartes de végétation de Pouteau & Stoll, 2012 à l'échelle 1/24000.

La différence avec la couche précédente est appréciable visuellement. Les données fournies permettent une précision beaucoup plus grande vis à vis des types de végétation. Les catégories bénéficiant de la plus grande amélioration en précision des vis à vis des types de végétation sont celles de « Végétation élevée » et « Végétation faible » de la couche de base qui sont majoritairement remplacées par les nouveaux polygones. La nouvelle couche fusionnée obtenue permet de classer à la fois les espaces urbains et naturels à une échelle très fine car elles se complètent.

Corrélation entre la production de miel et les deux indices développés

Comme les données n'avaient pas une distribution normale en raison de la diversité de production en miel des ruchers, une matrice de corrélation de spearman a donc été utilisée. Bien que des corrélations entre la production et les indices créés dans le cadre de l'étude aient été observées, aucune d'entre elles n'avait une p-value suffisamment faible pour être statistiquement significative (Annexes A1, A2, A3). Cela est censé être dû à la petite taille de l'échantillon et au fait que ces indices ne tiennent pas compte de certaines pratiques apicoles et d'autres facteurs ayant une incidence sur la production de miel. En comparant l'extraction des rayons de 1,1 km et de 3 km, nous pouvons cependant observer la corrélation la plus significative entre l'indice de compétition et la production par ruche se produisant dans le jeu de données de rayon de 1,1 km. Avec une corrélation négative de -0,298 et la p-value la plus

basse à 0,13 l'ensemble des données (Fig 5). Cette différence entre les deux rayons soutient le fait qu'un rayon de 1,1 km autour du rucher pourrait être la une représentation plus juste de la zone de butinage où la compétition intraspécifique a le plus d'impact en épuisant les ressources nectarifères comme soutenu par d'autres travaux. (Henri et Rodet, 2020).

Correlation Matrix

		Average prod/hive/y	Competition Index 1,1km
Average prod/hive/y	Spearman's rho	—	
	p-value	—	
Competition Index 1,1km	Spearman's rho	-0.298	—
	p-value	0.130	—
Melliferous quality index	Spearman's rho	-0.009	0.151
	p-value	0.963	0.451

Figure 5 : Matrice de corrélation de Spearman incluant la production moyenne par rucher et les deux indices développés extraites à 1,1km de rayon sur la couche “Extraction de base”.

De même, les régressions linéaires avaient des p-values plus faibles et un R au carré plus élevé à une échelle de 1,1 km plutôt qu'à 3 km (annexes B1, B2), ce qui conforte également la validité de cette échelle d'étude (Fig. 6).

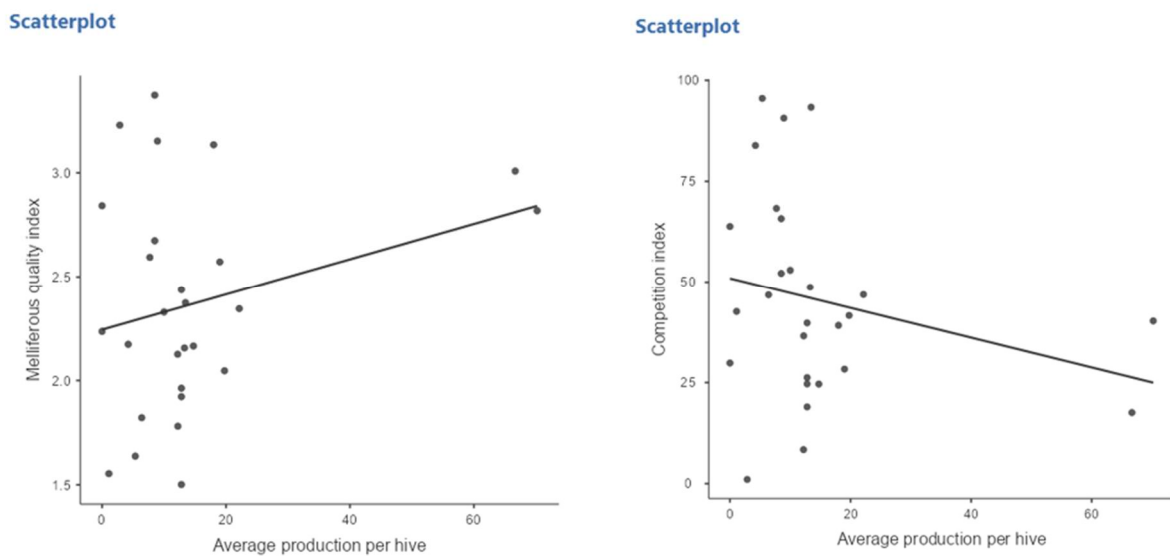


Figure 6 : Régression linéaire de la production moyenne par rucher et des deux indices développés extrait à 1,1km de rayon sur la couche "Extraction avancé".

En ce qui concerne l'indice de “Qualité mellifère”, aucune amélioration de la corrélation ou des p-values entre les jeux de données extraits de la “Couche d'extraction de base” et de la “Couche d'extraction avancée” n'a pu être observée (Annexes A1, A2, A3).

Corrélations entre types d'occupation des sols et production par ruche

Des cercles de corrélation ont été générés pour mieux représenter les corrélations entre les types d'occupation des sols entourant les ruchers et leur production moyenne. Néanmoins ces représentations et leurs interprétations sont à analyser avec précautions du fait de la faible inertie cumulée sur les deux premiers axes. Respectivement 48,40% et 59,79% pour les rayons 1,1km et 3km.

Decomposition of total inertia:

	inertia	cum	cum (%)
Ax1	2.946847	2.947	26.79
Ax2	2.377514	5.324	48.40

	inertia	cum	cum (%)
Ax1	4.1522321	4.152	37.75
Ax2	2.4249745	6.577	59.79

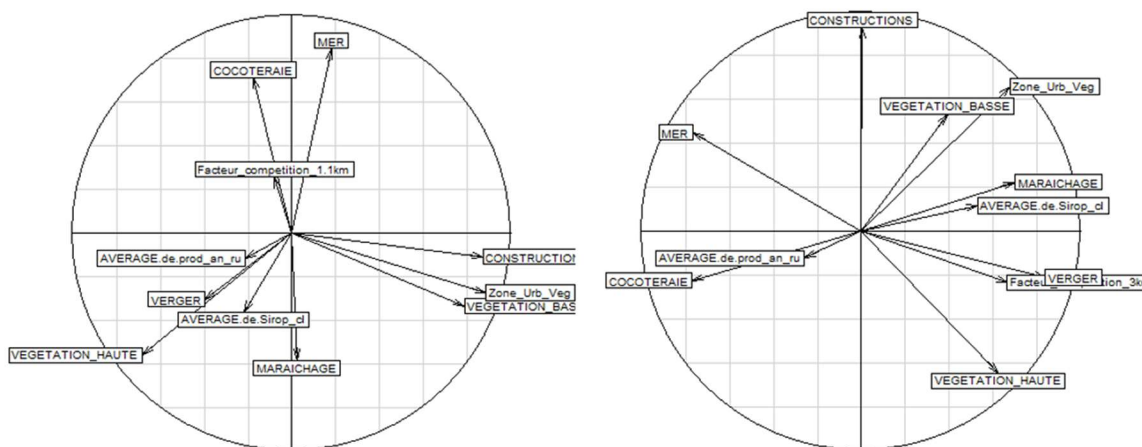


Fig 7 : Cercles de corrélation des utilisations des sols, des pratiques apicoles et de la production de miel à 1,1 km de rayon (à gauche) et à 3 km de rayon (à droite) pour la "Couche d'extraction de base".

Sur les deux cercles de corrélation (Fig 7), la production moyenne des ruchers n'est pas fortement corrélée aux mêmes utilisations des sols dans les deux situations. Pour le rayon de 1,1 km on observe une corrélation avec les utilisations du sol ainsi qu'avec des qualités mellifères élevées qui leur sont attribuées. La végétation haute, les vergers et le maraîchage. Une corrélation positive peut également être établie avec l'alimentation au sirop. Il est négativement corrélé à l'environnement marin car on peut supposer que la proximité d'un rucher à la mer réduit les possibilités de recherche de nourriture et force plus de concurrence à l'intérieur des terres. De manière surprenante, l'indice de compétition ne semble pas corrélé à la production dans cette représentation. Sur les données extraites au rayon de 3km ces tendances sont inversées, la production n'est positivement corrélée qu'aux cocoteraies et les autres facteurs sont neutres ou négativement corrélés. Sur les deux cercles cependant la production est impactée négativement par les constructions ainsi que les zones urbaines végétalisées, et la végétation basse, ces trois usages du sol apparaissent souvent corrélés du fait de leur proximité géographique. Le même constat peut être fait pour la mer et les cocoteraies. Nous avons également tenté de créer un cercle de corrélation en utilisant uniquement les espèces végétales fournies par l'étude de Pouteau & Stoll, (2012) pour voir si la production

pourrait être plus impactée par des espèces végétales spécifiques proches du rucher plutôt qu'une moyenne des différentes qualités (Annexe C).

DISCUSSION

Même après que le nombre de colonies ait été multiplié par quatre au cours des dix dernières années, notre enquête en ligne montre que le secteur apicole promet de continuer à se développer rapidement en Polynésie française. Un nombre constant de nouveaux apiculteurs débutent chaque année, 50,6% des enquêtés ont commencé l'apiculture au cours des 5 dernières années. Selon l'estimation la plus élevée déterminée à partir de l'enquête, le nombre de colonies pourrait encore presque doubler dans les années à venir. La majorité des ruchers sont installés près du littoral et de zones urbaines et ceux pour des raisons de facilité d'accès et d'entretien, augmentant encore le risque d'atteindre des effectifs non soutenables pour cet environnement et poussant à des pratiques non durables (Casanelles-Abella & Moretti, 2022). La densité de colonies que ces milieux peuvent supporter avant de constater un impact négatif sur les ruchers doit être mesurée de manière préventive. Cela nous permettrait de conseiller les apiculteurs sur les emplacements possibles d'installation des ruchers et d'éviter un développement de la filière à un degré non soutenable. Les indices développés sont des outils à utiliser pour mesurer ce point de bascule. Les résultats de l'analyse de nos indices sont, comme on pouvait s'y attendre sur ce premier échantillon non standardisé, non statistiquement significatifs. La cartographie des espèces végétales de Moorea fournit des informations sur le milieu mais ne peut être pleinement exploitée pour des raisons explicitées plus loin. Cependant, comme mentionné précédemment, il est possible à travers l'analyse qualitative des résultats obtenus d'observer des différences entre les deux échelles d'observation proposées. L'échelle de 1,1 km semble plus pertinente et plus proche des normes statistiques requises. Même avec un faible degré de variance, les résultats indiquent un impact négatif de la densité des colonies, sur la production de miel. Représentée par la corrélation négative entre notre indice de compétition et la production. Si cette corrélation s'avère vraie alors la volonté des apiculteurs de poursuivre l'expansion de leurs ruchers pourrait conduire à une tragédie des biens communs. Dans ce scénario plausible, les apiculteurs voulant maintenir une production affectée négativement par la densité des colonies augmenteraient leur nombre de ruches, créant ainsi une surexploitation de la ressource commune et entrant dans un cercle vicieux (Hardin, 1968). Cette notion est assez spécifique à notre cas car globalement la notion de pérennité du rucher tend à faire référence à la pérennité de la colonie menacée par des parasites et des maladies absentes de notre site d'étude (Denis & Kemp, 2016 ; Pietropaoli & al, 2020). La suppression de ces facteurs limitants crée des conditions dans lesquelles, dans des environnements à espace restreint, la quantité totale de ressources disponibles devient limitante. Nos indices et échantillons de données doivent encore être améliorés pour fournir des résultats fiables et statistiquement viables. Comme indiqué précédemment, les sources de biais dans l'ensemble de données et la méthodologie actuelle sont nombreuses. La production de miel sur l'année et sur les différentes zones de l'île est impactée par de nombreux facteurs tels que les pratiques de l'apiculteur, la génétique de la ruche ou les conditions climatiques et météorologiques.

Améliorer la représentation de la zone de butinage du rucher

La représentation commune actuelle de la zone de butinage d'un rucher est un cercle de rayon variable autour du point du rucher. (Henry et Rodet, 2020 ; Ropars & al, 2020). Cette représentation est plutôt une représentation des différents types d'opportunités de recherche de nourriture disponibles pour un rucher à une distance de vol donnée. Les îles hautes de Tahiti et Moorea ont de nombreuses vallées, et peu de terrains aplanis par rapport au relief montagneux avec des dénivelés importants. Les schémas de recherche et de vol des abeilles pourraient donc avoir un impact significatif sur les ressources découvertes et exploitées par ces dernières en fonction de la différence d'altitude entre l'emplacement du rucher et la ressource à butiner. De plus, on pourrait supposer que les pentes présentes sur les îles offrent plus de surface pour le développement apportant des ressources mellifères et qu'une représentation en deux dimensions vue de dessus ne représentera pas fidèlement la densité réelle des ressources de ces reliefs. L'amélioration de cette représentation pourrait à l'avenir se faire grâce à l'utilisation du MNT (Modèles Numériques de Terrain). D'abord en aplanissant les pentes pour tenir compte des surfaces réelles disponibles pour les végétaux. Et d'autre part en déterminant à partir d'études un modèle potentiel représentant la volonté et la tendance des abeilles à évoluer verticalement dans leur environnement lors de la collecte de ressources (Abou-Shaara, 2014).

Améliorer notre indice de qualité mellifère

Une étude des plantes mellifères concernant leur productivité nectarifère (quantité de nectar produite) est d'une absolue nécessité dans les prochaines évaluations de la qualité du milieu mellifère. (Janssen & al, 2006; Samsonova & al, 2019; Herman, 2021). Connaître la production réelle des différentes espèces végétales dans nos conditions tropicales permettrait d'attribuer à chacune une note précise au lieu d'une donnée empirique arbitraire. L'autre facteur le plus limitant étant le manque de précisions sur le type de couvert végétal auquel nous avons accès. Les données gouvernementales ne sont pas suffisamment précises pour déterminer des sous catégories de végétation haute ou basse qui seraient le niveau de précision minimum requis pour attribuer des qualités mellifères en fonction de la flore qui les compose. En l'absence de nouvelle cartographie précise des types de végétation, une étude de terrain visant à estimer et fournir des quantités claires de production moyenne par surface de ces milieux serait nécessaire. Une nouvelle étude utilisant la reconnaissance des catégories de végétation par une I.A. serait un apport majeur. Cependant, une étude et une classification par observation de terrain pourraient être plus précises dans l'évaluation des espèces végétales se trouvant sous la canopée, non détectables par image satellite et les ressources qu'elles apportent.

Fluctuations intra- et inter-annuelles

L'une des plus grandes sources de variabilité dans la production qui n'ont pas été prises en compte sont les événements météorologiques. Les pluies survenant lors de la miellée d'un rucher peuvent provoquer l'effondrement de la production quelle que soit la quantité de ressources disponibles à ce moment-là. L'observation de la fluctuation de la production de miel doit donc être effectuée sur une plus longue période de temps au cours des années à venir et en

catégorisant les différents secteurs des îles concernées et en tenant compte des différents événements biotiques et abiotiques qui se sont produits.

Qualité et quantité des données collectées

Comme le démontrent ces analyses statistiques, les jeux de données collectés tout au long de cette étude à Moorea étaient insuffisants pour confirmer statistiquement tout type de corrélation. Nous étions limités sur le terrain par le manque d'accès à certaines informations telles que la production par rucher détaillée au lieu de la production cumulée de tous les ruchers. Comme ces données doivent être associées à l'emplacement géographique du rucher pour que nous puissions extraire les informations sur du milieu autour de cet emplacement et exécuter nos analyses. Pour les études futures, les apiculteurs souhaitant participer à une étude similaire ayant pour but l'estimation des ressources mellifères doivent être à minima informés à l'avance afin d'enregistrer précisément leur production par rucher pour les deux périodes de miellée annuelle.

Traçabilité et impact des pratiques apicoles sur la production

Étant limités par le temps et les ressources disponibles, nous avons dû collecter des informations en étant conscients que des facteurs impactant la production de miel par rucher devaient être pris en compte. Sachant qu'ils créeraient du bruit dans nos données et rendrait difficile le suivi et l'analyse des données quantitatives et qualitatives concernant les pratiques de apicoles utilisées. En sélectionnant uniquement des catégories de professionnels, nous espérions qu'ils aient des pratiques apicoles homogènes afin de pouvoir effectuer une comparaison directe entre les différents ruchers et ruchers. Néanmoins, les méthodes employées par chacun étaient très hétérogènes et diverses d'une manière qui les rendait difficiles à interprétées pour l'analyse. Par exemple, les différents apiculteurs étudiés pouvais avoir des pratiques de nourrissage mais la quantité, la fréquence, le rapport sucre/eau du sirop produit et les périodes d'alimentation par rapport à la récolte varient entre exploitants et génèrent des sous-catégories de pratiques, créant des variations dont l'impacte sur la production de miel est non quantifiable. Les pratiques se devaient êtres suivies au cours de l'étude pour voir si des tendances apparaissent elles et d'autres facteurs. Leur diversité limite cependant la compréhension du degré d'implication des différents facteurs environnementaux. Pour mieux appréhender l'impact de la compétition intraspécifique et de la qualité du milieu mellifère sur la production de miel, les pratiques apicoles de tous les ruchers étudiées à l'avenir doivent être standardisées.

Suggestions de pratiques standardisées nécessaires au développement d'un observatoire technique de l'apiculture

Une autre étude précédemment menée en Nouvelle-Calédonie par l'observatoire technique de l'apiculture dans le but de comparer le comportement des colonies dans différents milieux mellifères avait développé sa propre méthodologie à laquelle on peut emprunter certaines formes protocolaires (Guyete, 2018).

Idéalement, des ruches témoins pourraient être placées parmi les ruchers de volontaires, pesées par une balance connectée suivant et rapportant la fluctuation du poids de la ruche directement dans le temps. Permettant l'enregistrement des périodes de miellée plus précisément que les récoltes. Cette fluctuation pourrait fournir des informations détaillées sur les ressources disponibles pour une ruche à un moment donné dans un lieu précis et il pourrait être possible de déployer des botanistes sur le terrain lors d'importantes augmentations de poids pour enregistrer les phénomènes de floraison et les plantes provoquant une hausse de la production. Toutes les ruches témoins connectées doivent être les répliques les plus exactes possibles. Pour cela les reines doivent avoir le même âge et être remplacées en même temps. Elles doivent également être sélectionnées et élevées comme indiqué plus loin pour éviter les différences génétiques et environnementales modifiant leur capacité de ponte. Au cours de notre étude nous avons observé que les apiculteurs utilisant les modèles de ruches Dadant affirmaient ne pas avoir à nourrir leurs abeilles entre les miellées contrairement aux quatre autres apiculteurs utilisant principalement des ruches Langstroth. Pour comparer l'impact des modèles de ruches sur les besoins de nourrissage, les ruches connectées pourraient être placées par paires d'une Langstroth et d'une Dadant à chaque emplacement sélectionné. Les colonies ne doivent pas être nourries à moins qu'elles n'atteignent un poids faiblement critique, de cette façon nous pourrions dire si elles sont capables de persister avec les ressources environnementales à leur disposition. L'incapacité de la colonie à se maintenir sans ressources ajoutées artificiellement indiquerait par définition un degré d'insoutenabilité de la pratique à cet endroit. Le suivi de ce type d'informations sur plusieurs années pourrait révéler une fluctuation de la production en fonction de l'évolution de la densité des colonies ou des modifications de l'occupation des sols autour du rucher témoin. Un autre indice de la capacité des colonies à se maintenir dans cet environnement serait une évaluation de la force de la colonie. Elle pourra être réalisée à intervalles réguliers selon la méthode COLEVAL (Hernandez & al, 2020).

Limitation du biais induit par le facteur génétique et la « force » de la reine

Interrogé sur la productivité de certaines d'un même rucher par rapport à d'autres dans des conditions similaires, aucun apiculteur interrogé n'a pu clairement observer des ruches avec une meilleure génétique par rapport aux autres excepté pour le trait de la douceur. Cependant, le facteur génétique ne doit pas être négligé dans les études futures. Les ruches témoins doivent avoir des reines sœurs élevées dans la même ruche productrice de reines. De cette façon, leur génétique et la qualité des soins apportés aux larves des futures reines seraient aussi proches que possible, leur procurant supposément des capacités de pontes et de maintien d'une colonie similaires. Pendant le vol nuptial, les jeunes reines s'accouplent avec de nombreux mâles. Cette diversité génétique apportée par le panel de mâles rencontrés pourrait impacter les traits comportementaux et la qualité génétique de la colonie. Bien que la pratique soit actuellement discutable et débattue dans le domaine apicole, la sélection des mâles et l'accouplement manuel et contrôlé dans le cadre de la création de nos colonies témoins pourraient encore réduire les écarts de production de miel pouvant être dus à la réussite du vol nuptial à la banque de sperme recueillie par la reine.

Conclusion:

La croissance potentielle du nombre de ruches suggérée par notre enquête en ligne a été estimée entre 37 % et 91 %. La croissance rapide du nombre de colonies d'*Apis mellifera* est une préoccupation majeure pour la pérennité à long terme du domaine apicole en Polynésie française. D'autant plus que le manque d'espace et d'accessibilité à des terrains aux qualités mellifères propices à l'installation de ruchers se traduit par une densité de ruches plus élevée à proximité des zones urbanisées, augmentant la compétition intraspécifique entre ruchers dans un milieu de faible qualité mellifère. Estimer la capacité de charge et les limites et contraintes spécifiques impactant la production de miel en milieu insulaire nous aiderait à conseiller les acteurs impliqués dans le développement de la filière. Si cette étude préliminaire n'a pas pu apporter de réponses définitives, elle pose les bases d'une future méthodologie et démontre la nécessité d'un accès à des données standardisées ainsi qu'à une taille d'échantillon suffisante. L'installation de ruches témoins et le développement d'un observatoire permettant de suivre l'évolution de la situation s'imposent pour fournir des données cohérentes et exploitables à l'avenir.

RÉFÉRENCES

Abou-Shaara, H. (2014). The foraging behaviour of honey bees, *Apis mellifera* : A review. Veterinární Medicína, 59(No. 1), 1-10.

Adgaba, N., Al-Ghamdi, A., Tadesse, Y., Getachew, A., Awad, A. M., Ansari, M. J., Owayss, A. A., Mohammed, S. E. A., & Alqarni, A. S. (2017). Nectar secretion dynamics and honey production potentials of some major honey plants in Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences, 24(1), 180-191.

Al-Ghamdi, A., Adgaba, N., Getachew, A., & Tadesse, Y. (2016). New approach for determination of an optimum honeybee colony's carrying capacity based on productivity and nectar secretion potential of bee forage species. Saudi Journal of Biological Sciences, 23(1), 92-100.

Bruneau, E. (2020) Implantation raisonnée de ruchers en Wallonie. Direction de la Nature et des Espaces verts CREA, 112.

Butaud, J.-F. (2020). Calendrier annuel de floraison des plantes mellifères polynésiennes. 210.

Casanelles-Abella, J., & Moretti, M. (2022). Challenging the sustainability of urban beekeeping using evidence from Swiss cities. Npj Urban Sustainability, 2(1), 3.

DAG, BSA Bulletin de statistiques agricoles. (2021)

Dennis, B., & Kemp, W. P. (2016). How Hives Collapse : Allee Effects, Ecological Resilience, and the Honey Bee. PLOS ONE, 11(2), e0150055.

Fert, G. & Pajuelo G.-P. (2012). Mission d'audit de l'apiculture de Polynésie française. 69.

Geslin, B., Le Féon, V., Folschweiller, M., Flacher, F., Carmignac, D., Motard, E., Perret, S., & Dajoz, I. (2016). The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. Ecology and Evolution, 6(18), 6599-6615.

Henry, M., & Rodet, G. (2020). The apiary influence range : A new paradigm for managing the cohabitation of honey bees and wild bee communities. Acta Oecologica, 105, 103555.

Herman, V. (s. d.). Application de la télédétection à la quantification de la ressource mellifère d'un paysage en relation avec la dynamique d'un rucher d'*Apis mellifera* L. Approche méthodologique. 141.

Hernandez, J., Maisonnasse, A., Cousin, M., Beri, C., Le Quintrec, C., Bouetard, A., Castex, D., Decante, D., Servel, E., Buchwalder, G., Brunet, F., Feschet-Destrella, E., de Bellescize, K., Kairo, G., Frontero, L., Pédehontaa-Hiaa, M., Buisson, R., Poudroux, T., Aebi, A., & Kretzschmar, A. (2020). ColEval : Honeybee COLony Structure EVALuation for Field Surveys. *Insects*, 11(1), 41.

Janssens, X., Bruneau, É., & Lebrun, P. (2006). Prévion des potentialités de production de miel à l'échelle d'un rucher au moyen d'un système d'information géographique. *Apidologie*, 37(3), 351-365.

Rogers, K.-M. (2017). GNS Science International Consultancy Report. 171.

Lombard, P. A. (s. d.). Caractérisation des pratiques apicoles en vue de la caractérisation des miels de Polynésie française. 61.

Gueyte, R. (2018) Présentation, observatoire technique de l'abeille. ADECAL Technopol. 9.

Pietropaoli, M., Skerl, M. S., Cazier, J., Riviere, M.-P., Tiozzo, B., Eggenhoffner, R., Gregorc, A., Haefeker, W., Higes, M., Ribarits, A., Necati Muz, M., Vejsnæs, F., & Formato, G. (2020). BPRACTICES Project : Towards a Sustainable European Beekeeping. *Bee World*, 97(3), 66-69.

Pouteau, R., & Stoll, B. (2012). SVM Selective Fusion (SELF) for Multi-Source Classification of Structurally Complex Tropical Rainforest. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(4), 1203-1212.

Ropars, L., Affre, L., Schurr, L., Flacher, F., Genoud, D., Mutillod, C., & Geslin, B. (2020). Land cover composition, local plant community composition and honeybee colony density affect wild bee species assemblages in a Mediterranean biodiversity hot-spot. *Acta Oecologica*, 104, 103546.

Ropars, L., Dajoz, I., Fontaine, C., Muratet, A., & Geslin, B. (2019). Wild pollinator activity negatively related to honey bee colony densities in urban context. *PLOS ONE*, 14(9), e0222316.

Samsonova, I., Gryazkin, A., Smirnov, A., Mannapov, A., & Beljaev, V. (2019). Bioresource potential of forest lands as the source of honey yield in steppe area of the river Don. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 316(1), 012057.

Sari, F., Kandemir, İ., Ceylan, D. A., & Gül, A. (2020). Using AHP and PROMETHEE multi-criteria decision making methods to define suitable apiary locations. *Journal of Apicultural Research*, 59(4), 546-557.

Wakjira, K. (2019). Assessment of Colony Carrying Capacity and Factors Responsible for Low Production and Productivity of Beekeeping in Horro Guduru Wollega Zone of Oromia, Ethiopia. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*, 4(1), 14

Software references

QGIS Development Team (2022). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>".

The jamovi project (2021). *jamovi*. (Version 2.2) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

R Core Team (2021). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.0) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2021-04-01).

Revelle, W. (2019). *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research*. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=psych>.

Rosseel, Y., et al. (2018). *lavaan: Latent Variable Analysis*. [R package]. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=lavaan>.

Annexes

Correlation Matrix

Correlation Matrix

		Average production per hive	Competition index
Average production per hive	Spearman's rho	—	
	p-value	—	
Competition index	Spearman's rho	-0.298	—
	p-value	0.130	—
Melliferous quality index	Spearman's rho	0.076	0.072
	p-value	0.706	0.720

Annexe A1 : Matrice de corrélation de Spearman incluant la production moyenne par ruche et les deux indices développés pour les données extraites à 1,1 km de rayon sur la “Couche d'extraction avancée”.

Correlation Matrix

Correlation Matrix

		Average production per hive	Competition Index 3km
Average production per hive	Spearman's rho	—	
	p-value	—	
Competition Index 3km	Spearman's rho	-0.109	—
	p-value	0.590	—
Melliferous quality index	Spearman's rho	-0.194	0.610
	p-value	0.333	< .001

Annexe A2 : Matrice de corrélation de Spearman incluant la production moyenne par ruche et les deux indices développés pour les données extraites à 3km de rayon sur la “Couche d'extraction avancée”.

Correlation Matrix

Correlation Matrix

		Average production per hive	Competition Index 3km
Average production per hive	Pearson's r	—	
	p-value	—	
Competition Index 3km	Pearson's r	-0.134	—
	p-value	0.504	—
Melliferous quality index	Pearson's r	0.016	0.493
	p-value	0.937	0.009

Annexe A3: Matrice de corrélation de Spearman comprenant la production moyenne par ruche et les deux indices développés pour les données extraites à 3 km de rayon sur la “Couche d'extraction de base”.

Linear Regression

Model Fit Measures

Model	R	R ²	Adjusted R ²
1	0.364	0.133	0.0602

Model Coefficients - Average production per hive

Predictor	Estimate	SE	t	p
Intercept	1.929	15.450	0.125	0.902
Competition index	-0.163	0.125	-1.303	0.205
Melliferous quality index	8.510	5.966	1.427	0.167

Linear Regression

Model Fit Measures

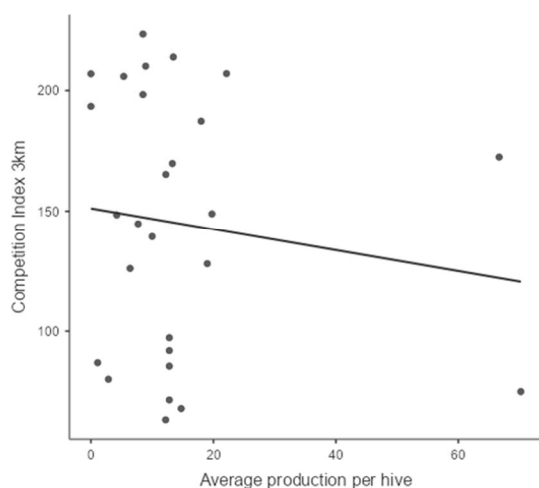
Model	R	R ²	Adjusted R ²
1	0.187	0.0351	-0.0454

Model Coefficients - Average production per hive

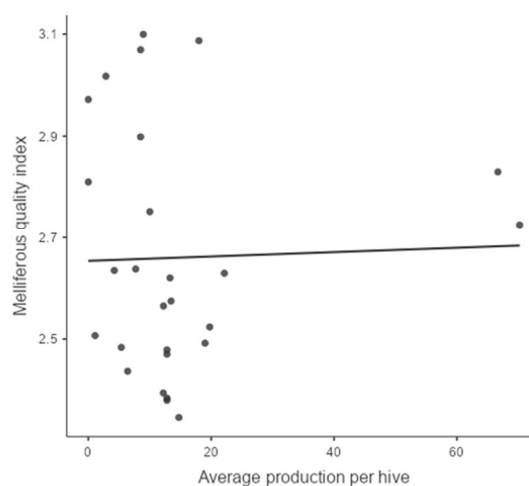
Predictor	Estimate	SE	t	p
Intercept	-4.8626	40.4209	-0.120	0.905
Competition Index 3km	-0.0693	0.0752	-0.922	0.366
Melliferous quality index	11.1215	17.1092	0.650	0.522

Annexe B1: Matrices de régression linéaire de la production moyenne par ruche et des deux indices développés pour les données extraites à 1,1km (gauche) et 3km de rayon (droite) sur la “Couche d'extraction Avancé”.

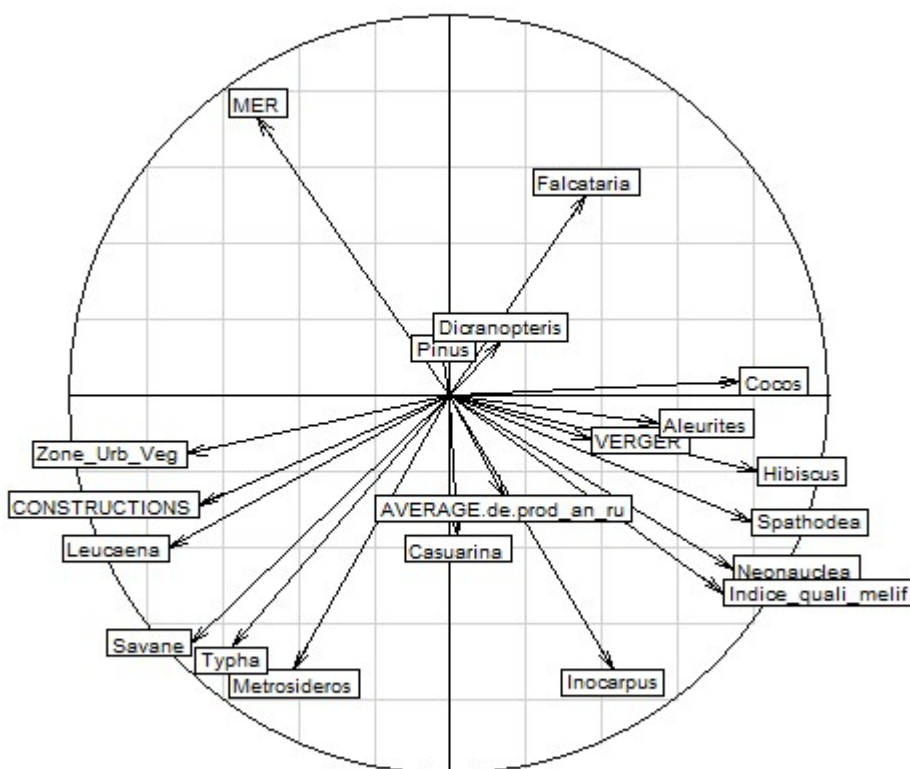
Scatterplot



Scatterplot



Annexe B2: La régression linéaire de la production moyenne par ruche et les deux indices développés pour la couche "Avancé" ont extrait des données à 3 km de rayon.



Annexe C: Cercles de corrélation des espèces végétales, de la production de miel et des utilisations importantes des terres à un rayon de 1,1 km de la "Couche d'extraction avancée".