



HAL
open science

Compétitions entre abeilles, l'émergence des ressources florales comme un bien commun ? : Analyse socio-écologique et accompagnement d'une action collective pour le partage des ressources florales pour concilier apiculture et préservation des abeilles sauvages dans le parc national des Cévennes

Léo Mouillard Lample

► **To cite this version:**

Léo Mouillard Lample. Compétitions entre abeilles, l'émergence des ressources florales comme un bien commun ? : Analyse socio-écologique et accompagnement d'une action collective pour le partage des ressources florales pour concilier apiculture et préservation des abeilles sauvages dans le parc national des Cévennes. Biodiversité et Ecologie. Université d'Avignon, 2023. Français. NNT : 2023AVIG0615 . tel-04642696

HAL Id: tel-04642696

<https://theses.hal.science/tel-04642696v1>

Submitted on 10 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE DE DOCTORAT D'AVIGNON UNIVERSITÉ

**École Doctorale N° 536
Sciences & Agrosociétés**

Spécialité / Discipline de doctorat :
Biologie des populations et écologie
Sciences agronomiques

**UR 406 Abeilles et environnement – INRAE
ITSAP – Institut de l'abeille**

Présentée par
Léo Mouillard-Lample

**COMPÉTITIONS ENTRE ABEILLES,
L'ÉMERGENCE DES RESSOURCES
FLORALES COMME UN BIEN
COMMUN ?**

***Analyse socio-écologique et accompagnement d'une action collective pour
le partage des ressources florales pour concilier apiculture et préservation
des abeilles sauvages dans le parc national des Cévennes***

Soutenue publiquement le 11/12/2023 devant le jury composé de :

Emmanuelle Baudry, Professeure
Raphaël Mathevet, Directeur de recherche
Elsa Berthet, Chargée de recherche
Nina Hautekète, Professeure
Axel Decourtye, Directeur général
Mickaël Henry, Directeur de recherche
Cécile Barnaud, Chargée de recherche

Université Paris-Saclay
CNRS, CEFE, Montpellier
INRAE, SADAPT, Paris
Université de Lille
HDR, Institut technique de l'abeille
INRAE, INRAE Avignon
INRAE, DYNAFOR, Toulouse

Rapporteur·e
Rapporteur·e
Examinatrice
Examinatrice
Directeur de thèse
Co-directeur de thèse
Co-directrice de thèse

Pour Théo,

Résumé

Ces dernières années, l'enjeu de la compétition entre abeilles pour les ressources florales a pris de l'ampleur dans le champ scientifique. Le butinage de nectar et de pollen par les colonies d'abeilles domestiques des apiculteur·rices peut entraîner une diminution des ressources disponibles pour d'autres colonies (compétition intraspécifique) mais aussi pour les abeilles sauvages (compétition interspécifique). Ces résultats ont suscité d'intenses débats dans les mondes scientifique et apicole. Certains auteurs suggèrent d'exclure les abeilles domestiques des zones protégées, d'autres préconisent des mesures plus inclusives. Or les implications sociales de ces mesures pour les apiculteur·rices restent peu étudiées.

Face aux enjeux écologiques et sociaux soulevés par ces compétitions, nous avons étudié la question du partage des ressources florales sous l'angle de la théorie des communs d'Elinor Ostrom. Ostrom s'intéresse aux règles favorisant une gestion collective et durable des ressources de type biens communs par des communautés d'utilisateur·rices. Considérer les ressources florales comme un "bien commun" ouvre la perspective de nouveaux modes de gouvernance collective entre les multiples acteur·rices qui les utilisent et en dépendent.

Dans cette thèse nous nous demandons si les ressources florales sont perçues comme des biens communs par les apiculteur·rices et si ces compétitions sont observées sur le territoire. Nous cherchons aussi des indicateurs opérationnels de ces compétitions. Pour accompagner une gestion collective du partage des ressources florales entre apiculture et abeilles sauvages, nous étudions enfin les conditions, les règles et les enjeux que soulève l'émergence d'action collective. Cette thèse interdisciplinaire combinant socio-écologie et recherche-action a été menée dans le parc national des Cévennes.

La compétition entre abeilles est un fort changement de paradigme pour les apiculteur·rices. Pour beaucoup les ressources sont illimitées notamment si les conditions météo sont favorables. Mais l'idée qu'elles soient un bien commun sous-tend différents discours et pratiques. La diminution des ressources favorise également cette évolution des perceptions. L'action collective soulève des enjeux étant donné les dynamiques spatio-temporelles, les incertitudes sur les ressources et l'absence d'espace social pour discuter de ces différentes perceptions et de formes d'organisation collective.

L'analyse du succès de quête alimentaire des abeilles sauvages et domestiques montre l'existence de compétitions intra et interspécifique dans les Cévennes. La distance aux ruchers est un bon indicateur de ces compétitions. Nos résultats constituent ainsi une première transposition du concept d'aire d'influence des ruchers dans des paysages hétérogènes. Mais ces compétitions varient selon les ressources florales et les années, ce qui soulève des incertitudes.

Enfin, nous avons adopté une démarche de recherche-action basée sur la méthodologie de modélisation d'accompagnement et construit le jeu sérieux AGORAPI. Ce jeu a montré un potentiel pour l'initiation d'une réflexion sur cette action collective. L'analyse des sessions de jeu à partir du cadre développé par Ostrom souligne les divergences de représentations qui freinent la mise en place d'action collective. La construction de règles d'action collective et d'une représentation collective des ressources en tant que biens communs semblent devoir s'élaborer conjointement. En accord avec Ostrom, nos résultats confirment l'importance de la confiance, de la transparence et de la réciprocité dans la construction d'une action collective et dans l'émergence d'un bien commun. Une expérimentation grandeur nature sur le territoire a été proposée pour construire cette confiance et améliorer les connaissances sur les ressources et la compétition. Toutefois nos résultats montrent aussi la nécessité sociale d'une approche globale sur les ressources prenant en compte les pratiques agricoles.

Mots clés : Abeilles domestiques, Abeilles sauvages, Compétition, Ressources florales, Communs, Modélisation d'accompagnement

Abstract

In recent years, the issue of competition between bees for floral resources has become increasingly important in the scientific community. The foraging of nectar and pollen by managed honeybee colonies can lead to a reduction in the resources available to other honeybee colonies (intraspecific competition) and also to wild bees (interspecific competition). These findings have given rise to intense debate within the scientific and professional beekeeping communities. Some authors have suggested that honeybees should be excluded from protected areas, while others advocate more inclusive measures. However, social implications of these measures for beekeepers have been little studied.

Given the environmental and social issues raised by the existence of competition, we believe it is relevant to consider the question of sharing floral resources through the lens of Elinor Ostrom's theory of the commons. Ostrom's research focuses on the rules that promote collective and sustainable management of common-pool resources by communities of users. Viewing floral resources as a 'common good' would therefore pave the way for new forms of collaborative governance between the many stakeholders who use and depend on them.

In this thesis, we examine whether floral resources are perceived as common goods by beekeepers and whether these competitions are observed in the area. We also look for operational indicators of these competitions. Finally, to support the collective management of the sharing of floral resources between beekeepers and wild bee advocates, we study the conditions, rules and questions raised by the emergence of collective action. This interdisciplinary work, combining social and ecological research with an action research perspective, was carried out in the Cévennes National Park.

Competition between bees appears to be an important paradigm shift for beekeepers. For many, floral resources are unlimited, especially if the weather conditions are favourable. But the idea that they are a common good underpins a range of discourses and practices. The decline in resources is also encouraging this change in perceptions. Collective action raises a number of issues, given the spatial-temporal dynamics, the uncertainties over resources and the lack of social arena for discussing these different perceptions and potential forms of collective organisation.

Our analysis of the foraging success of wild bees and honeybees shows the existence of intra- and interspecific competition in the Cévennes. Distance from apiaries appears to be a good indicator of this competition. Our results thus constitute a first application of the apiary-influence-range concept in heterogeneous landscapes. However, this competition varies according to floral resources and year, which raises a number of uncertainties.

Finally, we adopted an action research approach based on the companion modelling approach and developed the serious game AGORAPI. This game showed potential for initiating reflection on this collective action to share floral resources. Our analysis of game sessions using the framework developed by Ostrom highlights the differences in representations that hinder the implementation of collective action. The construction of rules for collective action and a collective representation of a resource as a common good seem to have to be developed jointly. In line with Ostrom's work, our results confirm the importance of trust, transparency and reciprocity in the construction of collective action and the emergence of a common good. Participants of our game sessions suggested setting up a full-scale experiment in the area to build this trust and improve knowledge about floral resources and competition. However, our results also show the need for a global approach to resources, taking into account farming practices in particular.

Keywords: Honeybees, Wild bees, Competition, Floral resources, Common-pool resources, companion modelling

Remerciements

- *C'est une bonne situation ça [doctorant] ?*
- *Mais, vous savez, moi je ne crois pas qu'il y ait de bonne ou de mauvaise situation. Moi, si je devais résumer ma vie aujourd'hui avec vous, je dirais que c'est d'abord des rencontres, des gens qui m'ont tendu la main, peut-être à un moment où je ne pouvais pas, où j'étais seul chez moi. Et c'est assez curieux de se dire que les hasards, les rencontres forgent une destinée... Parce que quand on a le goût de la chose, quand on a le goût de la chose bien faite, le beau geste, parfois on ne trouve pas l'interlocuteur en face, je dirais, le miroir qui vous aide à avancer. Alors ce n'est pas mon cas, comme je le disais là, puisque moi au contraire, j'ai pu ; et je dis merci à la vie, je lui dis merci, je chante la vie, je danse la vie... Je ne suis qu'amour ! Et finalement, quand beaucoup de gens aujourd'hui me disent « Mais comment fais-tu pour avoir cette humanité ? », eh ben je leur réponds très simplement, je leur dis que c'est ce goût de l'amour, ce goût donc qui m'a poussé aujourd'hui à entreprendre une construction mécanique, mais demain, qui sait, peut-être seulement à me mettre au service de la communauté, à faire le don, le don de soi...*

J'aime bien faire le lien avec cette citation parce que le doctorat c'est une aventure profondément collective, et pour ma part elle a en effet été possible grâce aux magnifiques personnes qui m'ont entouré de soutien, de connaissances, de solidarité, d'amour.

Je tiens en tout premier lieu à remercier ceux sans qui cette thèse n'aurait pas existé : mes encadrant-es.

Merci Axel et Mickaël d'avoir cru en moi depuis même avant ce stage de M2, d'avoir voulu vous lancer dans cette folle aventure sans aucune garantie. Cécile, merci d'avoir accepté de rejoindre cette aventure dans le monde nouveau pour toi des abeilles et d'avoir pu me faire découvrir Ostrom et le monde des communs.

Merci à toutes les trois pour votre accompagnement profondément humain, d'avoir accueilli mes doutes, mes remises en question, mes retards sur le planning mais aussi les moments où j'ai pu craquer avec autant d'empathie et de soutien. Merci d'avoir cherché des réponses structurelles et d'avoir fait attention à ma charge de travail plutôt que de remettre en question mes capacités comme trop d'encadrant-es peuvent le faire.

Je garderais parmi les plus précieux enseignements de thèse le fait de m'avoir appris à dire « Non » à toutes les sollicitations ;) quand on sait la difficulté que cela représente et le grand travail gratuit abattu dans la recherche fait pour éviter de s'exclure du monde académique c'est un important apprentissage que je vais essayer de garder.

Je remercie également les membres du jury qui ont accepté de relire et d'évaluer ce travail de thèse. Merci donc à Emmanuelle Baudry, Raphaël Mathevet, Elsa Berthet et Nina Hautekeete pour votre présence lors de la soutenance, pour vos retours constructifs et la qualité de nos échanges. J'espère que nous aurons l'occasion de rediscuter de ces questions dans un futur proche.

Il est important pour moi de remercier dès maintenant ceux sans qui je n'aurai jamais pu obtenir les résultats de cette thèse. Merci Taïna, Sarah et Maxime.

Taïna, merci d'avoir essuyé les plâtres de ce premier co-encadrement de stagiaire pour moi mais aussi de la découverte de l'échantillonnage et des chemins cévenols à l'issue incertaine. Je garde tellement de souvenirs de nos éclats de rires dans le Rentacar... et qui m'a accompagné jusqu'au rendu de thèse en recevant 10 minutes après l'envoi de mon manuscrit à l'ED, le sms m'annonçant que tu soutenais 5 jours avant moi ^^

Sarah, je garde nos chouettes discussions sur les jeux de rôles, l'imaginaire. Bravo et merci d'avoir, malgré les manipulations d'abeilles et le terrain éprouvant, assuré avec rigueur et clarté un échantillonnage sans erreur dans la cacophonie des informations donnée :))

Merci Maxime d'avoir mis ta passion entomologique à la quête des abeilles dans les Cévennes.

Merci Taïna, Maxime et Morgane pour toute la patience d'épinglage et de mise en collection des abeilles.

Merci aux membres de mon comité de suivi de thèse : Anne Lauvie, Benoit Geslin, Bertrand Schatz et Christophe Le Page pour vos conseils, vos retours tout au long de cette thèse. Les réunions et les échanges que nous avons eu ont toujours été très bénéfiques et bienveillants.

Merci en particulier à Christophe pour ton soutien dans la construction et l'observation du jeu AGORAPI.

Un merci tout particulier à Bertrand pour ton accompagnement sur ce terrain que tu connais bien, pour ton aide à la fois dans la construction du protocole et sur la collecte des données sur le terrain du Bougès au Mont Lozère, ton coup de filet et nos discussions ont été bien précieuses. Merci aussi dans ton rôle au sein du GDR Pollineco pour la formation sur les abeilles sauvages et d'avoir aussi été ouvert et encourageant vis-à-vis des sciences sociales sur les problématiques de conservation des abeilles.

Cette thèse repose dans son immense partie sur de nombreuses heures dérobées chez vous autour d'un café, au téléphone, sur les ruches, sur un bord de route entre deux visites, autour d'une table de jeu de rôle... Un immense merci à l'ensemble des apiculteur-rices qui ont participé à cette étude à travers les entretiens, les discussions plus informelles, les ateliers. Vous m'avez nourri tout au long de cette thèse de vos connaissances du terrain, de vos perceptions, vos craintes mais aussi vos espoirs. J'ai beaucoup appris sur les abeilles, sur les Cévennes, sur les problématiques d'organisation collective (*is beekeeping the new trotskyism?* 😊)

Merci à vous toutes et tous pour votre confiance, et votre ouverture sur un sujet pourtant conflictuel, et pas forcément rassurant.

Cette aventure cévenole a aussi pu se faire par l'immersion plusieurs mois par an et grâce à la collaboration avec les agent-es du parc national et au pied à terre dont j'ai pu bénéficier à Florac. Merci à la direction, (en particulier Laurence pour le lancement de cette collaboration) et l'administration du parc d'avoir cru en notre processus de recherche et de nous avoir aidé logistiquement et financièrement. Merci pour tous ces échanges avec les agent-es du parc qui m'ont permis d'en apprendre davantage sur le territoire et merci pour les données recueillies, merci Benoît, Amandine, Kisito, Frantz, Karine, Camille...

Un merci tout particulier à Jocelyn Fonderflick pour son regard de conservation, son enthousiasme et son envie d'en savoir plus sur la situation des abeilles dans le parc. Merci pour nos discussions enrichissantes.

Un immense et chaleureux merci Tifenn et Vivianne. Ce travail dans les Cévennes à vos côtés était formidable ! C'était pas toujours facile d'aller à mon rythme et de vous fournir des retours qui puissent aussi nourrir vos réflexions sur le sujet ;) mais merci d'avoir mis autant d'intérêt et d'énergie dans ce projet, d'avoir toujours voulu y participer sur le terrain, dans les réunions... Je garde de ces quatre années beaucoup de ces moments passés à discuter, à débattre, à rire sur ce sujet ou d'autres.

Merci Guillaume pour ton hébergement en cabane sur les monts du Bougès et tes retours passionnants sur le travail de berger, le pâturage des landes de callune.

Merci David Genoud pour la formation à l'identification d'abeilles et l'accompagnement sur le terrain pour nos échanges sur l'évolution des menaces sur les pollinisateurs dans une zone comme les Cévennes.

Merci Anne-Charlotte pour tous nos échanges sur ce sujet et ta participation active aux temps d'ateliers c'était un réel plaisir.

Dans cette section, des personnes qui m'ont accompagné scientifiquement dans ce travail de thèse, avec qui j'ai collaboré, travaillé, lutté et appris que l'organisation collective n'est pas une partie de plaisir dans le milieu scientifique.

Merci à toute l'équipe pollinisation des abeilles. Cette petite tour isolée aura été un endroit sain et très bienveillant pour moi. Grâce à vous j'ai réussi à me sentir bien entouré et j'ai eu plaisir à venir au bureau durant tout ce parcours de thèse.

Merci Bernard pour ton attention permanente au « bonjour » quotidien et veillez à ce qu'il me reste une part de gâteau (comme à chacun-e).

Merci beaucoup Laurent pour ton aide et ta rigueur d'organisation absolument précieuse et gigantesque tout au long de cette thèse. Avec ta pédagogie autour des abeilles et ton attention à la transmission j'ai pu grâce à toi beaucoup apprendre sur elles et leur reconnaissance. Ton enthousiasme et tes rires ont aussi permis de mettre beaucoup de plaisir sur le terrain entre les ronces et les voitures embourbées ^^ Merci aussi pour toutes ces minutes papillons sur mon vélo qui m'ont permis de rester en selle ! Me reste plus qu'à avoir des pneus « *mud and snow* » sur le vélo et je serai paré (et en vélo moins de risque de me trouver embourbé).

Merci Colette, James pour les encouragements de dernière ligne droite.

Merci Estelle, d'avoir mis un peu de vert dans ce bureau pour toute la fin de thèse, ma non-main verte aurait eu raison de trop de plantes sans toi. Merci pour les petites pauses théés pour bien se sortir la tête de l'ordi :)

Merci Guy, le romantisme scientifique, ta présence tranquille, tranquillisante et toujours souriante. Toujours prêt pour un birlou :)

Nicolas, tu sais à quel point tu as été humainement un soutien vital pour moi comme pour d'autres dans cette fin de thèse. Un infini merci à ton écoute, ton support dans ces moments difficiles, ton envie de transformer les choses, de ne plus taire ce qui est resté trop longtemps tu. Je garde avec moi ton

habitude de dire « Bravo » et toutes les félicitations que tu offres et font du bien aux personnes qui t'entourent.

Merci aux collègues de l'ITSAP pour tous ces moments partagés le midi et à l'apéro de derrière les fagots (derrière les ruches en fait), à Julie l'inextinguible pour les discussions et les anecdotes croustillantes, et Nathalie pour les francs moments de rigolade le midi.

Merci aux pitchounes, notamment Emilie, Robin, Emilien, Mahira, Chloé, Charlène, Audric, Pierre-Alban, pour avoir égayé la thèse de soirées et moments de convivialité.

Un merci particulier aussi à Zoé, Léna, Pierre, Cécile et Julien pour votre aide dans les Cévennes pour la capture d'abeilles.

Merci Virginie pour les magnifiques dessins de fleurs, d'abeilles pour le jeu qui ont aussi bien embellis tous mes diaporamas de présentation depuis :)

Merci à Kira et à l'ensemble des personnes que j'ai rarement croisé car j'arrivais trop tardivement le matin mais qui m'ont permis de travailler dans un bureau tous les jours. Et merci pour les excellentes pâtisseries orientales.

Merci Coline, ma "prédécesseuse" dans une thèse entre sciences humaines et du vivant avec Axel, tu m'as mis un sacré pied à l'étrier avant d'arriver ici à la fois scientifiquement et humainement !

Merci au collectif BeeCAUSE et à la solidarité qui est née entre nous, pour avoir tenu à montrer que le sexisme n'avait pas sa place dans la recherche.

Je remercie les collègues de DYNAFOR qui m'ont accueilli très généreusement pendant mes quelques passages à Toulouse, vous m'avez donné envie de revenir ! Un merci très chaleureux et particulier à Benjamin pour ta participation active aux ateliers de jeu même si j'aurai aimé que ça ne te coûte pas le genou après.

Merci aux collègues de l'IUT pour accueil dans les locaux et à la pause déjeuner en particulier, Romane, Léo, Emile. Trop peu de temps passé avec vous, mais toujours un plaisir.

Merci à Dominique, Elise et Christel en particulier pour votre aide sur les cours. Merci aussi Clémentine en particulier, binôme de SIG ça a donné un vrai souffle de t'avoir dans la dernière année de cours et c'était chouette de partager ces cours avec toi !

Et enfin last but not least, merci à the Office élargi (sans moi hein Alexandre, je sais bien que je ne fais pas partie de ce bureau^^) ! Que de belles amitiés qui sont pendant cette thèse, ce bureau est-il magique ? Non c'est vous qui êtes magiques <3

Dina, big up pour la gestion des angoisses <3. Alexandre, merci pour Karine, les discussions de déconstruction de masculinité, de déconstruction de réunion aussi ^^.

Fantine (qui sans avoir la fève reste la reine de l'orga collective), pour les temps de soin collectifs, le peps de câlins et d'écoute arc-en-ciel ! Ça a été tellement fort de pouvoir partager avec toi tous ces moments de colères, de luttes, d'espoirs aussi avec ces partages de lecture !

Ugoline merci pour ton aide tellement précieuse pour les stats ! T'as fait shineR la thèse de façon très forte ! J'aurai aimé pouvoir finir cette thèse par une victoire avec ta syndicalisation :p mais j'en garde pas moins une amitié très précieuse. Merci d'avoir été là !

Clémentine, c'est si précieux de t'avoir finalement rencontrée (et quelle rencontre, « *ayuuuken !*») au bout de ses années de thèses ! Cette thèse restera attachée à toi avec cette dernière ligne droite commune « *on se lâche pas* », où tu es restée toi-même malgré tous ces moments difficiles et intenses. Où tu m'as soutenu et aidé (mentalement mais aussi nutritivement et musicalement, *Imagine dragons forever*) à travers toute la France, jusqu'au bout de la nuit ! On peut être tellement fièr-es d'avoir traversé tout ça (grosses pensées aux vitamines et au psyllium) dans la difficulté mais aussi avec humour (« *Oookay* »). Une sacrée aventure qu'on termine ensemble pour pleins de nouvelles à venir. Tellement merci, du fond du cœur la C <3.

Bon, on va pas se le cacher c'est pas une bonne situation ça doctorant, jeune précaire d'un monde de la recherche de plus en plus dégradé !

Cette dernière année de thèse a été particulièrement marquée pour moi par la lutte. Nationale et interprofessionnelle avec la réforme des retraites mais aussi en interne au labo contre les violences sexistes et sexuelles, le harcèlement. Un rappel au quotidien que rien n'est acquis mais tout se conquiert par la lutte et le collectif ! Et pour moi de nombreuses personnes à remercier pour la solidarité et l'espoir que ces luttes génèrent.

Merci donc aux déjà-là conquis communistes comme la Sécurité sociale, aux travailleur·euses et syndicats qui luttent et m'ont permis de réaliser cette thèse dans des conditions certes précaires, mais meilleures que sans les conquis sociaux que vous avez permis.

Merci à **Thierry, Magalie, Jessica, Philippe, Mia, Laurent, Claudine, Christèle, Pierre, PG...** pour tous ces moments de lutte, d'action collective.

Merci à Alexandra Elbakyan pour avoir créé sci-hub et ainsi participé à la transmission libre des connaissances scientifiques injustement prisonnières des éditeurs rapaces.

Si l'on reste souvent bien seul face à son ordi, la force et l'énergie qui permet d'écrire et de continuer d'avancée dans tous ces moments là elle vient de vous mes potes, mes ami-es, camarades.

Merci à toutes les potes d'Avignon qui ont parsemées ces années de pintes à la cave, au BG ou au BD et de pizzas de chez Vezzo. Merci à Sarah, Killian, Marie, Toffie, Diane, Gabriel, Enrico, Raphaël, Martina, Mathieu, Caroline, Carla, Claire, Gaëtan, Clara, Joachim, Thibault, Léonie...

Merci à la troupe du Jeu de l'acteur pour ces bons moments d'énergie collective, d'évasion dans d'autres impros et univers. Merci pour ces kiaï ! De relargage d'énergie négative, salutaires !

Merci à toutes les coupinoux de la bioteamy !! Ça fait tellement de bien de vous voir, de vous suivre ! Coeur sur vous ! Poupou à travers l'Atlantique toujours dans le taff et déjà à réfléchir aux post-docs +3 ^^ Fafa de loin sans se voir mais toujours une présence chouette et rassurante, j'ai hâte de te revoir. Par intermittence, quand le réseau passe, quand le Théo se pose ça fait toujours du bien de te voir et de rigoler avec toi ! Marin, on se voit à Groix 😊 merci à toi

Paul, Zoé on a réussi à être super proches ces derniers temps, merci pour toutes ces petites parenthèses de vacances ou de taff chez vous. Merci d'avoir été là dans tous les moments difficiles ! Zoé, âme sœur de fou rire et d'histoire de coeur, je te dois tellement, merci infiniment <3

Merci aux collemboles ! A ceux qui avaient donnés le ton des soutenances et des thèses, aux autres qui ont pris leur temps ou une autre voie ;) Merci Gustave, Sofia, Valentin, Amaël, Julia, Jimmy, le Nico, Windy, Carole, La Marsouille, Alexis, Thibaut! Je vous ai dans le coeur les ami-es !

Merci Amaël pour les soutiens de dernière ligne droite et les citations (j'ai tellement jamais réussi à te rendre la pareil, mais c'était très chouette continue ça ^^).

Merci Gustave-Sofia aussi en particulier pour nous avoir régulièrement rassemblé-es, pour votre soutien dans la dernière ligne droite malgré votre dernière ligne droite à vous aussi. Merci Sofia pour m'avoir sans le vouloir souffler les idées pour le pot. Et merci de m'avoir fait confiance en tant que témoin et donc maître de cérémonie du mariage. Et moi qui vous disait, ya pas de soucis j'aurai rendu le manuscrit ce sera parfait. Ahaha looooool...

Merci au joyeux équipage du Pathfinder : Cass, Terez et Kata ! Pour ces virées aux fromages et saucisson à travers Cristov VI, sur Illum en mode expendables, ou en role-play d'une heure, à se foutre sur la tronche et aller se récupérer à travers la galaxie. Une belle camaraderie en et hors jeu, un essentiel pour traverser tous les moments de doute, les trop-plein de thèse. M'échapper dans ce rôle d'Odab avec vous m'a fait tellement de bien, merci à vous !!

Merci aussi à toutes les copaines CARLISTES des GN et autre JDVert pour ces autres moments hors du temps, dans un autre univers. C'est comme vivre neuf vies en parallèle de la thèse, ça vivifie !

Mention spéciale aussi à Raph et Baptiste pour avoir bêta-testé AGORAPI et m'avoir fait votre retour de jouabilité, c'était précieux !

Coline, Gaël et Lucas merci de m'avoir fait rêver (une fois de plus après tous vos spectacles) en étant rien que le temps d'une journée un mousquetaire (ou cardinal en devenir) et merci de pas m'avoir pris =D ça aurait été sacrément plus dur !

Raphaël, Claire, en plus de m'avoir hébergé pour toutes ces parties, vous avez été d'un fort soutien aussi pendant la dernière ligne droite et ça m'a fait vraiment très chaud au coeur de recevoir vos messages !

Merci Aurore pour toutes ces chouettes discussions de parcours de doctorant syndiqué, des discussions trop souvent tristement conscientes de l'état du syndicalisme actuel... mais merci surtout pour le soutien toujours présent, tes mots qui font du bien aussi !

Merci à la colonie Bernadette, et La grande alliance Mao Zedong - Ayatollah Khomeini pour la sacrée entraide dans les méandres administratives et les logiciels qu'on croise en tant que doctorant ou pire membre de l'EducNat !

Merci aux camarades AE /AST, aux anthropotes comme disait Théo (on pense à lui fort), Jean, Hortense, Pauluche, Sarah pour ces joyeuses discussions à changer le monde, d'écologie politique, de la place de jeune chercheur·euse dans un monde qui va dans le mur.

Merci Axou, mon bro, mon poteau, tu m'tiens chaud ! Ça oui tu m'auras tenu chaud, comme le téléphone qui bouillait à force de conversation. Toute la thèse, confinement ou pas, on aura réussi à se croiser en transit à Paris, mon bout de fromage aura toujours bien servi et tu m'auras tellement accueilli, fait avancer, sur la thèse, sur l'amour sur la vie. Mec tu sais tous les moments où tu as été là pour moi alors mille fois merci !

Ces 4 années de thèse ont beau avoir été émaillée du Covid et de l'immobilité, elles auront été aussi été pour moi des expériences de vie collective au 4 coins de la France. D'Avignon à Nantes en passant par les Cévennes, de confinements en attestation de sortie, merci à l'ensemble des colocs qui ont nourries (et aussi littéralement) ces réflexions, des joyeux temps de jeux, de repos et de construction de vie.

Merci à Céline, Margot, Manon, Idrissa, Lise, Christophe de la Grézotière étendue. La vie cévenole était bien remplie de joie et de rires grâce à vous toustes !

Merci aux colocs de la Grammoire, Laura, Léonie, Lukas, Marthe, Romain, Flora. Merci d'avoir été toujours accueillant-es toutes ces années, de m'avoir apporté tout ce soutien et offert un endroit pour me sentir chez moi et avancer sur la thèse. Elle s'est nourrie de toutes les belles soirées jeu, des partages culinaires, des spectacles militants.

Merci aux étoilés de toutes les générations 2.0, 3.0, pour m'avoir fait traverser ("tu l'as, tu l'as ?") si joyeusement et généreusement toutes ces années. Aurélia, Cathleen, Val, Alice, Louise, Pierre, Olivia, Fausta, merci à vous toustes d'avoir fait jaillir et entretenir ce partage de tout, des moments d'amitié, des commérages sur GLC, des soirées politiques pour voir pourquoi socialisation de la valeur d'usage liées à l'abolition de la propriété lucrative capitaliste se trouve si bien dans la Sécu, des week-ends rando à la montagne, des partages de dépression ou d'astuce pour se rendormir pendant une insomnie ! Ces moments de colocation sont tellement précieux enfin de thèse. Traverser toutes ces colocs et organisation différentes avec toujours autant de partage et d'amitié ça donne beaucoup de sens et ça fait vraiment du bien. Merci à vous ! Parce que la charité vu comme le soutien aux pauvres, c'est comme les moustiques, c'est de la saloperie ! La coloc solidaire c'est la Sécu : la révolution déjà-là !

Et spécial merci pour les voisines fantastiques ! Babeth, Karine et Catherine vous donnez au mot "entraide" son expression la plus locale et chaleureuse, des échelles pour avoir des cerises (ou juste accéder à la maison) aux bassines pour éviter le pédiluve sous la chaudière, aux week end à Eygalayes, que de services rendus ! Et que de belles soirées apéro ! Merci pour tous ces moments !

Nora, merci infiniment pour cette place que j'ai pu prendre à tes côtés, tous ces moments de tendresse, de joie, de militantisme que nous avons eu auront été des socles sur lesquels me faire avancer et qui auront nourri cette thèse aussi. Une thèse qui aura permis de réduire la distance parfois mais aussi qui l'aura augmenté avec beaucoup de temps passé dans ma tête, dans ma thèse... Merci d'avoir été là dans tous ces moments.

Gabriel, Gabichou, tu as cette place particulière dans cette thèse en tant que camarade, que co-doctorant et en tant qu'ami. Peut-être que cette thèse n'aurait jamais existé sans toi non plus. Notre rencontre et notre cohabitation au terrier m'aura donc amené jusqu'ici, en ce territoire cévenol que tu connais bien par un heureux concours de circonstance pour discuter d'apiculture avec ce double regard entre socio et écologie. Et par un autre heureux concours de circonstances à avoir eu la chance que nos thèses s'entremêlent ainsi. De l'ensemble de nos virées sur les routes cévenoles, de virages (*serrés*) en

virages, d'entretiens en entretiens, nous avons réussi à faire rimer science et amitié (oui bon ça rime pas, mais tu vois, ou *scientifique* et *amitié magnifique*). Cette thèse elle te doit beaucoup et moi aussi je te dois beaucoup copain !

Douze lignes et un boum ne suffiront pas à te dire combien tu es précieux pour moi Gabriel ! Merci Boum : à toi de jouer maintenant ;)

Arrive la partie, de ceux qui sont toujours là, mais qui sont effectivement toujours là, tellement là, dans le coeur, dans les mots, dans la cuisine aussi pour préparer le buffet de la soutenance !

Merci Titouan alors parce que tu fais bien partie de notre joyeuse famille et que tes talents de Ministerio del Enseignement superior l'ont bien prouvé ! Merci pour ton soutien jusqu'au bout (jusqu'à l'ordi de thèse) !

Merci Nina, Lili, pour toute l'énergie incroyable que vous m'avez transmise et que vous me transmettez chaque jour, pour la joie que vous insufflez, par le soutien que vous m'avez toujours communiqué, par vos rires, vos blagues, votre écoute ! J'ai pu venir à bout de cette thèse aussi grâce à votre présence à chaque instant derrière moi !

Merci papa, maman pour tout ce que vous m'avez transmis de positivement beau, d'ouverture sur la vie, d'humour, et de valeurs ! Merci aussi pour votre accompagnement, votre écoute dans tous les moments de doute, vos mots de soutiens qui m'ont toujours remis en selle et aidé à avancer. Je suis tellement fier de partager ça avec vous !

Table des matières

<i>Remerciements</i>	5
<i>Préambule - Se situer en tant que chercheur dans cette démarche</i>	17
Une recherche située	17
Écriture inclusive.....	17
<i>Introduction</i>	19
<i>Chapitre 1 – Introduction aux principaux concepts et problématique de thèse</i>	22
Les abeilles sauvages, solitaires ou eusociales, partagent nectar et pollen avec les abeilles domestiques.....	22
Un déclin des abeilles sauvages avéré dont les causes recourent celles de la mortalité non négligeable des colonies d’abeilles domestiques.....	24
La compétition, une nouvelle menace pour les abeilles sauvages ?	25
Indicateurs et mesures de gestion.....	29
Un manque d’étude sur l’implication sociale pour l’apiculture.....	32
Un nouveau cadre conceptuel à investir : l’analyse des ressources florales en tant que bien commun	33
Problématique de la thèse	36
Organisation du manuscrit.....	38
<i>Chapitre 2 - Competition between wild and honey bees: floral resources as a common good providing multiple ecosystem services</i>	41
Introduction.....	42
Conceptual framework	43
Governance of common-pool resources and ecosystem services	43
A conceptual model of the human–bee–flower social-ecological system	44
Main components of the human-bee-flower social-ecological model.....	45
Social interdependencies between stakeholders.....	46
Methodology.....	48
Case study	48
Data collection and analysis	49
Results	51
Main components of the social-ecological system in Cévennes area	51
Analysis of social interdependencies.....	53
Discussion	59
New insights on bee competition and governance of floral resources	59
The need to consider the impacts of land-user practices and global changes.....	61
Conclusion	62
Literature cited	63
<i>Chapitre 3 – Evidence of consistent exploitative competition between wild and managed bees mediated by apiary proximity, floral resource type and interannual variations.</i>	71
Introduction.....	72

Material and Method	73
Study region and floral systems	73
Sampling design	75
Foraging success	76
Data analysis	77
Results	81
Weather conditions impact pollen but not nectar foraging success	81
Lower and higher apiary presence hypotheses deliver congruent results	81
Minimum apiary size matters for the effect of distance	82
Bee nectar foraging success is impacted by distance to nearest apiary.....	82
Pollen foraging success	84
Beekeeping metrics have different effects depending on floral resource systems and year	86
Differences between the upper and lower apiary presence hypotheses.....	87
Discussion	89
Access to beekeeping metrics when the georeferencing of apiaries is uncertain through a field census.....	89
Apiary-influence range, a repeatable pattern that entails uncertainties	89
Linking food limitation due to exploitative competition and consequences on wild bee fitness and populations	91
Conclusion: contributions to the debate on inclusive solutions for reconciling apiculture and wild bee conservation, from evidence and uncertainties to collective action.....	94
References.....	96
Supplementary material.....	100
<i>Chapitre 4 – Accompagner l’action collective pour le partage des ressources florales entre apiculture et abeilles sauvages</i>	<i>121</i>
Introduction :	122
Méthodologie.....	125
Cadres conceptuels et méthodologie : de la recherche-action avec une approche de modélisation d’accompagnement.....	125
Application au cas de l’apiculture dans les Cévennes.....	128
Présentation du jeu AGORAPI.....	132
Résultats	140
Les interdépendances liées au partage des ressources florales font encore débat, mais leur conscientisation vis-à-vis des abeilles sauvages favorise l’action collective.....	140
La compréhension des variables exogènes influençant l’émergence d’action collective	143
Le jeu fait émerger de nouvelles règles d’organisation dont la faisabilité est évaluée au prisme des enjeux de confiance, d’autonomie et de réciprocité	148
L’enchâssement dans des systèmes socio-écologiques plus larges : une problématique qui dépasse la question de l’apiculture	151
Discussion-conclusion	152
L’enjeu de la construction collective d’une perception des ressources comme biens communs.....	153
Apports des sessions de jeu sur la gestion de la compétition entre abeilles	154
Références.....	156
<i>Discussion générale</i>	<i>162</i>
Une nouvelle étude qui met en avant l’existence de compétition dans les aires protégées	163
Les ressources florales, un modèle d’étude de l’émergence d’un bien commun	165
Les apports de cette thèse sur le débat autour du partage des ressources florales	167
Un défi, la prise en compte de la production des ressources florales.....	169
Perspectives et conclusion.....	171
Perspective de la thèse : le développement d’AGORAPI.....	171
Réflexions conclusives : L’importance de la compétition entre pollinisateurs dans le Capitalocène	171

<i>Références bibliographiques</i>	173
<i>Annexe 0 - Ma place au sein des collaborations autour de cette thèse</i>	181
<i>Annexe 1 – Standardising the nectar foraging success of wild bee according to their size, sex and taxonomy: an empirical method to determine reference allometric functions of maximal nectar crop content.</i>	183
Materials and methods	184
Results	187
Tables and figures	188
<i>Annexe 2 – Charte des bonnes pratiques pour les emplacements de ruchers en Cévennes et en Lozère</i>	194
<i>Annexe 3 – Productions scientifiques</i>	198
Articles scientifiques.....	198
Articles techniques	198
Présentations	198
Congrès / workshop scientifiques	198
Séminaires scientifiques	199
Présentations aux professionnels (parc national et filière apicole).....	199
Transfert vers le grand public.....	199
Enseignements	200

Préambule - Se situer en tant que chercheur dans cette démarche

Une recherche située

Ce travail, comme tout travail de recherche n'est qu'un point de vue partiel sur les terrains et les objets étudiés. Pour ouvrir des perspectives objectifiables, il est donc essentiel de savoir d'où je parle.

Mon parcours disciplinaire de biologiste m'a fait prêter une attention particulière à un sujet de préservation de la biodiversité. C'est ce « moi » écologue qui a travaillé à construire et comprendre ce sujet à travers une perspective d'écologie.

L'ouverture, dans mon parcours universitaire, aux questionnements sociaux et à la compréhension des relations entre humains et environnement est arrivée plus tard. Mais c'est ce parcours qui a construit l'intérêt pour un positionnement de recherche qui reconnaît la légitimité des savoirs, ceux des scientifiques comme ceux des apiculteur·rices.

Mon implication avec les écologues et autres défenseur·euses des abeilles sauvages au sein du milieu scientifique essentiellement et le contact régulier auprès des apiculteur·rices m'ont conduit tout au long de ma thèse à composer avec ces questionnements et ces interrogations. Ce manuscrit est le résultat de ce cheminement et ce regard partiel sur cette problématique.

Écriture inclusive

Dans les parties françaises de ce manuscrit l'écriture utilisée est inclusive : les noms ont été écrits lorsque nécessaire avec les deux terminaisons existantes séparées par un point médian. Les néologismes « iels » ou « ceux » n'ont pas été employés, la répétition des deux pronoms leur ayant été préférée. Pour les adjectifs, verbes, pronoms etc... l'accord de proximité a été choisi autant que possible.

Pour ceux qui s'interrogent sur les raisons de ce choix, je vous invite à la lecture de ce guide réalisé par le comité d'écriture inclusive mis en place par l'association Féministes en Mouvement de l'Université Laval (FEMUL). N'en déplaise à certains, non le masculin n'est pas neutre.

Ce guide est accessible ici : <https://divergences.org/wp-content/uploads/2021/03/guide-redaction-inclusive-2020-femul-2.pdf>

La citation suivante en est issu :

Reléguer la communication non sexiste et inclusive au second plan des luttes féministes, comparativement à d'autres enjeux comme la discrimination systémique, ignore le rôle structurant du langage sur notre pensée (Abbou et al, 2018, par. 25; Haddad et Baric, 2017, p. 15; Wattier, 2018, p. 15). La lutte pour la visibilité des femmes, des personnes trans, non-binaires et bispirituelles dans la langue française s'attaque donc à l'une des racines de nombreuses discriminations qui imprègnent toujours notre société (Lessard et Zaccour, 2017, p. 21; Haddad et Baric, 2017, p. 16).

*Comme l'abeille aux fleurs de nos prairies
Ravit le suc dont se forme le miel,
J'ai dans le coeur un essaim d'utopies,
Songes ailées qui butinent au Ciel.
Mais quand je crois, œuvre de mon délire,
Jouer des sucs qu'un rêve a mélangés,
Ruche du coeur, la main des préjugés
T'enlève alors et ton miel et ta cire.*

*Blonde utopie idéal de mon coeur
Ab ! Brave encor l'ignorance et l'erreur*

Joseph Dejacque

L'incertitude, c'est ce concept qu'on déprécie, cette notion qui doit être dévaluée si l'on souhaite coller aux normes de notre monde. [...] Notre société n'est pas faite d'hésitants, mais de décideurs. On court dans un monde qui ne tolère ni le bafouillage ni l'hésitation. Parce que c'est ainsi qu'il fonctionne, ce monde, par volées de certitude ! Par volées de servitude.

J'aime l'idée selon laquelle nos incertitudes s'étalent, fleurissent au hasard, poussent et grandissent, entre les failles de la coque qui craquèle, au-delà des limites et de la morale. Surtout, j'ai envie qu'on nous laisse libres. Libres de les expérimenter, de les cultiver, même — surtout —, lorsqu'elles sont indomptées.

Jean Krug

Introduction

« Cela fait plus de quatre mille cinq cent ans que l'humanité a tissé des liens étroits avec les abeilles » dit Jean-Claude Ameisen (Ameisen 2013). Les écrits poétiques et philosophiques sur les butineuses de miel témoignent en effet de ce lien intime qui s'est noué autour de cet insecte. Cette fascination continue d'être visible jusque dans les études sur la compréhension du monde animal par la biologie moderne. Les travaux pionniers de Karl von Frisch sur la communication sur les abeilles – récompensés par un Prix Nobel en 1973 – ainsi que ceux menés à sa suite notamment sur la démocratie chez les abeilles (Seeley 2017) ou encore leurs compétences cognitives, leurs facultés à compter et à apprendre, continuent de nourrir admiration et intérêt pour ces insectes.

Au-delà d'un regard sur la diversité et le fonctionnement du monde animal, les abeilles ont également noué un lien étroit à travers cette capacité particulière des abeilles mellifères à produire du miel. Les traces millénaires de la domestication des abeilles témoignent de ce rapport ancien. La production de miel a été jusqu'au XIX^{ème} siècle une des sources les plus importantes de sucre avant que la production de canne à sucre ou de sucre de betterave ne vienne la remplacer (Crane 1999, Lehébel-Péron 2014). Cette activité s'est certes professionnalisée depuis la fin du XX^{ème} siècle faisant de certains apiculteur·rices autrefois cueilleurs ou éleveurs d'abeilles, des producteur·rices de miel.

Le monde apicole se situe à une place singulière entre agriculture et environnement (Fortier et al. 2020). Cette place découle en partie du lien particulier que cette profession entretient avec le monde agricole - en particulier du fait des combats menés par les apiculteur·rices pour protéger leurs butineuses des pesticides « tueurs d'abeilles » introduits dans les années 90. Le statut de l'abeille encore décrite entre sauvage et domestique (Marchenay 1993) participe aussi à cette place singulière de l'apiculture. L'attitude positive envers cet insecte social en fait une espèce de choix en tant qu'espèce drapeau pour protéger les abeilles (Schönfelder and Bogner 2017). Le programme de labellisation « abeilles sentinelles de l'environnement » lancé en France à partir de 2005 témoigne de cette attitude positive (UNAF 2005).

Ainsi, face à la 6^{ème} extinction de masse et au déclin des insectes et des pollinisateurs, les appels à sauver les abeilles se multiplient en particulier en ville (Lorenz and Stark 2015). L'apiculture urbaine a ainsi connu un boom dans certaines grandes métropoles d'Europe – à Paris le nombre de ruches est passé de 300 en 2013 à 1000 -1500 en 2019 selon les sources (Kayadjanian et al. 2020, Ville de Paris 2022) soit environ 15 colonies/km² tandis qu'à Londres on comptabilise 3200 ruches soit 10 ruches/km² (Alton and Ratnieks 2016).

Mais ces dernières années, un nouveau débat est venu remettre en question certaines de ces politiques : l'impact négatif des abeilles mellifères - domestiquées et gérées par les apiculteur·rices - sur les abeilles sauvages. En effet, si les mots d'abeilles résonnent souvent avec ceux de « ruches » et de « miel », les abeilles mellifères ne sont pas seules (Schönfelder and Bogner 2017). En France, les colonies d'abeilles mellifères appartiennent à une seule et même espèce *Apis mellifera* or on dénombre près de 1000 espèces d'abeilles sauvages. Dans le monde, seules les abeilles mélipones des tropiques et les huit espèces du genre *Apis* produisent du miel. La grande majorité des 20 000 espèces recensées n'en produit pas. Mais ces abeilles sauvages se nourrissent de nectar et de pollen comme les abeilles domestiques. Ces dernières sélectionnées notamment pour leur production de miel consomment plus de ressources florales tout au long de l'année (Cane and Tepedino 2017) et sont donc susceptibles d'engendrer une compétition interspécifique pour les ressources florales qui nuit aux abeilles sauvages (Geldmann et González-Varo, 2018 ; Geslin et al., 2017).

Or, si un faisceau croissant d'évidences en faveur de l'existence d'une compétition entre abeilles sauvages et domestique se construit, cette compétition ne semble pas être systématique (Wojcik et al. 2018). Ainsi face aux incertitudes scientifiques qui demeurent concernant la disponibilité en ressources des différents milieux, ce risque de compétition contexte-dépendant fait émerger une controverse quant à la place de l'apiculture dans les aires protégées. Au nom de la préservation de ces pollinisateurs, certains scientifiques estiment qu'il est nécessaire d'exclure les apiculteur·rices des zones protégées (Geldmann and González-Varo 2018). D'autres plaident pour des stratégies plus inclusives conciliant la préservation des abeilles sauvages et la production apicole (Kleijn et al. 2018, Saunders et al. 2018, Alaux et al. 2019). Certaines études ont donc proposé des approches inclusives de régulation de la compétition par la mise en place d'une distance minimale entre ruchers (Henry and Rodet 2020). Cette approche s'appuie sur des travaux menés sur la côte méditerranéenne et révélant un risque de compétition fonction de la distance au rucher.

Si les études écologiques ont cherché à comprendre la compétition et des propositions pour éviter la surexploitation des ressources florales par les colonies des apiculteur·rices, la question de l'usage des ressources florales par les apiculteur·rices n'a pas été étudiée. En effet, la limitation, voire l'exclusion des colonies d'abeilles domestiques a des implications sociales (Durant 2019). L'acceptabilité et la légitimité de la mise en place de ces mesures se posent, et ce d'autant plus que les incertitudes en jeu sont élevées.

Or l'existence d'une compétition suggère le besoin de prendre en compte le caractère partagé des ressources et des solutions permettant un partage équitable de ces ressources entre les différents usagers. Ces problématiques sont depuis longtemps étudiée à travers les travaux sur les biens communs développée par Elinor Ostrom (Ostrom 1990). Les recherches fondamentales d'Ostrom montrent que des ressources de type bien communs (*common-pool resources*, CPR) peuvent être gérées de manière durable par des communautés d'utilisateur·rices grâce à l'action collective. Son travail propose un cadre d'étude des systèmes socio-écologiques pour examiner les règles formelles et informelles utilisées par les communautés pour gouverner les ressources. Mais les ressources florales sont-elles des biens communs ?

Face aux enjeux écologiques et sociaux soulevés par l'existence de cette compétition interspécifique, une étude interdisciplinaire du partage de ces ressources semble nécessaire. Cette thèse propose donc d'étudier la question du partage des ressources florales et la compétition entre abeilles sous l'angle de la théorie des communs. **Nous nous demanderons donc s'il est pertinent de considérer les ressources florales comme des biens communs, et en quoi cette approche permet de mieux comprendre les enjeux clefs pour la mise en place d'une action collective pour un partage des ressources mellifères conciliant la préservation des abeilles sauvages avec le maintien d'une apiculture durable ?**

Pour répondre à cette question ce manuscrit propose une approche combinant sciences sociales et écologiques. Le parc national des Cévennes a été choisi comme terrain d'étude pour la réalisation de ce travail.

Dans un premier chapitre introductif nous reviendrons sur les définitions, les concepts et éléments contextuels importants avant d'explicitier la problématique de cette thèse. Le deuxième chapitre présentera le cadre conceptuel de notre étude. Il décrira aussi les perceptions des ressources florales par les apiculteur·rices et les règles formelles et informelles concernant l'utilisation de ces ressources. Dans le chapitre 3, nous nous intéresserons à la compétition entre abeilles d'un point de vue écologique. En particulier nous étudierons les effets de la proximité des ruchers, de la densité

de colonies sur le succès de quête alimentaire des abeilles sauvages et domestiques en fonction des années et des différents types de ressources florales de notre zone d'étude. Enfin dans le chapitre 4, nous suivrons une démarche de recherche-action. Cette démarche construite autour du jeu sérieux AGORAPI a un double objectif. Le premier est de mieux comprendre les facteurs et les enjeux déterminants pour la mise en place d'une gestion collective du partage des ressources florales entre apiculture et abeilles sauvages. Le second est d'accompagner les acteur·rices du territoire dans de tels processus d'action collective.



Photo 1: Abeilles sauvages, bourdons (*Bombus* sp.) et halictidae (*Halictus* spp.) partageant le nectar d'une fleur de chardon laineux (*Cirsium eriophorum*) sur le Mont Lozère. Crédit photo : Laurent Guilbaud

Chapitre 1 – Introduction aux principaux concepts et problématique de thèse

Dans ce premier chapitre, après avoir brièvement présenter les abeilles sauvages, je décrirai pourquoi cette compétition est possible et les conséquences qu'elle engendre. Puis nous verrons quelles mesures de gestion la littérature scientifique propose actuellement et quelles sont celles mises en place dans la réalité. Je reviendrai ensuite sur les implications sociales de ces mesures et la posture de la filière apicole concernant cet enjeu. Face aux questions soulevées par cette compétition, j'expliciterai alors la problématique de cette thèse et l'approche socio-écologique de recherche-action que nous avons menée. Cette dernière section sera aussi l'occasion de présenter rapidement le contexte et le choix du lieu d'étude. Je reviendrai enfin sur les collaborations sur lesquelles ce travail repose.

Les abeilles sauvages, solitaires ou eusociales, partagent nectar et pollen avec les abeilles domestiques

La famille des Apidae comporte 20 000 espèces à travers le monde (Figure 1). Sur le continent européen 2138 espèces ont été dénombrées (Ghisbain et al. 2023). A l'exception du genre *Apis* et des abeilles mélipones, les abeilles sauvages ont pour la plupart un cycle de vie annuel et ne produisent pas de miel (source de nourriture qui permet à la colonie de passer la mauvaise saison).

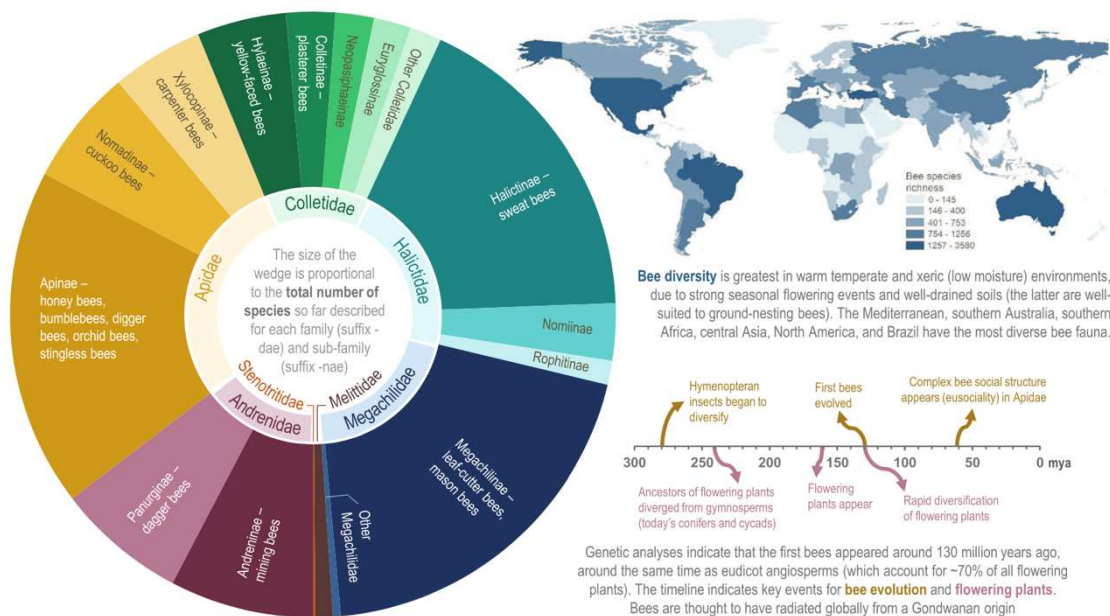


Figure 1 Diversité des abeilles, figure issue de Patel (2021).

Dans cette partie les traits présentés se limitent à la présentation de ceux retrouvés parmi les espèces européennes.

On retrouve chez les abeilles toutes les formes de socialité, depuis les espèces solitaires où mâles et femelles sont tous deux reproducteurs jusqu'aux espèces eusociales où les abeilles sont divisées en castes entre ouvrières non reproductrices et reines reproductrices.

Les abeilles solitaires tout comme les abeilles sociales se nourrissent de nectar et de pollen. Le nectar apporte une source d'énergie tout au long de la vie des individus. Le pollen est un élément nutritif essentiel qui apporte notamment des protéines aux larves d'abeilles. Les abeilles solitaires après avoir pondu dans leur nid déposent un pain de pollen constitué de pollen aggloméré avec du nectar. Ce pain va servir de nourriture à la larve qui va éclore quelques jours après la ponte et se développer avant d'entamer sa nymphose. A la belle saison, une fois la métamorphose terminée, les individus adultes, mâles en premier, sortent de leur nid. Les mâles se nourrissent de nectar et restent à proximité des espèces visitées par les femelles avant l'accouplement. Les femelles construisent le nid et récoltent nectar et pollen pour leur progéniture. Les modes de vie des abeilles sont très divers. Par exemple, en ce qui concerne les sites de nidification, certaines nichent dans la terre (terricoles), d'autres dans des cavités (cavicoles), quand d'autres sont hélicicoles et nichent dans des coquilles d'escargot.

Parmi les abeilles sociales, on retrouve essentiellement en Europe les espèces du genre *Bombus* : les bourdons. Les colonies de bourdons ne passent pas l'hiver, seule la reine hiverne. Les maigres récoltes de miel des bourdons pour passer la saison n'ont donc jamais été utilisées par les humains.

Concernant l'utilisation des ressources florales, les abeilles sauvages sont généralistes pour le nectar. Elles cherchent donc du nectar sur la plupart des fleurs. En revanche, la récolte de pollen par les abeilles est plus spécifique. Résultant de millions d'années de co-évolution entre plantes et pollinisateurs, certaines abeilles ne butinent le pollen que sur quelques espèces de plante. On parle alors d'oligolectisme. La présence de l'abeille est alors étroitement liée à la présence de la plante et vice-versa. Certaines au contraire sont plus généralistes (comme les bourdons et les abeilles mellifères notamment) et sont capables de se nourrir du pollen de multiples plantes de diverses familles.

Les abeilles mellifères quant à elles sont généralistes. Elles se nourrissent de pollen et de nectar sur une grande diversité de plantes à fleurs. Quand les abeilles sauvages et domestiques coexistent sur une même aire géographique et partagent une même ressource, on parle de superposition de ressource. Du fait de leur comportement social et du recrutement de leurs congénères, elles se nourrissent principalement sur les ressources florales les plus productives dans le paysage et proches du rucher (Couvillon et al. 2014, Shackleton et al. 2023). Toutefois, une fois la production de pollen et de nectar de ces ressources terminées, les abeilles mellifères peuvent « déborder » sur les autres ressources florales (Holzschuh et al. 2016, Magrach et al. 2017). Une étude au Royaume-Uni, a par exemple mis en avant qu'après la fauche de prairies riches en trèfle (*Trifolium repens*), les abeilles mellifères et les bourdons – les principaux pollinisateurs butinant le trèfle – étaient 147% plus abondants sur les buissons de ronces (*Rubus fruticosus*) adjacents (Harris et al. 2023). Ce phénomène appelé *spill-over* pourrait entraîner une augmentation de la compétition d'exploitation pour les ressources florales entre pollinisateurs.

Par ailleurs, l'utilisation des ressources florales à l'échelle du paysage dépendent également de la distance de butinage de ces espèces. Chez les abeilles sauvages cette distance est corrélée à la taille des abeilles. La capacité maximale de vol pour les abeilles solitaires est comprise entre quelques mètres et quelques centaines de mètres (Zurbuchen et al. 2010). En revanche chez les abeilles mellifères et les bourdons, cette distance dépasse plusieurs kilomètres – la distance médiane pour les abeilles mellifères varie selon les habitats et atteint au maximum 1,5 kilomètres (Steffan-Dewenter and Kuhn 2003, Danner et al. 2017, Rutschmann et al. 2023).

Le concept de service écosystémique, défini comme les bénéfices que les socio-écosystèmes fournissent au bien-être humain est de plus en plus utilisé pour parler des multiples bénéfices que les abeilles apportent aux êtres humains. Ainsi, outre le service de pollinisation (Brittain et al. 2013, Roué et al. 2015), les études montrent que les abeilles sauvages participent au bien-être des êtres humains à travers de multiples services (Figure 2) (Gill et al. 2016, Potts et al. 2016, Klein et al. 2018). De même, les colonies d'abeilles mellifères fournissent des services écosystémiques qu'elles soient sauvages (Matias et al. 2017) ou domestiques (Veldtman 2018, Patel et al. 2021).

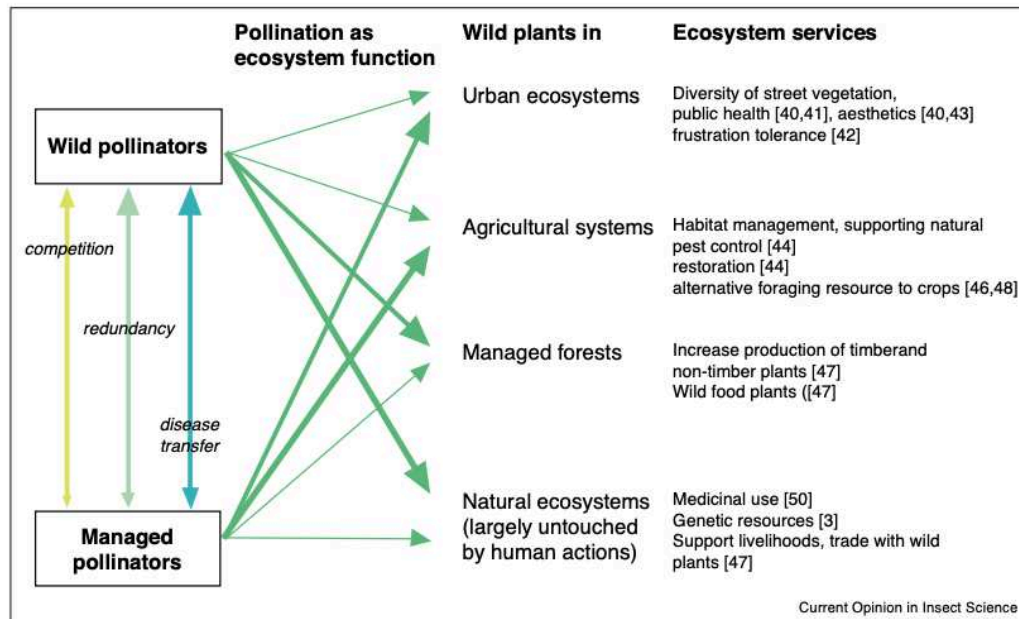


Figure 2 Pollinisation et services écosystémiques rendus par les abeilles domestiques et sauvages aux humains. L'épaisseur des flèches vertes indique l'importance potentielle du groupe de pollinisateurs pour les plantes sauvages. Les flèches entre « wild » et « managed pollinators » montre les interactions possibles, la taille des flèches indiquant le groupe le plus impacté. Figure issue de Klein et al. 2018.

Dans cette thèse, nous désignons par abeilles sauvages l'ensemble des espèces d'abeilles sociales ou solitaires autres qu'*Apis mellifera*. Les expressions « abeille mellifère » et « abeille domestique » – *honeybee* en anglais – sont utilisées pour désigner *Apis mellifera*, la deuxième expression désigne explicitement les colonies gérées par les humains. Dans le contexte de notre étude, cette espèce est native. Bien que des colonies d'abeilles mellifères existent à l'état sauvage ou féral, ces colonies sont peu représentatives des densités d'abeilles mellifères sur le territoire européen qui sont pour la plupart dites « domestiques ». Nous considérons donc dans notre étude (et dans l'étude de la compétition) principalement les colonies gérées.

D'autres espèces d'abeilles sont gérées par les humains – par exemple les colonies de bourdons terrestres ou certaines espèces d'Osmie pour assurer le service de pollinisation. Ces espèces aussi peuvent entrer en concurrence avec les abeilles sauvages comme domestiques. Dans notre contexte d'étude toutefois ces pratiques de pollinisation étant peu usitées, nous considérons les espèces d'abeilles autres qu'*Apis mellifera* comme non gérées par les humains.

Un déclin des abeilles sauvages avéré dont les causes recourent celles de la mortalité non négligeable des colonies d'abeilles domestiques

Le déclin des abeilles tout comme celui de la biodiversité des insectes n'est plus à présenter. Les récentes études montrent que 70% des populations d'insectes ont disparu (Hallmann et al. 2017,

Sánchez-Bayo and Wyckhuys 2019). De même, il y a aujourd'hui un consensus scientifique autour du déclin des pollinisateurs (Potts et al. 2010, Goulson et al. 2015, Zattara and Aizen 2021). La littérature scientifique manifeste un intérêt significatif et croissant sur les conséquences de ce déclin et donc les menaces qui pèsent sur les abeilles sauvages (Savajol 2014, Decourtye et al. 2019). Parmi ces menaces on recense les impacts des bouleversement climatiques (Soroye et al. 2020), des pesticides mais également la perte des habitats et des ressources florales (Goulson et al. 2015). Ces différentes pressions impactent les ressources florales de différentes façons. Les bouleversements climatiques peuvent entraîner des décalages phénologiques entre les cycles de vie des abeilles et des fleurs (Havens and Vitt 2016, Duchenne et al. 2020). La dégradation des habitats liée aux changements d'usages des sols, l'expansion de la monoculture affectent quantitativement la disponibilité des ressources et des sites de nidifications (Westphal et al. 2003, Decourtye et al. 2010, Grab et al. 2019, Durant and Otto 2019). L'utilisation d'herbicides et de pesticides ont des effets létaux et sublétaux directs sur les abeilles (Desneux et al. 2007, Tosi et al. 2022) mais appauvrissent également la disponibilité en ressources de qualité pour les abeilles (Woodcock et al. 2017, 2022, Dixon et al. 2021).

Concernant les abeilles domestiques, s'il n'est pas question d'un déclin de l'espèce – maintenue notamment grâce à l'activité apicole – ces changements globaux et le déclin des ressources florales sont responsables de haut taux de pertes de colonies ces dernières décennies (Kaluza et al. 2016, Smart et al. 2016). En Europe, et en France également, le nombre de colonies d'abeilles domestiques a fortement chuté dans les années 1990 (Osterman et al. 2021). Ce nombre est depuis en augmentation mais n'a pas encore atteint le niveau de 1961. Toutefois, en France bien que le nombre de colonies est plus faible qu'en 1961, la quantité de miel produite (et donc la quantité de miel produite par colonies) est plus importante (Phiri et al. 2022).

La compétition, une nouvelle menace pour les abeilles sauvages ?

Dans ce contexte de déclin des abeilles, de mortalité des colonies et d'appauvrissement des ressources florales, la compétition entre abeilles pour les ressources florales semble alors figurer comme une nouvelle menace pour les populations d'abeilles sauvages.

La question de l'impact des abeilles gérées par les humains sur leur environnement n'est pas récente (Roubik 1978, Schaffer et al. 1979, 1983). Mais ces dernières années, cette préoccupation a gagné du terrain (Iwasaki and Hogendoorn 2022). En effet, entre 2017 et 2021, le nombre de publications scientifiques sur les interactions entre abeilles a augmenté de 47% (Figure 3). Dans des contextes où les abeilles domestiques sont introduites mais aussi dans des zones où elle est native, de nombreuses études ont montré des effets négatifs de la présence d'abeilles domestiques sur les populations d'abeilles. Ainsi, 66% des études actuelles reportent des effets négatifs contre 53% en 2017 (Mallinger et al. 2017, Iwasaki and Hogendoorn 2022).

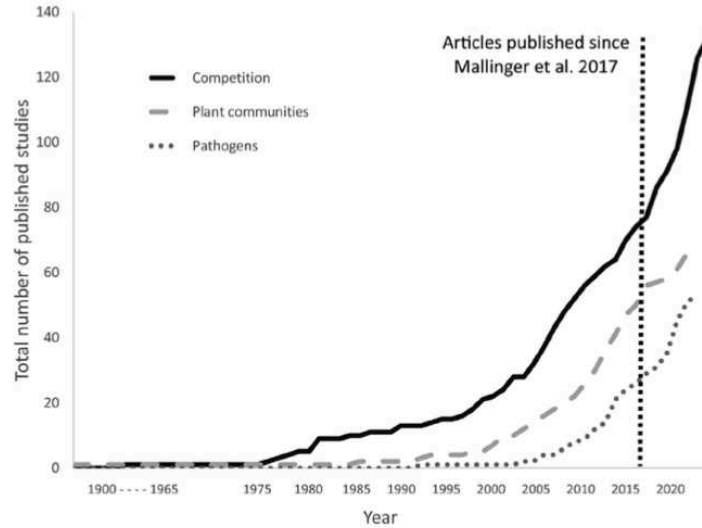


Figure 3 Évolution des publications scientifiques sur les interactions entre abeilles. Le graphique présente le nombre cumulé d'études entre 1900 et 2021 qui traitent (i) de la compétition pour les ressources entre abeilles (ii) du changement des communautés florales à travers les interactions plantes-pollinisateurs et (iii) de la transmission de pathogènes entre abeilles. Cette figure est issue de Iwasaki et Hogendoorn (2022). Il reste important de relativiser cette augmentation au regard de la dynamique d'ensemble des publications scientifiques.

Même dans les régions où *Apis mellifera* est native (Europe et Afrique), près de 60% des études qui étudie la compétition des colonies d'abeilles domestiques sur d'autres abeilles (n=31) reportent des effets négatifs, et près de 20% montrent des effets potentiellement négatifs (Figure 4).

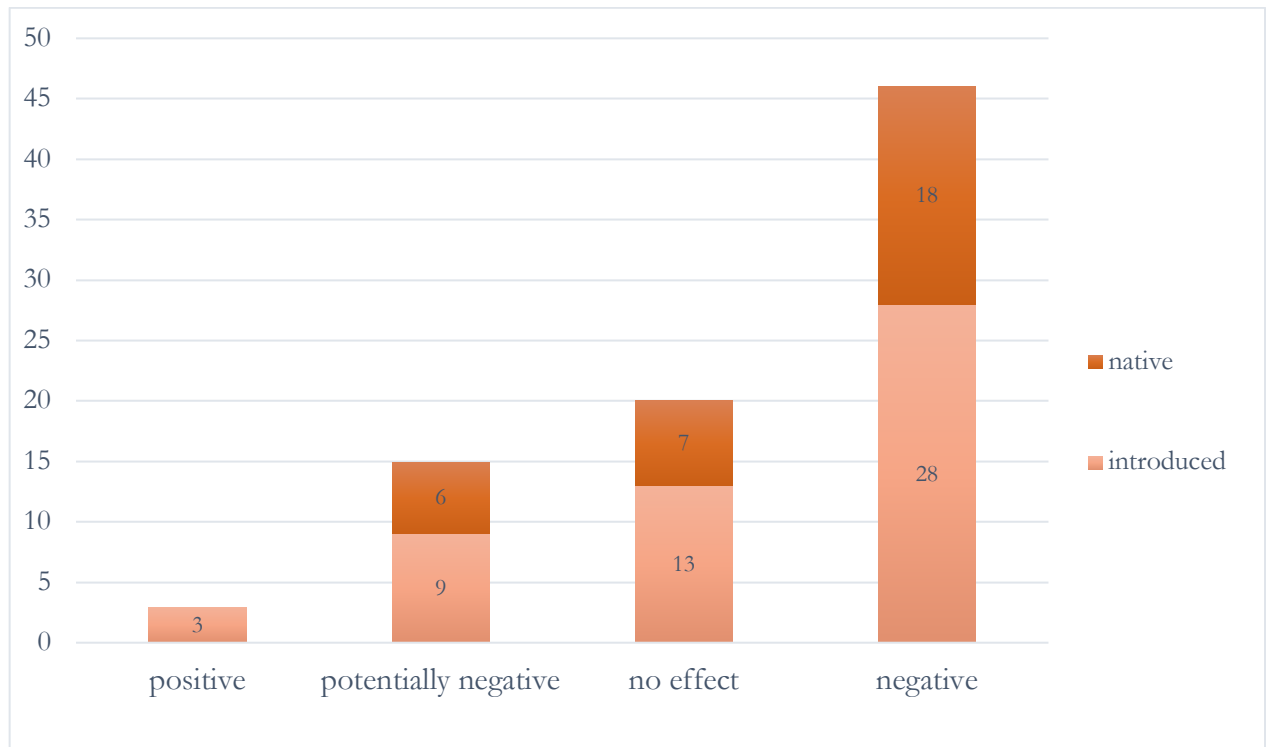


Figure 4 Les effets d'*Apis mellifera* sur les abeilles sauvages selon les études recensées dans Iwasaki et Hogendoorn (2022). Figure adaptée de Mallinger et al. (2017) mise à jour avec les nouvelles données. Les données sélectionnées ici ne prennent en compte que les études étudiant les effets d'*Apis mellifera* sur les abeilles sauvages. Les études en conditions « native » ont été effectuées dans les régions où *Apis mellifera* est naturellement présente (Europe, Afrique). Dans les autres *Apis mellifera* a été introduite. Les effets potentiellement négatifs indiquent que les auteurs suggèrent d'après leur data un effet négatif dans la discussion mais qu'il n'est pas observé directement. Par exemple quand les auteurs observent une superposition des ressources et une limitation des ressources. Le score « no effect » est utilisé pour les études montrant des effets non-significatifs. Les effets positifs suggèrent que la présence d'*Apis mellifera* apporte un bénéfice aux abeilles sauvages étudiées.

La superposition des niches alimentaires des abeilles – possible du fait du régime généraliste des abeilles domestiques et de l'important rayon de butinage comparé aux abeilles sauvages – ainsi que l'importante consommation en pollen et en nectar des colonies pour se maintenir toute l'année expliquent la possibilité d'une telle compétition (Steffan-Dewenter and Tscharrnke 2000, Elliott et al. 2021). Une étude a par exemple montré que la consommation en pollen d'une colonie d'abeille domestique entre juin et août équivalait à celle de 100 000 individus de l'espèce *Megachile rotundata*. (Cane and Tepedino 2017). Certaines études ont montré les effets négatifs de l'augmentation de la densité de colonies d'abeilles domestiques sur la richesse des communauté d'abeilles sauvages (Ropars et al. 2019), sur leur succès de reproduction (Hudewenz and Klein 2013) ou leur taux de survie (Elbgami et al. 2014). D'autres ont montré, à l'aide d'une méthode d'exclusion sélective des abeilles domestiques, une relation de causalité de la présence des abeilles domestiques sur l'abondance des abeilles sauvages (Balfour et al. 2015, Wignall et al. 2020).

Étant donné la difficulté de mesurer le succès reproducteur des abeilles sauvages, nombreux sont les auteur·rices qui étudient les effets de la présence d'abeilles domestiques sur le taux de visites, l'abondance, la richesse spécifique ou le comportement de butinage des abeilles sauvages (Figure 5, Mallinger et al. 2017). Ces indicateurs restent néanmoins difficiles à interpréter en termes d'impact sur la reproduction des abeilles sauvages (Wojcik et al. 2018). Une récente étude menée sur la Côte Bleue a mesuré la compétition à travers le succès de quête alimentaire, c'est-à-dire la quantité de pollen et de nectar transportée par les abeilles (Henry and Rodet 2018). Si cette mesure ne permet pas directement d'observer l'effet de la compétition de ressource sur la *fitness* des populations d'abeilles sauvages, elle permet d'approcher plus directement l'effet du partage des ressources florales. De plus cette méthode a l'avantage d'être peu invasive (elle nécessite d'endormir les abeilles mais pas de les tuer).

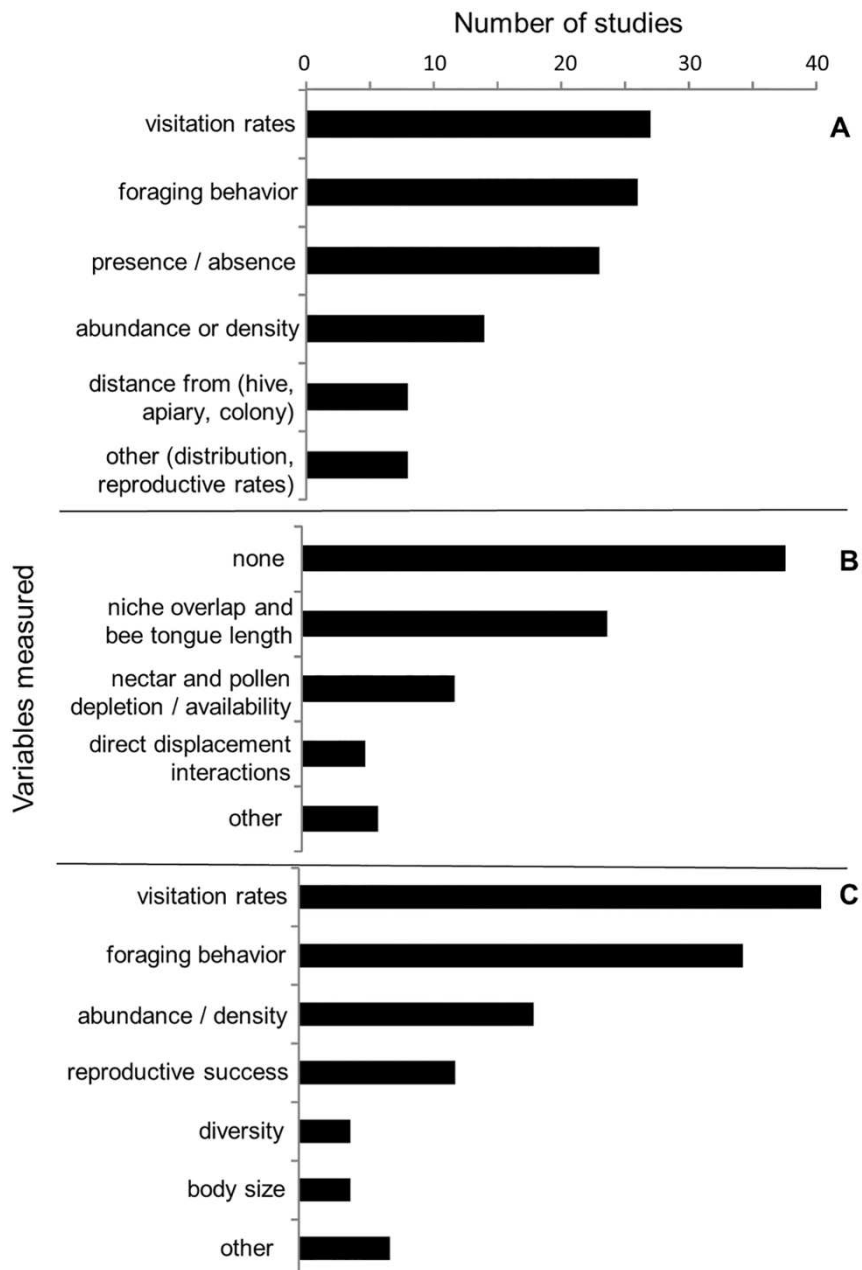


Figure 5 Effets étudiés des abeilles domestiques sur les abeilles sauvages dans les études sur la compétition pour les ressources florales. Figure issue de Mallinger et al. 2017. Ce graphique ne représente que les études publiées avant 2017. Ce graphique représente les variables utilisées pour étudier les effets de compétition : (A) les métriques concernant les abeilles domestiques, (B) les mécanismes potentiels et (C) les variables réponses des abeilles sauvages.

Dans notre étude nous nous concentrons sur la compétition d'exploitation des ressources florales mais les interactions entre abeilles liées à abeilles mellifères ne sauraient se résumer à cette compétition. La littérature recense deux autres types d'interactions négatives (Geslin et al 2017) : la compétition par interférence – liée à des comportements agressifs entre individus mais rarement observés - et la compétition apparente liée au transfert de pathogènes et de parasites (Fürst et al. 2014, Dalmon et al. 2021). Les interactions peuvent aussi être positives. La présence de colonies d'abeilles peut d'une part faciliter le transfert d'informations à d'autres espèces sur la présence d'espèces florales (Goodale and Nieh 2012). D'autre part, il est possible que la pollinisation réalisée par ces colonies favorise la reproduction d'espèces florales partagées par les abeilles sauvages même si cela n'a pas été mis en évidence expérimentalement à notre connaissance. L'arrivée de colonies transhumantes a également des répercussions sur les réseaux d'interactions entre plantes et pollinisateurs ce qui peut avoir des effets de compétition d'exclusion (Ropars et al. 2022). Ces effets sur les réseaux d'interaction entre plantes et pollinisateurs sont toutefois encore mal connus (Geslin et al. 2023).

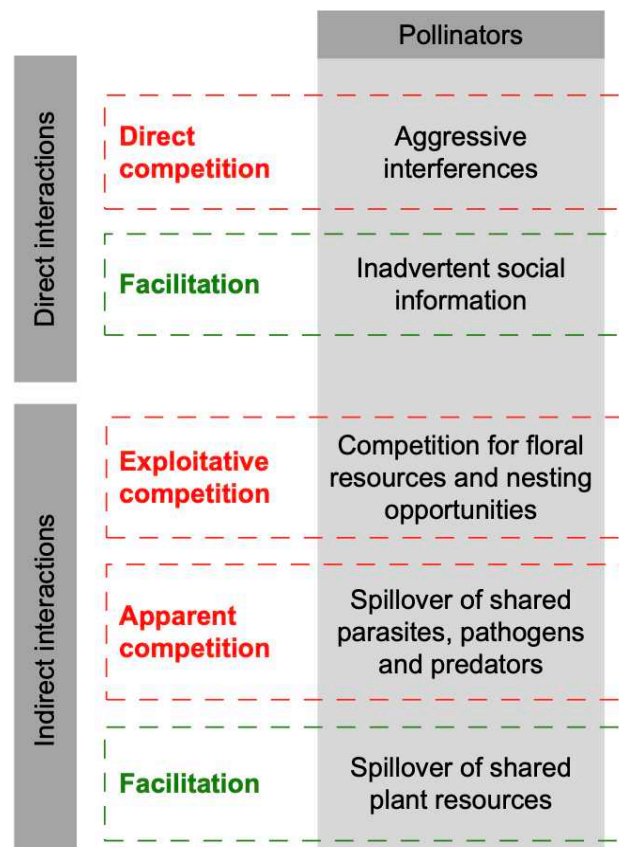


Figure 6. Les différents types d'interaction entre pollinisateurs. Figure issue de Geslin et al. 2017

La compétition pour les ressources florales n'est pas seulement étudiée entre abeilles domestiques (ou introduites comme les bourdons pour la pollinisation) et abeilles sauvages. Outre cette compétition interspécifique présentée ci-dessus, certaines études s'intéressent à la compétition intraspécifique entre les colonies d'abeilles domestiques (Lloyd et al. 2017, Henry and Rodet 2018). Cette compétition reste peu étudiée jusqu'à présent et rares sont les études qui ont démontré des effets de compétition sur les abeilles et les colonies. En Arabie Saoudite, il a été montré que la quantité de ruches apportée par les apiculteur·rices dépassait la capacité de charge des ressources florales ce qui entraînait une diminution de la production de miel (Al-Ghamdi et al. 2016). Tandis qu'en Nouvelle Zélande, l'importante expansion du marché du miel de manuka alerte quant à une possible surexploitation des ressources et a donné lieu à des conflits entre apiculteur·rices (Newstrom-Lloyd 2016, Lloyd et al. 2017). Dans le sud de la France, Henry et Rodet ont démontré pendant la miellée de romarin que la quantité de nectar dans les fleurs et mais aussi celle transportée par les abeilles domestiques diminuaient à proximité des ruchers, suggérant ainsi l'existence d'une compétition intraspécifique.

Indicateurs et mesures de gestion

Face à la compétition interspécifique, une controverse est née au sujet de la place de l'apiculture dans les aires protégées (Geldmann and González-Varo 2018, Kleijn et al. 2018, Saunders et al.

2018). La perspective d'une stratégie inclusive, conciliant apiculture et préservation des abeilles sauvages, apparaît comme plus adaptée dans les zones où l'abeille domestique est native (Alaux et al. 2019) et moins contre-productive – à cause des conflits qu'une stratégie d'exclusion des colonies pourrait engendrer (Kleijn et al. 2018), mais elle soulève l'enjeu de trouver des mesures de gestion permettant cette conciliation. Or peu d'études scientifiques proposent des solutions opérationnelles pour l'apiculture. La plupart des études étudient l'effet du taux de visite, de la présence (ou l'absence) des abeilles domestiques mais peu relient ces mesures aux variables apicoles.

Une des difficultés majeure réside dans le caractère non systématique de cette compétition (Wojcik et al. 2018). En effet, plusieurs études n'ont pas identifié d'effets négatifs liés à la présence d'abeilles domestiques (Figure 4). Le risque de compétition est donc contexte-dépendant (Herbertsson et al. 2016). Il dépend en particulier des ressources florales disponibles mais aussi du prélèvement par les abeilles domestiques (donc la quantité de ruches) et les abeilles sauvages. Toutefois étant donné les incertitudes concernant la production des ressources florales, la détermination de capacités de charge des écosystèmes en termes de nombre de colonies reste un défi majeur (Wojcik et al. 2018).

Dans leur étude de 2018, Henry et Rodet relient cette compétition à la distance aux ruchers (Figure 7). En effet, ils mettent en évidence l'existence d'un seuil critique de 600 mètres de distance au rucher en-dessous duquel le succès d'approvisionnement en nectar des abeilles sauvages diminuait de 50% (Henry and Rodet 2018). Les auteurs suggèrent que ce seuil représente un seuil de relâche de la compétition qui serait plus importante aux abords d'un rucher. De même la densité d'abeilles sauvages est réduite de 55% sur les buissons de romarins situés à moins de 900 mètres du rucher le plus proche. Dans leur article de 2018, Henry et Rodet montrent également que la compétition entre abeilles domestiques s'étend sur une aire d'emprise plus large que pour les abeilles sauvages. En effet, pour les butineuses domestiques capturées à moins de 1,1km pour le nectar (environ 1,2km pour le pollen) du rucher, ils montrent que la quantité de nectar - et de pollen - transportée est environ 40 % inférieure par rapport aux quantités mesurées au-delà de ce seuil.

A partir de leurs résultats, les auteurs développent le concept d'aire d'emprise de rucher (Apiary-Influence-Range) (Henry and Rodet 2020). Ce concept propose une gestion des ruches afin de limiter la compétition basée sur la distance entre elles. Les auteurs considèrent que cette méthode serait plus opérante et plus explicite sur le terrain pour mener des mesures de gestion que la densité de ruches (Henry and Rodet, 2020). Toutefois ce concept n'a été empiriquement éprouvé qu'une seule fois, dans un territoire avec une ressource florale abondante (le romarin) répartie de façon homogène. Ce concept est-il transposable et applicable dans d'autres contextes apicoles et paysagers ? Les seuils proposés sont-ils généralisables ? La distance entre ruches, plus opérante sur le terrain est-elle un meilleur prédicteur de compétition que la densité de ruches ? Cela est-il le cas quel que soit la taille des ruchers ?

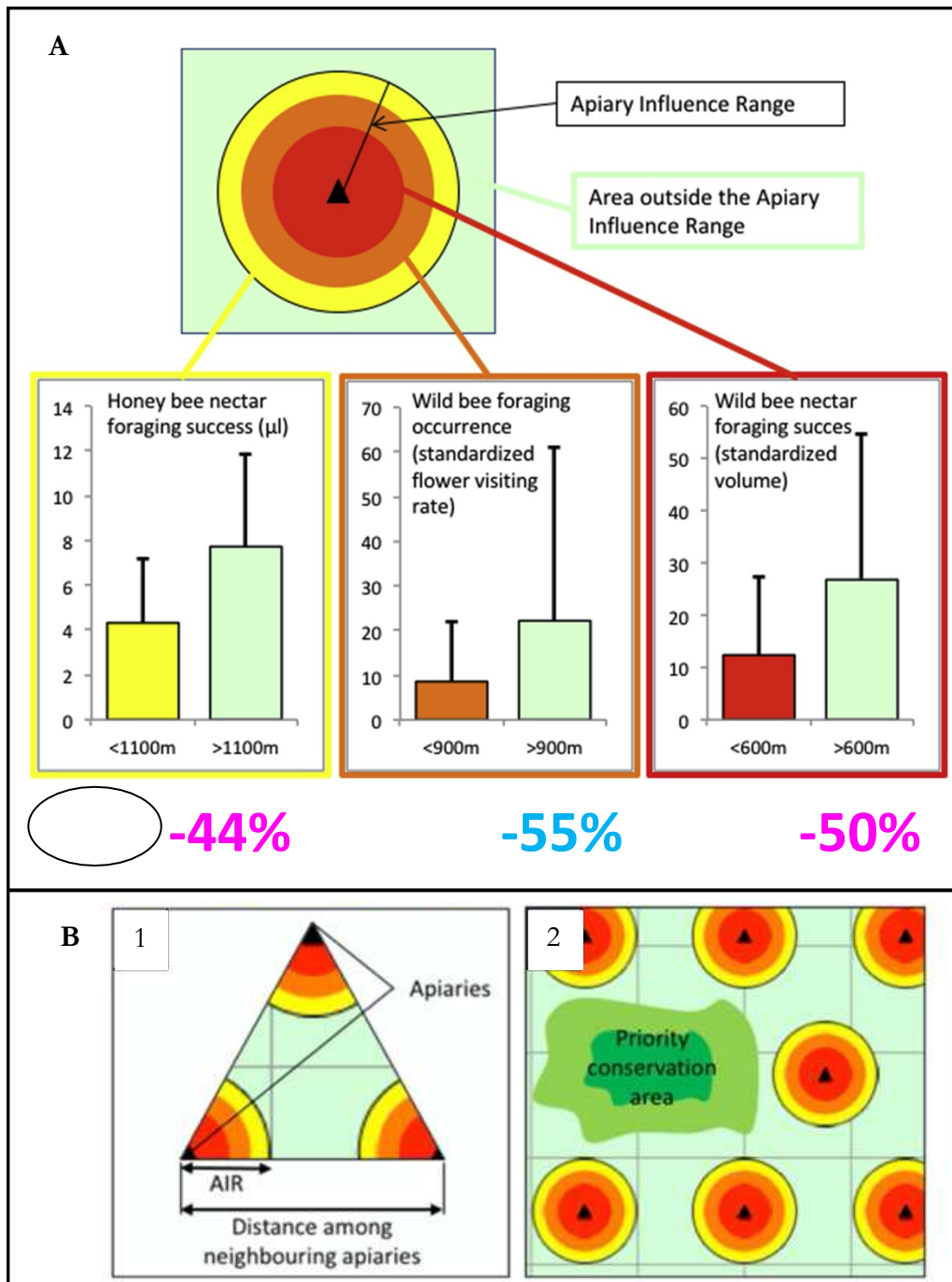


Figure 7 Illustration du concept d'aire d'influence des ruchers (AIR concept) (A) et de possibles régulations basées sur ce concept (B). Figure adaptée de Henry et Rodet (2020). (A) Les cercles concentriques autour du rucher (triangle) reflètent les aires à l'intérieur desquelles une métrique de compétition a été statistiquement reliée à un effet de seuil de distance dans l'étude d'Henry et Rodet (2018). (B1) Pattern de base utilisé pour calculer la proportion du paysage couverte par les AIRs des ruchers. (B2) Exemple de régulation spatialement explicite incluant une zone de conservation prioritaire.

L'ampleur des publications suggérant l'existence d'une compétition a néanmoins entraîné dans certaines aires protégées voire certaines villes la mise en place d'initiative visant à réguler l'apiculture (Table 1). Or ces décisions sont souvent prises par principe de précaution en se basant sur des études scientifiques mais sont rarement basées sur l'évidence expérimentale dans le contexte local comme le souligne Wojcik et al. (2018) dans le contexte américain. De plus ces initiatives restent basées essentiellement sur des mesures d'exclusion de ruches et notamment via l'interdiction de nouvelles installations. Ainsi, outre les incertitudes scientifiques qui subsistent concernant l'effet de ces mesures, elles soulèvent la question de leur impact social sur l'apiculture.

Chef de file des initiatives :	Conservatoire du Littoral	CNPF Bretagne-Pays de la Loire	Parc Naturel Régional des Millevaches	Réserve naturelle des coteaux du Pont-Barré	Parc National des Ecrins	Région de Bruxelles	Aires protégées en Suisse
Description succincte de l'initiative envers l'apiculture :	Interdiction de nouvelles installations (à la suite de travaux de Henry et Rodet, 2018)	Charte de bonnes pratiques apicoles et sylvicoles, appliquée au bon vouloir des propriétaires, concerne peu de ruchers transhumants	Elaboration d'une charte de bonnes pratiques apicoles car forte concentration de ruchers transhumants	Interdiction des ruchers dans la réserve (à la suite des travaux du Groupe d'Etude des Invertébrés Armoricaïns)	Installations dans le cœur du Parc soumises à autorisation	Interdiction de nouvelles installations dans les réserves naturelles et sites naturels protégés, installation dans la région (hors aires protégées) soumise à autorisation (à la suite des travaux du Conservatoire supérieur bruxellois de la conservation de la nature)	Interdiction dans plusieurs cœurs d'aires protégées (ex. Berne, Zurich)

Table 1 Différentes initiatives de régulation de l'apiculture prise en France, en Suisse et en Belgique. Ce tableau est issu de Decourtye and Allier (2023). Il est adapté des résultats du projet tutoré mené par les étudiant·es de la Licence Professionnelle Gestion Agricole des Espaces de Florac et commandé par l'ITTS-AP - Institut de l'abeille (Anneau et al. 2022).

Un manque d'étude sur l'implication sociale pour l'apiculture

Étant donné à la fois l'importance des abeilles sauvages comme domestiques dans les socio-écosystèmes et les impacts de cette compétition, une approche socio-écologique est nécessaire pour examiner les relations entre les différent·es acteur·rices du système humain-abeilles (Saunders et al. 2018, Patel et al. 2020).

L'exclusion des colonies d'abeilles domestiques n'est pas sans effet pour l'apiculture. Face aux transformations responsables du déclin des abeilles et décrites plus haut, les apiculteur·rices ont de moins en moins de marge de manœuvre pour trouver les ressources naturelles¹ nécessaires au nourrissage de leurs colonies (Wojcik et al. 2018, Durant and Otto 2019). Les apiculteur·rices n'ont en effet pas le contrôle direct sur les ressources florales disponibles. Celle-ci dépend d'une part des conditions météorologiques, par essence incertaines (Dupré 2020), mais aussi des politiques publiques et de l'utilisation des sols par les agriculteurs. Pour éviter certains intrants agricoles, ou certains types de cultures les apiculteur·ices se retrouvent exclu·es de certains sites (Durant, 2019). L'exclusion des ressources florales en raison de pratiques de conservation s'ajoute à ces exclusions existantes et vient alors renforcer la vulnérabilité des apiculteur·rices.

Il est à craindre que l'exclusion des ruchers de certaines aires protégées, aujourd'hui refuge pour certain·es apiculteur·rices, favoriserait concentration des ruchers dans les zones agricoles. Cette concentration dans des zones moins favorables à un maintien du cheptel toute l'année pourrait également être associée à une intensification des pratiques apicoles (renouvellement, nourrissage) (Cilia 2019). A cela pourrait s'ajouter également la raréfaction de miels typiques issus de ces espaces.

La localisation des ruchers constitue, en outre, un enjeu majeur de l'apiculteur·rice non seulement pour trouver des ressources (Patel et al. 2020), mais ce travail est aussi une façon pour l'apiculteur·rice de prendre « socialement et professionnellement place dans le territoire » (Dupré 2020). Si l'emplacement, qui résulte de la négociation avec les autres activités agricoles mais aussi avec les autres apiculteur·rices, peut être fort, il est aussi fragile et repose sur l'usage plus que la propriété. Toutefois cette négociation pour les emplacements n'est pas systématique et ne constitue pas un réel partage des ressources florales en tant que telles.

L'étude de la durabilité des systèmes apicoles, montre que l'accès aux ressources en quantité, et en qualité mais également l'enjeu de co-existence avec les pollinisateurs sauvages apparaissent comme essentiels dans cette durabilité (Kouchner et al. 2019). Dans cette étude, les auteur·rices insistent sur le manque d'organisation collective et le manque d'outils pour gérer les ressources

¹ par opposition aux ressources en sucre et autres compléments alimentaires que fournissent les apiculteur·rices en cas de disette notamment

collectivement. Selon les auteur·rices, l'apiculteur·rice adapte sa charge en colonies en fonction de son propre stock de ruches et des ressources environnantes, à l'échelle de son exploitation seulement. La quantité de colonies qu'un territoire peut supporter n'est pas discutée entre apiculteur·rices.

Dans ce contexte, l'existence de compétition interspécifique comme intraspécifique pose précisément la question du partage des ressources florales. Or les incertitudes pèsent sur l'efficacité des initiatives de gestion visant à limiter l'apiculture étant donné le caractère contexte-dépendant de cette compétition et le manque de connaissances sur le potentiel mellifère des ressources. La façon descendante et non concertée de ces initiatives cristallise alors un conflit entre apiculteur·rices et gestionnaires d'espaces naturels. L'existence de cette compétition soulève ainsi un enjeu d'organisation collective pour ce partage des ressources.

Un champ d'étude pourtant s'est intéressé à ces conflits entre usagers de ressources et a examiné les formes d'organisation collective pour une gestion durable et concertée de ressources naturelles : l'étude des communs.

Un nouveau cadre conceptuel à investir : l'analyse des ressources florales en tant que bien commun

Les travaux menés par Elinor Ostrom et l'équipe de Bloomington ont ouvert la voie à une grande diversité d'études sur la manière dont des individus s'organisent et mettent en place une action collective pour gérer des situations de dilemme social (Ostrom 1990). Selon Ostrom, « un dilemme social est une situation dans laquelle le comportement qui convient le mieux aux intérêts d'un individu est désastreux pour le groupe quand chacun l'adopte. » (Antona and Bousquet 2017). L'un des dilemmes sociaux particulièrement étudié par E. Ostrom est celui de la surexploitation des ressources dans le cas de ressources partagées et accessibles à tous. Ses travaux remettent en cause la théorie de la tragédie des communs présentant les individus comme piégés et rationnellement destinés à la surexploitation des ressources sans intervention extérieure (Hardin 1968). Au contraire, pour Ostrom, les individus sont socialement construits et capables d'apprentissages individuels et collectifs (Figure 8). Ainsi elle met en évidence expérimentalement comment l'action collective permet de résoudre des situations de dilemmes sociaux (Ostrom 2010). En montrant que « la capacité à surmonter les dilemmes et à créer une gouvernance efficace est beaucoup plus fréquente que prévu » elle ouvre une troisième voie de gestion des ressources naturelles au-delà de l'Etat et du marché – qui présuppose la mise en propriété des ressources pour leur régulation (Ostrom 2010, Antona and Bousquet 2017).

En tant que théoricienne des institutions, E. Ostrom a particulièrement analysée les conditions institutionnelles et individuelles favorables à l'émergence d'action collective pour gérer efficacement des situations de dilemme social (Perrin 2019). Ses travaux ont aussi permis de comprendre les facteurs favorisant la pérennité et l'évolution dynamique de cette action collective. E. Ostrom, récompensée par le Prix de la banque de Suède en mémoire d'Alfred Nobel en 2009, a élaboré ces travaux sur des situations de dilemmes sociales particulières : l'utilisation des ressources de type biens communs, ou common-pool resources (CPR).

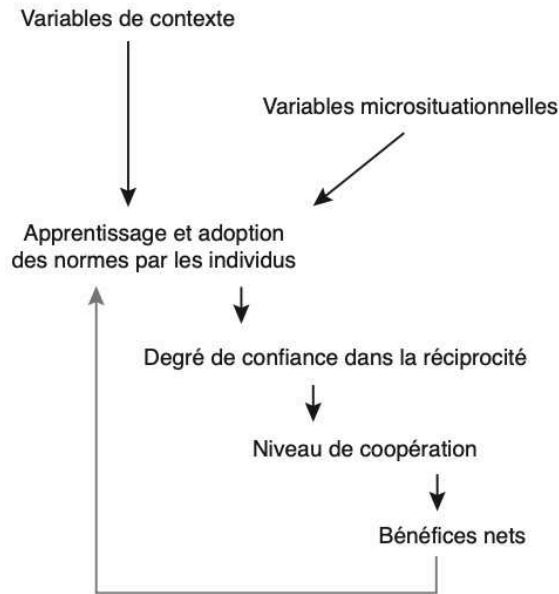


Figure 8 Modèle de prise de décision des individus d'après Ostrom. Figure issue de (Bousquet et al. 2023)

E. Ostrom définit les biens communs (Figure 9) comme des ressources à forte soustractabilité d'usage, c'est-à-dire difficilement utilisables conjointement par plusieurs personnes, et dont il est difficile ou coûteux d'exclure un bénéficiaire potentiel de son utilisation (Ostrom 2010). Ces deux propriétés (forte soustractabilité et faible excluabilité) font que les ressources communes présentent un risque de surexploitation. Mais les recherches d'Ostrom montrent que ces ressources peuvent être gérées de manière durable par des communautés d'utilisateurs grâce à une action collective, par exemple dans les forêts communautaires.

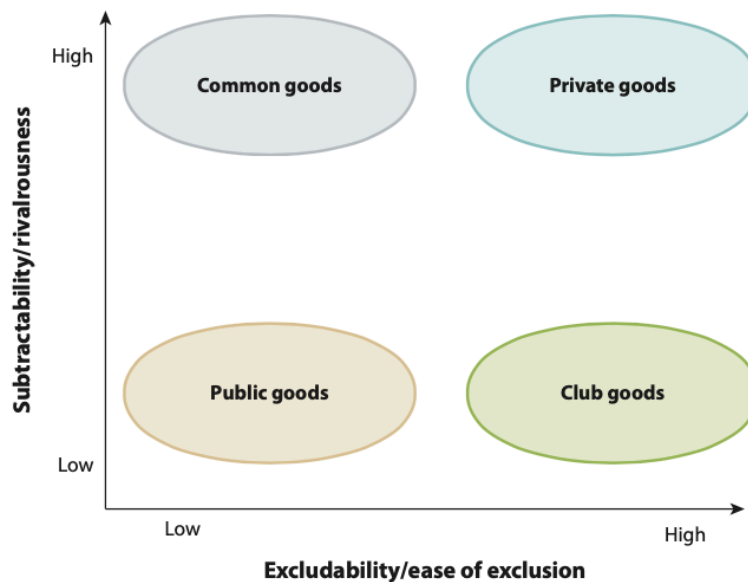


Figure 9 Typologie des biens selon Ostrom (Agrawal et al. 2023)

L'originalité des travaux d'Ostrom est d'avoir étudié ces dilemmes sur l'usage des ressources en se focalisant sur les règles. En effet, pour Ostrom ce sont les règles plus que les caractéristiques des ressources en elles-mêmes qui définissent les biens communs. E. Ostrom s'est donc

particulièrement attachée à comprendre les interactions entre les différents acteur·rices pour la mise en place de règles et d'institutions permettant une gestion efficace des ressources. Elle a examiné les règles formelles et informelles utilisées par les communautés pour gouverner les ressources et identifié les facteurs qui favorisent ou empêchent leur gouvernance collective (Ostrom 2008).

Ostrom a aussi travaillé à construire une grammaire commune pour pouvoir comparer les études analysant des situations de dilemme social. Elle a ainsi développé le cadre IAD (Institutional Analysis and Development framework) qui désigne les différentes variables influençant la mise en place d'une action collective (Figure 10). Depuis, de nombreuses études ont permis de mettre en avant les facteurs clés pour une gouvernance collaborative efficace (Carr Kelman et al. 2023).

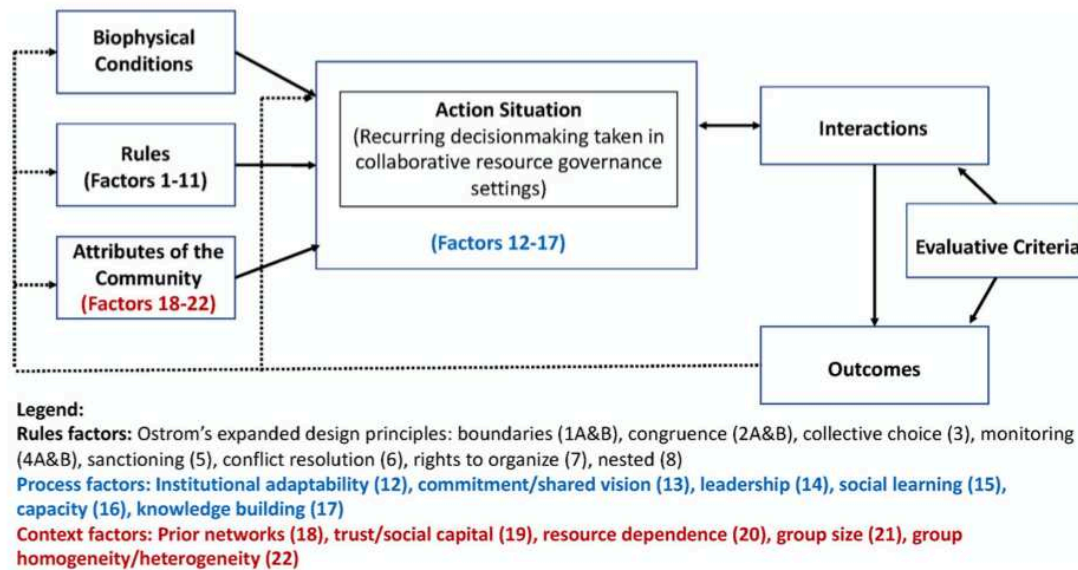


Figure 10 Cadre d'analyse IAD d'Ostrom et liste des 22 facteurs clés pour une gouvernance collaborative efficace des socio-écosystèmes (Carr Kelman et al. 2023). Figure issue de ce dernier article.

Ce cadre conceptuel paraît donc particulièrement approprié pour étudier le conflit d'usage qui se cristallise autour du partage des ressources florales. La compétition entre abeilles suggère le caractère soustractible des ressources florales qui seraient à partager entre abeilles domestiques (et donc apiculteur·rices) et abeilles sauvages (et défenseurs de ces abeilles). Étant donné le caractère mobile des apiculteur·rices et des abeilles, la faible excluabilité de ces ressources semble faire consensus. Les ressources florales seraient-elles alors des biens communs ?

Il est intéressant de remarquer la référence aux communs faite par Henry et Rodet (2018). En effet, afin de préserver les abeilles sauvages, les auteurs insistent en conclusion sur le fait que les ressources florales des aires naturelles sont des « systèmes de ressources partagés » qu'il faut gouverner afin d'éviter la *tragédie des communs*. Cette référence suggère donc que ces écologues considèrent les ressources florales comme des biens communs. Ils posent alors la question de leur gestion afin d'éviter une surexploitation par les apiculteur·rices qui serait délétère aux abeilles sauvages comme à d'autres apiculteur·rices. Si cette perception semble partagée entre écologues, qu'en est-il de la perception des apiculteur·rices ? Est-ce que les règles en usage actuellement permettent une gestion des ressources florales en tant que bien commun ?

Problématique de la thèse

L'originalité de cette thèse est son approche interdisciplinaire sous le prisme des biens communs. Cette étude propose de porter un regard nouveau sur cette compétition en s'intéressant aux ressources florales, à leur perception et à leur usage par les acteur·rices du territoire dans la perspective d'une action collective pour résoudre ce conflit d'usage. Elle conjugue ainsi des analyses d'écologie pour mieux comprendre les compétitions dans le contexte local de notre étude avec des enquêtes sociales pour comprendre la perception des ressources florales par les apiculteur·rices de notre zone d'étude.

Cette thèse s'inscrit également dans une démarche de recherche-action. Si nous avons pour objectif d'améliorer les connaissances sociales et écologiques concernant le partage des ressources florales et la compétition entre abeilles, cette recherche vise également à accompagner les processus d'organisation et de décision des acteur·rices dans le but de co-construire des solutions.

Considérant à la fois les enjeux écologiques et sociaux que soulèvent les compétitions intra et interspécifiques, ce travail cherchera ainsi à répondre aux questions suivantes :

Question 1 : Dans quelle mesure est-il pertinent de considérer les ressources florales comme des biens communs ? *Chapitres 2, 3 et 4*

Question 2 : Les ressources florales sont-elles perçues comme des biens communs ? En quoi la compétition modifie-t-elle ces perceptions ? Comment celles-ci influencent la mise en place d'action collective ? *Chapitres 2 et 4*

Question 3 : Quelles sont les règles qui influencent l'usage des ressources florales par les apiculteur·rices ? *Chapitres 2 et 4*

Question 4 : Quelles sont les conditions favorables ou défavorables à la mise en place d'action collective pour gérer le partage des ressources florales ? *Chapitres 2 et 4*

Question 5 : Une compétition est-elle observable dans notre zone d'étude ? Si oui, quels indicateurs sont opérants pour réfléchir à la mise en place d'un partage des ressources ? *Chapitre 3*

Question 6 : Le concept d'apiary influence-range est-il transposable et applicable dans des paysages hétérogènes avec de multiples ressources florales ? *Chapitre 3*

Question 7 : En quoi l'accompagnement des acteur·rices à travers l'utilisation de jeu sérieux permet-il de favoriser ou non une action collective ? *Chapitre 4*

Question 8 : Quels sont les enjeux clés pour la mise en place d'une gouvernance pour une répartition des ressources mellifères préservant les abeilles sauvages et permettant de maintenir une apiculture durable dans le parc national des Cévennes ? *Chapitres 2, 3 et 4*

Encadré 1 : Lieu d'étude, le choix du parc national des Cévennes

Pour répondre à ces questions, notre étude se déroulera dans le parc national des Cévennes. Ce territoire a été choisi pour plusieurs raisons.

Tout d'abord du point de vue apicole, ce territoire est le lieu d'une apiculture multiséculaire (Lehébel-Péron 2014). Cette apiculture traditionnelle en ruches-troncs s'est progressivement au cours du XX^{ème} siècle transformée en une apiculture transhumante et professionnelle aux multiples facettes. La présence d'une abeille mellifère est donc ancienne sur ce territoire qui semble avoir un lien particulier avec l'apiculture.

Cette zone de moyennes montagnes au carrefour de plusieurs influences climatiques, abrite diverses ressources florales qui fournissent des miellées typiques et recherchées aux apiculteur·rices. La floraison de châtaignier, héritées de l'importation anciennes est particulièrement importante pour ce territoire et attire des apiculteur·rices transhumant·es de l'extérieur – ce qui n'a pas été sans conflits, comme nous le verrons dans cette étude.

D'un point de vue écologique, la diversité et l'hétérogénéité des paysages (Photo 2) en fait un lieu de choix pour mettre à l'épreuve le concept d'aire d'emprise des ruchers. L'importance des milieux semi-naturels en fait une région d'importance pour y étudier la compétition. Les études manquent en effet dans ces milieux dans les conditions où l'abeille mellifère *Apis mellifera* est native.

Ensuite, il s'agit d'une aire protégée. En tant que zone protégée, cette zone d'étude est donc en proie au débat naissant autour des compétitions. Des conflits ou des questionnements autour de la préservation des abeilles sauvages sont susceptibles de se poser, d'autant que parmi les aires protégées ce parc est particulier. Contrairement aux autres parcs nationaux, il est habité dans sa zone cœur. Ainsi, alors que les parcs nationaux sont des lieux d'exclusion des activités humaines, ce parc est également reconnu pour les activités agro-pastorales qui façonnent les paysages.

Enfin, d'un point de vue des collaborations scientifiques et partenariales, le choix de ce territoire est aussi le fruit d'une convergence d'études. En effet, ce projet a été réalisé en collaboration avec l'établissement public du parc national des Cévennes dans le cadre d'un projet pollinisateur. C'est dans ce cadre que les membres du parc nous ont sollicité·es pour améliorer leurs connaissances sur les pollinisateurs sauvages.



Photo 2: Paysages cévenoles. En haut à gauche, rucher dans les vallées cévenoles. En haut à droite, rucher des vallées cévenoles sous les châtaigniers. En bas à gauche, landes de callune du Mont Bougès. En bas à droite, pastoralisme bovin et callunaises du Mont Lozère.

Organisation du manuscrit

Pour répondre à ces différentes questions, le manuscrit est découpé ainsi (Figure 11).

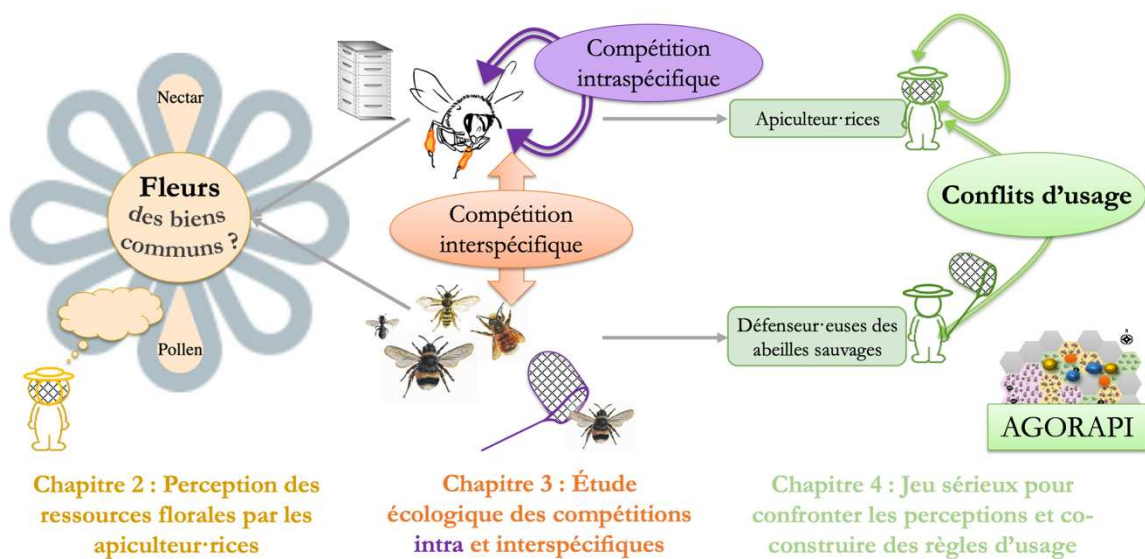


Figure 11 Plan de la thèse. Le chapitre 2 s'intéresse aux perceptions des ressources florales par les apiculteur·rices. Le chapitre 3 consiste en une étude écologique du phénomène de compétition entre abeilles dans les Cévennes autour du concept d'Apiary-Influence-Range. Le chapitre 4 a pour objectif de réfléchir à une gestion concertée des ressources florales à travers l'utilisation du jeu sérieux AGORAPI.

Le **chapitre 2** de cette thèse porte sur l'étude de la perception des ressources florales par les apiculteur·rices. Il a deux objectifs. Tout d'abord il présente le cadre conceptuel de notre travail. En nous appuyant sur les connaissances théoriques de la gouvernance collective des ressources communes et des services écosystémiques, nous proposons un modèle conceptuel du système socio-écologique complexe homme-abeille-fleur. Ensuite, en appliquant ce cadre conceptuel à notre étude, il a pour objectif d'étudier la perception des ressources florales par les apiculteur·rices, leurs pratiques, et les caractéristiques des interdépendances sociales entre les apiculteur·rices et les autres acteur·rices de notre système socio-écologique.

Dans le **chapitre 3**, nous étudions la compétition entre abeilles d'un point de vue écologique. L'objectif de ce chapitre est d'améliorer les connaissances concernant la compétition entre abeilles dans des aires naturelles protégées. Il s'agit de savoir si dans notre contexte d'étude une compétition est mesurable et donc s'il est pertinent de considérer que les ressources florales sont à partager entre les différentes abeilles et acteur·rices du territoire. Ce chapitre vise également à éprouver la généralité et l'applicabilité du concept le concept d'aire d'emprise des ruchers (apiary influence range) à des paysages plus hétérogènes avec de multiples types de ressources florales. Pour cela nous avons mesuré les effets de la proximité des ruchers et de la densité de colonies sur le succès de quête alimentaire des abeilles sauvages et domestiques en fonction des années et des différents types de ressources florales de notre zone d'étude.

Le **chapitre 4** a pour objectif de comprendre la mise en place d'une action collective pour gérer un bien commun émergent comme les ressources florales. Ce chapitre repose sur la conception et l'usage du jeu sérieux AGORAPI dans des ateliers collectifs impliquant des acteur·rices de notre territoire d'étude. Nous verrons comment la perception des interdépendances entre les acteur·rices que génère la compétition entre abeilles influence la mise en place d'action collective. Nous mettrons en évidence, dans notre contexte, les conditions favorables ou défavorables à la mise en place de règles d'action collective. Enfin nous nous demanderons quels sont les enjeux que soulèvent les acteur·rices concernées pour gérer collectivement l'usage des ressources florales.

Ce **chapitre 4**, ancré dans une approche de recherche-action, a aussi pour objectif de montrer comment le jeu sérieux AGORAPI permet d'accompagner les acteur·rices vers la compréhension mutuelle de leurs différentes représentations, et ainsi vers la co-construction de nouvelles formes de gestion.

Chapitre 2 - Competition between wild and honey bees: floral resources as a common good providing multiple ecosystem services

Authors: (Given name, FAMILY NAME)

Léo MOUILLARD-LAMPLE^{1,2,3,4}, Gabriel GONELLA⁵, Axel DECOURTYE^{2,3}, Mickaël HENRY^{1,3}, Cécile BARNAUD⁵

¹ INRAE, UR 406 Abeilles et Environnement, 84914 Avignon, France

² ITSAP – Institut de l'abeille, 84000 Avignon, France

³ UMT PrADE, Protection des Abeilles Dans l'Environnement, Avignon 84914, France.

⁴ Université d'Avignon, 84000 Avignon, France

⁵ INRAE, UMR DYNAFOR, Université de Toulouse, 31326 Castanet Tolosan, France

* corresponding authors: leo.mouillard-lample@inrae.fr,

INRAE, UR 406 Abeilles et Environnement, 228, chemin de l'Aérodrome - CS 40 509 Domaine Saint Paul - Site Agroparc 84914 AVIGNON Cedex 09 - France

Abstract

It is increasingly acknowledged that bees are declining, notably as a result of global changes such as climate and land-use changes that affect the abundance and diversity of floral resources (i.e. pollen and nectar). Recently, a new concern has gained traction: the negative impact of honeybees on wild bees due to competition over floral resources. Some studies also suggest that there might be intraspecific competition among honeybees themselves. While these issues have mainly been considered by ecological scientists so far, this study aims to address their social dimensions as well. We suggest that viewing floral resources as common-pool resources could pave the way to new governance mechanisms for their management, based on collective action involving the multiple actors that use and modify these floral resources and the associated ecosystem services. Combining conceptual insights on common-pool resources, collective action and ecosystem services, we develop a conceptual model of human–bee–flower social-ecological systems. This model was applied in a case study in the Cévennes National Park, to analyse beekeepers' representations, practices, rules-in-use and social interactions, allowing us to identify critical levers and obstacles for collective governance of floral resources. Our analysis reveals that although there are diverse and controversial perceptions of floral resources and competition among bees, the idea of viewing floral resources as a common-pool resource underlies a range of practices and rules-in-use. In addition, we show that beekeepers' perceptions are changing due to the increasing vulnerability of floral resources. All in all, considering floral resources as a common-pool resource appears a relevant way to study the social interdependencies involved in their management. It is now crucial to develop new forms of governance of floral resources that will reconcile beekeeping and the conservation of wild bees, in coordination with farmers and other land managers.

Keywords:

Apis mellifera; Bee forage; Beekeeper; Commons; Concerted ecosystem service management

Introduction

In recent years, scientific awareness has grown on the decline of bees² (Alaux et al., 2019; Decourtye et al., 2019), their importance for pollination (Senapathi et al., 2021), and the negative impacts of agriculture on both honeybees – managed or not – and wild bees (De Palma et al., 2016; Grab et al., 2019). It is increasingly acknowledged that global changes, such as climate and land-use changes, affect the abundance and diversity of floral resources, i.e. pollen and nectar, which are critical resources for bee reproduction, survival and diversity (Havens and Vitt, 2016).

Recently, a new concern has gained traction: the negative impact of honeybees on wild bees due to competition over floral resources (Mallinger et al., 2017). Numerous studies have shown that colonies managed by beekeepers, especially western honeybees (*Apis mellifera* L.), result in interspecific competition for floral resources (Geldmann and González-Varo, 2018; Geslin et al., 2017). Some studies suggest that there might also be intraspecific competition between western honeybees – although to date this has been less documented (Henry and Rodet, 2018; Lloyd et al., 2017).

These findings have provoked intense debates within both the scientific and professional beekeeping communities. Some authors have suggested that managed colonies of honeybees should be excluded from protected areas in order to preserve wild bees (Geldmann and González-Varo, 2018), while others advocate for more inclusive measures (Alaux et al., 2019; Kleijn et al., 2018). In this context, some ecologists have suggested viewing floral resources as a common good (Henry and Rodet, 2018). Viewing floral resources as a “commons” would pave the way to new governance mechanisms for their management, based on collaboration between the multiple actors that use and modify them (Ostrom, 1990). While the issue of competition among bees over floral resources has been mainly studied from an ecological point of view, this study aims to address its social dimensions and implications.

The existence of competition between bees for floral resources has several critical social implications. First, interspecific competition between wild bees and managed honeybees can lead to conflicts between conservation-oriented actors advocating for wild bee protection and beekeepers who earn their living with honey production. Second, intraspecific competition between honeybees might lead to tensions among beekeepers and require new rules of access to apiary locations and floral resources. Finally, since floral resources are provided by ecosystems that are at least partly shaped by human activity, notably agriculture, there are also social interdependencies between farmers and beekeepers, and farmers and conservation-oriented actors. Floral resources can thus be considered the central components of complex social-ecological systems, with multiple stakeholders that co-produce or benefit from the diverse ecosystem services floral resources provide through flower-bee interactions, such as honey production, agricultural production, pollination or biodiversity conservation (Matias et al., 2017; Veldtman, 2018).

Drawing on a case study in the Cévennes National Park in the South of France, this study aims to investigate the social dimensions of these social-ecological systems, notably the governance of

² In this paper, the term “bees” refers to all 20,000 species of bees. “Honeybee” is used as a shorthand to refer to *Apis mellifera* L. in both native or non-native conditions. Although honeybees exist in wild or feral conditions, we mainly consider managed colonies. “Wild bees” are unmanaged native species. We acknowledge that managed bees other than *Apis mellifera* can compete with other bees. In this case, our model can be adapted to consider ecosystem services and beneficiaries in question.

floral resources, by exploring the idea of conceptualizing floral resources as a common-pool resource to be governed collectively (Ostrom, 1990). Three main questions are thus addressed in this paper: (i) how far is it relevant to consider floral resources as common-pool resources, (ii) what are the characteristics of the social-ecological systems centred on these floral resources, notably the key stakeholders, their perceptions, their practices and their social interdependencies, and (iii) what are the critical levers and obstacles for collective governance of floral resources.

To answer these questions, the article is organized as follows. The first section introduces our conceptual framework. Drawing on the theoretical insights from collective governance of common-pool resources and ecosystem services, we propose a conceptual model of the complex human-bee-flower social-ecological system. The second section presents our study site in the Cévennes and our methodology for data collection and analysis, drawing on semi-directed interviews. The third section presents our results, i.e. our analysis of the human-bee-flower socio-ecological system in the Cévennes, the beekeepers' perceptions and practices, and the characteristics of the social interdependencies among beekeepers and other stakeholders. Finally, in the last section, we discuss some of the critical levers and obstacles for the collective governance of floral resources as a common-pool resource.

Conceptual framework

Governance of common-pool resources and ecosystem services

A common-pool resource is defined as a resource that is both subtractable (the use of the resource decreases the amount available) and difficult to exclude (it is difficult or costly to exclude a potential beneficiary from using it), like water or common pastures for example (Ostrom, 2009). Because of these properties, common-pool resources present a risk of over-exploitation. However, Ostrom's seminal research shows that such resources can be sustainably managed by communities of users through collective action, for example in community forests. Her pioneer work examines both the formal and informal rules used by communities to govern resources and identifies factors that favour or prevent their collective governance (Ostrom, 2008).

Later on, Ostrom's work has been extended to more complex social-ecological systems including multiple types of resources, actors and multiple instances of governance (McGinnis and Ostrom, 2014). In particular, the concept of ecosystem services, defined as the benefits ecosystems provide to support human well-being, broadens the types of benefits and resources that are considered as commons (Plieninger et al., 2013). Compared to traditionally studied resources such as water or forest, the ecosystem services concept encompasses diverse types of resources and benefits, that tend to be less visible, based on more complex and uncertain ecological processes, and involving interactions among multiple scales (Duraiappah et al., 2014). The ecosystem services concept has therefore the potential to highlight and reveal new forms of interdependencies among people, and triggers new arenas for collective action (Barnaud et al., 2018).

The case of floral resources studied in this study can be seen as a common-pool resource from which multiple types of ecosystem services are derived and involving multiple actors at multiple scales. It appears therefore relevant to combine theoretical insights on collective governance of common-pool resources and ecosystem services. To do so, we draw on a conceptual framework developed by Barnaud et al. (2018) that uses an ecosystem services lens to highlight and characterize

social interdependencies among beneficiaries and providers of ecosystem services, so as to reflect on potential or existing collective actions among them.

While we could have opted for other socio-ecological frameworks (McGinnis and Ostrom, 2014; Patel et al., 2020), we favoured the conceptual framework developed by Barnaud et al. (2018) for two main reasons. First, in the case of floral resources, the users of the resource are not necessarily those that influence the resource availability. This framework presents the advantage of emphasizing the different roles of beneficiaries, providers and managers (or intermediaries) of ecosystem services, and their social interdependencies. In addition, the framework of Barnaud et al. (2018) adopts a constructivist perspective, considering ecosystem services not as objective and given, but as socially constructed and contested (Barnaud et al., 2018). This constructivist perspective was particularly relevant for our case because floral resources may or may not be perceived as sources of ecosystem services by its beneficiaries, and there is no consensus on whether or not there is a competition among bees over these resources. There is thus no consensus on whether or not floral resources should be seen as common-pool resources. All in all, combined with the concept of common-pool resources, the framework of Barnaud et al. (2018) served as a backbone to develop a conceptual model of the human-bee-flower social-ecological system, that highlights and characterizes the social interdependencies at stake in bee competition over floral resources.

A conceptual model of the human-bee-flower social-ecological system

Our conceptual model includes several components and interactions that make up a generic human-bee-flower social-ecological system: the floral resources as a central common good, the diverse ecosystem services derived from the combination of floral resources and bees, the main concerned stakeholders (beneficiaries and providers of ecosystem services) and their social interdependencies (Figure 12).

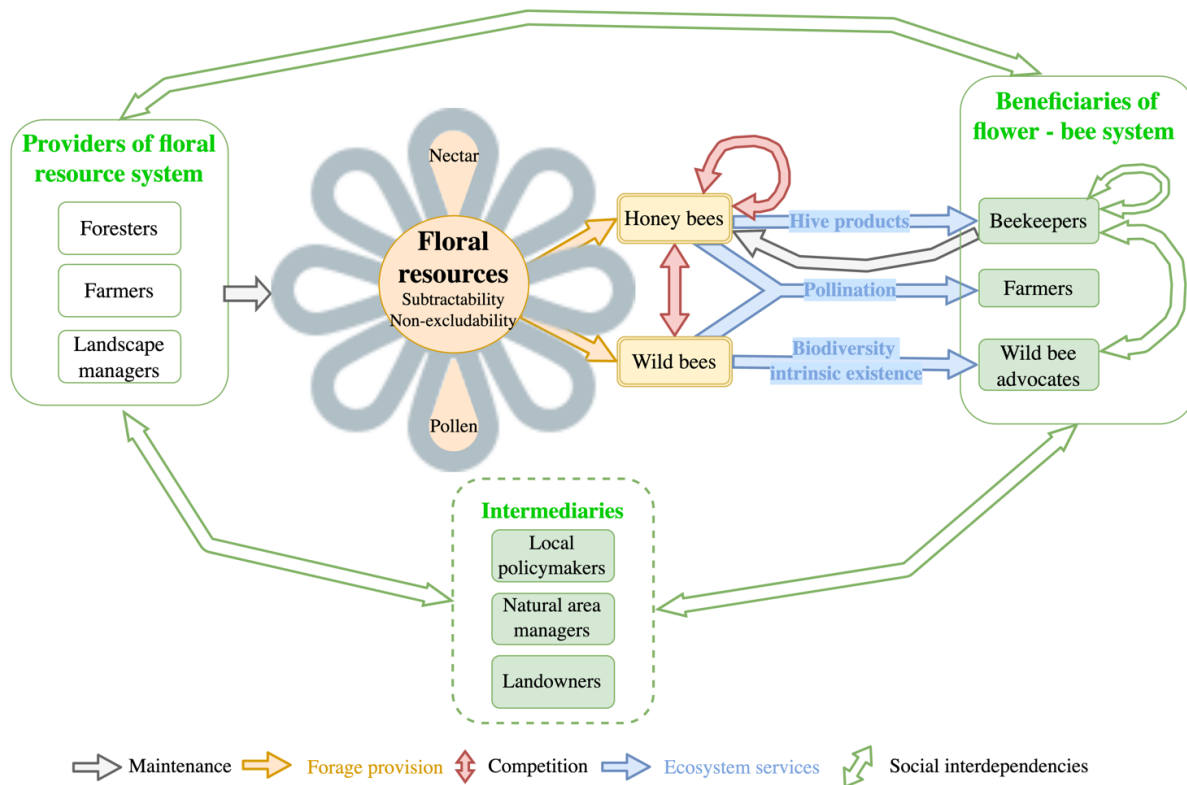


Figure 12: Conceptual model of the human-bee-flower social-ecological system drawing on common-pool resource theory (Ostrom, 1990) and a framework by Barnaud et al. (2018) on ecosystem services and social interdependencies.

Main components of the human-bee-flower social-ecological model

Floral resources are the central component of our conceptual model. They are primarily forage resources for bees and other insects, providing nectar and pollen. Since bees are free to fly anywhere, it is difficult to exclude them from accessing floral resources. Floral resources are thus of the “difficult to exclude” type. In addition, recent ecological studies on inter- as well as intraspecific competition suggest that there is a finite supply of pollen and nectar (Geslin et al., 2017; Henry and Rodet, 2018). Floral resources might thus also be considered as subtractable. Given these two properties, from an ecological point of view, floral resources can be considered common-pool resources.

Our conceptual model then highlights the various ecosystem services derived from floral resources, as well as their beneficiaries. Indeed, humans only indirectly benefit from floral resources. They actually benefit from the ecosystem services provided by the nexus floral resource – bee. Three main ecosystem services are considered in our model³. The first one is the production of honey and hive products, a provisioning service that benefits beekeepers. The second one is the regulating ecosystem service of pollination, which mainly benefit farmers, notably fruit growers (Gallai et al., 2009). In some case, it could be relevant to consider also beekeepers as beneficiaries of pollination, as they can earn an income from it through pollination contracts with farmers. When pollination is done by honeybees that are managed and moved by beekeepers, some authors are reluctant to consider it as an ecosystem service. They consider instead forage provision as a provisioning ecosystem service provided by floral resources, on which farmers and beekeepers rely to provide a service of managed pollination (Melin et al., 2018; Veldtman, 2018). We made a different conceptual choice, in line with the literature acknowledging that ecosystem services are often co-produced by both ecosystems and human activities (Bennett et al., 2015; Lavorel et al., 2020; Palomo et al., 2016). We thus consider that even if it is managed by beekeepers, honeybee pollination remains an ecosystem service, which is co-provided by the beekeepers, the floral resources and the honeybees.

The third ecosystem service we highlight in our conceptual model is the intrinsic existence of bee diversity. Considering only pollination and provisioning services is insufficient to address the benefits of the flower-wild bee nexus (Senapathi et al., 2015). Indeed, only 2% of bee species – generally common species – provide 80% of the crop pollination (Kleijn et al., 2015). There are also benefits and values associated with the very existence of wild bee diversity (Matias et al., 2017; Patel et al., 2021). This intrinsic existence of biodiversity is considered as a cultural ecosystem service (Chan et al., 2012), which potentially benefits the whole society. In our model, we consider that the main beneficiaries of this cultural service are the wild bee advocates, i.e. the stakeholders

³ Some authors have suggested to consider forage provision as an ecosystem service provided to bees by floral resources (de Lange et al., 2013; Melin et al., 2018). Such a service would belong to the category of supporting ecosystem services, i.e. services that are necessary for the production of the three other categories of ecosystem services (provisioning, regulating, and cultural) that more directly contribute to human well-being. While this category of supporting services was proposed in the initial Millennium Ecosystem Assessment (2005), it was discarded later on because it was considered only as an intermediary ecological function, not as an ecosystem service *per se* (Potschin and Haines-Young, 2011). Following other authors (Albrecht et al., 2020; Desaegher et al., 2021), we thus do not consider forage provision for bees as an ecosystem service, but only as an intermediate ecological function.

– ecological scientists, conservationists, bee naturalists or natural area managers – who defend wild bee preservation on behalf of society. We could have considered also the cultural ecosystem service related to the value of local beekeeping and associated knowledge and products, but we did not integrate it, since it is less directly related to the issue of competition among bees.

Finally, in line with the idea that ecosystem services are co-produced by both ecosystems and human activities (Bennett et al., 2015; Lavorel et al., 2020; Palomo et al., 2016), our model emphasizes the actors whose activities contribute to the provision of floral resources, and thus indirectly to the provision of the above listed ecosystem services. Since bees use both wild and cultivated floral resources, farmers, foresters and landscape managers are considered as providers of floral resources, by directly cultivating floral plants or, more indirectly, by maintaining certain types of landscapes – notably open landscapes (Wratten et al., 2012). Some landowners do not influence much the production of floral resources but have a key role in the system by allowing the beekeepers to set up their apiaries on their land (Kouchner et al., 2019).

Those landowners, as well as local policymakers and managers of natural areas are considered “intermediary stakeholders”, as they interact with both floral resource providers and beneficiaries and influence decision-making regarding floral resource access and management (Barnaud et al., 2018). They can notably influence farming and forest management practices that underpin the production of floral resources (Durant and Otto, 2019).

Social interdependencies between stakeholders

Our model highlights three key social interdependencies among stakeholders that are central to the governance of floral resources: (i) between beekeepers and wild bee advocates (i.e. between beneficiaries of antagonistic services), (ii) among beekeepers (i.e. among beneficiaries of the same service), and (iii) between farmers and other beneficiaries (i.e. between service providers and beneficiaries).

Based on Barnaud et al.’s (2018) framework, we analyse these social interdependencies through four factors that are critical for collective action: (i) the degree of stakeholders’ awareness of their interdependencies; (ii) the formal and informal institutions that regulate these interdependencies; (iii) the levels of organization at which human and non-human actors operate; and (iv) the power relations affecting them.

- i. The first factor concerns the cognitive framing of interdependency: do stakeholders perceive themselves as interdependent with each other? This is important because it strongly determines the motivation of stakeholders to engage into collective action. The question of whether or not stakeholders perceive floral resources as a subtractable resource (i.e. whether or not they believe there is a competition among bees over these resources) will be particularly critical in this respect.
- ii. The second factor concerns the role of “institutions” *sensu* Ostrom (1990), in our case the formal and informal rules regulating the provision and use of floral resources. When examining the potential for collective action, it is particularly important to analyse the informal rules-in-use among beekeepers as well as the more formal institutions that regulate their access to floral resources.

- iii. The third factor concerns the multiple levels of organization involved in the ecological and social processes in the human–bee–flower nexus. Spatial and temporal mismatches can result from these different levels of action and organization (Cumming et al., 2006) and be obstacles to collective action (Ostrom, 2010). It is thus critical to identify potential mismatches between floral resource harvesting and management to determine the right arenas of action to organize coordination at different levels.
- iv. The fourth factor is the power relations between stakeholders. Which stakeholders in the system have greater influence on the human–bee–flower nexus, by which means? It is notably important to examine the dominant narratives among stakeholders and how this impacts the governance of floral resources.

Methodology

Case study

The study was carried out within the Cévennes National Park in the south of France. Agropastoralism and forestry have both shaped those low mountain landscapes over the centuries. The area is divided into four main geological zones (Figure 13): (i) “Cévennes valleys”, schistose valleys, predominantly forested areas, contain most of the floral resources. White heather (*Erica arborea*) and black locust (*Robinia pseudoacacia*) provide resources for the development of bee colonies in March and April. Chestnut trees are the most important resource for honeybees and beekeepers, blooming from the middle of June to the first week of July. During and after the chestnut flowering period, bees are able to forage on mountain flowers such as bramble (*Rubus sp.*) and bell heather (*Erica cinerea*). (ii) The “Causses” are large calcareous plateaus shaped by pastoralism. Main floral resources are spontaneous floral species (such as wild lavender and thyme) and melliferous fodder (sainfoin). (iii) Mont Lozère is a granite massif partially covered with meadows and *Calluna vulgaris* heathlands. Bees find resources here mainly during summer. The heathlands are critical resources for beekeepers because they constitute the sole mass-flowering resource available in the area in summer. Moreover, the character of heathland honey is sought after, making it an economically profitable resource (Lehébel-Péron et al., 2016). (iv) Mont Aigoual is a granite massif with forests of chestnut and pine, moorland and meadows.

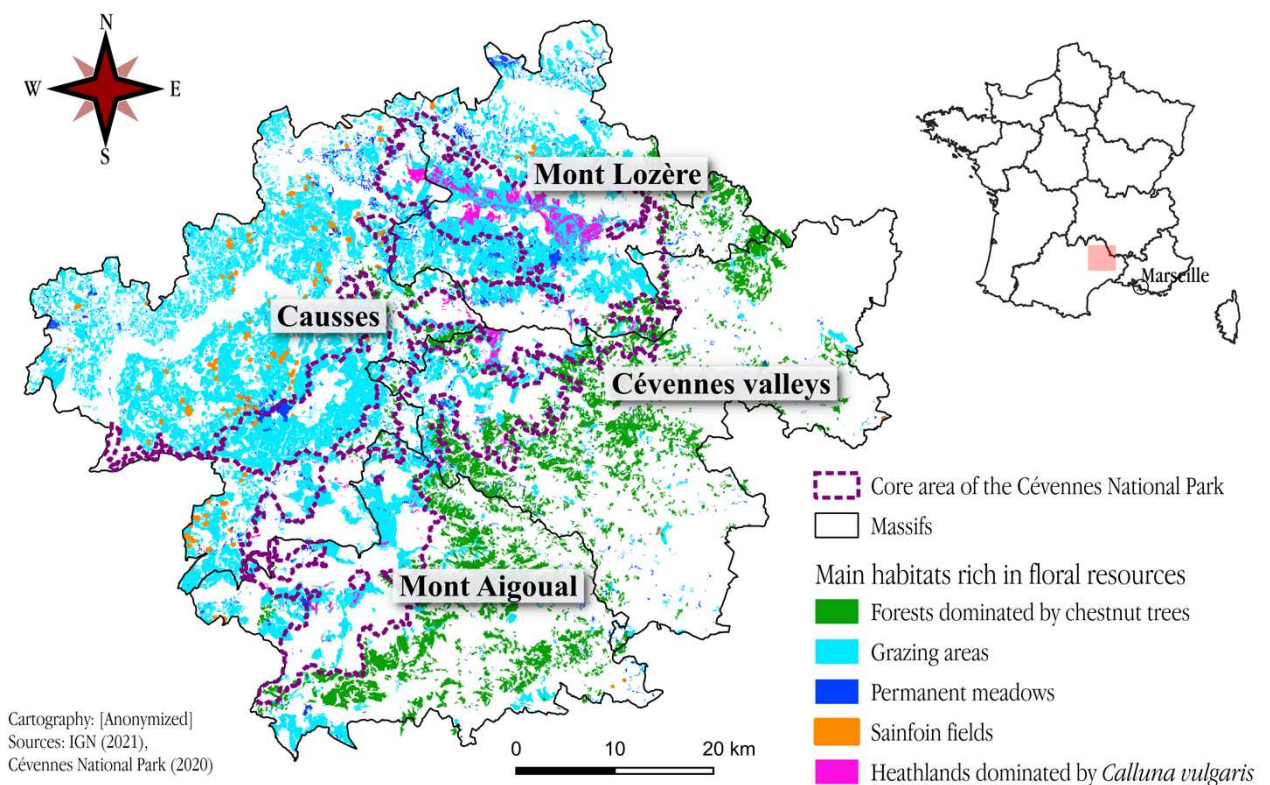


Figure 13: Map of the case study area with its main massifs and main habitats rich in floral resources. Data were sourced from the Cévennes National Park institution (core area, “massifs” limits, heathland habitats) and the National Institute of Geographic and Forestry Information (Institut National de l’Information Géographique et Forestière – IGN; BD Forêt® used to delineate forest habitats; graphic parcel register used to delineate agricultural habitats).

Beekeepers move their colonies to different areas to provide the bees with available floral resources. In this way, they benefit from the floral resources at different times and in different areas of the region. Beyond the four zones described above, outside the National Park, the surrounding Mediterranean scrubland offers diverse floral resources such as rosemary, lavender and black locust flowers. The bloom of the garrigue (a shrubland Mediterranean ecosystem with melliferous plants such as *Thymus* and *Rosemary*) early in the season encourages some beekeepers to seasonally move their hives during the winter, relocating them to the Mediterranean plains to avoid the cold mountain temperatures and foster colony development.

To date, 264 species of wild bees have been recorded within the National Park (Genoud and Fonderflick, 2021), although this number is probably underestimated. Some naturalists have raised concern about several endangered bee species, especially heathland *Bombus* species, which are affected by global warming and the loss of heathland.

The Cévennes area has a long history of beekeeping. From traditional beekeeping in the trunks of chestnut trees to today’s migratory beekeeping, this activity is still important and is closely linked with the production of chestnut and heather honey (Lehébel-Péron, 2014). The most recent estimation was a total of 300–320 beekeepers in the area, overall managing about 26,000 colonies (Jobard, 2012).

Data collection and analysis

Our work is based mainly on interviews with beekeepers, but also on working meetings with researchers in bee ecology and managers of protected areas. To collect the data, we conducted semi-structured interviews with 34 professional and recreational beekeepers in the study area between January 2020 to June 2021 (Table 2). Beekeepers were selected in order to gather a diversity of perspectives on floral resources. We therefore interviewed beekeepers covering a range of types of beekeeping practices, in terms of production systems and forms of organization. Among the interviewed beekeepers, four also have another farming activity. Their perception thus also partly reflects that of the farmers on the question.

Table 2: Interviewed beekeepers according to their beekeeping status

Beekeepers	Number of interviewees	Number of colonies
Professional beekeepers	19	100 – 850
<i>Recently established</i>	4	160 – 200
Multi-activity beekeepers	4	80 – 130
Recreational beekeepers	10	5 – 60
Retired	1	4
TOTAL	34	

We used a snowball sampling strategy. An initial list of interviewees was based on contacts established during local meetings of beekeepers and on some suggestions from National Park agents. Later on, contact details of people with different or important perspectives were asked during the interviews. The interviews were semi-directed, conducted in a conversation mode. Each interview started by asking for a description of the interviewee’s current and past activities, and a description of the beekeeping system and practices, including the migratory circuit of beehives.

The interviewees were then asked about their perception of floral resources, their use of these resources, the main changes affecting the availability of resources, and the evolution of their beekeeping practices. They were also asked about the social interactions and rules-in-use among beekeepers and other stakeholders, notably regarding access to apiary locations, number of colonies per apiary, and distance among apiaries⁴. Some interviews were supplemented with a participatory observation of beekeeping activities (e.g. hive migrations, apiary visits). The interviews lasted from 1 to 4 hours. They were fully recorded and partially transcribed⁵. We undertook a thematic analysis of the whole interviews through the lens of the conceptual model of the human-bee-flower social-ecological system described in the previous section. We thus analysed the beekeepers' perceptions of floral resources, their practices, and social interactions with other stakeholders in the system so as to characterize the human-bee-flower system and its key social interdependencies (see the guide of interview's analysis in Appendix 1). Throughout the study, additional meetings were held with National Park agents and others with ecologists and bee naturalists, allowing to gain knowledge on their perceptions through participatory observations.

⁴ An apiary is the place where managed colonies are placed to produce honey. Colonies live in beehives that are loaded onto trucks for migration. The truck load is the maximum number of hives carried in the truck.

⁵ Only the most relevant parts for the themes analysed are transcribed, the rest of the text being synthesised.

Results

The first result section below presents our findings regarding the main components of the human-bee-floral social-ecological system (section 4.1, Appendix 2), and the second section analyses the key social interdependencies between beekeepers and other stakeholders in the Cévennes (section 4.2, Table 3).

Main components of the social-ecological system in Cévennes area

We identified the key components and characteristics of the studied social-ecological system, i.e. the floral resources, the key ecosystem services derived from these, the providers and beneficiaries of these services, as well as the intermediary stakeholders (Appendix 2).

Floral resources are the central component of the studied social-ecological system. In the Cévennes, these are mainly perceived as vulnerable and declining resources. The periods of honey production are getting shorter, and floral resources are getting more uncertain. In the spring, floral resources allow colony development, but the production of white heather and black locust honey remains unpredictable. Chestnut tree nectar is the most important resource and also the most reliable one. However, global warming and summer droughts exert an ever-increasing impact on nectar production, and the future of this resource is uncertain. Moreover, chestnut trees, which were formerly massively cultivated, are now mostly wild trees and with lower nectar production, according to beekeepers. Likewise, the availability of heathland floral resources in August has strongly declined since the 1990s, on top of its shrinking spatial cover. Still, heathland remains the only mass-flowering resource at the end of summer in the area. Floral resources provided by farmers' crops such as sainfoin are also uncertain and declining. Droughts and increasingly early harvests decrease the availability of these resources.

Two key ecosystem services are derived from the nexus floral resource – bee in the study area: a provisioning service (honey production) and a cultural service (intrinsic existence of wild bees).

In the Cévennes, honey is the main beekeeping product. The sale of swarms occurs but is less frequent. Among professional beekeepers, there are three main types of production system (Figure 14). The first is a *local migratory system* in which most resources come from the area, and the colonies remain within a limited geographical area. These beekeepers move their colonies between the scrubland surrounding the area, the Cévennes valleys of white heather, black locust and chestnut trees, the meadows and pastures of the Causses, and the meadows and heathlands of Mont Lozère. Some go to the north of the area to locate their colonies near fir trees. The second is an *inter-regional migratory system*, in which beekeepers move their colonies over a wider area. They often benefit from the earlier development of colonies, moving them to follow the rosemary blooming in the southwest of France, black locust and oilseed rape in the east, and lavender in the southeast (Figure 14B). In the Cévennes area, they concentrate on the resources of the first zone described above, the Cévennes valleys (white heather, black locust, chestnut trees, mountain flowers). The third is a *sedentary system* with low production costs and high added-value products such as soap or wax. This system is less common among professional beekeepers. In addition, there are many non-professionals who sometimes move their colonies locally, in particular to produce heathland honey.

In the region, pollination is not mentioned as a key ecosystem service by the people who potentially benefit from it. This perception can be explained by the fact that pollination is not yet perceived as endangered in this area. In addition, most farmers in the area raise livestock and do not perceive their activity as critically dependent on pollination. Vegetable growers and chestnut growers are

more obviously dependent on pollination, but pollination contracts between farmers and beekeepers, which exist for orchards in other regions, are absent in the study area. In the case of the seldom managed chestnut groves, beekeepers seem to be more dependent on the large quantities of honey and pollen supplied by chestnut trees than chestnut growers are on managed pollination. Beekeepers therefore do not receive any rent for pollination, but growers give them easy access to their land to set up apiaries. Also, some professional beekeepers receive a grant from the European Common Agricultural Policy for their contribution to pollination in semi-natural habitats.

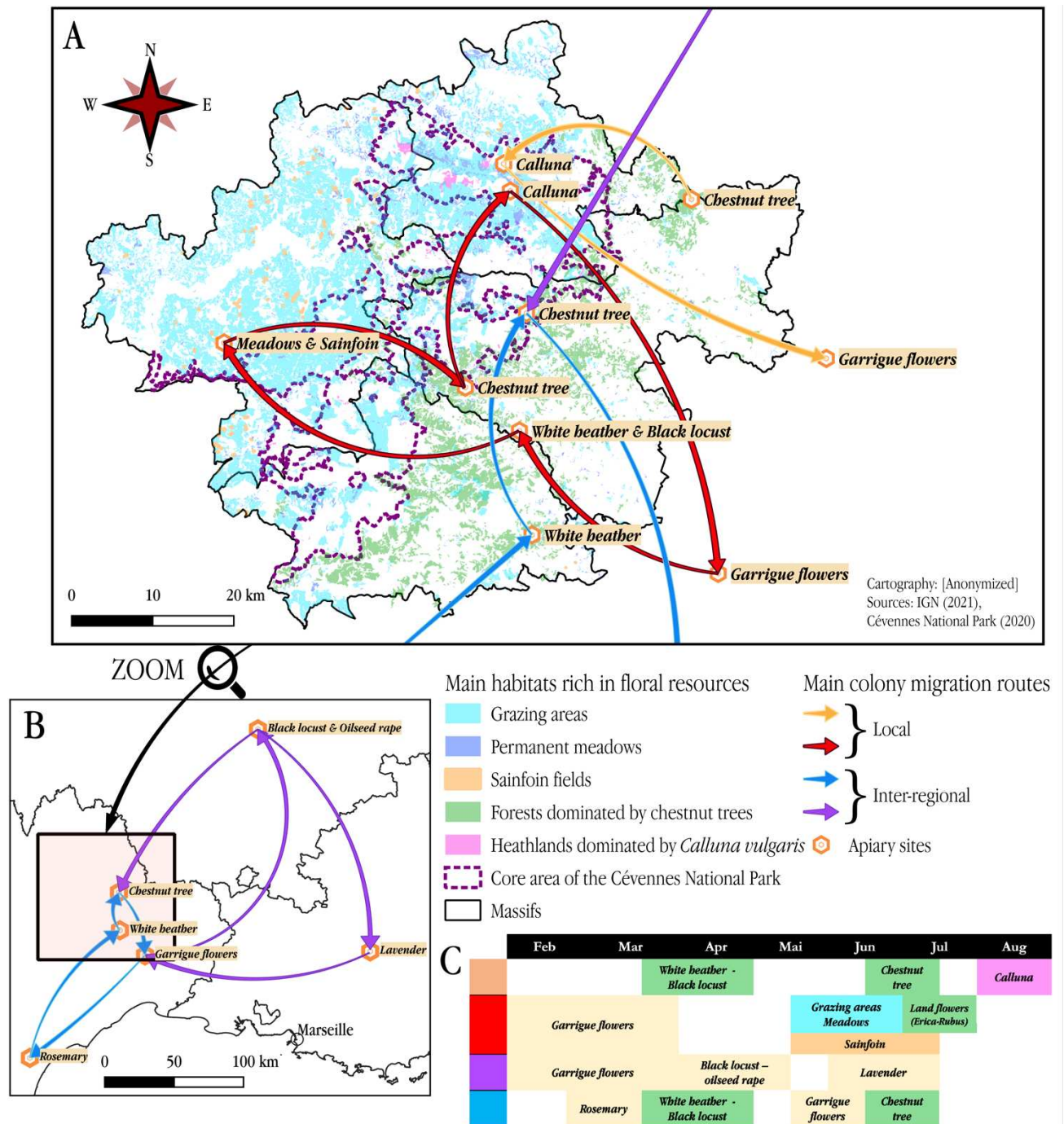


Figure 14 Main beekeeping migratory systems in the Cévennes area. In addition to sedentary beekeepers, there are two systems of colony migration: (A) a local transhumance system whereby colonies are moved locally within the Cévennes area and surrounding garrigue, and (B) an inter-regional transhumance system. Colony migration follows the phenology of mass-flowering resources (C). See Figure 2 for geographic information sources. Apiary sites and colony migration routes are schematic examples of typical routes obtained from interviews.

In contrast, the cultural service of the intrinsic existence of bee diversity is a strong concern for some stakeholders. In this study, we focused on those who advocate and work for the conservation of wild bees and thus may get into conflict with beekeepers due to interspecific competition. These include National Park agents, as well as ecologists, naturalists and researchers who work on wild bees. However, National Park agents have a dual role, as they aim to act in favour of all pollinators, managed or not, and also to support sustainable local beekeeping.

In terms of providers of floral resources, the National Park plays a limited direct role – for instance, through a project promoting melliferous hedges. Conversely, it is mainly farmers and foresters who maintain or destroy floral resources through their practices and are the main providers of ecosystem services in our system (Appendix 2). Several of their practices can have a negative impact on the production of floral resources: the transition from permanent to temporary meadows that are non-bee-friendly, the transition from sheep to cattle grazing, mowing during the flowering period, and the planting of coniferous trees (Gonella et al., 2022). In contrast, if they maintain an open landscape of grassland and cultivate chestnut groves, for example, livestock farmers and chestnut producers maintain the availability of floral resources.

The National Park and institutional organizations such as the French Biodiversity Agency and the National Forest Agency can also act indirectly on the production of resources through political decisions on land-use policies – they are considered intermediary stakeholders along with farmers and foresters. All these stakeholders are the main landowners in the area. By formally or informally giving beekeepers permission to place colonies on their land and thus to harvest floral resources, they influence colonies distribution in the area. In the Cévennes, contractual agreements are made with institutional organizations in exchange for a monetary contribution based on the number of colonies. With private owners, the agreements are most often informal, in exchange for honey and depending on the rough size of the apiary.

Analysis of social interdependencies

In this section, we analyse the key social interdependencies mentioned above: (i) between beekeepers and wild bee advocates (i.e. between beneficiaries of antagonistic services), (ii) among beekeepers (i.e. among beneficiaries of the same service), and (iii) between farmers and other beneficiaries (i.e. between service providers and beneficiaries). They are analysed through four factors identified as critical for collective action, as mentioned in the conceptual framework section (section 2b).

Cognitive framing of interdependency

Our analysis revealed ambiguous and complex perceptions among beekeepers regarding intra- as well as interspecific competition, i.e. the subtractability of floral resources. Thus, they have different cognitive framing of the related social interdependencies – among beekeepers and between beekeepers and wild bee advocates (Table 3). Nectar and pollen provision are often perceived as non-subtractable, i.e. unlimited resources, especially during major blooming periods, which provide enough for all beekeepers regardless of the number of colonies.

“From 30 to 100 colonies per apiary, it wouldn't make any difference [...]. It works or it doesn't work.”⁶

(a professional beekeeper, January 2020)

⁶ « De 30 à 100 [ruches par rucher] ça changerait rien [...] ça marche ou ça marche pas. »

However, during periods of depleted food supply, some beekeepers evoke the subtractability of floral resources.

“When flowers produce a lot of honey, they do produce, there’s no competition, we can set up a lot of colonies. On the other hand, when there are less flowers, well, obviously, the competition becomes noticeable.”⁷

(a professional beekeeper, January 2020)

The subtractability of floral resources remains difficult to assess due to the complexity of their structural properties, the variability and unpredictability of floral resource dynamics, and the lack of knowledge on the harvesting rate by all beekeepers. Moreover, due to beekeeping practices (colonies migration at night, hidden apiaries), the number of colonies in a vicinity sharing floral resources is difficult to determine. So is the impact of intraspecific competition on production. Yet while competition is not easy for beekeepers to estimate, the notion of floral resources as a common good is present in their discourse. These are often compared to common-pool resources such as pastoral resources (common grazing). Beyond a certain threshold of colonies per apiary – which depends on the beekeeper – some acknowledge the existence of competition.

“We put up to 120 or 130 colonies in certain locations. Above that, there is a lot of competition between the bees, between the colonies, so we don’t install anymore.”⁸

(a professional beekeeper, January 2020)

The arrival of large numbers of beehives during the blooming period has thus led to conflicts in the area and changed the perception of resources. Some beekeepers even expressed a form of denial regarding competition, illustrating the ambiguity of beekeepers’ representations of this:

“We don’t notice any competition – or we don’t want to notice it.”⁹

(a professional beekeeper, May 2021)

Interspecific competition is even less acknowledged. Beekeepers lack indicators to assess the effects of their practices on wild bees. They also question the non-excludability of floral resources. Several considered that managed and wild bees feed on different floral resources. They challenged the idea that honeybee competition has an impact on the availability of resources. Beekeepers often point out the problem of resource availability rather than resource distribution – in other words, they see the problem as not the increasing number of apiaries, but climate and land-use changes that are decreasing the availability of resources.

Concerning the interdependency between providers and beneficiaries of floral resources, beekeepers’ perception of providers is ambiguous. On the one hand, floral resources are seen as natural resources. On the other, the transformation of agricultural practices is perceived as responsible for the lack of resources. Agricultural decline in the area was highlighted for its negative impact on floral resources.

7 « Quand ça mielle ça mielle vraiment, il n’y a pas de concurrence, on peut mettre beaucoup de ruches. Par contre quand ça mielle moins, ben évidemment ça peut peut-être se ressentir. »

8 « On monte jusqu’à 120 ou 130 ruches sur certains emplacements. Puis après ça fait beaucoup de concurrence donc de toute manière on n’en met pas plus. Beaucoup de concurrence entre les abeilles, entre les ruches. »

9 « [La compétition] on ne la sent pas ou on ne veut pas la sentir. »

Table 3: Key characteristics of social interdependencies

Factors of social interdependency

Factor	Social interdependency	Characteristics
Cognitive framing of interdependency	<i>Among beekeepers</i>	Intraspecific competition diversely but increasingly perceived, leading to usage conflicts between beekeepers. Underlying notion of common-pool resource through thresholds in number of colonies.
	<i>Between beekeepers – wild bee advocates</i>	Interspecific competition little perceived. Subtractability of floral resources difficult to assess (uncertainty and unknown withdrawal rate).
	<i>Between beneficiaries – providers</i>	Resources are provided by nature, but agricultural depletion and change of practices are responsible for resource decline.
Institutions	<i>Among beekeepers</i>	Formal rules: agro-environmental measure for pollination service imposes a minimum of colonies per apiary. Informal rules: courtesy rules of distance. Apiary management: individual (livestock management, truck loading, working comfort, resource availability) and interindividual (site loans).
	<i>Among beneficiaries</i>	Charter: regulation on maximum number of colonies and minimal distance (under development). No effective collective management.
Scales and levels of organization	<i>Among beekeepers</i>	Apiary load decisions are taken at local or individual level. Temporal mismatches: blooming period, drought period, colony development. Spatial-temporal mismatches: migratory beekeeping.
	<i>Between beekeepers – wild bee advocates</i>	Ecological level: foraging area, difference between honey and wild bees. Wild bee advocates can have an impact on access policies for managed colonies taken at the national or protected area level.
	<i>Between beneficiaries – providers</i>	Spatial mismatches: floral resource production scale vs. beekeeper management vs. foraging scale of bees.
Power relations	<i>Among beneficiaries</i>	Large migratory beekeepers have more developed colonies with higher resource foraging potential. Hobbyists and wild bee advocates have less power over the number of colonies, but more political influence in the area.
	<i>Between beneficiaries – providers</i>	Floral resource providers: <ul style="list-style-type: none"> – Decide on land-use: beekeepers have only harvesting rights – Depend on agricultural policies (higher impact than beekeeping sector)
	<i>Among intermediaries</i>	Landowners (private and institutional): apiary property rights, influence hive position decisions. External market influences land-use decisions, selling prices of honey, etc.

All in all, the idea of competition between bees over floral resources appears to be an important paradigm shift for beekeepers. Since they have long perceived these resources as unlimited, it is a significant change for beekeepers to acknowledge these interdependencies.

Institutions

The use of floral resources by beekeepers is managed mainly through colony locations. This is a critical element in beekeeping practices, which involves a constant search for potential sites. The choice of a site for an apiary is made individually, based on environmental quality (floral resources, sun exposure, wind shelter, etc.), health, safety, and logistics. Apart from its biophysical properties, colonies site choice is seldom directly constrained by regulatory rules, except local legislation imposing minimum distances to houses and roads. Some professional beekeepers receive a grant for pollination through European Common Agricultural Policy agro-environmental measures. This grant is subject to the installation of a minimum of 24 colonies per apiary, with a 2-km distance between apiaries of the same beekeeper.

Generally, the rules regarding distances between apiaries are informal. Beekeepers present these as “common sense” or “courtesy” rules that involve respecting a certain distance between apiaries. However, there is no collectively decided threshold.

“A 500-m distance as the crow flies is recommended...”

“Between two apiaries? Is this more or less respected?”

“No, no...”¹⁰ (a non-professional beekeeper, January 2020)

Our analysis revealed the absence of an arena to collectively discuss these rules. Colony load per apiary and apiary distance are individual choices based on the evaluation of floral resources, the amount of hives beekeeper’s truck can load, working comfort, and colonies management logistics. Inter-individual cooperation between beekeepers exists (e.g. lending of apiaries, close distances), but there is no collective arrangement at a local or regional scale.

Facing conflicts due to massive colony migration, some beekeeper organizations have recently decided to set a threshold within a good practices charter. They recommend separating apiaries by a minimum of 300 m, and allowing no more than 70 colonies per apiary. However, the professional beekeepers interviewed questioned the relevance of these rules and deplored the lack of consultation of professional beekeepers in the development of the charter. The wild bee advocates surveyed also questioned the charter, considering the threshold as insufficient to limit interspecific competition. Nor were farmers involved in the development process of the charter, although it recommends good practices for farmers (e.g. favouring permanent grasslands, avoiding or preventing the use of pesticides). Nonetheless, although this charter is controversial and has no legacy power (as it just makes recommendations rather than requirements), it is an interesting attempt to regulate the social interdependency related to competition over floral resources. This

¹⁰ « – Il se préconise comme distance 500 m à vol d'oiseau

– Entre deux ruchers ? Et c'est à peu près respecté ?

– Non, Non... »

indicates that floral resources are increasingly perceived as a common-pool resource, and that stakeholders understand that they need to collectively organize to regulate their use.

Scales and levels of organization

There are multiple spatial and temporal scales in the ecological processes surrounding bee foraging, hive migration, resource use, and floral resource production, as well as in management and political decisions. First, bee foraging occurs at the scale of their foraging range, whereas beekeepers' decisions regarding access to floral resources are taken at the scale of apiary sites. While beekeepers are presents throughout the territories, where they have the opportunity to give their opinion on local policies, wild bee advocates have an impact on colony access policies at the national level or more specifically in protected areas.

Second, hive migration extends the range of floral resource beneficiaries that need to be considered in the system and reinforces social distances between beekeepers and other stakeholders. It also results in temporal mismatches between migratory and sedentary beekeepers: in the case of mountain beekeeping, where the season begins late, migratory beekeepers whose colonies are active earlier given the warmer climate may be able to exploit different floral resources than sedentary beekeepers.

Competition between bees is also different over the year depending on both floral resource availability and hive density, leading to temporal mismatches.

Finally, there are mismatches between the scale of floral resource production (e.g. farming practices at field scale) and floral resource appropriation by bees (the approximate foraging range of honeybees is 10 km²; [Steffan-Dewenter and Kuhn, 2003](#)). Although negotiation with a landowner occurs at the scale of an apiary site, floral resource production by a farmer in the area (or a farmer's effect on these through the use of pesticides, for example) may influence the production of honey and wild bee-mediated pollination services to surrounding beneficiaries who are not involved in the negotiation process.

Power relations

Beekeepers can influence competition through the development of their colonies and through hive migration, which impact both intra- and interspecific competition. Colonies supplemented by syrup or previous blooming outside the area are perceived as more competitive than colonies developed on floral resources alone within one area:

“My colonies are smaller and are fragile. They should not be together with Formula 1 bees that have three honey supers¹¹, which will decimate them.”¹² (a multi-active beekeeper who raises local bee subspecies, May 2021)

¹¹ In common commercial hives, honey super is a box added to the beehive and used to collect honey. When honey flow is important, beekeepers stacked the honey supers on the hive to add more space for honey storage. Three honey supers on a hive means that the colony is highly productive and that the harvest is plentiful.

¹² « Mes colonies sont plus petites, elles sont fragiles. Il ne faut pas qu'elles soient avec des bombasses qui ont trois hausses, qui vont les déniaper. »

These asymmetries involve a form of power relations; however, this power is relative and constrained by the resilience of a particular beekeeping system. Two other kinds of stakeholders seem to be most influential at a local scale in this human–bee–flower system: farmers as floral resource providers and landowners. Farmers own and/or manage flower-producing landscapes and benefit from supportive agricultural policies. In contrast, at both a national and transnational scale, the beekeeping sector is less supported – and relatively powerless in the face of the interests of agribusiness. Beekeepers are “landless farmers”: they have only usage rights and thus depend on landowners. Landowners, whether or not they farm the land, have the right to exclude beekeepers and may influence the locations of apiaries.

“We are landless farmers. We are marginalized and have no influence over the landowners, who have hundreds of hectares.”¹³ (a professional beekeeper, May 2021)

Conflict between beekeepers over access to floral resources (for example, caused by the arrival of new beekeepers close to an existing apiary) are thus mediated by landowners. While apiary site rentals are usually paid in honey, some landowners accept a high density of hives in exchange for money. This can result in an increase in rent and in the arrival of a massive number of colonies, leading to competition between beekeepers in the area.

“The beekeeper who came to install his huge number of hives paid €4.50 per hive. [...] So multiplied by 300 hives, the landowner made money by allowing the deal.”¹⁴ (a professional beekeeper, January 2020)

In this context in which beekeepers have little power over their interdependencies, debates with wild bee advocates on the exclusion of beehives from certain protected areas are seen as threatening for their activity. And both beekeeping and naturalist organizations struggle to impose their views on political decisions at national and local levels.

Overall, our analysis reveals a diversity of perceptions regarding bees’ competition over floral resources, and the complexity of the issue, with multiple nested levels of organization. We also show that there are some informal rules-in-use related to the use of floral resources, but no coordination or action arena where to discuss these rules. In terms of perceived interdependencies, the beekeepers in our case study felt dependent on nature and environmental conditions rather than on human activities and providers of floral resources. However, global changes and the arrival of new beekeepers who come to mountains to flee lowlands intensive agriculture are changing the beekeepers’ perceptions and social organisation. The decrease in floral resources increases competition among bees and therefore reinforces the dependency of beekeepers on providers and strengthens the mutual interdependency between beekeepers. Finally, the different levels of interdependency and power relationship suggest that collective action to overcome bees’ competition should not be limited to an issue of sharing resources among beekeepers and wild bee advocates, but also include higher levels factors and actors that influence the availability of floral resources.

¹³ « Nous on est agriculteurs sans terres. On est marginalisé. Et donc tu n’as aucun poids par rapport à tous les propriétaires terriens qui ont des centaines d’hectares. »

¹⁴ « En fait l’apiculteur qui est venu poser ses quantités de ruches phénoménales il a payé 4,50€ par ruches. [...] Donc 4,50€ fois 300 ruches, il s’est laissé faire le propriétaire. »

Discussion

In this discussion, we first highlight the contributions of this work to the scientific debate on both interspecific and intraspecific bee competition. Second, we emphasize that beyond competition, it is critical to take into account the global changes affecting the availability of floral resources, notably land-use changes and climate change.

New insights on bee competition and governance of floral resources

A key originality of our work is to at consider floral resources as common-pool resources and to examine how these resources are perceived and managed by stakeholders. Some previous studies used, like us, the conceptual lens of ecosystem services and social-ecological systems to study human-bees interactions, notably (i) wild bees-humans systems (Matias et al., 2017) and (ii) the migratory beekeeping system in Australia (Patel et al., 2020). Matias et al. (2017) have analysed the different ecosystem services related to “wild bees” – actually mostly unmanaged honeybees – around the world. They highlighted the importance of interdisciplinary studies integrating the various services in order to examine trade-offs between provisioning and cultural services. As for Patel et al (2020), they developed a model of a migratory beekeeping system drawing on Ostrom’s socio-ecological system framework (Ostrom, 2009). They highlight the importance of access to apiary sites and the existence of multiple pressures on floral resource availability, which is consistent with our findings. However, in these studies, floral resources were either not considered (Matias et al., 2017) or considered only as habitats for managed honeybee colonies, the colonies being the main resource units of the system described by Patel et al. (2020). Floral resources are not studied as resource units *per se*. Their characteristics (excludability and subtractability) have not been examined, nor have the stakeholder’s perceptions of these resources. And yet, a crucial point in our system lies in the fact that both floral resources and bees could be considered as common-pool resources. This has also been highlighted by Durant: “*What makes the bee forage case unique is that both bee forage and honey bees can act as CPRs, in that they are both subtractable/depletable, and it is difficult to exclude certain resource users from accessing the resource.*” (Durant, 2021). Considering floral resources as resources from which ecosystem services mediated by bees are derived allowed us to capture the importance of a paradigm shift regarding the nature of floral resources (from unlimited public good to subtractable common-pool resources), and its implications in terms of social interdependencies, conflicts and governance.

Through our case study, we provide an original contribution to the scientific debates on competition among bees by examining in particular the perceptions of beekeepers. Previous studies have attempted to evaluate the foraging rate of floral resources by bees (Torné-Noguera et al., 2016; Wright et al., 2018) and to measure nectar and pollen availability (Baude et al., 2016). However, the spatial structure of competition and the land carrying capacity for honeybee colonies remain unclear. Henry and Rodet (2020) have put forward the concept of apiary influence range, based on a study showing that interspecific competition seems to occur mainly within a proximal area around apiaries. However, this view has often been debated by interviewed beekeepers and considered irrelevant in their production area. Although certain informal practices and conflicts suggest that beekeepers in the Cévennes do acknowledge some forms of competition and subtractability in some circumstances, they do not believe that the presence of their apiaries can threaten wild bees. It could be argued that this reflects their lack of concern for wild bee conservation, but our observations show rather the opposite. A previous study in US context – where honeybees are non-native – has also shown that beekeepers are generally more concerned about wild bee conservation than the overall population (Penn et al., 2019). According to

beekeepers in our case study, the overall resource availability depends first and foremost on the types of resource and on weather conditions, rather than on the harvesting rate. All in all, it is quite difficult for beekeepers to assess interspecific competition on the ground, and this is an obstacle to finding new forms of organizing access to floral resources – whether it is for interspecific and intraspecific competition.

Beyond interspecific competition leading to tensions between wild bee preservation and beekeeping, our study also addresses the question of intraspecific competition among managed colonies. Here again, viewing floral resources as subtractable common-pool resources is a paradigm shift paving the way to collective arrangements between beekeepers. However, this intraspecific competition is itself debated and seldom studied. Some studies reported that overpopulation of managed colonies beyond the carrying capacity of actual forage resources decreases honey production (Al-Ghamdi et al., 2016). Mathematical models have been proposed to determine the optimum number of colonies per apiary and distance between apiaries in order not to exceed ecosystem carrying capacity (Atanasov and Georgiev, 2021; Esteves et al., 2010). On the social side, some studies report that the recent boom in manuka honey in New Zealand led to sharp increase in colony densities and conflicts regarding the size and location of apiaries (Lloyd et al., 2017). In France, a study has shown that divergence between beekeepers who consider resources as limited – and shared between colonies – and those who consider resources as unlimited is a source of tension when it comes to choose apiary locations (Dupré, 2020). Furthermore, the fact that beekeeping activities are not always visible and that apiaries are openly accessible to anyone make it difficult for beekeepers to assess intraspecific competition, and it prevents coordination from taking place (Gill, 1996). All these studies underline the need to do more research on the processes underpinning collective action among beekeepers, and our study contributes to this line of research. We highlight in particular that the paradigm shift that leads to view floral resources as subtractable resources and thus as common-pool resources is critical to enlighten and enrich the debates on competition.

Illustrating such a shift of paradigm, our case study turns out to be an interesting case to investigate the emergence of new commons – a topic which gains traction in the literature on commons. While all stakeholders do not currently define floral resources as a common good, this idea is currently emerging. Representations, institutions and rules regarding floral resources are evolving, as shown by the on the ground discussions surrounding a new beekeeping charter. Durant (2021) uses the concept of “commoning” to examine the emergence of new social arrangements to access floral resources. However, in her study floral resources were considered from the start as common-pool resources – their subtractability was not questioned. Our case study suggests that “commoning” should also pay attention to the perceptions of the resource. The emergence of new commons requires not only the emergence of new rules and arrangements, but also first and foremost the changing perception of a resource, i.e. the cognitive process through which a resource becomes a common good in the eyes of its users. Few studies have investigated these issues (Berthet, 2013; Fontaine, 2016). And yet, our findings show that it is critical to study these cognitive processes, especially in the case of floral resources governance.

The need to consider the impacts of land-user practices and global changes

Our results suggest that floral resources should not be looked at only through the lens of competition among bees – a framing that would make beekeepers the main culprits in the decline of pollinators –, and that it is critical to consider also other factors affecting floral resources, notably land-use practices and global changes. In our study, the concept of ecosystem services pointed out essential stakeholders of the social-ecological system that should be further examined and interviewed: the providers of floral resources, such as farmers and foresters whose land-use practices heavily influence the availability of floral resources (Durant and Otto, 2019; Malkamäki et al., 2016). In France, a substantial amount of honey productions relies on cultivated plants (rapeseed, sunflower, lavender, alfalfa, chestnut etc.), or semi-natural elements such as grasslands and hedgerows, that are maintained by farmers. However, if agricultural and forestry practices can enhance floral resource supply, they also can degrade it (Billaud et al., 2021; Decourtye et al., 2010; Grab et al., 2019). Farmers, growers or foresters often promote floral resources in an unintentional way, since their primary objective is to harvest wood, fruits or seeds, for example. These providers may be concerned with the yield and quality of their harvest, but not with the associated nectar and pollen resources. As a result, they may be less reluctant to resort to pesticides to achieve their goals, at the expense of bee health and nectar and pollen quality (Gierer et al., 2019; Zioga et al., 2020). Although it can be in the interest of some farmers to provide favourable habitats for all bees if they rely on pollination (Veldtman, 2018), the social interdependencies between farmers and beekeepers appear quite asymmetrical. First, many farmers do not feel that their system depends on pollination, such as livestock farmers in our study. In the case of fruit growers who highly depend on pollination services, such as almond grower in the US or canola grower in South Africa, the case studies described in the literature has shown that farmers can end up controlling the access of honeybees to floral resources (Durant, 2021; Masehela et al., 2020). In addition, the intensification of agricultural practices increases the decline of wild pollinators and the dependence of entomophilous crops to managed pollinators (Ellis et al., 2020). While promoting managed pollinators can empower beekeepers, the asymmetry of power between farmers and beekeepers results mainly in the intensification of beekeeping practices without changes in the agricultural system as documented in the US context (Cilia, 2019). This allows the pollination service to be preserved without consideration for wild bees, thus maintaining an agricultural system that is deleterious to all bees. In the context of almond pollination, this asymmetric relationship between beekeepers and farmers curtails the agroecological transition (Durant, 2021). More generally, this asymmetry appears as an obstacle to collective action for sustainable governance of floral resources, and it should be further examined.

Global changes are a critical factor to take into account when considering the availability of floral resources. Our study highlights how global changes increase the vulnerability of floral resources and how in turn this leads to changes in beekeepers' perceptions and practices. The period of blooming in the study area is becoming shorter and less predictable due to climate change and agricultural practices, aggravating conflicts between beekeepers and giving rise to new arrangements, such as the beekeeping charter. Other studies have shown that if competition between honeybees and wild bees has increased during the past decades, this is likely due to the joint effects of a global decrease of floral resources (Herbertsson et al., 2016; Rodríguez et al., 2021) and exclusions of beehives from agrosystems (Durant, 2019). *Volatile exclusions* (due to the destruction of bee foraging land) or *toxic exclusions* (due to pesticide use) combined with global changes are reducing floral resources and concentrating honeybee colonies in remnants of natural habitats. Conservation practices could thus result in a third, *ambient*, exclusion of beekeepers from floral resources, increasing beekeepers' vulnerability.

All in all, this makes it urgent to build a dialogue between wild bee advocates, beekeepers and farmers so as to co-construct solutions to conciliate conservation of wild bees, sustainable beekeeping and sustainable farming.

Conclusion

Our findings about beekeepers' perceptions and use of floral resources in the Cévennes support the idea of considering floral resources as a common-pool resource. While floral resources are not considered as a common-pool resource by many actors, we plead for adopting a constructivist view. We analyse the cognitive processes through which some actors are progressively viewing floral resources as a common-pool resource, and the implications of this change for the rules and arrangements for floral resources governance. To do so, we draw on a model combining theories on collective action, common-pool resources and ecosystem services to characterize the human–bee–flower social-ecological system and the social interdependencies among its key actors.

We found that while competition for floral resources, i.e. their subtractability, is differently perceived by beekeepers, the idea of floral resources being a common good underlies a range of discourse and practices. For example, informal “courtesy” rules on distance among apiaries and individual initiatives to define colony density thresholds are already in use. Yet there is currently no arena to discuss these different perceptions and the potential approaches for floral resource governance. And while collective action seems a promising avenue for better governing floral resources, not all conditions are in place to achieve its successful implementation. Power asymmetries among actors could hinder the equitable management of floral resources. Governance of floral resources thus raises several questions that need to be further explored in order to avoid the implementation of unsustainable or unfair solutions. Faced with environmental problems, commons governance can appear as an emancipatory alternative. However, it can also be co-opted to maintain a *business-as-usual* system by fixing the social and environmental problems arising from the crisis of capitalist production (De Angelis, 2013). In the context of Californian almond orchards, “pseudo-commoning” practices driven through top-down processes (Durant, 2021) have led to the persistence of power asymmetries and a situation in which practices are not widely adopted on the ground. Durant (2021) argues that this “pseudo-common” solution fix the problem of pollination in the short term but discourages change towards beneficial practices by maintaining industrial agriculture, forcing beekeepers to adapt. Rather than pitting wild bee advocates against beekeepers, competition issues should challenge new ways of organizing both the sharing and the production of floral resources, which must necessarily be based on genuine commons approach. It is thus urgent that scientists and policymakers integrate stakeholders' perceptions and knowledge to co-construct bottom-up governance alternatives and catalyse social change.

ACKNOWLEDGMENTS

We are deeply grateful to all interviewees for their time and contributions. We also thank Viviane de Montaigne, Tifenn Pedron, Camille Savary, Jocelyn Fonderflick and the agents from the Cévennes National Park for valuable discussions as well as permissions, logistical and administrative support having facilitated our work. Special thanks go to Elise Bradbury for kindly providing English editing of the manuscript, as well as two anonymous reviewers for their inspiring and profitable comments.

Literature cited

- Alaux, C., Le Conte, Y., Decourtye, A., 2019. Pitting wild bees against managed honey bees in their native range, a losing strategy for the conservation of honey bee biodiversity. *Front. Ecol. Evol.* 7. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00060>
- Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N.M., Tschumi, M., Blaauw, B.R., Bommarco, R., Campbell, A.J., Dainese, M., Drummond, F.A., Entling, M.H., Ganser, D., Arjen de Groot, G., Goulson, D., Grab, H., Hamilton, H., Herzog, F., Isaacs, R., Jacot, K., Jeanneret, P., Jonsson, M., Knop, E., Kremen, C., Landis, D.A., Loeb, G.M., Marini, L., McKerchar, M., Morandin, L., Pfister, S.C., Potts, S.G., Rundlöf, M., Sardiñas, H., Sciligo, A., Thies, C., Tschardt, T., Venturini, E., Veromann, E., Vollhardt, I.M.G., Wäckers, F., Ward, K., Westbury, D.B., Wilby, A., Woltz, M., Wratten, S., Sutter, L., 2020. The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecol. Lett.* 23, 1488–1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- 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, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.09.020>
- Atanasov, A.Z., Georgiev, I.R., 2021. A multicriteria model for optimal location of honey bee colonies in regions without overpopulation. *AIP Conference Proceedings* 2333, 090008. <https://doi.org/10.1063/5.0041729>
- Barnaud, C., Corbera, E., Muradian, R., Salliou, N., Sirami, C., Vialatte, A., Choisis, J.-P., Dendoncker, N., Mathevet, R., Moreau, C., Reyes-García, V., Boada, M., Deconchat, M., Cibien, C., Garnier, S., Maneja, R., Antona, M., 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: A conceptual framework. *Ecology and Society* 23. <https://doi.org/10.5751/ES-09848-230115>
- Baude, M., Kunin, W.E., Boatman, N.D., Conyers, S., Davies, N., Gillespie, M.A.K., Morton, R.D., Smart, S.M., Memmott, J., 2016. Historical nectar assessment reveals the fall and rise of floral resources in Britain. *Nature* 530, 85–88. <https://doi.org/10.1038/nature16532>
- Bennett, E.M., Cramer, W., Begossi, A., Cundill, G., Díaz, S., Egoh, B.N., Geijzendorffer, I.R., Krug, C.B., Lavorel, S., Lazos, E., Lebel, L., Martín-López, B., Meyfroidt, P., Mooney, H.A., Nel, J.L., Pascual, U., Payet, K., Harguindeguy, N.P., Peterson, G.D., Prieur-Richard, A.-H., Reyers, B., Roebeling, P., Seppelt, R., Solan, M., Tschakert, P., Tschardt, T., Turner, B., Verburg, P.H., Viglizzo, E.F., White, P.C., Woodward, G., 2015. Linking biodiversity, ecosystem services, and human well-being: three challenges for designing research for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability, Open Issue* 14, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.03.007>
- Berthet, E., 2013. Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes : Fonds écologique et inconnu commun (phdthesis). Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Billaud, O., Vermeersch, R.-L., Porcher, E., 2021. Citizen science involving farmers as a means to document temporal trends in farmland biodiversity and relate them to agricultural practices. *Journal of Applied Ecology* 58, 261–273. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13746>
- Chan, K.M.A., Satterfield, T., Goldstein, J., 2012. Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecological Economics* 74, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.11.011>
- Cilia, L., 2019. The Plight of the Honeybee: A Socioecological Analysis of large-scale Beekeeping in the United States. *Sociologia Ruralis* 59, 831–849. <https://doi.org/10.1111/soru.12253>
- Cumming, G., Cumming, D.H.M., Redman, C., 2006. Scale Mismatches in Social-Ecological Systems: Causes, Consequences, and Solutions. *Ecology and Society* 11. <https://doi.org/10.5751/ES-01569-110114>
- De Angelis, M., 2013. Does capital need a commons fix? *Ephemera* 13, 603.
- de Lange, W.J., Veldtman, R., Allsopp, M.H., 2013. Valuation of pollinator forage services provided

by *Eucalyptus cladocalyx*. *Journal of Environmental Management* 125, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.027>

De Palma, A., Abrahamczyk, S., Aizen, M.A., Albrecht, M., Basset, Y., Bates, A., Blake, R.J., Boutin, C., Bugter, R., Connop, S., Cruz-López, L., Cunningham, S.A., Darvill, B., Diekötter, T., Dorn, S., Downing, N., Entling, M.H., Farwig, N., Felicioli, A., Fonte, S.J., Fowler, R., Franzén, M., Goulson, D., Grass, I., Hanley, M.E., Hendrix, S.D., Herrmann, F., Herzog, F., Holzschuh, A., Jauker, B., Kessler, M., Knight, M.E., Kruess, A., Lavelle, P., Le Féon, V., Lentini, P., Malone, L.A., Marshall, J., Pachón, E.M., McFrederick, Q.S., Morales, C.L., Mudri-Stojnic, S., Nates-Parra, G., Nilsson, S.G., Öckinger, E., Osgathorpe, L., Parra-H, A., Peres, C.A., Persson, A.S., Petanidou, T., Poveda, K., Power, E.F., Quaranta, M., Quintero, C., Rader, R., Richards, M.H., Roulston, T., Rousseau, L., Sadler, J.P., Samnegård, U., Schellhorn, N.A., Schüepp, C., Schweiger, O., Smith-Pardo, A.H., Steffan-Dewenter, I., Stout, J.C., Tonietto, R.K., Tschardtke, T., Tyljanakis, J.M., Verboven, H.A.F., Vergara, C.H., Verhulst, J., Westphal, C., Yoon, H.J., Purvis, A., 2016. Predicting bee community responses to land-use changes: Effects of geographic and taxonomic biases. *Sci Rep* 6, 31153. <https://doi.org/10.1038/srep31153>

Decourtye, A., Alaux, C., Le Conte, Y., Henry, M., 2019. Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science. *Current Opinion in Insect Science, Global change biology • Molecular Physiology* 35, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.008>

Decourtye, A., Mader, E., Desneux, N., 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie* 41, 264–277. <https://doi.org/10.1051/apido/2010024>

Desaegher, J., Sheeren, D., Ouin, A., 2021. Optimising spatial distribution of mass-flowering patches at the landscape scale to increase crop pollination. *J Appl Ecol* 58, 1876–1887. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13949>

Dupré, L., 2020. Prendre place dans les territoires. *Etudes rurales* n° 206, 28–47.

Duraiappah, A.K., Asah, S.T., Brondizio, E.S., Kosoy, N., O’Farrell, P.J., Prieur-Richard, A.-H., Subramanian, S.M., Takeuchi, K., 2014. Managing the mismatches to provide ecosystem services for human well-being: a conceptual framework for understanding the New Commons. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 7, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.031>

Durant, J.L., 2021. Commoning the bloom? Rethinking bee forage management in industrial agriculture. *Elementa: Science of the Anthropocene* 9, 00105. <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00105>

Durant, J.L., 2019. Where have all the flowers gone? Honey bee declines and exclusions from floral resources. *Journal of Rural Studies* 65, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.10.007>

Durant, J.L., Otto, C.R.V., 2019. Feeling the sting? Addressing land-use changes can mitigate bee declines. *Land Use Policy* 87, 104005. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.024>

Ellis, R., Weis, T., Suryanarayanan, S., Beilin, K., 2020. From a free gift of nature to a precarious commodity: Bees, pollination services, and industrial agriculture. *Journal of Agrarian Change* 20. <https://doi.org/10.1111/joac.12360>

Esteves, R.J.P., Villadelrey, M.C., Rabajante, J.F., 2010. Determining the Optimal Distribution of Bee Colony Locations. *Journal of Nature Studies* 9, 79–82.

Fontaine, G., 2016. Analyser les conditions favorables à l’émergence de communs, le cas d’un PTCE d’économie solidaire.

Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., Vaissière, B.E., 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68, 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>

Geldmann, J., González-Varo, J.P., 2018. Conserving honey bees does not help wildlife. *Science* 359, 392–393. <https://doi.org/10.1126/science.aar2269>

Genoud, D., Fonderflick, J., 2021. Liste commentée des Hyménoptères Apiformes (Anthophila) du Parc national des Cévennes. Parc national des Cévennes, Florac-Trois-Rivières.

Geslin, B., Gauzens, B., Baude, M., Dajoz, I., Fontaine, C., Henry, M., Ropars, L., Rollin, O.,

Thébaud, E., Vereecken, N.J., 2017. Chapter Four - Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant–Pollinator Interactions, in: Bohan, D.A., Dumbrell, A.J., Massol, F. (Eds.), *Advances in Ecological Research, Networks of Invasion: Empirical Evidence and Case Studies*. Academic Press, pp. 147–199. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.10.007>

Gierer, F., Vaughan, S., Slater, M., Thompson, H.M., Elmore, J.S., Girling, R.D., 2019. A review of the factors that influence pesticide residues in pollen and nectar: Future research requirements for optimising the estimation of pollinator exposure. *Environmental Pollution* 249, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.025>

Gill, R.A., 1996. *The Benefits to the Beekeeping Industry and Society from Secure Access to Public Lands and their Melliferous Resources*. Report to the Honeybee Research and Development Council of Australia 53.

Gonella, G., Léoni, E., Mouillard-Lample, L., Aubron, C., Deconchat, M., Decourtye, A., Barnaud, C., 2022. Interactions between beekeeping and livestock farming systems in agropastoral landscapes : a floral resources centered approach, in: 14th European Farming Systems Conference: Farming Systems Facing Climate Change and Resource Challenges (IFSA 2022), IFSA. Évora, Portugal.

Grab, H., Branstetter, M.G., Amon, N., Urban-Mead, K.R., Park, M.G., Gibbs, J., Blitzer, E.J., Poveda, K., Loeb, G., Danforth, B.N., 2019. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science* 363, 282–284. <https://doi.org/10.1126/science.aat6016>

Havens, K., Vitt, P., 2016. The Importance of Phenological Diversity in Seed Mixes for Pollinator Restoration. *naar* 36, 531–537. <https://doi.org/10.3375/043.036.0418>

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. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103555>

Henry, M., Rodet, G., 2018. Controlling the impact of the managed honeybee on wild bees in protected areas. *Scientific Reports* 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27591-y>

Herbertsson, L., Lindström, S.A.M., Rundlöf, M., Bommarco, R., Smith, H.G., 2016. Competition between managed honeybees and wild bumblebees depends on landscape context. *Basic and Applied Ecology* 17, 609–616. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.05.001>

Jobard, E., 2012. *Mise en place d'un observatoire de l'apiculture au sein du Parc National des Cévennes*. (Rapport de Licence).

Kleijn, D., Biesmeijer, K., Dupont, Y.L., Nielsen, A., Potts, S.G., Settele, J., 2018. Bee conservation: Inclusive solutions. *Science* 360, 389–390. <https://doi.org/10.1126/science.aat2054>

Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L.G., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A.-M., Kremen, C., M'Gonigle, L.K., Rader, R., Ricketts, T.H., Williams, N.M., Lee Adamson, N., Ascher, J.S., Báldi, A., Batáry, P., Benjamin, F., Biesmeijer, J.C., Blitzer, E.J., Bommarco, R., Brand, M.R., Bretagnolle, V., Button, L., Cariveau, D.P., Chifflet, R., Colville, J.F., Danforth, B.N., Elle, E., Garratt, M.P.D., Herzog, F., Holzschuh, A., Howlett, B.G., Jauker, F., Jha, S., Knop, E., Krewenka, K.M., Le Féon, V., Mandelik, Y., May, E.A., Park, M.G., Pisanty, G., Reemer, M., Riedinger, V., Rollin, O., Rundlöf, M., Sardiñas, H.S., Scheper, J., Sciligo, A.R., Smith, H.G., Steffan-Dewenter, I., Thorp, R., Tschardtke, T., Verhulst, J., Viana, B.F., Vaissière, B.E., Veldtman, R., Ward, K.L., Westphal, C., Potts, S.G., 2015. Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications* 6, 7414. <https://doi.org/10.1038/ncomms8414>

Kouchner, C., Ferrus, C., Blanchard, S., Decourtye, A., Basso, B., Le Conte, Y., Tchamitchian, M., 2019. Bee farming system sustainability: An assessment framework in metropolitan France. *Agricultural Systems* 176, 102653. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102653>

Lavorel, S., Locatelli, B., Colloff, M.J., Bruley, E., 2020. Co-producing ecosystem services for adapting to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375, 20190119. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0119>

- Lehébel-Péron, A., 2014. L'abeille noire et la ruche-tronc: approche pluridisciplinaire de l'apiculture traditionnelle cévenole: histoire, diversité et enjeux conservatoires (phdthesis). Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.
- Lehébel-Péron, A., Sidawy, P., Dounias, E., Schatz, B., 2016. Attuning local and scientific knowledge in the context of global change: The case of heather honey production in southern France. *Journal of Rural Studies* 44, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.01.005>
- Lloyd, P., Maclaren, D., Bardsley, P., Lloyd, P.J., 2017. Competition in the Manuka Honey Industry in New Zealand. Department of Economics, University of Melbourne, Parkville, Victoria, Australia. 22.
- Malkamäki, A., Toppinen, A., Kanninen, M., 2016. Impacts of land use and land use changes on the resilience of beekeeping in Uruguay. *Forest Policy and Economics* 70, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.002>
- Mallinger, R.E., Gaines-Day, H.R., Gratton, C., 2017. Do managed bees have negative effects on wild bees?: A systematic review of the literature. *PLOS ONE* 12, e0189268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189268>
- Masehela, T., Veldtman, R., Poole, C., 2020. Securing forage resources for indigenous managed honey bees – thoughts from South Africa. pp. 137–150.
- Matias, D.M.S., Leventon, J., Rau, A.-L., Borgemeister, C., von Wehrden, H., 2017. A review of ecosystem service benefits from wild bees across social contexts. *Ambio* 46, 456–467. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0844-z>
- McGinnis, M.D., Ostrom, E., 2014. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *E&S* 19, art30. <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- Melin, A., Rouget, M., Colville, J.F., Midgley, J.J., Donaldson, J.S., 2018. Assessing the role of dispersed floral resources for managed bees in providing supporting ecosystem services for crop pollination. *PeerJ* 6, e5654. <https://doi.org/10.7717/peerj.5654>
- Millennium Ecosystem Assessment (Program) (Ed.), 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Ostrom, E., 2010. Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. *The American Economic Review* 100, 641–672.
- Ostrom, E., 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science* 325, 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Ostrom, E., 2008. Design principles of robust property-rights institutions: what have we learned? Presented at the Land Policies and Property Rights, Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA, p. 28.
- Ostrom, E., 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge ; New York : Cambridge University Press.
- Palomo, I., Felipe-Lucia, M.R., Bennett, E.M., Martín-López, B., Pascual, U., 2016. Chapter Six - Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service Co-Production, in: Woodward, G., Bohan, D.A. (Eds.), *Advances in Ecological Research, Ecosystem Services: From Biodiversity to Society, Part 2*. Academic Press, pp. 245–283. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Patel, V., Biggs, E., Pauli, N., Boruff, B., 2020. Using a social-ecological system approach to enhance understanding of structural interconnectivities within the beekeeping industry for sustainable decision making. *Ecology and Society* 25. <https://doi.org/10.5751/ES-11639-250224>
- Patel, V., Pauli, N., Biggs, E., Barbour, L., Boruff, B., 2021. Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio* 50, 49–59. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01333-9>
- Penn, J., Hu, W., Penn, H.J., 2019. Support for Solitary Bee Conservation among the Public versus Beekeepers. *Am J Agric Econ* 101, 1386–1400. <https://doi.org/10.1093/ajae/aaz050>
- Plieninger, T., Bieling, C., Ohnesorge, B., Schaich, H., Schleyer, C., Wolff, F., 2013. Exploring futures of ecosystem services in cultural landscapes through participatory scenario development in the Swabian alb, Germany. *Ecol. Soc.* 18.
- Potschin, M.B., Haines-Young, R.H., 2011. *Ecosystem services: Exploring a geographical*

perspective. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 35, 575–594. <https://doi.org/10.1177/0309133311423172>

Rodríguez, S., Pérez-Giraldo, L.C., Vergara, P.M., Carvajal, M.A., Alaniz, A.J., 2021. Native bees in Mediterranean semi-arid agroecosystems: Unravelling the effects of biophysical habitat, floral resource, and honeybees. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 307, 107188. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107188>

Senapathi, D., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Kleijn, D., Potts, S.G., Carvalheiro, L.G., 2015. Pollinator conservation—the difference between managing for pollination services and preserving pollinator diversity. *Current Opinion in Insect Science, Neuroscience * Special Section: Insect conservation* 12, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.11.002>

Senapathi, D., Fründ, J., Albrecht, M., Garratt, M.P.D., Kleijn, D., Pickles, B.J., Potts, S.G., An, J., Andersson, G.K.S., Bänsch, S., Basu, P., Benjamin, F., Bezerra, A.D.M., Bhattacharya, R., Biesmeijer, J.C., Blaauw, B., Blitzer, E.J., Brittain, C.A., Carvalheiro, L.G., Cariveau, D.P., Chakraborty, P., Chatterjee, A., Chatterjee, S., Cusser, S., Danforth, B.N., Degani, E., Freitas, B.M., Garibaldi, L.A., Geslin, B., de Groot, G.A., Harrison, T., Howlett, B., Isaacs, R., Jha, S., Klatt, B.K., Krewenka, K., Leigh, S., Lindström, S.A.M., Mandelik, Y., McKerchar, M., Park, M., Pisanty, G., Rader, R., Reemer, M., Rundlöf, M., Smith, B., Smith, H.G., Silva, P.N., Steffan-Dewenter, I., Tscharnke, T., Webber, S., Westbury, D.B., Westphal, C., Wickens, J.B., Wickens, V.J., Winfree, R., Zhang, H., Klein, A.-M., 2021. Wild insect diversity increases inter-annual stability in global crop pollinator communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 288, 20210212. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0212>

Steffan-Dewenter, I., Kuhn, A., 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270, 569–575. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2292>

Torné-Noguera, A., Rodrigo, A., Osorio, S., Bosch, J., 2016. Collateral effects of beekeeping: Impacts on pollen-nectar resources and wild bee communities. *Basic and Applied Ecology* 17, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.11.004>

Veldtman, R., 2018. Are managed pollinators ultimately linked to the pollination ecosystem service paradigm? *South African Journal of Science* 114. <https://doi.org/10.17159/sajs.2018/a0292>

Wratten, S.D., Gillespie, M., Decourtye, A., Mader, E., Desneux, N., 2012. Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 159, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.020>

Wright, G.A., Nicolson, S.W., Shafir, S., 2018. Nutritional Physiology and Ecology of Honey Bees. *Annual Review of Entomology* 63, 327–344. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043423>

Zioga, E., Kelly, R., White, B., Stout, J.C., 2020. Plant protection product residues in plant pollen and nectar: A review of current knowledge. *Environmental Research* 189, 109873. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109873>

Life story	
Farming system	<p>Amount of colonies</p> <p>Sedentary or migratory system</p> <p>Colony replacement, eventual queen breeding activity</p> <p>Genetic of colonies</p> <p>Land</p> <p>Capital: <i>truck, honey factory</i></p> <p>Work: <i>Number of people working on the farm</i></p> <p>Inputs: <i>Sugar, petrol, mite treatments</i></p> <p>Production: <i>Tons of honey per year, diversity of honey, honey sales channel, pollen sales, swarm sales</i></p> <p>Main floral resources in the system</p>
Floral resources	<p>Perceptions</p> <p>Dynamics and issues</p> <p>Beekeeping strategies</p>
Apiary location	<p>Choice of location issues, criteria</p>
Bee competition	<p>Perceptions of competition, subtractability</p> <p>Indicators: Number of colonies per apiary, distance between apiaries</p> <p>Perception of existing rules and possible existing cooperation</p>
Relationship with other beekeepers	<p>Cooperation (apiary loans, mutual aid...), conflicts</p>
Relationship with institutions	<p>National Park</p> <p>Protected geographical information</p> <p>Beekeeping unions, beekeeping development associations</p> <p>association for the defence of the black bee subspecies</p>
Providers of floral resources	<p>Perceptions of social interdependencies</p>

Component	Characteristics
Floral resources	Decline of floral resources and increasing uncertainty: <ul style="list-style-type: none"> – Chestnut trees: main resource for honey production, but impacted by global warming, with an uncertain future. – <i>Calluna vulgaris</i> heathlands: the only resource for bees in the area in late summer, but in decline. – White heather and black locust: unpredictable resources for honey production. – Agricultural fodder (e.g. sainfoin): mowed increasingly early.
Ecosystem services	Honey production Wild bee biodiversity
Stakeholders	
Beneficiaries <i>Beekeepers</i>	– Professional beekeepers: <ol style="list-style-type: none"> 1. Local migratory beekeepers 2. Large-scale migratory beekeepers 3. Sedentary beekeepers Hobbyist beekeepers
Beneficiaries – <i>Wild bee advocates</i>	National Park managers, scientists, interested citizens
Beneficiaries – <i>Farmers</i>	Chestnut growers and a few fruit/vegetable growers
Providers	Livestock farmers maintaining open landscapes Foresters and chestnut growers National Park: landscape management
Intermediaries	National Park: land-use management policies and landowner National Forest Agency: landowner Private landowners <ol style="list-style-type: none"> 1. Farmers 2. Local / secondary residents

Chapitre 3 – Evidence of consistent exploitative competition between wild and managed bees mediated by apiary proximity, floral resource type and interannual variations.

Authors:

Léo MOUILLARD-LAMPLE^{1,2,3,4 *}, Taïna LEMOINE⁵, Sarah BOURDON¹, Maxime LEWIN¹, Laurent GUILBAUD^{1,3}, Gabriel GONELLA⁶, Cécile BARNAUD⁶, Axel DECOURTYE^{2,3}, Mickaël HENRY^{1,3}

¹ INRAE, UR 406 Abeilles et Environnement, 84914 Avignon, France

² ITSAP – Institut de l'abeille, 84000 Avignon, France

³ UMT PrADE, Protection des Abeilles Dans l'Environnement, Avignon 84914, France.

⁴ Université d'Avignon, 84000 Avignon, France

⁵ Établissement public du Parc National des Cévennes, 48400 Florac-Trois-Rivières, France

⁶ INRAE, UMR DYNAFOR, Université de Toulouse, 31326 Castanet-Tolosan, France

Keywords: Honeybee; Competition; Wild bees; Bee foraging success; Floral resources

Introduction

From the late 1970s, scientific studies have tackled a conflicting issue: the impact of honeybee colonies on other pollinators (Roubik, 1978; Schaffer et al., 1979, 1983). In cities, but also in natural areas where honeybee colonies have been established for a long time, scientists warn of possible competition between bees for floral resources (Balfour et al., 2015; Rasmussen et al., 2021). The arrival and maintenance of managed honeybee colonies results in substantial consumption of nectar and pollen resources within the bees' foraging range (Cane and Tepedino, 2017). While some wild bees are specialists and depend on specific plants for their pollen intake, the honeybee *Apis mellifera* is a generalist species and is attracted to the locally abundant floral species, so its foraging activities may overlap with those of solitary or social bee species (such as *Bombus* spp.) (Elliott et al., 2021; Steffan-Dewenter and Tschardt, 2000). Resource harvesting by honeybee colonies may therefore affect wild bees that feed on the same floral resources through exploitative competition, i.e. competition by depletion of shared resources.

Although this issue seemingly originates from countries where honeybee colonies of *Apis mellifera* had been introduced, it has been raised in many ecosystems around the world, even in areas where *Apis mellifera* is native (Mallinger et al., 2017), such as France (Henry and Rodet, 2018; Ropars et al., 2022, 2019). This question is now being raised in the scientific literature. For example, the number of scientific publications on competition increased by 47% from 2017 to 2021 and negative effects of honeybees have been reported in 66% of papers (Iwasaki and Hogendoorn, 2022).

During the same period, there has been increasing evidence of bee decline (Decourtye et al., 2019) – understood as a reduction in the population and disappearance of wild bee species (Potts et al., 2010) and abnormally high colony mortality rates (Neumann and Carreck, 2010) – caused by the use of pesticides, habitat destruction and global warming (Durant, 2019; Durant and Otto, 2019; Goulson et al., 2015). In this context, this competition could appear as a new threat to wild bees. In particular, calls for the promotion of managed honeybee colonies to maintain pollination (Lorenz and Stark, 2015) could therefore run counter to the objective of preserving biodiversity (Colla, 2022).

In protected areas, the issue of interspecific competition between honeybees and wild bees leads to important debates about the maintenance of beekeeping activities for the conservation of wild bees (Alaux et al., 2019; Geldmann and González-Varo, 2018; González-Varo and Geldmann, 2018; Saunders et al., 2018). Some scientists plead for an inclusive management of the honeybee in protected areas within its native range (Alaux et al., 2019; Kleijn et al., 2018), with responsible and sustainable beekeeping practices as well as efforts to promote the restoration of native habitats that benefit to all bees. Arguments put forward for inclusive management are, among others, (i) the need to protect the native and locally adapted honeybee subspecies or ecotypes for maintaining its genetic diversity (Alaux et al., 2019) or (ii) the risks of counterproductive conflicts whenever coercive regulation measures are taken unilaterally without involving beekeepers (Kleijn et al., 2018). The latter issue stresses the key importance of social acceptance by stakeholders, and therefore of a better understanding of the ecological processes of competition. In other words, the aim is not only to highlight the existence of local competition in the areas concerned, but also to find management measures adapted to the local socio-ecosystem (Mouillard-Lample et al., 2023). Most studies have stopped at the proof of the existence of competition. However, it seems crucial to move towards operational solutions for beekeepers.

The study by Henry and Rodet (2018) highlighted the existence of competition thresholds based on bee foraging success and linked to distance from the nearest apiary. Using the Apiary Influence Range concept (AIR concept), they propose the introduction of operational management rules based on the competition thresholds observed in their study system, a rather homogeneous

Mediterranean scrubland dominated by Rosemary (Henry and Rodet, 2020). As competition appeared strongest within a 600 to 1100m radius around apiaries, authors proposed simple calculation rules to help land managers to define the recommended minimum distances among apiaries in order to achieve a desired proportion of landscape coverage away from their influence. These approaches raise a number of questions, including the genericity and applicability of the AIR concept to more heterogeneous landscapes with multiple types of floral resources.

To do so, we carried out bee foraging surveys in a natural protected area with diversified floral resources and tested (i) whether there is an observable competition between bees throughout the main floral resources foraged by the honeybee, hereafter referred to as the main resource systems in the study area, and (ii) whether competition is better reflected by distances to the nearest apiary, as in the AIR concept, or rather by bee colony densities. These objectives raise an additional methodological challenge, namely the difficulty to census apiaries in an area of interest, due to the generally inconspicuous, discreet and rather transitory nature of migratory beekeeping. This is a principle of reality, which limits ecological field research as well as the ability of land managers and conservation practitioners to take effective decisions.

We examine these questions in a protected mountainous region in south-eastern France, the *Cévennes* National Park. We studied the effects of competition on the following floral systems: two herbaceous species groups, *Knautia arvensis*. and *Trifolium spp.*, one shrubby species group, brambles *Rubus spp.* and in heathland habitats, either dominated by heather (*Erica cinerea*) or calluna (*Calluna vulgaris*). These have been selected on the basis of the resources used by beekeepers to produce honey. In order to measure competition as a function of the presence of honeybee colonies, we reproduced Henry and Rodet's (2018) protocol by assessing the nectar and pollen foraging success of honeybees and wild bees. Beforehand, we developed an iterative field census of apiaries, combining field inspections and interviews with stakeholders (local beekeepers, national park agents) in order to get an accurate knowledge of the spatial distribution of apiaries within the study area.

Finally, we discuss our results in the light of the literature on exploitative competition between wild and managed bees. We further examine to which extent the general patterns we observed, along with their inherent uncertainties, are robust enough to support operational solutions grounded on the concept of apiary influence range in the *Cévennes* National Park, or even more generally in similar areas.

Material and Method

Study region and floral systems

All of our observations were made in the heterogeneous and mountainous landscapes of the *Cévennes*, a natural area protected by a national park since 1970. The *Cévennes* are mountains in south-eastern France with mountain and Mediterranean climates. The core natural park area extends over 938km² and is composed of a mosaic of landscapes essentially dominated by forests, meadows, heathlands and rangelands. They provide habitats for at least 264 species of wild bees recorded to date (Genoud and Fonderflick, 2021), as well as approximately 26 000 honeybees colonies managed by at least 310 beekeepers (Lehébel-Péron, 2014).

The present study focuses on the main floral resource systems that sustain beekeeping, according to extensive preliminary interviews of local beekeepers. The main interview outcomes are briefly presented hereafter. Full details and methodology can be found in another publication (Mouillard-Lample et al., 2023).

The main floral resources are not homogeneously distributed throughout the study area. In the *Cévennes* valleys are the most important flowering resources for beekeepers (Figure 15): chestnut (*Castanea sativa*), bramble (*Rubus spp.*), heather (*Erica cinerea* and *Erica arborea*), and black locust

(*Robinia pseudoacacia*). Among the dominant tree species of the landscape, chestnut groves were historically planted for the production of chestnuts. Today, most of the chestnut trees are wild rejects that persist in the region spontaneously and provide the most important mass resource for bees and beekeepers in June. In spring, the white heather and the acacia in the *Cévennes* valleys provide important resources for the development of colonies. During the summer, in addition to chestnut, heathlands of *Erica cinerea* and bramble shrubs (*Rubus spp.*) provide an important resource sought by beekeepers. The mixture of chestnut, bramble and heather nectar is characteristic of the honey traditionally called “*Cévennes honey*”. The forests are also the source of a recently emerging resource, probably fostered by global warming in the area, namely the aphid honeydew on non-melliferous tree species (beech, oak...). Interviews revealed that there is a period of resource scarcity in May. Between the flowering of black locust (April) and the flowering of chestnut (June), there is no mass flowering resource. Some herbaceous plants then provide complementary resources to fill this temporal gap. They are visited by honeybees of the apiaries already installed or in the process of being installed in anticipation of the chestnut bloom. Among these resources, clover (*Trifolium spp.*) and scabious (*Knautia arvensis*) are frequently found in meadows. Beside the *Cévennes* valleys, we carried out surveys on the neighbouring massifs *Mont Lozère* and *Mont Bougès*.

In the *Mont Lozère* area, towards the north of the protected area, meadows and heathlands provide bees with a diversity of herbaceous floral resources (Gonella et al., In press). These resources are important mainly in summer, especially in August, along with the flowering of *Calluna* heathlands on the heights of this granite massif.

The *Mont Bougès* area operates a transition between the schistose *Cévennes* valleys and the *Mont Lozère* granitic massif. As such, the whole diversity of floral resources mentioned above are found there.

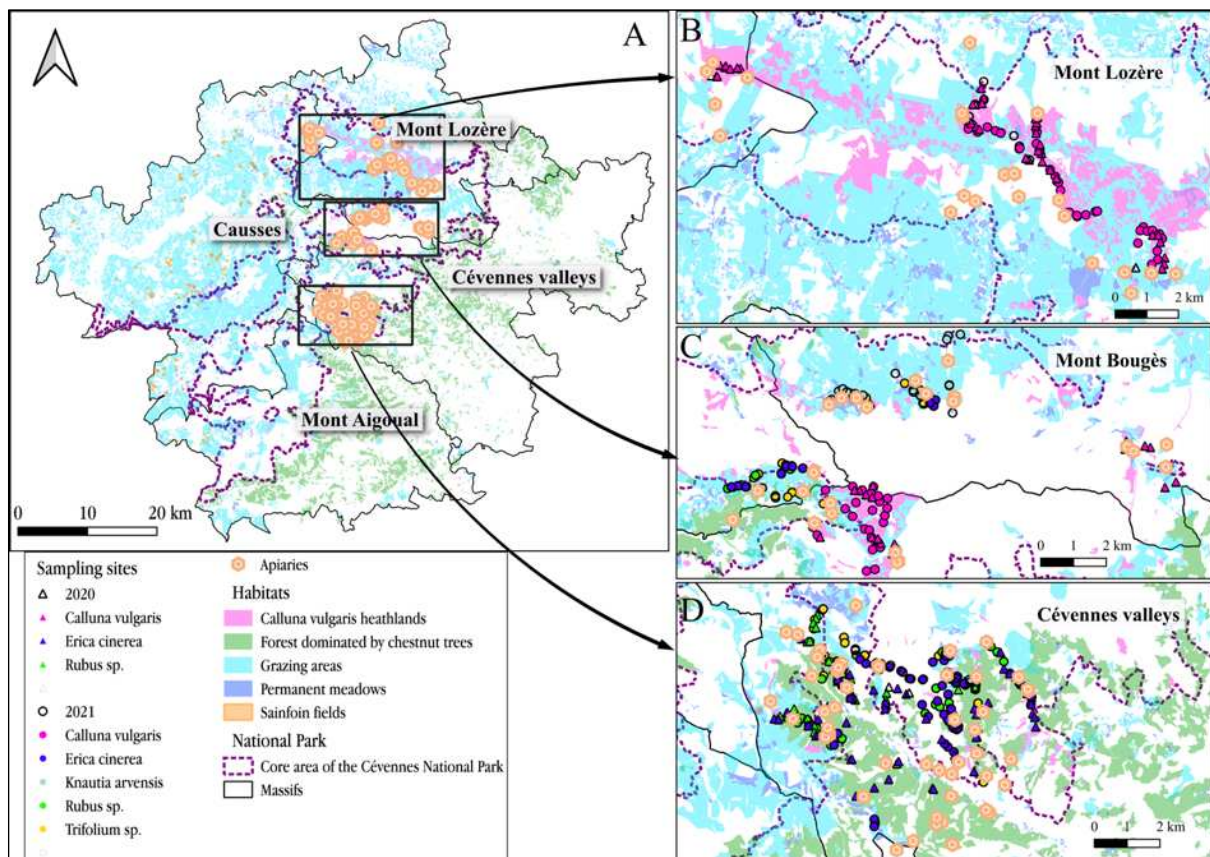


Figure 15 Cartography of apiaries and sampling sites according to floral systems, in the various massifs of our study region. The main habitats rich in floral resources and the boundaries of the national park indicate the geographical context of the sampling sites. Habitats data were sourced from the Cévennes National Park institution (core area, “massifs” limits, heathland habitats) and the National Institute of Geographic and Forestry Information (Institut National de l’Information Géographique et Forestière – IGN; BD Forêt® used to delineate forest habitats; graphic parcel register used to delineate agricultural habitats).

Sampling design

Sample design was drawn from Henry and Rodet (2018) with adjustments to take into account the overall floral systems and beekeeping constraints of the region. We conducted a rapid assessment of honeybee and wild bee foraging success following a spatially extensive sampling strategy. We therefore sampled at many sites covering a wide range of local contexts, including various floral resource systems and different combinations of distances to the nearest apiary and of apiary densities within a median honeybee foraging range (1 to 1.5km, Steffan-Dewenter and Kuhn, 2003).

Identification of floral resources

The choice of floral species study systems was based on several parameters: (i) honeybee attraction based on beekeeper interviews (ii) abundance of resources in the field region estimated after field exploration in order to apply our extensive sampling strategy (iii) complexity of sampling in the field. Faced with the difficulty of sampling on trees such as chestnut, we sampled adjacent mass resources that honeybees may overflow onto: *Rubus spp.* and *Erica cinerea*.

We therefore decided to sample the following floral systems: (i) meadows and patches of *Trifolium spp.* and *Knautia arvensis* which flower before the chestnut between May and June, (ii) *Rubus* shrubs and *Erica cinerea* heathlands which flower at the same time as the chestnut in June-July, and *Calluna vulgaris* heathlands in August (Table 4). *Trifolium spp.* floral system includes 5 clover species sampled during the same period. The samples were taken in three areas: the *Cévennes* valleys, the heathlands and meadows of *Mont Bougès* and *Mont Lozère* (Figure 15). In the *Cévennes* valleys the choice of our study perimeter was directed by the location of known apiaries.

Iterative apiary census

A critical challenge in this study was to achieve the most complete census possible for apiary locations throughout the sampling period and areas, given that no formal regulatory survey exists by any local administration, park service or beekeeping federation. For this purpose, we applied an iterative field census method. We first obtained a starting set of apiary locations from beekeepers as a part of individual interviews (Mouillard-Lample et al., 2023). These interviews allowed us to define areas of beekeeping interest within the study region in relation to the focus floral systems. Prior to each sampling period, we crossed back and forth over the different sampling areas for ground-truthing of the initial set of apiary locations. This allowed to discover other, unknown, apiaries and get additional beekeeper contacts through neighbouring enquiries and word of mouth. The alternance of neighbouring enquiries and ground truthing was iteratively repeated throughout the field study to monitor as accurately as possible apiaries' setting and removal dates.

Sampling site selection

A total of 428 sites were sampled over eight sessions, covering a field study spanning from June 15th, 2020 to August 17th, 2021 (Table 4). A *session* gathers all the sampling sites of the same floral system over the same period in a given year. Each sampling site corresponds – for a given resource – to a flowered surface on which wild and honeybees were captured in order to measure their foraging success (Annex I). Depending on the floral system, the sampling site may correspond to either (i) a group of closely neighbouring shrubs located no more than 50m apart from each other (brambles), (ii) a large patch or a group of closely neighbouring patches of herbaceous floral resources located no more than 50m apart from each other (scabious inflorescences, clover patches), or (iii) a continuous extent of herbaceous floral resources that was sampled over a maximal distance of 50m (clover meadows, *Erica* and *Calluna* heathlands). The maximal extent of 50m for standardized sampling was chosen as half the minimum foraging range reported from wild bees (Zurbuchen et al., 2010), therefore ensuring that sampling sites may be considered as an elementary sampling spatial scale.

The selection of sampling sites was driven first by the presence and flowering of the floral resources of interest and then by the location of the apiaries and the distance to other sampling sites. For the same session, the distance between two sampling sites was a minimum of 150m to minimize possible spatial autocorrelation of honeybee foraging activity (on average 160m, Henry et al. 2012). With this distance between each site, each foraging activity could be considered independent. Some sites were sampled in both years for the same floral system. We randomized the sampling site order with respect to distance from nearest apiary so that sampling locations were independent from time of the day (varying from 9:10 am to 7:15 pm). All samples were performed under favourable weather conditions for bee foraging (no rain, temperature between 12.5°C and 34.5°C, mean wind speed <5.9 m.s⁻¹). Weather metrics were collected during bee captures using a digital thermo-hygrometer and an anemometer (K1000, Kestrel Instruments, Boothwyn PA, USA) in order to control a posteriori for possible weather covariates.

Table 4: Overview of sampling data. Gradient of distance and colony density show the minimal and maximal values of distance to neighbouring apiary and colony density (in apiaries/ km²) in 1km (respectively 1.5km) radius around the sampling site for the lower hypothesis of apiary presence.

Floral System	Year	Period	Sample sites	Bees (Honeybees)	Distance gradient	Colony density 1km (1.5km) radius gradient
<i>Calluna vulgaris</i> heathlands	2020	04-08 & 24-26/08	53	1427 (1068)	38 – 1488m	0 – 53 (3.5 – 44.0)
<i>Calluna vulgaris</i> heathlands	2021	09/08 - 18/08	63	770 (633)	37 – 2318m	0 – 100 (0 – 44.4)
<i>Erica cinerea</i> lands	2020	15/06 - 17/07	57	1165 (1104)	25 – 1513m	0 – 73.2 (0 – 36.2)
<i>Erica cinerea</i> lands	2021	22/06 - 09/07	63	665 (627)	21 – 1158m	0 – 87.4 (5.9 – 47.5)
<i>Knautia arvensis</i> inflorescences	2021	14/06 - 25/06	19	289 (169)	22.5 – 885m	2.2 – 32.8 (1.0 – 24.9)
<i>Rubus spp.</i> shrubs	2020	15/06 - 17/07	54	1508 (1061)	36 – 1424m	0 – 73.2 (3.0 – 36.2)
<i>Rubus spp.</i> shrubs	2021	21/06 - 09/07	60	743 (588)	30 – 1058m	0 – 87.4 (7.0 – 47.5)
<i>Trifolium spp.</i> meadows	2021	25/05 - 15/06	59	910 (621)	50 – 1143m	0 – 40.9 (5.9 – 33.8)

Foraging success

Nectar crop contents and pollen loads were measured to assess the average individual foraging success of wild bees and honeybees at the sampling sites. Only foraging bees were captured and processed. Capture sampling consisted of 15 to 20 minutes of net sampling with two or three observers walking at a moderate speed within the 50m sampled surface of each site so as to capture as many foraging wild bees as possible, and at least 10 (in 2021 sessions) to 20 (in 2020 sessions) honeybees. In the case of small sampling sites, once all the observable foraging bees had been collected, the capture stopped there so as to avoid new arriving bees to the site.

Once netted on the flowers, the bees were cooled to slow down their metabolism and then narcotised for few seconds with CO₂ (ProFlora U500 Cylinder, JBL GmbH & co, Neuhofen, Germany). Bees were identified by gender and sex and their body length from head to abdomen extremity was measured (to the nearest mm). A gentle pressure on the abdomen was applied to regurgitate the nectar from the crop. The volume of nectar extracted and capillary collected with 10µL (±5%) or 1µL (±5%) Hirschman minicaps (Micro Capillary Pipettes, Laborgeräte GmbH & co, Eberstadt, Germany) was measured. A refractometer was used to measure the sugar

concentration of the sampled crop contents so as to set apart those containing mainly water (on very rare occasions in honeybees, sugar undetectable or at fairly low concentration) from those actually containing nectar (typically 20% to 60% weight/weight). The bees were then frozen for later identification or released on site.

These nectar crop content and pollen load values are instantaneous measurements taken at an undefined moment of bees' foraging bouts. It however indirectly reveals situations of deficient foraging success whenever measurements are on average significantly lower than expected in some sampling sites compared to others, i.e. whenever bees appear unable to compensate lower nectar or pollen availabilities by longer foraging bouts.

Data analysis

Computing competition response metrics

As described in Henry and Rodet (2018) and Annex I, the volume of nectar from different bees is not directly comparable. Indeed, the raw nectar volume collected has to be standardised according to the maximum volume of nectar that the crop can store. Annex I shows that this maximum volume depends on the size and sex of the bees. In addition, bumblebees, which are eusocial, seem to have a different allometric relationship between bee size and crop maximum volume than other genera. Using the allometric relationships determined in Annex I the raw nectar volume (nectar standing crop) was converted into a standardised nectar load independent of bee size and sex. The average standardised nectar load was then calculated for each sampling site, and later analysed along with a weighting argument to account for heterogeneous sample sizes among sites (see below).

To standardise the amount of pollen loaded on the scopa and take into account the diversity of bee size and scopa configurations, we reported a pollen score as a value between 0 and 10. This score was built to reflect the percentage of maximal scopa load loaded by the bees. Bees without scopa were discarded from the analysis. These include kleptoparasitic bees such as *Nomada* species which depend on pollen from their host, and *Hylaeus* species which carry pollen internally in their crop.

Computing beekeeping explanatory metrics

For each sampling site we quantified (*i*) the distance to the nearest apiary and (*ii*) the density of colonies within a 1000 to 1500 m radius (average foraging distance of honeybees, Rutschmann et al., 2023). To this end, we first constructed a distance matrix between each site and each apiary present at the time of sampling.

Apiary presence hypotheses

Faced with the uncertainties concerning the exact presence schedule of some censused apiaries, we formulated two scenarios of apiary presence, hereafter named the lower and upper hypotheses. Indeed, some apiaries were found several days after starting the sampling in areas potentially impacted by the apiary (distance less than 2km) and it was not possible to obtain the exact date of arrival from the owner. Similarly, new apiaries were identified in 2021 at locations not surveyed in 2020.

In the lower scenario, in case of uncertainty about the presence of an apiary over a period of time, the apiary was considered absent. It is called the lower hypothesis scenario of apiary presence. In the second scenario, the upper hypothesis scenario of apiary presence, apiaries are considered present on the uncertain period, with a number of hives equivalent to the period during which their presence was ascertained. Analyses were therefore performed separately for both scenarios to assess to which extent the uncertainty on apiary presence would affect overall conclusions.

Distance, minimum apiary size and colony density

In each scenario we calculated distance to the nearest apiary. The size of apiaries censused in the course of the study ranged from 1 to 177 colonies (mean=47, median=35). It could be assumed that smaller apiaries, i.e. with fewer colonies, harvest fewer resources and may have less impact on

the amount of resources available and therefore on bee foraging success. Therefore, we hypothesised that taking into account the smallest apiaries, with presumably low influence, as a part of the nearest distance analysis would somehow alter the ability of the study to detect spatial patterns in competition metrics. In that respect, on top of the analysis with all apiaries included, we recomputed a set of alternative candidate models considering a minimum apiary size for computing distances to the nearest apiary, namely eight, 16 or 24 colonies. When calculating the distance to the nearest apiary, apiaries with a number of colonies strictly below this minimum size were not taken into account. These threshold values were chosen according to the usual beekeeping practices in the area. Hobbyists tend to have small apiaries with 7-8 beehives, while professionals have apiaries with at least 25-30 colonies. The value of 24 colonies per apiary corresponds to the minimum size of a professional apiary for beekeepers to receive an agri-environmental grant from the Common Agricultural Policy for the pollination of a natural area. Apiaries with about 16 colonies are often favoured by sedentary professionals who do not apply for agri-environmental grant, and this corresponds to a number of colonies that can be easily transported in a small vehicle for semi-professionals.

Additionally, we calculated the colony density, i.e. the number of colonies per square kilometre in a given radius around the apiary. We chose to consider two radii of interest: 1km around the sampling site which encompasses most of foraging ranges usually covered by solitary bees (Zurbuchen et al., 2010) and the apiary influence range assessed in Henry and Rodet (2020); or 1.5km around the sampling site which corresponds to the average honeybee foraging distance (Rutschmann et al., 2023).

Computing weather covariates

We wondered whether the data could be influenced by the weather conditions (temperature, relative humidity, average wind speed, maximum wind speed) and the time of day. While nectar secretion is thought to be continuous throughout the day – with volume dynamics variation between floral resources (Marina et al., 2004)–, the amount of available pollen is thought to be only offered once from the morning, it is therefore important to test the effect of the time of capture. We found evidence that time and weather covariates were collinear. We therefore synthesized their variations using a principal component analysis (PCA). PCA allows to summarise several intercorrelated variables into a subset of principal components. The PCA resulted in two dimensions covering 70% of the inertia. The first principal component (38% of inertia) sums up wind speed variables. The second principal component (32%) stands for an index of hygrothermal conditions, varying positively with temperature and time of capture and negatively with relative humidity (Figure 22).

All computed metrics are summarised in Table 5.

Table 5: Computed metrics.

Type of metric	Measured variable	Scope of the variable	Method of calculation
Competition metrics (Response variables)	Nectar foraging success	Wild bees	Standardised nectar load according to bee size and sex
		Honeybees	Nectar volume (μL)
	Pollen foraging success	Wild bees	Pollen score according to maximal scopa score
		Honeybees	
Beekeeping metrics (Explanatory variables) 2 scenarios of apiary presence: lower hypothesis or upper hypothesis	Distance to the nearest apiary	Independent of apiary size	Continuous variable
		Dependent of apiary size	Binary threshold variable
			Continuous variable
	Colony density	1 km around the site	Binary threshold variable
		1.5km around the site	Continuous variable
			Binary threshold variable
Weather covariates	Max wind speed	} 1 st dimension of PCA analysis = wind speed variable	
	Mean wind speed		
	Relative humidity	} 2nd dimension of PCA analysis =	
	Temperature		
	Time of capture		hygrothermal conditions

Modelling competition scenarios

We performed analyses with the R software for statistical computing, v. 4. 2. 1 (2022 The R Foundation for Statistical Computing).

Step 1: Preliminary analyses and model assumptions

In a preliminary step, for each competition response variable (nectar and pollen foraging success in wild bees and the honeybee), we computed a series of simple one-way GLMM models including a single explanatory beekeeping metric. Those preliminary models were intended to identify the most appropriate family function to describe error distribution, as well as to assess the necessity to account for possible spatial autocorrelation. GLMMs were computed with the *glmmTMB* package. The error distribution, normality and homogeneity of the residuals were inspected using the *testResiduals* function of the *DHARMA* package. In some cases, e.g. for the nectar and pollen foraging success of wild bees, the residual normality requirements of models were not satisfactorily met due to overdispersion arising. We then reduced the overdispersion by specifying the *tweedie* family in the models, which is well suited for continuously valued data with a high proportion of very low or zero values.

We were concerned that the capture protocol could generate spatial autocorrelations. Indeed, captures made in the same sector during the same period and on the same distance gradient during the same day are likely to generate spatial autocorrelations. Possible spatial autocorrelation within each model was tested using Moran's test. In the case where spatial autocorrelation was detected (for honeybee nectar foraging success), we specified a structured variance-covariance matrix (Matérn process correlation) based on coordinates of each sampling site (Stein, 1999). With this correction the *a posteriori* Moran test confirmed the absence of spatial autocorrelation in the different candidate models.

After setting the appropriate GLMM family distribution and spatial autocorrelation terms for each competition response variable, we assessed whether models might take into account possible variations arising from weather covariates. The effect of weather conditions (wind speed and hygrothermal index) on foraging success were tested. No significant effect of these variables was shown on nectar foraging success. On the contrary, we observed significant effect of these variables on pollen foraging success.

Step 2: Comparison of different competition scenarios to test beekeeping metrics effects

We computed and compared different scenarios, each scenario being a candidate empiric model linking a competition metric with a beekeeping metric. Beekeeping metrics may be either colony density or distance to nearest apiary. Only "one-way competition scenarios" are compared, i.e. beekeeping metrics are never combined in a single model because these metrics are correlated among each other. In the absence of the effect of weather covariates, i.e. for nectar foraging success, each beekeeping metric was expressed either as continuous variable or as binary variable (above or below a given distance/density threshold). In contrast, for pollen foraging success, beekeeping metrics were considered as continuous variables interacting with weather conditions. The models were weighted by the number of bees captured in each sample site. Following a heuristic approach, we compared all candidate models using Akaike Information Criterion (AIC) (Burnham and Anderson, 2004). As the number of samples was sometimes small relative to the number of model parameters to be estimated (K), we compared the models using the AIC corrected for small samples (AICc), computed with the *aictab* function from the *AICcmodavg* package. Best models were selected as model with the lowest AICc. We considered models with a $\Delta AICc < 2$ as equivalent best models. Models with $\Delta AICc < 7$ from the lowest-AICc model were considered as models of interest to include in the model confidence set. The model confidence sets returned under the upper and the lower hypotheses were compared in order to identify the most relevant candidate models given uncertainties on apiary presence.

Step 3: Effects of floral system and year

In all our analyses we accounted for joint effects of floral system and sampling year. Sites sampled in the same session (i.e. from the same floral system sampled in the same year) are considered as non-independent. We therefore specified the Session identity as a random grouping variable in the GLMMs.

In a first step, we followed a generic approach. The effects of beekeeping metrics were tested so as to measure a session-independent effect. Session variable was considered as a random effect so each system adds a random deviation from the general trend which is session-independent. In a second step, a system-specific approach was undertaken when the degrees of freedom allowed it in a reasonable way, i.e. for simple models without interacting weather conditions that affect the model's statistical power and robustness. For nectar foraging success scenarios, session variable was then also tested as a fixed effect interacting with beekeeping metrics. In this case we tested the effects for each session individually.

Results

Weather conditions impact pollen but not nectar foraging success

Our analysis shows the importance of considering the effects of weather conditions on the pollen foraging success of both wild bees and the honeybee (Table 6). Indeed, preliminary analyses have detected significant effects of the weather principal component variables (Table 7), namely wind speed variables on the one hand, and hygrothermal conditions on the other hand (time of capture, temperature, and relative humidity). Moreover, the AICc of models controlling for weather conditions are generally much lower than that of scenarios that only include beekeeping variables (Table 15 and Table 16). For honeybees and wild bees, the models considering the interaction between a beekeeping variable and all weather variables are the best candidate models, i.e. those with the lowest AICc of all models.

For nectar foraging success, on the contrary, our analysis shows that there was no significant effect of weather conditions (Table 6). Whenever the effect of a weather covariate was considered significant in a model with only that variable, it was not significant in interaction with a beekeeping metric. We therefore decided to discard weather condition metrics from nectar foraging success analyses.

Table 6 Effect of beekeeping metrics on competition metrics of bee foraging success resulting from generic scenarios (session-independent). The minimum apiary size refers to the minimal number of honeybee colonies in an apiary to consider in the calculation of distance; all apiaries with less colonies than the minimum apiary size are neglected.

Bees	Foraging success of	Density or distance effect	Threshold identified	Weather effect	Minimum apiary size	Sign of the effect
Honey bees	Nectar	Distance	No	No	16 – 24 colonies	+
	Pollen	Colony density (1km radius)	Not tested	Yes	NA	- (<i>except with low wind speed</i>)
Wild bees	Nectar	Distance	350m or 630m	No	16 colonies	+
	Pollen	Distance	Not tested	Yes	16 – 24 colonies	+ (<i>low hygrothermal conditions</i>) - (<i>otherwise</i>)

Lower and higher apiary presence hypotheses deliver congruent results

Assuming that all uncertain apiaries are occupied at the time of the survey (upper hypothesis), the results converge with those obtained under the lower hypothesis, whereby only apiaries whose presence was ascertained in the course of the sampling session were taken into account.

Whatever the competition measure analysed, model selection and model estimates deliver congruent results. In other words, the results are consistent regardless of the hypothesis regarding the presence of apiaries. Indeed, for all competition metrics, similar candidate models appeared as the most likely scenarios within the model confidence sets – i.e. including either apiary distance-related metrics or colony density-related metrics. Likewise, null models, standing for scenarios of absence of effect of beekeeping metrics, were judged highly unlikely (Table 11, Table 12, Table 15, Table 16).

There were some minor differences in the selection of the best scenarios under the upper or lower hypotheses, mostly related to the definition of minimum apiary sizes or distance thresholds. The differences will be further presented and discussed below. This overall indicates that the iterative apiary census methodology was satisfactorily efficient. We chose to present hereafter the results proceeding from the lower hypothesis, which also leads to more conservative recommendations for wilds bees given that conclusions are grounded on somehow underestimated beekeeping metrics. Nevertheless, all the model selection results proceeding from the upper apiary presence hypothesis are available in Table 11, Table 12, Table 13, Table 14 Table 15 and Table 16.

Minimum apiary size matters for the effect of distance

All our analyses lead to consistent conclusions on the selection of models within the confidence set that include a minimum apiary size for nearest apiary distance effect, either for pollen and nectar foraging success, for honeybees and wild bees, as well as for the upper and lower hypotheses (Table 11 and Table 13). In most cases, the best models are those that include an effect of distance to the nearest apiary with 16 colonies or more. In some scenarios, models considering a minimum apiary size of 24 or of eight colonies performed better as indicated by higher AICc weights.

Bee nectar foraging success is impacted by distance to nearest apiary

Distance to the nearest apiary and colony density impact nectar foraging success of wild and honeybees

Our results reveal the existence of significant effects of distance and colony density on the quantity of nectar harvested by both wild bees and the honeybee (Table 6). In both cases, models considering an effect of the distance to the nearest apiary or colony density at 1 or 1.5 km around the sampling site had a better AICc than the null model (Table 11 and Table 13)

Table 13. In these scenarios, nectar foraging success increases significantly with distance from the nearest apiary (Figure 16 and Figure 17) or decreases significantly with colony density around the sampling site. Model selection based on AICc reveals that nectar foraging success of honeybees and wild bees is best modelled by the distance metric. This suggests that distance from the nearest apiary is a better predictor of competition than colony density.

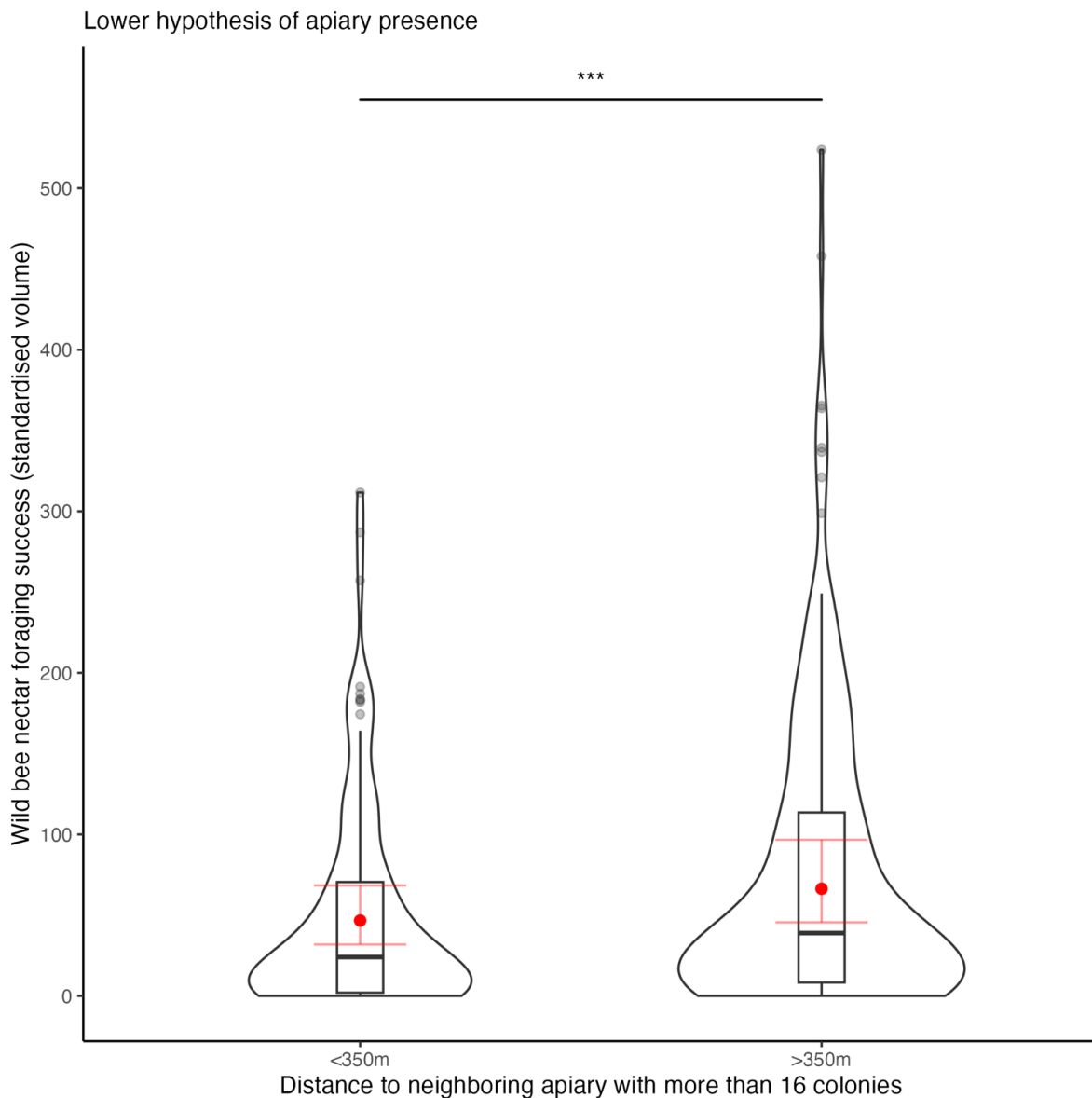


Figure 16: Foraging success of wild bee relative to distance threshold to neighbouring apiary with more than 16 colonies. Size of violin area is proportional to the number of sampling data for each session and threshold. Predicted value obtained through the model for each threshold are represented in red with the 95% confidence interval.

Threshold effects suggest a determined apiary influence range for nectar foraging success in wild bees

In order to identify operational values for beekeeping management of floral resource sharing, we tested whether the effects of beekeeping metrics on foraging success were continuous or would be better described by a two-stage threshold effect (i.e. below- vs. above-threshold binary variable) like in Henry and Rodet (2018). Wild bee nectar foraging success is best modelled by a threshold effect of distance to the nearest apiary (Table 11). Our results suggest that there is a significant 43% increase in the nectar foraging success of wild bees beyond a distance of 350m from the nearest apiary in the lower hypothesis of apiary presence (Figure 16) and a significant 41% increase beyond a distance of 630m in the upper hypothesis (Figure 23). On the contrary, honeybee nectar foraging success is best modelled by a continuous effect of distance to the nearest apiary. Over the range of distances covered by our sampling, the quantity of nectar foraged by honeybees increases continuously with distance from the apiaries (Figure 17).

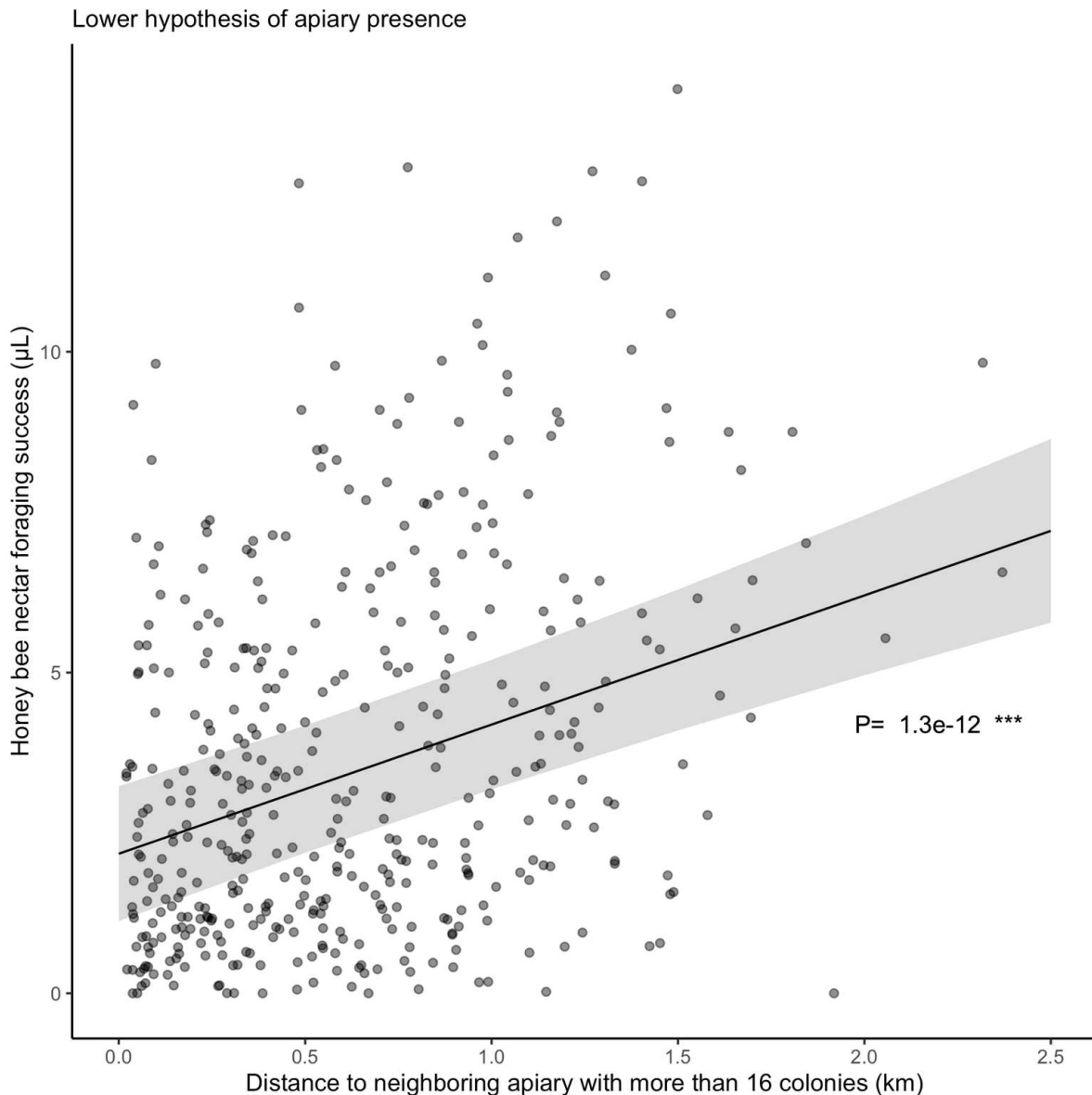


Figure 17: Foraging success of honeybee relative to distance to neighbouring apiary with more than 16 colonies. Each point represent a sampling site data. Predicted trend is represented in black with the 95% confidence interval. P-values was considered significant at a 0.1% level (***).

Pollen foraging success

In contrast to the results on nectar foraging success, analyses of pollen harvesting by both wild bees and the honeybee had to control for weather covariates. While taking into account interacting effects of wind speed or hygrothermal conditions, the best models highlight an effect of (i) distance to the nearest apiary on pollen foraging success for wild bees, and of (ii) colony density within a 1km radius on pollen foraging success for honeybees.

First, in the case of female wild bees, pollen foraging success is best modelled by the joint, interacting, effects of all the weather covariates and the distance to nearest apiary with at least 16 or 24 colonies (Table 15). Models considering colony density or weather parameters alone have a sufficiently higher AICc to be discarded (>9). The best candidate model suggests a significant effect of the hygrothermal conditions. When this variable is low, i.e. the lower the temperature or the earlier the day, there is a significant positive effect of the distance from the nearest apiary with more than 24 colonies (Figure 18). The amount of pollen transported by wild bees increases with the distance from the nearest apiary. However, this tendency is mitigated or even reversed when the hygrothermal index increases. Wind speed, on the other hand, positively reinforces the effect

of distance to nearest apiary. The faster the wind, the greater the pollen foraging success increases with distance to nearest apiary.

In the case of honeybees, the wind speed alone conditions the effects of apiary metrics on pollen foraging. The best model is the one that includes colony density within a 1km radius as an explanatory variable. When wind speed is low - relative to the conditions observed in our study - pollen foraging success increases as colony density increases (Figure 19). On the other hand, when wind speed is higher, we observe a significant inverse effect of density. The higher the colony density, the lower the pollen foraging success. Hygrothermal conditions have an effect on the intensity of the effects of both wind speed and colony density. The higher the hygrothermal index, the lower the estimated effects of wind and colony densities.

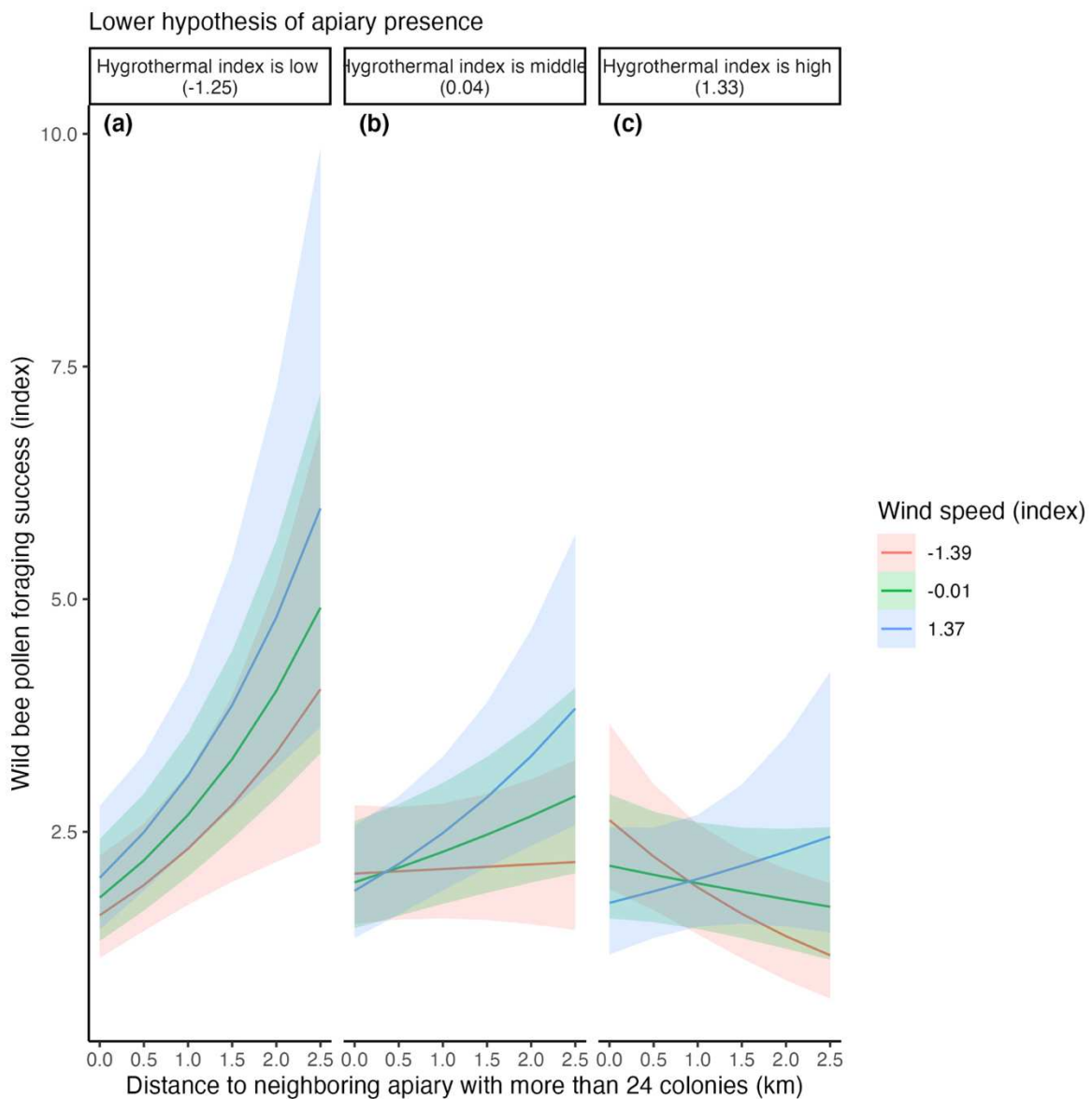


Figure 18: Effect of weather conditions and distance to nearest apiary (lower apiary presence hypothesis) on pollen foraging success of wild bees. Hygrothermal index is a mixed variable combining temperature, relative humidity and hour of capture. Given the interaction between our different continuous variables, predicted trends are calculated for different value of weather conditions. They are represented with 95% confidence interval.

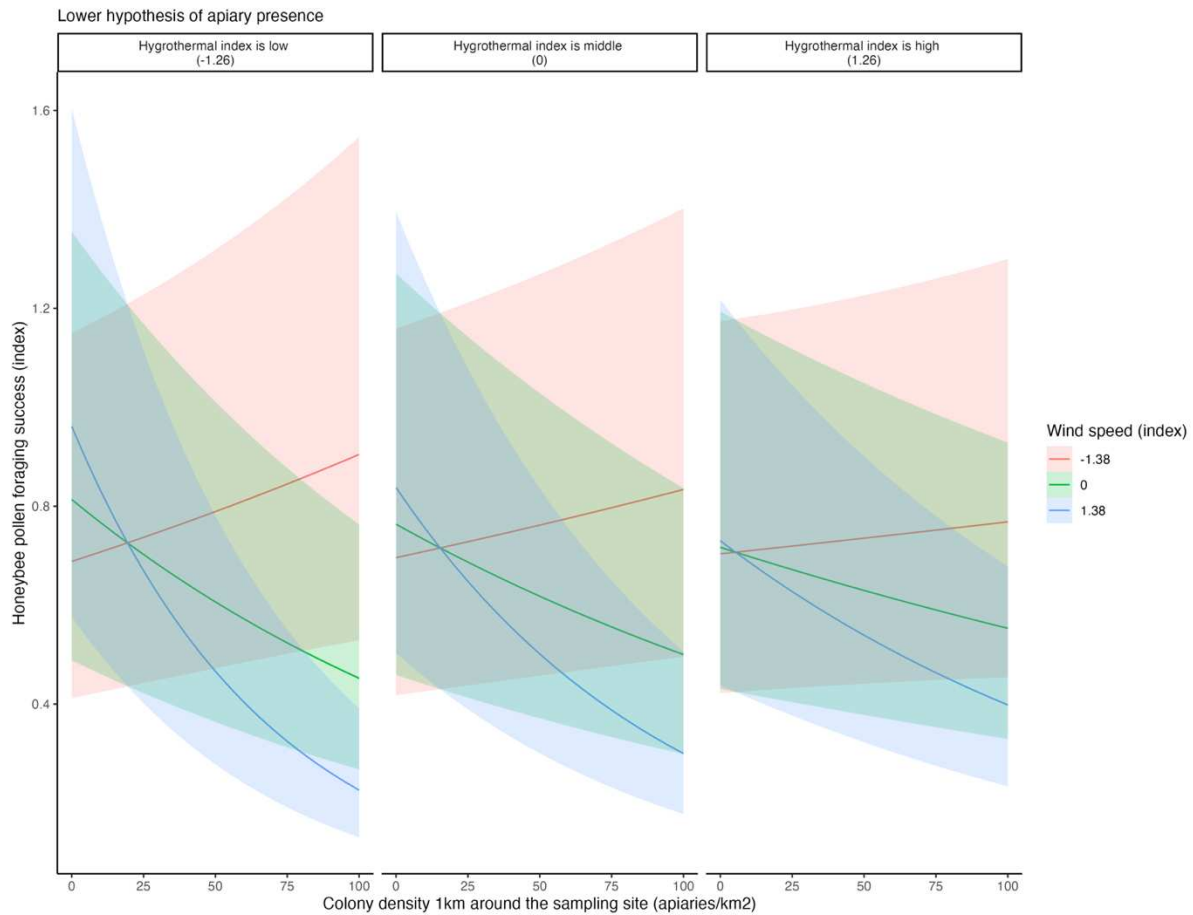


Figure 19: Effect of weather conditions and distance to nearest apiary (lower apiary presence hypothesis) on pollen foraging success of honeybees. Hygrothermal index is a mixed variable combining temperature, relative humidity and hour of capture. Given the interaction between our different continuous variables, predicted trends are calculated for different value of weather conditions. They are represented with 95% confidence interval.

Beekeeping metrics have different effects depending on floral resource systems and year

While we were able to highlight generic trends, i.e. with all sessions (combinations of floral system and study year) implemented as a source of random deviations from a general trend, these effects obviously vary substantially according to the year and floral system. In this complementary analysis, session was rather considered as a fixed, categorical variable, allowing to statistically describe their respective effects. We restricted this analysis to nectar foraging success which were adequately modelled by simple beekeeping metrics without controlling for weather covariates.

These so-called session-specific models indeed revealed competition patterns strongly session-dependent. In the case of nectar foraging success of wild bees, these models returned much lower AICc values than models including a random session effect, which can be explained by a finer adjustment of the models to the observed data. The best model is the one that includes a threshold effect of 330-350m distance from the nearest apiary with more than 16 colonies. In this model, a significant increase in foraging success above the threshold is estimated for all the sessions except for the sampling sessions on *Calluna* and *Rubus* in 2021. In this case, no significant variation is observed (Figure 20).

In the case of honeybees, best models are those including continuous effects of distance from nearest apiary with more than 8, 0 or 16 colonies (model ranked by decreasing AICc). In all these models, nectar foraging success increases significantly and continuously with distance for most sessions taken individually (Figure 21) similarly to the effect detected in generic model (Figure 17). No significant effect of distance was observed for the following sessions: *Erica cinerea* in 2020, *Rubus*

spp. in 2020 and *Trifolium spp.* in 2021. However contrary to wild bees, these session-specific models returned much higher AICc than generic models.

Our results thus shows that the effects of beekeeping metrics are not always consistent from one year to the other and from one floral system to the other.

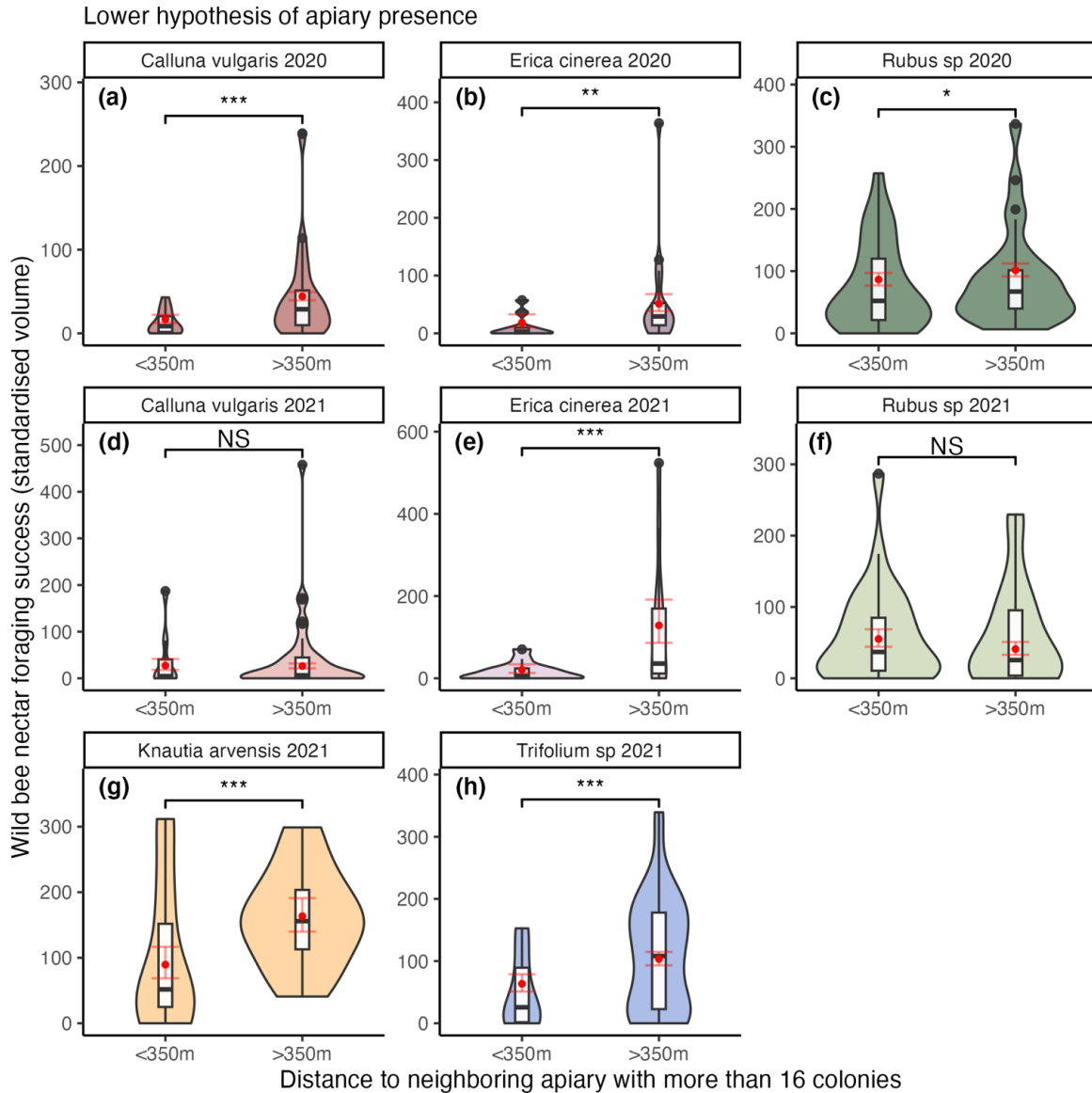


Figure 20: Foraging success of wild bee relative to distance threshold to neighbouring apiary with more than 16 colonies for each session. Size of violin area is proportional to the number of sampling data for each session and threshold. Predicted value obtained through the model for each threshold are represented in red with the 95% confidence interval. P-values were considered significant at a 5% level (*), significant at a 1% level (**), significant at a 0.1% level (***) or not significant (NS).

Differences between the upper and lower apiary presence hypotheses

As mentioned above, the statistical results are fairly consistent between the two analyses considering different hypotheses for the presence of apiaries. We present here the few divergences, which mainly concern the detection of thresholds effects for nearest apiary size or distance. For example, in the case of nectar foraging success of wild bees under the lower hypothesis, the best candidate models are those that include the effect of distance to apiaries with more than 16 colonies

within a distance threshold of 350, 450 or 650 m (scenarios ordered from lowest to highest AICc). In contrast, under the upper hypothesis, the best models are those that include a distance threshold effect at 630m, 730m with a minimum apiary size of 16 colonies, or 690m with no minimum apiary size. By contrast, both hypotheses are consistent concerning best session-specific models (threshold effect at 330 – 350m distance).

For nectar foraging success of honeybees, the three candidate models are those including an effect of distance to apiaries with more than 0, 16 and 8 colonies (model ranked by decreasing AICc). However, in the upper hypothesis, the best model is the one that calculates distance using a minimum apiary size of 24 colonies.

For pollen foraging success of wild bees in the upper apiary presence hypothesis, the best model is the one that tests the effect of distance to apiaries with more than 16 colonies. In this case, the interacting effect of the hygrothermal index is even stronger.

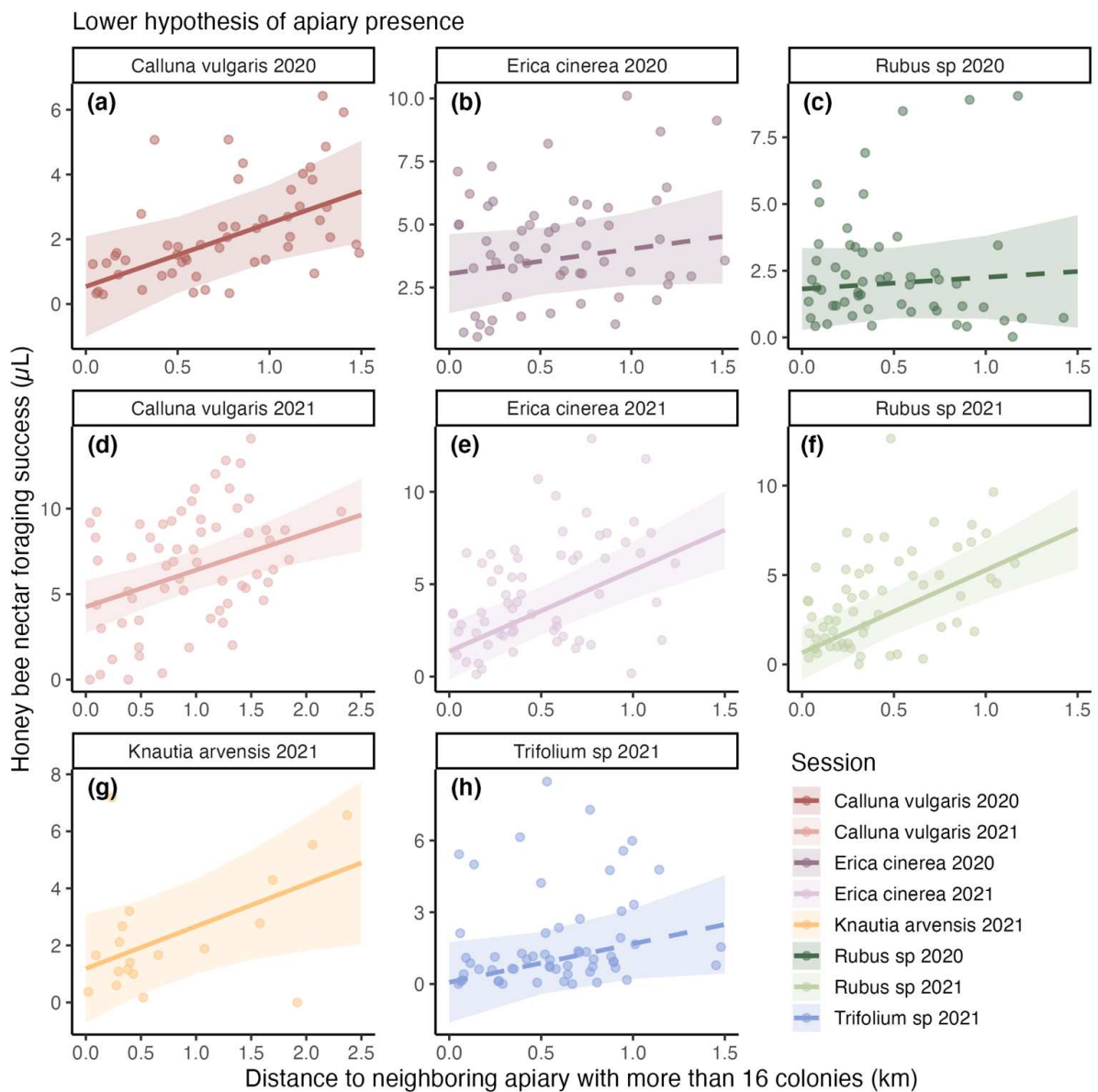


Figure 21: Foraging success of honeybee relative to distance to neighbouring apiary with more than 16 colonies for each session. Predicted trend are represented with the 95% confidence interval. Solid lines represent significant effect at level 5%, dashed lines represent non-significant effect.

Discussion

This article describes the results of a two-year survey of nectar and pollen foraging success of honeybees and wild bees in different floral systems in 2020 and 2021 in a National Park (Cévennes, France). First, the iterative apiary census proved to be a feasible method for obtaining an adequate picture of beekeeping activity and assessing bee competition patterns over a wide area. Second, our foraging success measure revealed the existence of general and consistent spatial patterns driven by beekeeping metrics. Distance to the nearest apiary and colony density appear in our models to be significantly correlated, respectively positively and negatively, with both nectar and pollen foraging success of honeybees and wild bees. These results tend to confirm the apiary influence range concept developed by Henry and Rodet (2020). However, our results also highlight the variable nature of this concept depending on the considered floral systems, the study year, the weather conditions and the size of apiaries. These variations raise uncertainties and concerns about the development of effective beekeeping regulation measures and effective floral resource management. In this discussion, we first highlight the contributions of this work to the concept of apiary-influence range in the context of a multiple resources area. We then discuss how our analyses of bee foraging success reveal exploitative competition between bees in our study area and its possible implications for bee population fitness. Finally, we focus on the key issues arising from these results, both in terms of ecological evidence for competition and floral resource management.

Access to beekeeping metrics when the georeferencing of apiaries is uncertain through a field census

One of our main challenges was to be able to access all beekeeping metrics (apiary distance and colony density) in the absence of any prior knowledge on the location of apiaries in the study area. In the field, before and throughout the study, we referenced the arrival of honeybee colonies in the area, concomitantly with surveys of foraging success. The consistence of our results under the two hypotheses of apiary presence confirms the existence of a pattern of distance and density effects that is sufficiently robust to the uncertainties of the apiary census. Furthermore, for all competition metrics, our results are congruent with the existence of a minimum apiary size (16 or 24 colonies according to best scenarios) in the calculation of distance to the nearest apiary. Any errors in counting small apiaries owned by hobbyist beekeepers, which are often the most difficult to detect because they are less visible and located on private plots that are less accessible by vehicle, therefore appear to be negligible. The combination of this ecological work with interviews with beekeepers and field surveys means that the overall census is robust enough and sufficient to study the interactions between bees and floral resources.

Apiary-influence range, a repeatable pattern that entails uncertainties

One of the objectives of this study was to determine whether it is possible to transpose the Apiary Influence Range (AIR) concept developed by Henry and Rodet (2020) to complex floral systems with multiple floral resource species. To describe the competitive effect of distance on bee foraging success, Henry and Rodet proposed a model in a rather homogeneous floral resource throughout a Mediterranean scrubland. They defined the apiary influence range as "a distance threshold beyond which expected competition is relaxed". The generalisation of the AIR concept raises 3 questions. (i) Is distance to the neighbouring apiary the best indicator of nectar and pollen foraging success among the two operational beekeeping metrics (apiary distance and colony density)? (ii) is there a quantifiable distance threshold effect? (iii) Is this pattern observable throughout the dominant floral systems in the area of concern?

Which beekeeping indicator best reflects foraging success?

Distance appears to be the best indicator for all the competition metrics studied, except for pollen foraging success of honeybees, globally in line with the findings of Henry and Rodet (2018). Unlike them, we found a significant effect of distance on the pollen foraging success of wild bees, which they were unable to detect. But they did find an effect of distance on the pollen foraging success of honeybees, whereas in our study the effect of colony density was a better indicator than distance, although this effect is also conditioned on weather conditions, particularly wind. Overall, our results converge towards the validation of the AIR concept applicability to heterogeneous landscapes with regard to the distance effect prevailing over colony density effect.

Is there a distance threshold effect?

We only found a distance threshold effect for the nectar foraging success in wild bees. Although the distance threshold estimates vary according to the selected apiary presence hypothesis, our analyses converge towards the existence of a distance threshold below which the nectar foraging success of wild bees is significantly lower. Under the upper hypothesis, the threshold is consistent with Henry and Rodet's findings and is around 700 metres from the nearest apiary. Under the lower hypothesis, the best candidate model is the one including a distance threshold of 300 metres. The models including a 400 or 600 metres threshold are in the confidence set as well.

Contrary to Henry and Rodet (2018), our statistical analyses of honeybee foraging success converge towards models that include a continuous effect of distance rather than a threshold effect. In their study, this threshold effect was estimated to occur at about 1100 m (Henry and Rodet, 2018). Our sampling distance gradient, limited by the presence of numerous apiaries in the area, did not allow us to cover a sampling gradient that encompassed this threshold (in 50% of the sessions the maximum sampling distance covered by the survey is less than 1200 meters, see

Table 4: Overview of sampling data. Gradient of distance and colony density show the minimal and maximal values of distance to neighbouring apiary and colony density (in apiaries/km²) in 1km (respectively 1.5km) radius around the sampling site for the lower hypothesis of apiary presence. for more details). We might then observe only the initial part of the response (a continuous response) and we may therefore be unable to detect a distance threshold.

For the pollen foraging success, given the complex interplay with weather covariates, the dataset was judged insufficient to adequately test the distance threshold hypothesis and predict meaningful distance threshold estimates.

Is this pattern observable throughout the dominant floral systems in the area of concern?

In addition to the different effects on the competition metrics examined in our study, we also observed different effects depending on the floral system. For some floral species, we observed no significant effects of distance or density. The effects of the beekeeping metrics, and therefore *a fortiori* of the apiary influence range, depend on both the studied resource system and the year.

All in all, it seems that the concept of apiary influence range can be generalised to the nectar foraging success of wild bees. However, the distance gradients covered in our study are probably too restrictive to establish an accurate distance threshold permitting a generalisation of the AIR concept to honeybee foraging success. For pollen foraging success, however, more detailed measurements are needed to estimate any threshold effects in addition to the effects of weather conditions.

In this study, our main objective was to show a generic effect of beekeeping metrics, independently of resource systems. Thus, for the study of thresholds, we only considered models that included the effect of a single threshold of distance from the apiary for all systems and years combined. More data would be needed to derive specific distance thresholds for each individual floral system. Although we have identified generic thresholds, the differences in effects between the different sampling sessions suggest that there may be different thresholds for different resources. For

example, in the case of *Calluna vulgaris* sessions, the wide sampling gradient in distance from the nearest apiary may be sufficient to discriminate a threshold distance effect on honeybee nectar foraging success.

Our results appear to reflect an effect of resource scarcity on competition through interannual variations. For example, during our sampling on *Calluna* heathland, we observed a substantial difference in heathland moisture between the two years. In 2020, heathland was dry, with few hotspots of wet heathland. Bumblebees were then found predominantly in the wet hotspots, consistent with the literature (Franklin et al., 2018). Bumblebee nectar crop volumes appeared quite high on these sites whereas most honeybee crops were empty. A distance pattern of competition was significantly detected in this year, which was considered as a poor honey production year by beekeepers. In 2021, on the contrary, heathlands were globally wetter due to greater rainfalls in July, and honeybee nectar crop volumes were much higher than in 2020 (Figure 21). We found fewer bumblebees than during the 2020 session, possibly due to a bumblebee spatial dilution effect or to competitive exclusion. For this session we could not test for possible pattern of competition on foraging success. According to beekeepers *Calluna* honey production was quite high this year. This interannual variation raises the question of the effect of resource scarcity. During the period of resource scarcity wild bees seem to compete for resources close to the apiary. However, it is difficult to conclude whether bumblebees are spared from this effect due to a greater ability to compete on wet hotspots or whether competition impact their flying time for foraging. During a better period of resource production, however, it seems difficult to conclude whether there was no competition or whether we were unable to detect it due to bee dilution (Holzschuh et al., 2016).

An original contribution of this study to the concept of AIR concept is the consideration of a minimum apiary size. Our results suggest that all apiaries do not have the same impact on bee foraging success. When a distance effect has been detected in our analysis, the best scenarios were those with a minimum apiary size of 16 or 24 colonies. This implies that smaller apiaries may not be included in the distance effect analysis, i.e. smaller apiaries have limited influence ranges compared to larger apiaries. Further analyses are needed to demonstrate whether the apiary size impact the range of influence of an apiary. Nevertheless, this minimum apiary size could explain why experiments introducing as few as four honeybee colonies did not detect any effect on wild bee communities (St. Clair et al., 2022).

Linking food limitation due to exploitative competition and consequences on wild bee fitness and populations

If our results show that beekeeping metrics do have an impact on the foraging success of honeybees and wild bees, does it stand for competition among bees, and how this competition may translate to bee populations and fitness? In this section we wonder whether our results can be considered as indicative of exploitative competition, both at intraspecific and interspecific levels. Finally, we discuss the relationships between food limitation and reproductive success.

Competition metrics in the honeybee: behavioural trade-off or food limitation effect?

For honeybees, the effect of distance on foraging metrics can be seen as a behavioural trade-off rather than a by-product of competition *per se*. Bees that travel farther away from their colony may harvest heavier nectar or pollen loads so as to adjust the profitability of their foraging flight with the distance actually travelled (Núñez, 1982). Such a behavioural effect may not be excluded here. This pattern was indeed highly consistent in our study, detected both as a general pattern and for every single session taken separately. It could also explain why the distance effect on honeybee foraging metrics was best described as a continuous pattern rather than a threshold one. For nectar foraging success, the distance effect may be partly related to this behavioural trade-off between

distance and harvest. Henry and Rodet (2018) have shown a decrease in nectar availability on flowers that allow them to discriminate this behavioural trade-off effect from a competitive effect. We were not able to study nectar availability on flowers. However, two reasons suggest that a competition effect could be detected in our results. First our results show that models with a significant (negative) effect of colony density have much higher AICc than the null model. Second, under the upper apiary presence hypothesis, we found that distance effect is dependent of apiary size. Thus, the distance effect would therefore better explain honeybee foraging success when smaller apiaries are neglected. All in all, our results suggest thus that distance effect could at least be a joint effect of a behavioural trade-off and a competition effect. In addition, we found that pollen foraging success of honeybees decreases with colony density except under weak wind speed conditions. This pattern suggests the existence of intraspecific competition depending on weather conditions.

Evidence for interspecific competition for nectar, but only under certain weather conditions for pollen

Our study reveals the existence of consistent patterns of decreasing foraging success at shorter distances from apiaries. This correlation likely reveals exploitative competition for floral resources. Herein, we were unable to quantify actual floral resource availability, also termed the standing crop. However, Henry and Rodet (2018) found the same pattern of food limitation associated with a decrease in floral resource availability near the apiary. We can therefore assume that the decrease in foraging success is due to a resource depletion by honeybee foraging. In fact, although it varies according to season and landscape, the average foraging range of honeybees remains between 500 m and 1500 m (Rutschmann et al., 2023). The impact of colonies on resource harvesting therefore appears to be close to the threshold described in our analysis. Analysis of honeybee foraging intensity, both as a function of distance from the apiary or colony density and as a predictor of foraging success, would complete our analysis to strengthen the evidence for exploitative competition (Henry and Rodet, 2018).

Concerning pollen foraging success, the effect of weather conditions make evidence for competition more complex. Our results suggest that competition occurs with wild bees under cooler conditions or in the morning rather than in the evening. At the end of the day, on the contrary pollen foraging success increases near apiaries. However, foraging success is lower than in the morning, which is consistent with the study showing that pollen availability peaks in the morning (Percival, 1955). Therefore, even if competition could be reduced in the afternoon, fewer resources are harvested during this period. On the other hand, except under low wind speed conditions, our results support an exploitative competition between honeybees for pollen.

From food limitation due to competition effect to impact on fitness

In our study, we found evidence of foraging success decrease due to exploitative competition near apiaries or in case of high colony density – under specific weather conditions. The question of whether this food limitation is related to a decrease in fitness still remains. We did not analyse the reproductive success of wild bee populations or honeybee colonies. Therefore, we cannot conclude on the effect of reduced foraging success on the fitness of bee populations. Nevertheless, floral resources limitation seems to be the main constraint for population of pollinators (Roulston and Goodell, 2011). A recent review reveals mounting evidence for the relationships between floral resources availability and reproductive success (Thomson and Page, 2020). Indeed, a decrease in foraging success could lead to forager displacement and longer foraging times. This in turn will increase energy expenditure, risk of predation and reduce time for other vital activities (Sponsler et al., 2023).

Furthermore, our study shows that these competitive effects are repeated at different times of the beekeeping season and for different successive floral resources. Although our floral systems are spread over different massifs and we do not distinguish between different bee species when

measuring foraging success, our study suggests that bees may face different periods of competition. It appears that even the effects of competition over short periods can have a significant impact on reproductive success (Thomson and Page, 2020). As suggested by the authors of this review, year-lagged measurements would strengthen the evidence for competitive effects on wild bee populations. Furthermore, the distance threshold for which we detect an effect on nectar foraging success of wild bees is consistent with a study showing a distance effect of apiary on bumblebee colony fitness (Elbgami et al., 2014). In this study, colonies located 5 metres from the apiary were more affected than those located 1000 metres away, which is consistent with our 600-700m thresholds.

For honeybees, the reduction in foraging success of individual bees due to exploitative competition could have different consequences for the whole colony. Actually, increasing foraging distance and time for honeybee foragers could reduce their lifespan (Perry et al., 2015; Requier et al., 2020). However, foraging limitations experienced at the individual level may be buffered at the colony level owing to the demographic feedbacks and behavioural regulations in the eusocial honeybee. Further analysis including colony production, physiology and survival would be needed to confirm the effect of competition on colony fitness. However, we cannot exclude a potential risk to colony development and performance due to competition between colonies. Indeed, even if bee foraging success is positively associated with colony density under low wind speed conditions – the underlying ecological process remains difficult to assess, our results show that colony density negatively affects pollen foraging success in the presence of wind. Wind speed has previously been shown to affect pollen foraging performance (Mattos et al., 2018) and beehive productivity (Gounari et al., 2022). As pollen foraging has been demonstrated to be critical for colony survival in agricultural areas (Requier et al., 2017), the impact of colony density on colony performance should not be neglected.

In conclusion, given both the variation in the effects of exploitative competition between floral systems and years, and the lack of analyses of reproductive success, it is difficult to draw conclusions about the ultimate impact on wild bee fitness. For a better comprehension of the effects of competition, bee nutrition or bee physiology approaches would be relevant (Leroy et al., 2023). However, regardless of the effect on bee populations and depending on the floral resource system, our results indicate that exploitative competition could exist during beekeeping season in the Cévennes.

Perspectives of analysis: exploring the importance of bee sizes and bee sex for competition

Given our data set, it would be useful to pursue the analysis by looking more closely at the effects of competition on different bee traits, especially bee size and sex. Indeed, negative impacts of honeybees are more pronounced on bees larger than *Apis mellifera* (Iwasaki and Hogendoorn, 2022). For example, in their study, Henry and Rodet demonstrated that the effect of distance was more significant for large wild bees than for small wild bees (Henry and Rodet, 2018). In our analysis we controlled for the bee size and sex effects when computing the average foraging success, but did not explicitly compare the respective responses by sex and size. Calculating foraging success, as the ratio of field nectar load relative to a theoretical maximum, depending on the size and sex of the individuals, still allowed us to account for differences in crop-loading capacity between bees. However, a more in-depth exploration distinguishing foraging success between males and females, large and small bees, social and solitary bees would be an interesting way to understand the effect of competition in relation to foraging behaviour or nutritional requirements.

Conclusion: contributions to the debate on inclusive solutions for reconciling apiculture and wild bee conservation, from evidence and uncertainties to collective action

As well as contributing to the concept of apiary influence range, our study also contributes to recent debates concerning the place of beekeeping in protected areas. Few studies have been carried out on competition for floral resources in natural landscapes where beekeeping is native and has been practised for a long time (Wojcik et al., 2018). Our results show that competition indices can also be found in heterogeneous, semi-natural and protected landscapes characterised by relatively extensive pastoral systems with low pesticide use and long-standing beekeeping. However, both beekeeping practices and floral resources have changed dramatically (Lehébel-Péron, 2014; Lehébel-Péron et al., 2016). In France, although honeybee colonies have declined globally since the 1960s, honey production has increased, as has the production rate per colony (Phiri et al., 2022). The amount of resources harvested by each colony is likely to be greater now than in the 1960s. In addition, the number of managed honeybee colonies has increased in recent decades, following a significant decline in European colonies, probably due to the invasion of the Varroa mite and the use of pesticides (Osterman et al., 2021). These changes, combined with agropastoral changes (Gonella et al., 2022), may lead to insufficiency of floral resources and periods of floral resource depletion.

The originality of our study is to identify competition patterns through the measurement of bee foraging success following the AIR concept describe by Henry and Rodet (2018). On the one hand, directly addressing the effect of beekeeping metrics on foraging success allows us to examine the limitation of resources for bees. Indeed, the majority of studies on bee competition focuses only on pollinator visitation rates, abundance or species richness (Iwasaki and Hogendoorn, 2022). On the other hand, testing a general pattern of distance-related competition allows us to discuss operational guidelines. Our study tends to confirm the genericity and applicability of AIR concept to describe competition and as such appears to be a potential approach for distance-based beekeeping regulation (Henry and Rodet, 2020). However, variations in the pattern of competition across years and floral systems – variations in distance thresholds and in detectability of competition – raise questions about the replicability and generality of this approach as a regulatory tool.

Given the environmental uncertainties and the social implications of the bee competition issue, it appears of paramount importance to involve beekeepers in the discussion on competition in order to find inclusive solutions co-constructed by all stakeholders (Mouillard-Lample et al., 2023). On the one hand, the involvement of beekeepers could contribute to a better understanding of the availability and consumption of floral resources by honeybee colonies. For example, our study remains limited in particular by the spatio-temporal constraints of the location of the apiaries, which limits our experimental distance gradients. Following the usual transhumance routes, the beekeepers brought their hives essentially at the end of the scabious and clover flowering period. However, bee colonies may have moved in and out during the different flowering periods. *A priori* knowledge of these hive movements would enable monitoring to be carried out throughout the season before, during and after the presence of honeybee colonies. There is a lack of studies on competition that experimentally modify the presence of foragers (Thomson and Page, 2020). Collaboration with beekeepers would allow comprehensive monitoring of pollinator foraging success throughout the season as a function of apiary presence. In addition, the dynamics of honeybee colony weight would provide an indicator of resource availability (Iwasaki and Hogendoorn, 2022; Sponsler et al., 2023).

On the other hand, the involvement of beekeepers is essential to develop socially acceptable solutions. Solutions that lead to the exclusion of beekeepers or severe restrictions on beekeeping

would increase their vulnerability (Durant, 2019) and dependence on agricultural systems and are likely to lead to the intensification of beekeeping practices (Cilia, 2019). Importantly, our results are consistent with the existence of a minimal size of apiary under which competition could be harder to detect. However, this threshold is much lower than the actual size of professional beekeepers' apiaries. Regulations based on this threshold would imply a substantial economic impact on beekeeping. Given the social implications for beekeepers, it is crucial to address the key challenges that competition poses for them.

Another originality of our study is to examine intraspecific competition between honeybee colonies. Our results, consistent with the study by Henry and Rodet (2018), suggest the existence of a distance-pattern of competition for nectar and a possible competition for pollen under certain weather conditions. Although little studied at present, this competition raises issues of conflict resolution that are emerging both in the scientific literature (Atanasov and Georgiev, 2021; Lloyd et al., 2017) and in the beekeeping world (Mouillard-Lample et al., 2023; Newstrom-Lloyd, 2016). These issues of competition now raise problems of collective organisation. As competition between wild bees is not currently perceived as a sufficient motivation to change practices (Kahane et al., 2022), the detection of competition between beekeepers could foster the emergence of a perception of interdependence between them and thus encourage collective organisation.

All in all, our study raises uncertainties about floral resource use by bees as experienced daily by beekeepers, but still provides growing evidence of resource subtractability. Subtractability of nectar and pollen, i.e. the fact that a resource used by one appropriator cannot be used by another (Ostrom, 1990), is a critical issue that divides beekeepers from each other and from wild bee advocates (Mouillard-Lample et al., 2023). Indeed, wild bee advocates suggest that resources are limited and shared between honeybees and wild bees. If this is the case, then bee foraging will reduce the amount of resources available and competition is likely to occur. For beekeepers, perceptions are more diverse. Resource subtractability – and hence competition – is perceived by some and challenged by others through their experience. For the latter, resources are either limited by weather conditions or quite unlimited during the mass flowering period. Particularly according to many beekeepers, chestnut flowering is associated with such high nectar production that the amount of nectar cannot be limiting (Mouillard-Lample et al., 2023). However, our analyses suggest the existence of competition for resources that precede chestnut flowering, when honeybee colonies begin to arrive (*Trifolium* and *Knautia* sampling sessions), and also for resources that flower at the same time as chestnut, such as during the *Rubus* session in 2020 (due to the small number of wild bees collected on *Erica cinerea*, the observed effects on this resource should be interpreted with caution). Thus, even during chestnut flowering, spill-over of domesticated bees on surrounding resources (Magrath et al., 2017) could be observed and result in an exploitative competition for floral resources.

In conclusion, demonstrating the subtractability of resources, while recognising both weather effects and uncertain variation across years and floral systems, would be an important step towards a shared recognition of floral resources as a common good. This would raise the question of the potential for collective action to collectively govern the sharing of floral resources.

Acknowledgments:

We would like to extend our warmest thanks to all the colleagues who helped us in the field: Léna Barascou, Zoé Le Marchand, Cécile Ferrus, Julien Vallon, Pierre Le Bivic with special thanks to Bertrand Schatz for its help and profitable comments. We are very grateful to all the beekeepers who have supported us in the census of apiaries. We also thank Viviane de Montaigne, Tifenn Pedron, Jocelyn Fonderflick and the agents from the Cévennes National Park for valuable discussions and help during the sampling sessions as well as permissions, logistical and

administrative support having facilitated our work. We would like to thank the experts in bee species identification and especially David Genoud for his help during the survey.

References

- Alaux, C., Le Conte, Y., Decourtye, A., 2019. Pitting wild bees against managed honey bees in their native range, a losing strategy for the conservation of honey bee biodiversity. *Front. Ecol. Evol.* 7. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00060>
- Atanasov, A.Z., Georgiev, I.R., 2021. A multicriteria model for optimal location of honey bee colonies in regions without overpopulation. *AIP Conference Proceedings* 2333, 090008. <https://doi.org/10.1063/5.0041729>
- Balfour, N.J., Gandy, S., Ratnieks, F.L.W., 2015. Exploitative competition alters bee foraging and flower choice. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 69, 1731–1738. <https://doi.org/10.1007/s00265-015-1985-y>
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., 2004. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research* 33, 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Cane, J.H., Tepedino, V.J., 2017. Gauging the Effect of Honey Bee Pollen Collection on Native Bee Communities. *Conservation Letters* 10, 205–210. <https://doi.org/10.1111/conl.12263>
- Cilia, L., 2019. The Plight of the Honeybee: A Socioecological Analysis of large-scale Beekeeping in the United States. *Sociologia Ruralis* 59, 831–849. <https://doi.org/10.1111/soru.12253>
- Colla, S.R., 2022. The potential consequences of ‘bee washing’ on wild bee health and conservation. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 18, 30–32. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2022.03.011>
- Decourtye, A., Alaux, C., Le Conte, Y., Henry, M., 2019. Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science. *Current Opinion in Insect Science* 35, 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.008>
- Durant, J.L., 2019. Where have all the flowers gone? Honey bee declines and exclusions from floral resources. *J. Rural Stud.* 65, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.10.007>
- Durant, J.L., Otto, C.R.V., 2019. Feeling the sting? Addressing land-use changes can mitigate bee declines. *Land Use Policy* 87, 104005. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.024>
- Elbgami, T., Kunin, W.E., Hughes, W.O.H., Biesmeijer, J.C., 2014. The effect of proximity to a honeybee apiary on bumblebee colony fitness, development, and performance. *Apidologie* 45, 504–513. <https://doi.org/10.1007/s13592-013-0265-y>
- Elliott, B., Wilson, R., Shapcott, A., Keller, A., Newis, R., Cannizzaro, C., Burwell, C., Smith, T., Leonhardt, S.D., Kämper, W., Wallace, H.M., 2021. Pollen diets and niche overlap of honey bees and native bees in protected areas. *Basic and Applied Ecology* 50, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.12.002>
- Franklin, E., Carroll, T., Blake, D., Rickard, K., Diaz, A., 2018. Bumble bee forager abundance on lowland heaths is predicated by specific floral availability rather than the presence of honey bee foragers: evidence for forage resource partitioning. *Journal of Pollination Ecology* 24. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2018\)18](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2018)18)
- Geldmann, J., González-Varo, J.P., 2018. Conserving honey bees does not help wildlife. *Science* 359, 392–393. <https://doi.org/10.1126/science.aar2269>
- Genoud, D., Fonderflick, J., 2021. Liste commentée des Hyménoptères Apiformes (Anthophila) du Parc national des Cévennes. Parc national des Cévennes, Florac-Trois-Rivières.
- Gonella, G., Léoni, E., Mouillard-Lample, L., Aubron, C., Deconchat, M., Decourtye, A., Barnaud, C., 2022. Interactions between beekeeping and livestock farming systems in

agropastoral landscapes : a floral resources centered approach, in: 14th European Farming Systems Conference: Farming Systems Facing Climate Change and Resource Challenges (IFSA 2022), IFSA. Évora, Portugal.

Gonella, G., Léoni, E., Mouillard-Lample, L., Aubron, C., Deconchat, M., Decourtye, A., Barnaud, C., In press. Interactions between beekeeping and agropastoralism: an approach based on floral resources. *Agronomy for Sustainable Development*.

González-Varo, J.P., Geldmann, J., 2018. Response—“Bee conservation: Key role of managed bees” and “Bee conservation: Inclusive solutions.” *Science* 360, 390–390. <https://doi.org/10.1126/science.aat3746>

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., Rotheray, E.L., 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347, 1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>

Gounari, S., Proutsos, N., Goras, G., 2022. How does weather impact on beehive productivity in a Mediterranean island? *IJAm: Italian Journal of Agrometeorology*. 1, 65–81. <https://doi.org/10.36253/ijam-1195>

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. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103555>

Henry, M., Rodet, G., 2018. Controlling the impact of the managed honeybee on wild bees in protected areas. *Scientific Reports* 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27591-y>

Holzschuh, A., Dainese, M., González-Varo, J.P., Mudri-Stojnić, S., Riedinger, V., Rundlöf, M., Scheper, J., Wickens, J.B., Wickens, V.J., Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G., Roberts, S.P.M., Smith, H.G., Vilà, M., Vujić, A., Steffan-Dewenter, I., 2016. Mass-flowering crops dilute pollinator abundance in agricultural landscapes across Europe. *Ecology Letters* 19, 1228–1236. <https://doi.org/10.1111/ele.12657>

Iwasaki, J.M., Hogendoorn, K., 2022. Mounting evidence that managed and introduced bees have negative impacts on wild bees: an updated review. *Current Research in Insect Science* 100043. <https://doi.org/10.1016/j.cris.2022.100043>

Kahane, F., Osborne, J., Crowley, S., Shaw, R., 2022. Motivations underpinning honeybee management practices: A Q methodology study with UK beekeepers. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01736-w>

Kleijn, D., Biesmeijer, K., Dupont, Y.L., Nielsen, A., Potts, S.G., Settele, J., 2018. Bee conservation: Inclusive solutions. *Science* 360, 389–390. <https://doi.org/10.1126/science.aat2054>

Lehébel-Péron, A., 2014. L’abeille noire et la ruche-tronc : approche pluridisciplinaire de l’apiculture traditionnelle cévenole : histoire, diversité et enjeux conservatoires (phdthesis). Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.

Lehébel-Péron, A., Sidawy, P., Dounias, E., Schatz, B., 2016. Attuning local and scientific knowledge in the context of global change: The case of heather honey production in southern France. *Journal of Rural Studies* 44, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.01.005>

Leroy, C., Brunet, J.-L., Henry, M., Alaux, C., 2023. Using physiology to better support wild bee conservation. *Conservation Physiology* 11, coac076. <https://doi.org/10.1093/conphys/coac076>

Lloyd, P., Maclaren, D., Bardsley, P., Lloyd, P.J., 2017. Competition in the Manuka Honey Industry in New Zealand. Department of Economics, University of Melbourne, Parkville, Victoria, Australia. 22.

Lorenz, S., Stark, K., 2015. Saving the honeybees in Berlin? A case study of the urban beekeeping boom. *Environmental Sociology* 1, 116–126. <https://doi.org/10.1080/23251042.2015.1008383>

Magrach, A., González-Varo, J.P., Boiffier, M., Vilà, M., Bartomeus, I., 2017. Honeybee

spillover reshuffles pollinator diets and affects plant reproductive success. *Nat Ecol Evol* 1, 1299–1307. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0249-9>

Mallinger, R.E., Gaines-Day, H.R., Gratton, C., 2017. Do managed bees have negative effects on wild bees?: A systematic review of the literature. *PLOS ONE* 12, e0189268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189268>

Marina, M.-J., Sonja, D.-L., G., J., 2004. Nectar production in three melliferous species of Lamiaceae in natural and experimental conditions. *Acta vet. (Beogr.)* 54, 475–487. <https://doi.org/10.2298/AVB0406475M>

Mattos, I.M. de, Souza, J., Soares, A.E.E., 2018. Analysis of the effects of climate variables on *Apis mellifera* pollen foraging performance. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 70, 1301–1308. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9373>

Mouillard-Lample, L., Gonella, G., Decourtye, A., Henry, M., Barnaud, C., 2023. Competition between wild and honey bees: Floral resources as a common good providing multiple ecosystem services. *Ecosystem Services* 62, 101538. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101538>

Neumann, P., Carreck, N.L., 2010. Honey bee colony losses. *Journal of Apicultural Research* 49, 1–6. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.01>

Newstrom-Lloyd, L., 2016. Bees without Borders : What is the Limit. *New Zealand Beekeeper* 22–27.

Núñez, J.A., 1982. Honeybee Foraging Strategies at a Food Source in Relation to its Distance from the Hive and the Rate of Sugar Flow. *Journal of Apicultural Research* 21, 139–150. <https://doi.org/10.1080/00218839.1982.11100531>

Osterman, J., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Bosch, J., Howlett, B.G., Inouye, D.W., Jung, C., Martins, D.J., Medel, R., Pauw, A., Seymour, C.L., Paxton, R.J., 2021. Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 322, 107653. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107653>

Ostrom, E., 1990. *Governing the commons : the evolution of institutions for collective action.* Cambridge ; New York : Cambridge University Press.

Percival, M.S., 1955. The Presentation of Pollen in Certain Angio-Sperms and Its Collection by *Apis Mellifera*. *New Phytologist* 54, 353–368. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1955.tb06192.x>

Perry, C.J., Søvik, E., Myerscough, M.R., Barron, A.B., 2015. Rapid behavioral maturation accelerates failure of stressed honey bee colonies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, 3427–3432. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422089112>

Phiri, B.J., Fèvre, D., Hidano, A., 2022. Uptrend in global managed honey bee colonies and production based on a six-decade viewpoint, 1961–2017. *Sci Rep* 12, 21298. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25290-3>

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, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>

Rasmussen, C., Dupont, Y.L., Madsen, H.B., Bogusch, P., Goulson, D., Herbertsson, L., Maia, K.P., Nielsen, A., Olesen, J.M., Potts, S.G., Roberts, S.P.M., Sydenham, M.A.K., Kryger, P., 2021. Evaluating competition for forage plants between honey bees and wild bees in Denmark. *PLOS ONE* 16, e0250056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250056>

Requier, F., Henry, M., Decourtye, A., Brun, F., Aupinel, P., Rebaudo, F., Bretagnolle, V., 2020. Measuring ontogenetic shifts in central-place foragers: A case study with honeybees. *Journal of Animal Ecology* 89, 1860–1871. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13248>

Requier, F., Odoux, J.-F., Henry, M., Bretagnolle, V., 2017. The carry-over effects of pollen shortage decrease the survival of honeybee colonies in farmlands. *Journal of Applied Ecology* 54, 1161–1170. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12836>

Ropars, L., Affre, L., Thébault, É., Geslin, B., 2022. Seasonal dynamics of competition between honey bees and wild bees in a protected Mediterranean scrubland. *Oikos* 2022, e08915. <https://doi.org/10.1111/oik.08915>

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, e0222316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222316>

Roubik, D.W., 1978. Competitive Interactions Between Neotropical Pollinators and Africanized Honey Bees. *Science* 201, 1030–1032.

Roulston, T.H., Goodell, K., 2011. The Role of Resources and Risks in Regulating Wild Bee Populations. *Annu. Rev. Entomol.* 56, 293–312. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144802>

Rutschmann, B., Kohl, P.L., Steffan-Dewenter, I., 2023. Foraging distances, habitat preferences and seasonal colony performance of honeybees in Central European forest landscapes. *Journal of Applied Ecology* 60, 1056–1066. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14389>

Saunders, M.E., Smith, T.J., Rader, R., 2018. Bee conservation: Key role of managed bees. *Science* 360, 389–389. <https://doi.org/10.1126/science.aat1535>

Schaffer, W.M., Jensen, D.B., Hobbs, D.E., Gurevitch, J., Todd, J.R., Schaffer, M.V., 1979. Competition, Foraging Energetics, and the Cost of Sociality in Three Species of Bees. *Ecology* 60, 976–987. <https://doi.org/10.2307/1936866>

Schaffer, W.M., Zeh, D.W., Buchmann, S.L., Kleinhans, S., Schaffer, M.V., Antrim, J., 1983. Competition for Nectar between Introduced Honey Bees and Native North American Bees and Ants. *Ecology* 64, 564–577. <https://doi.org/10.2307/1939976>

Sponsler, D., Iverson, A., Steffan-Dewenter, I., 2023. Pollinator competition and the structure of floral resources. *Ecography* n/a, e06651. <https://doi.org/10.1111/ecog.06651>

St. Clair, A.L., Zhang, G., Dolezal, A.G., O’Neal, M.E., Toth, A.L., 2022. Agroecosystem landscape diversity shapes wild bee communities independent of managed honey bee presence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 327, 107826. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107826>

Steffan-Dewenter, I., Kuhn, A., 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270, 569–575. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2292>

Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., 2000. Resource overlap and possible competition between honey bees and wild bees in central Europe. *Oecologia* 122, 288–296. <https://doi.org/10.1007/s004420050034>

Stein, M.L., 1999. *Interpolation of Spatial Data*, Springer Series in Statistics. Springer, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1494-6>

Thomson, D.M., Page, M.L., 2020. The importance of competition between insect pollinators in the Anthropocene. *Current Opinion in Insect Science, Ecology • Parasites/Parasitoids/Biological control* 38, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.11.001>

Wojcik, V.A., Morandin, L.A., Davies Adams, L., Rourke, K.E., 2018. Floral Resource Competition Between Honey Bees and Wild Bees: Is There Clear Evidence and Can We Guide Management and Conservation? *Environ Entomol* 47, 822–833. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy077>

Zurbuchen, A., Landert, L., Klaiber, J., Müller, A., Hein, S., Dorn, S., 2010. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation* 143, 669–676. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.003>

Supplementary material

Table 7: Summary of candidate session-independent models and estimates of beekeeping metric effects under lower apiary presence hypothesis

Bees	Response variable	Model family	Explanatory variable	Estimate	Standard error	p-value
Honeybees	Nectar foraging success	Gaussian	Distance to apiary ≥ 16 colonies (continuous)	2.0133	0.2838	1.30e-12
			Colony density at 1km	-4,23E-03	5,03E-04	2,00E-16
			Wind speed	6,72E-02	1,07E-02	3,51E-10
	Pollen foraging success	Gaussian	Hygrothermal conditions	-5,03E-02	1,22E-02	4,06E-05
			Colony density at 1km:	-4,38E-03	3,86E-04	2,00E-16
			Wind speed			
			Colony density at 1km:	1,30E-03	4,12E-04	0,00154
			Hygrothermics			
			Wind speed:	-4,28E-02	9,47E-03	6,24E-06
			Hygrothermics			
Wild bees	Nectar foraging success	Tweedie	350m distance threshold to apiary ≥ 16 colonies	0.35178	0.05173	1.04e-11
			Distance to apiary ≥ 24 colonies	0.16379	0.05565	0.00325
			Wind speed	-0.0307	0.04287	0.47408
	Pollen foraging success	Tweedie	Hygrothermal conditions	0.06679	0.03636	0.06620
			Distance to apiary ≥ 24 colonies: Wind speed	0.09333	0.04573	0.04127
			Distance to apiary ≥ 24 colonies: Hygrothermics	-0.19143	0.04373	1.20e-05
			Wind speed:	-0.08958	0.03238	0.00567
			Hygrothermics			
			Distance to apiary ≥ 24 colonies: Wind speed:	0.05506	0.04081	0.17723
			Hygrothermics			
Pollen foraging success			Distance to apiary ≥ 16 colonies	0.02447	0.06532	0.7080
			Wind speed	0.00184	0.04412	0.9667
			Hygrothermics	0.08571	0.03621	0.0179
			Distance to apiary ≥ 16 colonies: Wind speed	0.08087	0.05301	0.1271
			Distance to apiary ≥ 16 colonies: Hygrothermics	-0.2331	0.04645	5.25e-07
			Wind speed:	-0.0472	0.03347	0.1587
			Hygrothermics			
			Distance to apiary ≥ 16 colonies: Wind speed:	0.01097	0.04378	0.8022
			Hygrothermics			

Table 8: Summary of effects for candidate session-specific models including beekeeping metrics in interaction with session variable under lower apiary presence hypothesis. P-values were considered significant at a 5% level (*), significant at a 1% level (**), significant at a 0.1% level (***) or not significant (NS).

Bees	Response variable	Explanatory variable	Session in interaction with explanatory variable	Estimate	Standard error	p-value	Signif.
Honey bees	Nectar foraging success	Distance to neighbouring apiary ≥ 16 colonies	Calluna vulgaris 2020	1.9564	0.73788	0.00802	**
			Calluna vulgaris 2021	2.1515	0.57290	0.00017	***
			Erica cinerea 2020	0.9818	0.74114	0.18527	NS
			Erica cinerea 2021	4.3748	0.84061	1.95e-07	***
			Knautia arvensis 2021	1.4827	0.67577	0.02823	*
			Rubus spp. 2020	0.4366	0.82663	0.59741	NS
			Rubus spp. 2021	4.6235	0.87826	1.41e-07	***
			Trifolium spp. 2021	1.6123	0.90948	0.07627	NS
Honey bees	Nectar foraging success	Distance to neighbouring apiary ≥ 8 colonies	Calluna vulgaris 2020	1.9583	0.7301	0.00731	**
			Calluna vulgaris 2021	2.1652	0.5684	0.00014	***
			Erica cinerea 2020	0.9113	0.7279	0.21060	NS
			Erica cinerea 2021	4.5465	0.8332	4.86e-08	***
			Knautia arvensis 2021	1.9335	0.7842	0.01368	*
			Rubus spp. 2020	0.4159	0.8146	0.60965	NS
			Rubus spp. 2021	4.6458	0.8755	1.12e-07	***
			Trifolium spp. 2021	1.0281	0.8863	0.24607	NS
Wild bees	Nectar foraging success	350m distance threshold to apiary ≥ 16 colonies	Calluna vulgaris 2020	0.97789	0.15521	2.97e-10	***
			Calluna vulgaris 2021	-0.0471	0.23593	0.84182	NS
			Erica cinerea 2020	1.00895	0.32256	0.00176	**
			Erica cinerea 2021	1.8130	0.31783	1.17e-08	***
			Knautia arvensis 2021	0.60256	0.15624	0.00012	***
			Rubus spp. 2020	0.15905	0.07844	0.04260	*
			Rubus spp. 2021	-0.2979	0.15748	0.05855	NS
			Trifolium spp. 2021	0.48770	0.12254	6.89e-05	***

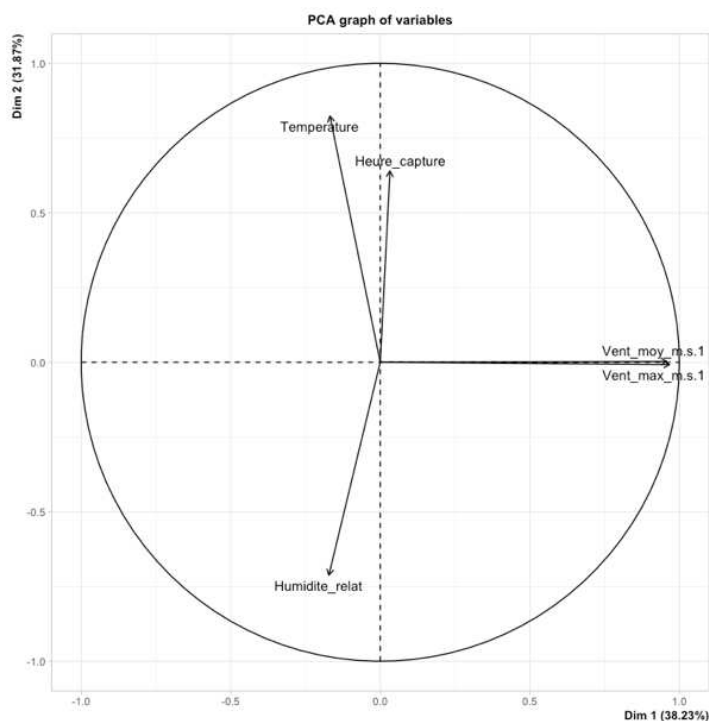
Table 9: Summary of candidate session-independent models and estimates of beekeeping metric effects under upper apiary presence hypothesis

Bees	Response variable	Model family	Explanatory variable	Estimate	Standard error	p-value	
Honeybees	Nectar foraging success	Gaussian	Distance to apiary ≥ 24 colonies (continuous)	1.9989	0.3079	8.49e-11	
			Colony density at 1km	-3,01E-01	2,65E-01	0,256	
			Wind speed	-2,54E-03	4,74E-04	8,66E-08	
			Hygrothermics	8,12E-02	1,14E-02	1,07E-12	
Honeybees	Pollen foraging success	Gaussian	Colony density at 1km:	-1,82E-02	1,24E-02	0,141	
			Wind speed				
			Colony density at 1km:	-3,74E-03	3,25E-04	2,00E-16	
			Hygrothermics				
			Wind speed: Hygrothermics	-1,34E-04	3,54E-04	0,706	
			Colony density at 1km:	-4,46E-02	9,29E-03	1,64E-06	
			Wind speed: Hygrothermics				
Wild bees	Nectar foraging success	Tweedie	630m distance threshold to apiary ≥ 16 colonies	0.34923	0.04828	4.7e-13	
			Distance to apiary ≥ 16 colonies	-0.10597	0.07279	0.14561	
			Wind speed	0.02542	0.03860	0.51018	
	Wild bees	Pollen foraging success	Tweedie	Hygrothermics	0.11467	0.03354	0.00063
				Distance to apiary ≥ 16 colonies: Wind speed	0.04907	0.05182	0.34370
				Distance to apiary ≥ 16 colonies: Hygrothermics	-0.30889	0.04747	7.63e-11
				Wind speed : Hygrothermics	-0.02971	0.03086	0.33568
				Distance to apiary ≥ 16 colonies: Wind speed: Hygrothermics	-0.00670	0.04210	0.87349

Table 10: Summary of effects for candidate session-specific models including beekeeping metrics in interaction with session variable under upper apiary presence hypothesis. P-values were considered significant at a 5% level (*), significant at a 1% level (**), significant at a 0.1% level (***) or not significant (NS).

Bees	Response variable	Explanatory variable	Session in interaction with explanatory variable	Estimate	Standard error	p-value	Signif.
Honey bees	Nectar foraging success	Distance to neighbouring apiary ≥ 8 colonies	Calluna vulgaris 2020	2.1044	0.7511	0.00508	**
			Calluna vulgaris 2021	2.0643	0.6198	0.00087	***
			Erica cinerea 2020	-0.2096	0.9069	0.81726	NS
			Erica cinerea 2021	5.6602	1.0210	2.97e-08	***
			Knautia arvensis 2021	1.9393	0.7899	0.01408	*
			Rubus spp. 2020	0.2609	1.1932	0.82689	NS
			Rubus spp. 2021	5.5396	1.0970	4.42e-07	***
			Trifolium spp. 2021	1.2360	0.8974	0.16839	NS
Wild bees	Nectar foraging success	330m distance threshold to apiary ≥ 16 colonies	Calluna vulgaris 2020	0.9779	0.1552	3.00e-10	***
			Calluna vulgaris 2021	-0.0776	0.2316	0.73754	NS
			Erica cinerea 2020	1.00006	0.3012	0.00090	***
			Erica cinerea 2021	1.7217	0.3232	1.00e-07	***
			Knautia arvensis 2021	0.6026	0.1563	0.00012	***
			Rubus spp. 2020	0.0826	0.0781	0.29008	NS
			Rubus spp. 2021	-0.3707	0.1579	0.01888	*
			Trifolium spp. 2021	0.5494	0.1261	1.33e-05	***

Figure 22: PCA graph of weather variables Principal component analysis of weather and sampling variables: Temperature, Wind speed, relative humidity and time of sampling.



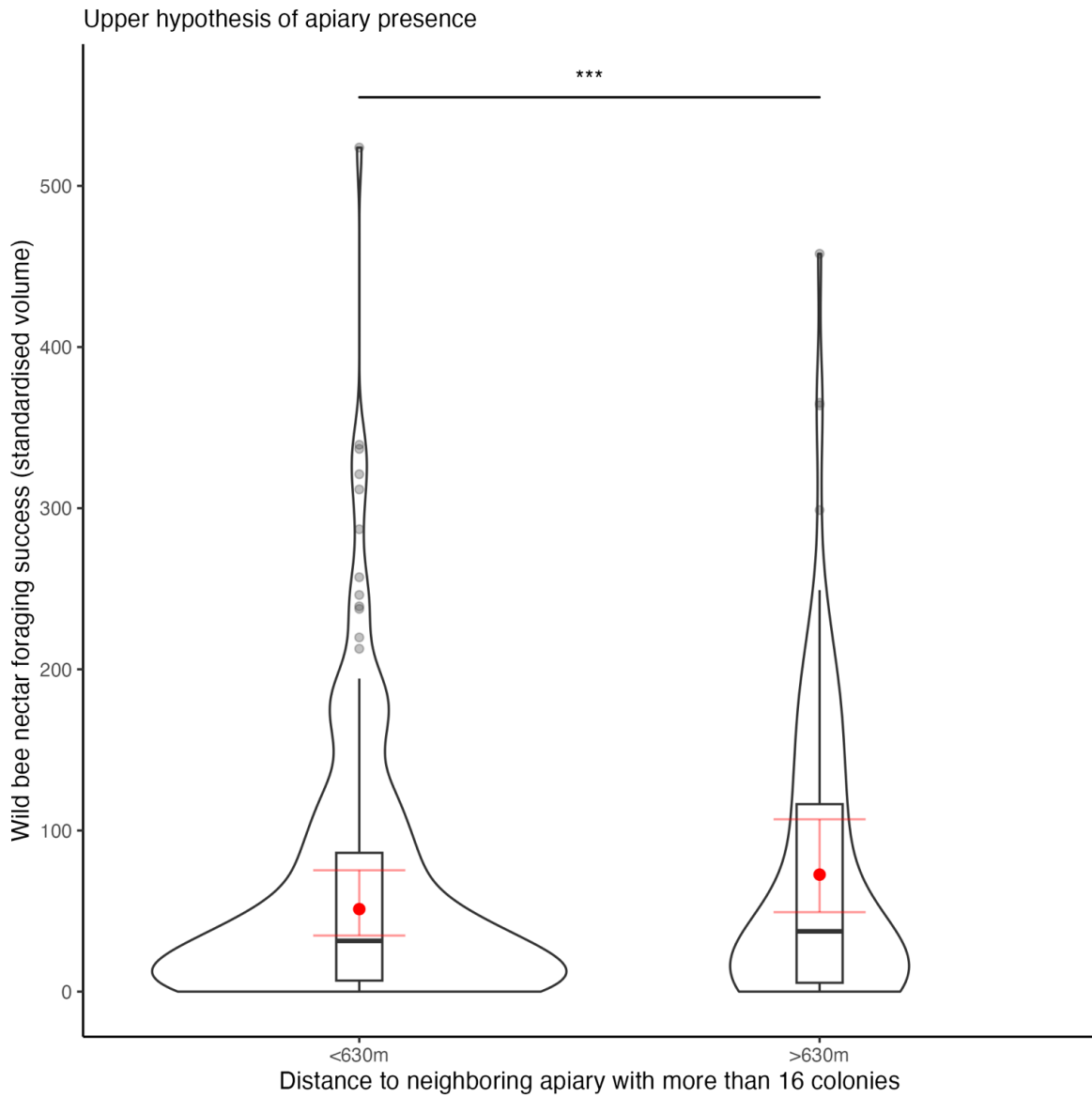


Figure 23: Foraging success of wild bee relative to distance threshold to neighbouring apiary with more than 16 colonies in upper hypothesis of apiary presence. Size of violin area is proportional to the number of sampling data for each session and threshold. Predicted value obtained through the model for each threshold are represented in red with the 95% confidence interval.

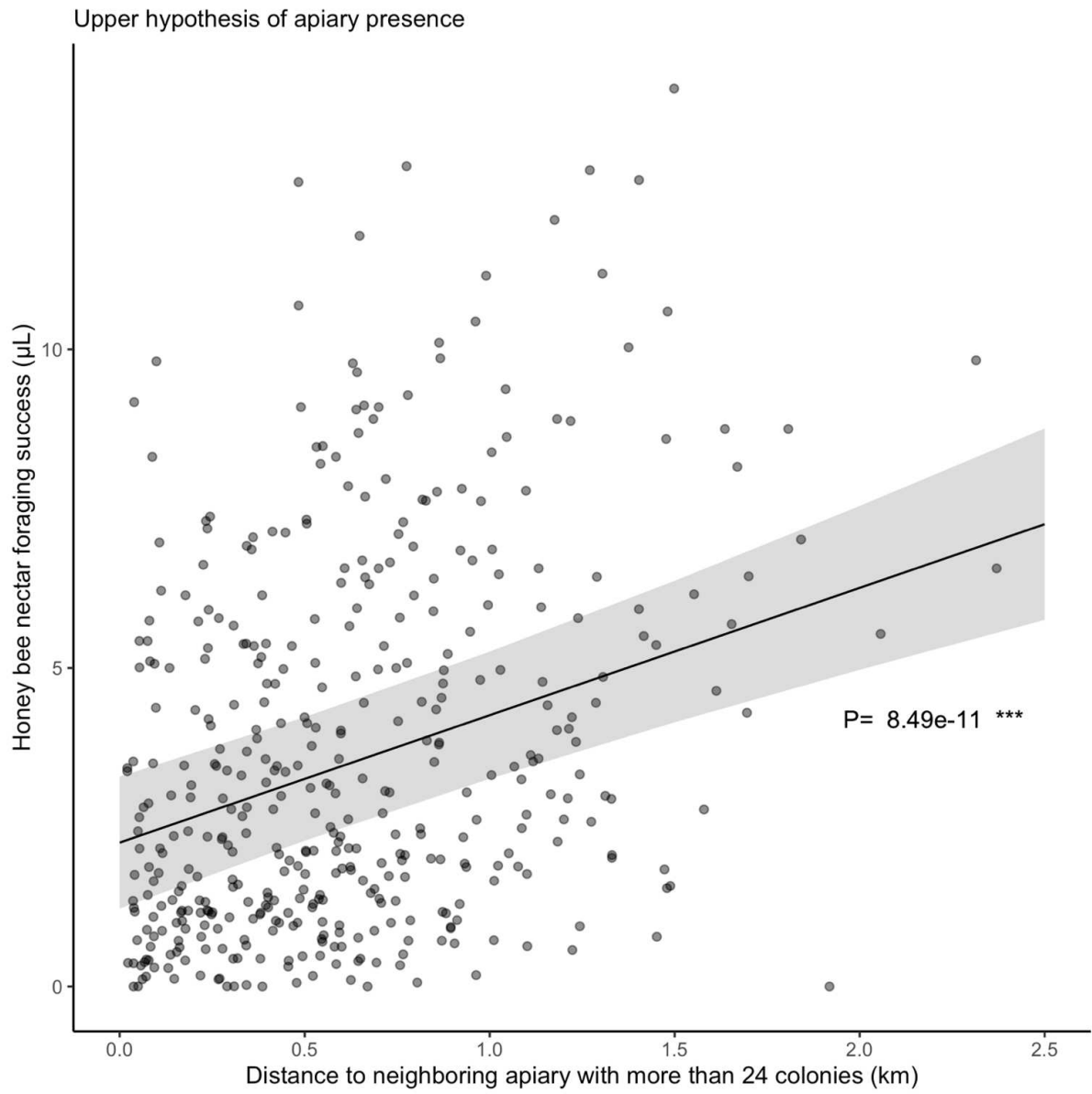


Figure 24: Foraging success of honeybee relative to distance to neighbouring apiary with more than 24 colonies in upper hypothesis of apiary presence. Each point represent a sampling site data. Predicted trend is represented in black with the 95% confidence interval. P-values was considered significant at a 0.1% level (***).

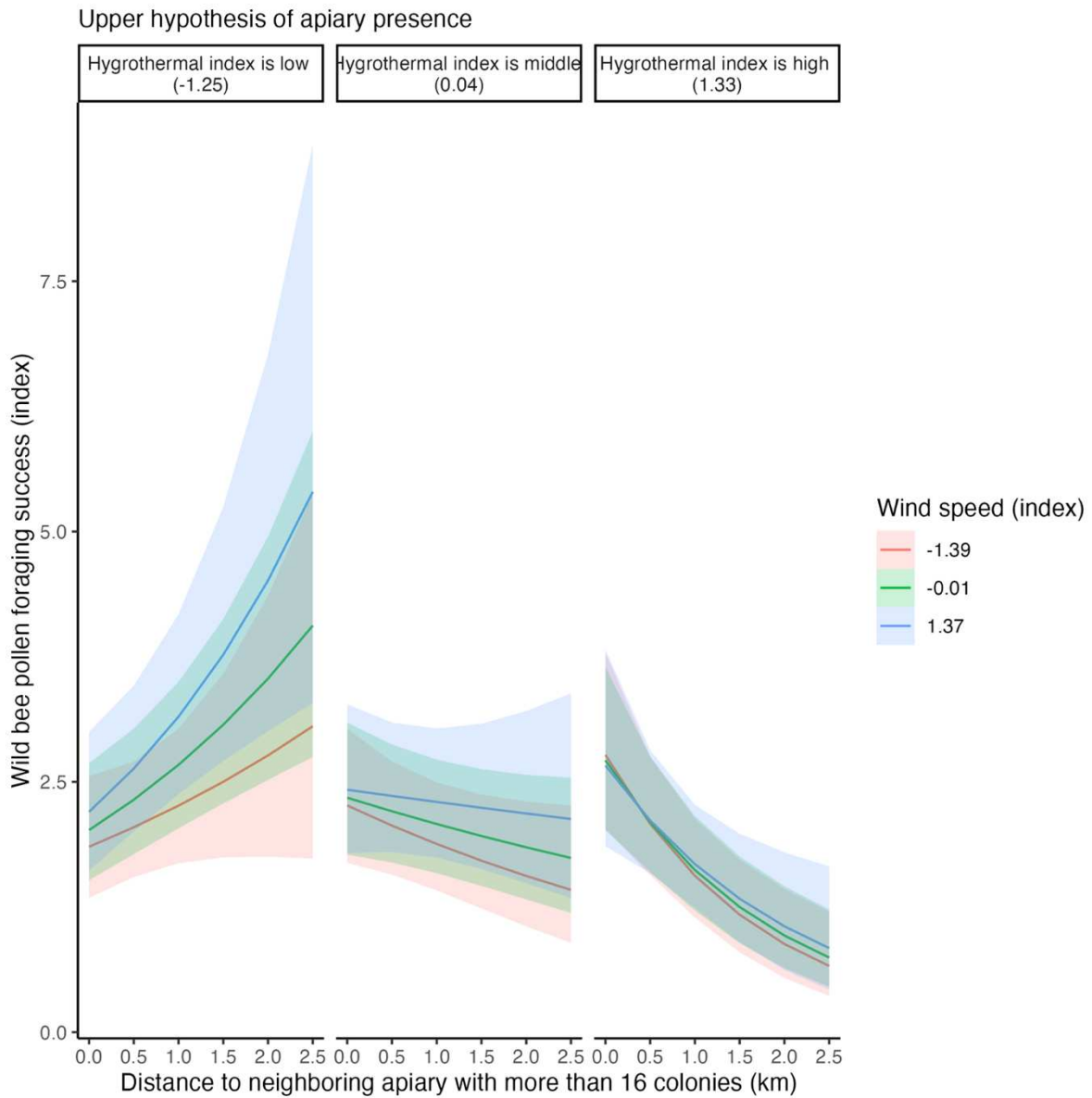


Figure 25 : Effect of weather conditions and distance to nearest apiary (upper apiary presence hypothesis) on pollen foraging success of wild bees. Hygrothermal index is a mixed variable combining temperature, relative humidity and hour of capture. Given the interaction between our different continuous variables, predicted trends are calculated for different value of weather conditions. They are represented with 95% confidence interval.

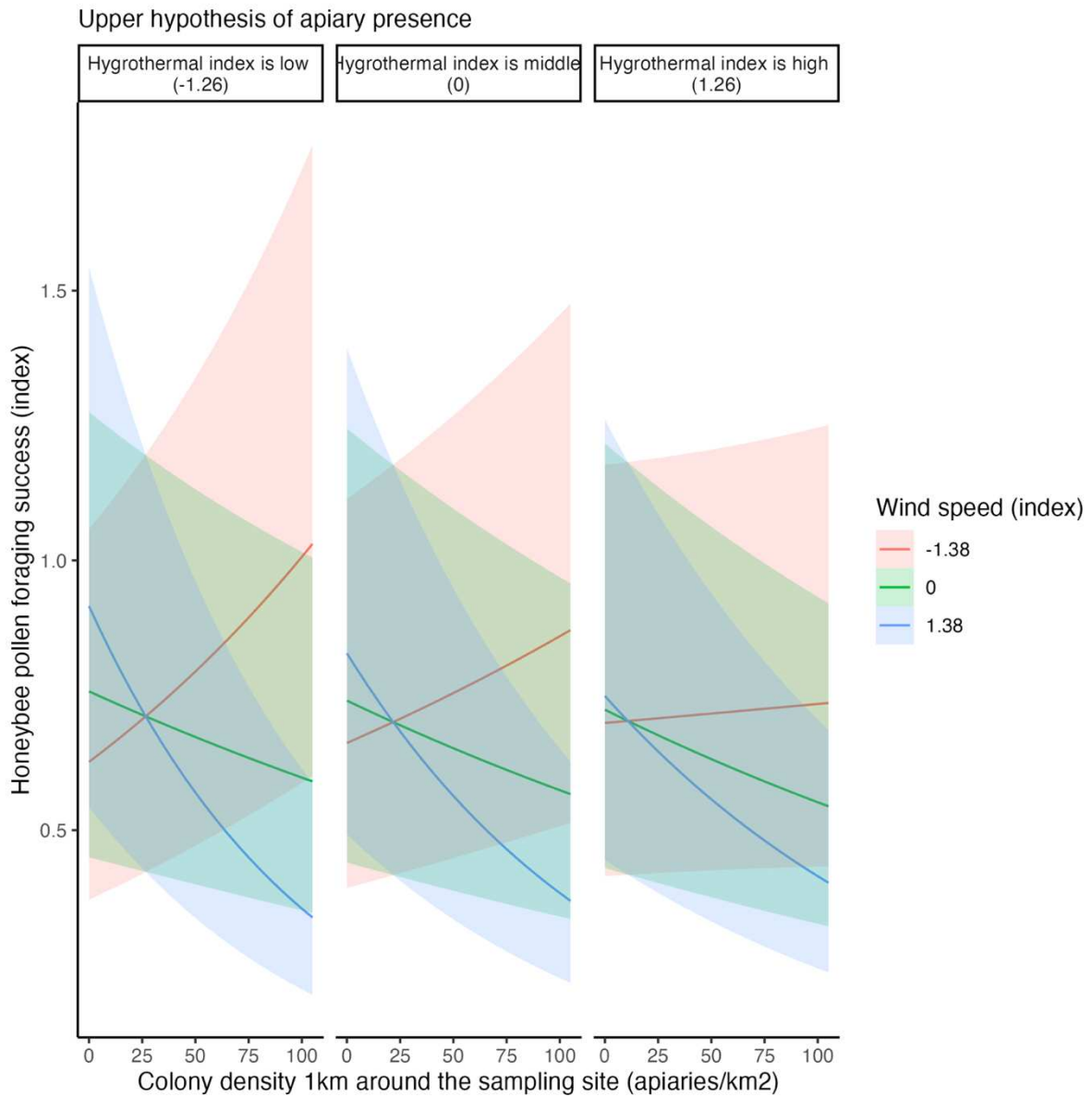


Figure 26: Effect of weather conditions and distance to nearest apiary (upper apiary presence hypothesis) on pollen foraging success of honeybees. Hygrothermal index is a mixed variable combining temperature, relative humidity and hour of capture. Given the interaction between our different continuous variables, predicted trends are calculated for different value of weather conditions. They are represented with 95% confidence interval.

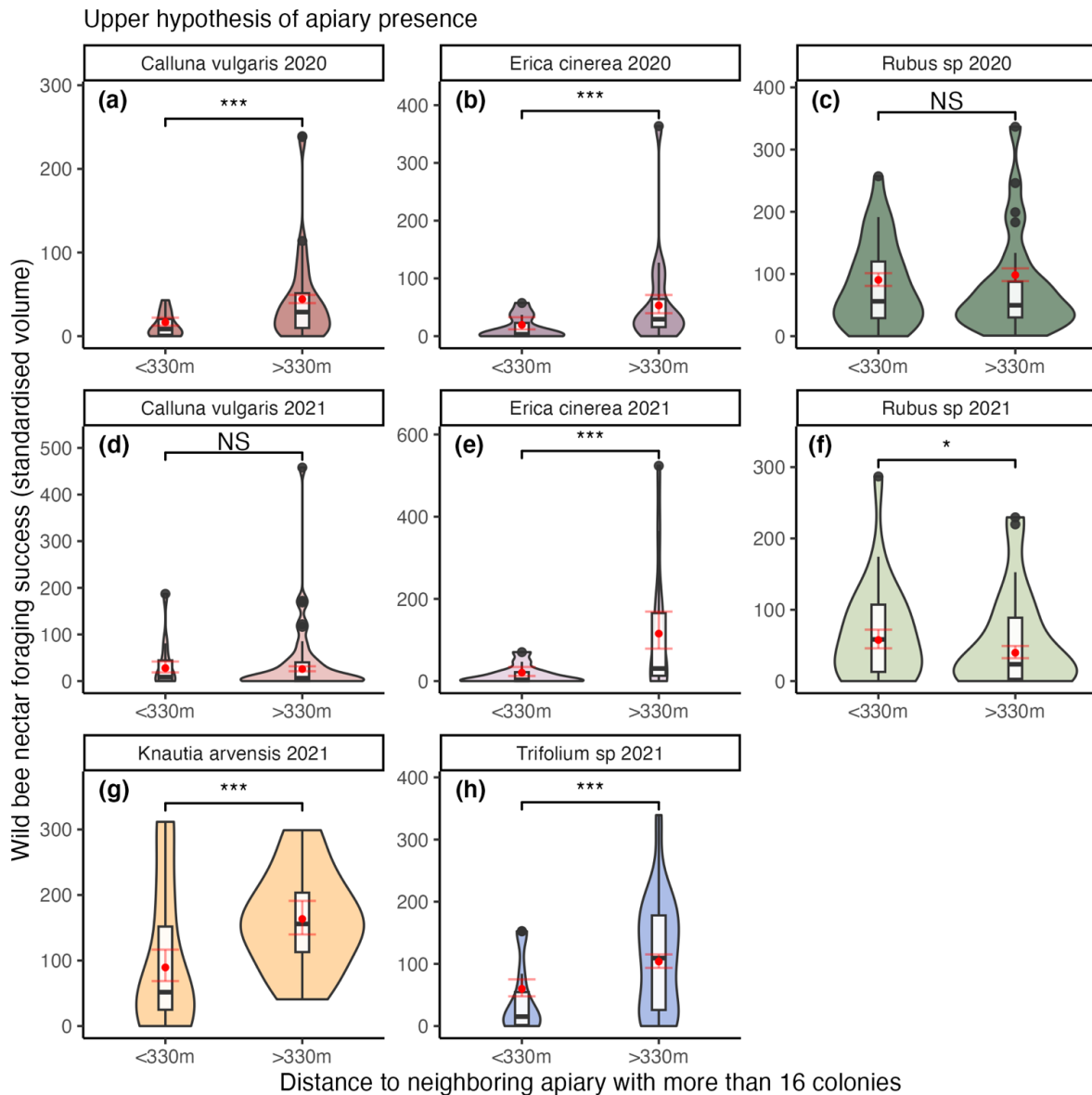


Figure 27: Foraging success of wild bee relative to distance threshold to neighbouring apiary with more than 16 colonies for each session (in upper hypothesis of apiary presence). Size of violin area is proportional to the number of sampling data for each session and threshold. Predicted value obtained through the model for each threshold are represented in red with the 95% confidence interval. P-values were considered significant at a 5% level (*), significant at a 1% level (**), significant at a 0.1% level (***) or not significant (NS).

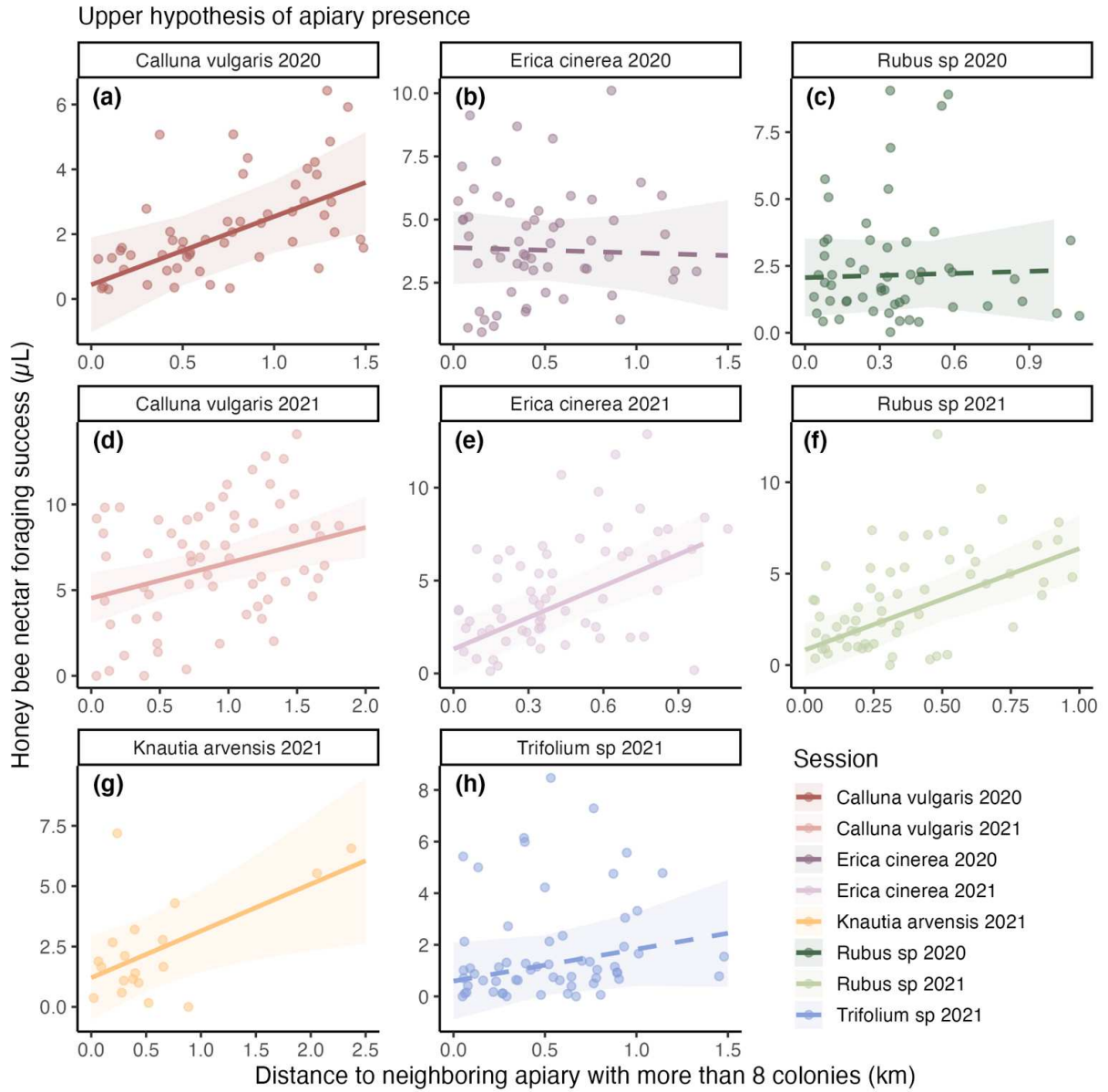


Figure 28: Foraging success of boneybee relative to distance to neighbouring apiary with more than eight colonies for each session (in upper hypothesis of apiary presence). Predicted trend are represented with the 95% confidence interval. Solid lines represent significant effect at level 5%, dashed lines represent non-significant effect

Table 11: Comparison table based on AICc of the different generalized linear mixed models linking nectar foraging success of *wild bees* with beekeeping metrics including a random session effect (left panel= Lower hypothesis, right panel = upper hypothesis)

Lower hypothesis					Upper hypothesis				
Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc Weight	Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc Weight
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.3	Random	5	15966,0	0,92	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.6	Random	5	15959,9	0,73
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.4	Random	5	15971,3	0,06	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.7	Random	5	15962,8	0,17
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.6	Random	5	15973,8	0,02	Distance-Threshold0.7	Random	5	15964,3	0,08
Distance-apiary \geq 16	Random	5	15980,8	0,00	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.8	Random	5	15968,4	0,01
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.8	Random	5	15981,6	0,00	Distance-apiary \geq 16	Random	5	15969,8	0,01
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.2	Random	5	15987,4	0,00	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.3	Random	5	15974,9	0,00
Distance-Threshold0.8	Random	5	15988,9	0,00	Distance-apiary \geq 24	Random	5	15975,4	0,00
Distance-Threshold0.7	Random	5	15989,3	0,00	Distance-apiary	Random	5	15982,4	0,00
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.7	Random	5	15991,8	0,00	Density_1.0km-Threshold35	Random	5	15984,5	0,00
Distance-apiary \geq 24	Random	5	15992,5	0,00	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.4	Random	5	15984,9	0,00
Distance-apiary	Random	5	15992,9	0,00	Distance-apiary \geq 8	Random	5	15986,0	0,00
Distance-apiary \geq 8	Random	5	15994,5	0,00	Density_1.5km-Threshold16	Random	5	15987,8	0,00
Distance-Threshold0.6	Random	5	15996,9	0,00	Distance-Threshold0.4	Random	5	15989,3	0,00
Density_1.0km-Threshold14	Random	5	15996,9	0,00	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.2	Random	5	15990,6	0,00
Density_1.5km-Threshold10	Random	5	16000,6	0,00	Distance-Threshold0.6	Random	5	15990,9	0,00
Distance-Threshold0.31	Random	5	16002,7	0,00	Density_1.5km-Threshold25	Random	5	15991,9	0,00
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.5	Random	5	16003,7	0,00	Density_1.0km-Threshold38	Random	5	15993,5	0,00
Distance-Threshold0.4	Random	5	16004,0	0,00	Density_1.0km-Threshold14	Random	5	15995,1	0,00
Density_1.0km-Threshold26	Random	5	16004,6	0,00	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.5	Random	5	15996,1	0,00
Density_1.0km-Threshold17	Random	5	16005,4	0,00	Density_1.5km-Threshold19	Random	5	15996,2	0,00
Distance-Threshold0.2	Random	5	16006,3	0,00	Relative humidity	Random	5	15998,2	0,00
Distance-Threshold0.5	Random	5	16006,5	0,00	Relative humidity	Random	5	15999,2	0,00
Density_1.5km-Threshold22	Random	5	16007,8	0,00	Relative humidity	Random	5	16002,3	0,00
Density_1.0km-Threshold32	Random	5	16008,4	0,00	Density_1.5km-Threshold13	Random	5	16003,7	0,00

Density_1.5km-Threshold13	Random	5	16008,5	0,00	Distance-Threshold0.3	Random	5	16003,8	0,00
Density_1.0km-Threshold35	Random	5	16008,9	0,00	Density_1.0km-Threshold11	Random	5	16003,9	0,00
Density_1.0km-Threshold11	Random	5	16009,0	0,00	Distance-Threshold0.5	Random	5	16004,6	0,00
NULL Model	None	4	16009,4	0,00	Distance-Threshold0.2	Random	5	16004,6	0,00
Density_1.5km	Random	5	16009,5	0,00	Density_1.0km-Threshold29	Random	5	16005,7	0,00
Density_1.5km-Threshold19	Random	5	16009,7	0,00	Density_1.0km-Threshold32	Random	5	16006,6	0,00
Density_1.0km	Random	5	16010,6	0,00	Density_1.0km-Threshold17	Random	5	16007,3	0,00
Density_1.0km-Threshold29	Random	5	16011,0	0,00	Density_1.0km-Threshold26	Random	5	16007,8	0,00
Density_1.0km-Threshold23	Random	5	16011,2	0,00	Density_1.5km-Threshold28	Random	5	16007,9	0,00
Density_1.0km-Threshold20	Random	5	16011,3	0,00	NULL Model	None	4	16009,4	0,00
Density_1.0km-Threshold8	Random	5	16011,3	0,00	Density_1.0km-Threshold23	Random	5	16009,9	0,00
Density_1.5km-Threshold16	Random	5	16011,4	0,00	Density_1.0km-Threshold20	Random	5	16011,4	0,00

Table 12: Comparison table based on AICc of the different generalized linear mixed models linking nectar foraging success of *wild bees* with beekeeping metrics interacting with a fixed session effect (left panel= Lower hypothesis, right panel = Upper hypothesis). The session variable combines the floral species and the year of sampling.

Lower Hypothesis					Upper Hypothesis				
Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc Weight	Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc Weight
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.3	Fixed	18	15884,9	1,00	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.3	Fixed	18	15884,9	1,00
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.25	Fixed	18	15906,2	2,3E-05	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.25	Fixed	18	15906,2	2,3E-05
Distance-Threshold0.31	Fixed	18	15911,0	2,2E-06	Distance-Threshold0.31	Fixed	18	15911,0	2,2E-06
Density_1.0km-Threshold32.28	Fixed	18	15915,5	2,3E-07	Density_1.0km-Threshold32.28	Fixed	18	15915,5	2,3E-07
Density_1.0km-Threshold17.28	Fixed	18	15919,5	3,0E-08	Density_1.0km-Threshold17.28	Fixed	18	15919,5	3,0E-08
Distance-Threshold0.21	Fixed	18	15919,5	3,0E-08	Distance-Threshold0.21	Fixed	18	15919,5	3,0E-08
Distance-apiary \geq 16 colonies	Fixed	18	15920,0	2,4E-08	Distance-apiary \geq 16	Fixed	18	15920,0	2,4E-08
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.45	Fixed	18	15920,4	2,0E-08	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.45	Fixed	18	15920,4	2,0E-08
Density_1.0km-Threshold20.28	Fixed	18	15924,4	2,7E-09	Density_1.0km-Threshold20.28	Fixed	18	15924,4	2,7E-09
Density_1.5km-Threshold18.91	Fixed	18	15926,4	1,0E-09	Density_1.5km-Threshold18.91	Fixed	18	15926,4	1,0E-09
Distance-apiary \geq 24 colonies	Fixed	18	15931,9	6,1E-11	Distance-apiary \geq 24	Fixed	18	15931,9	6,1E-11
Distance-apiary	Fixed	18	15936,5	6,2E-12	Distance	Fixed	18	15936,5	6,2E-12
Density_1.5km-Threshold12.91	Fixed	18	15941,0	6,6E-13	Density_1.5km-Threshold12.91	Fixed	18	15941,0	6,6E-13
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.65	Fixed	18	15941,5	5,2E-13	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.65	Fixed	18	15941,5	5,2E-13
Density_1.0km-Threshold23.28	Fixed	18	15943,2	2,1E-13	Density_1.0km-Threshold23.28	Fixed	18	15943,2	2,1E-13
Density_1.0km-Threshold14.28	Fixed	18	15944,1	1,4E-13	Density_1.0km-Threshold14.28	Fixed	18	15944,1	1,4E-13
Density_1.5km-Threshold21.91	Fixed	18	15944,5	1,1E-13	Density_1.5km-Threshold21.91	Fixed	18	15944,5	1,1E-13
Distance-apiary \geq 8 colonies	Fixed	18	15945,5	7,0E-14	Distance-apiary \geq 8	Fixed	18	15945,5	7,0E-14
Density_1.5km-Threshold9.91	Fixed	18	15948,1	1,9E-14	Density_1.5km-Threshold9.91	Fixed	18	15948,1	1,9E-14
Density_1.5km-Threshold15.91	Fixed	18	15948,9	1,3E-14	Density_1.5km-Threshold15.91	Fixed	18	15948,9	1,3E-14
Distance-Threshold0.71	Fixed	18	15951,0	4,4E-15	Distance-Threshold0.71	Fixed	18	15951,0	4,4E-15
Density_1.0km-Threshold8.28	Fixed	18	15953,9	1,0E-15	Density_1.0km-Threshold8.28	Fixed	18	15953,9	1,0E-15
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.75	Fixed	18	15954,7	6,9E-16	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.75	Fixed	18	15954,7	6,9E-16
Density_1.0km-Threshold11.28	Fixed	18	15955,1	5,8E-16	Density_1.0km-Threshold11.28	Fixed	18	15955,1	5,8E-16

Density_1.0km-Threshold26.28	Fixed	18	15959,7	5,6E-17	Density_1.0km-Threshold26.28	Fixed	18	15959,7	5,6E-17
Density_1.0km	Fixed	18	15959,9	5,1E-17	Density_1.0km	Fixed	18	15959,9	5,1E-17
Density_1.5km	Fixed	18	15960,2	4,5E-17	Density_1.5km	Fixed	18	15960,2	4,5E-17
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.55	Fixed	18	15961,4	2,4E-17	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.55	Fixed	18	15961,4	2,4E-17
Distance-Threshold0.51	Fixed	18	15966,6	1,8E-18	Distance-Threshold0.51	Fixed	18	15966,6	1,8E-18
Distance-Threshold0.41	Fixed	18	15966,6	1,8E-18	Distance-Threshold0.41	Fixed	18	15966,6	1,8E-18
Density_1.0km-Threshold29.28	Fixed	18	15968,8	6,0E-19	Density_1.0km-Threshold29.28	Fixed	18	15968,8	6,0E-19
Distance-Threshold0.61	Fixed	18	15975,8	1,8E-20	Distance-Threshold0.61	Fixed	18	15975,8	1,8E-20
NULL model	None	4	16009,4	9,4E-28	NULL model	None	4	16009,4	9,4E-28

Table 13: Comparison table based on AICc of the different generalized linear mixt models linking nectar foraging success of *honeybees* with beekeeping metrics including a random session effect (left panel= Lower hypothesis, right panel = Upper hypothesis)

Lower hypothesis					Upper hypothesis				
Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc weight	Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc weight
Distance-apiary \geq 16	Random	6	1340,0	0,47	Distance-apiary \geq 24	Random	6	1347,5	0,93
Distance-apiary \geq 8	Random	6	1340,3	0,40	Distance-apiary \geq 16	Random	6	1354,1	0,03
Distance-apiary	Random	6	1342,8	0,12	Distance-apiary \geq 8	Random	6	1354,3	0,03
Distance-apiary \geq 24	Random	6	1347,6	0,01	Distance-apiary	Random	6	1357,5	6,0E-03
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.76	Random	6	1354,3	3,8E-04	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.44	Random	6	1363,1	3,7E-04
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.86	Random	6	1357,8	6,3E-05	Distance-Threshold0.41	Random	6	1364,2	2,2E-04
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.36	Random	6	1359,5	2,8E-05	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.54	Random	6	1366,2	7,7E-05
Distance-Threshold0.73	Random	6	1360,1	2,1E-05	Distance-Threshold0.51	Random	6	1367,3	4,5E-05
Distance-Threshold0.43	Random	6	1360,1	2,0E-05	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.34	Random	6	1368,6	2,3E-05
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.46	Random	6	1361,5	9,9E-06	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.64	Random	6	1368,8	2,1E-05
Distance-Threshold0.33	Random	6	1362,9	4,9E-06	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.74	Random	6	1368,9	2,1E-05
Distance-Threshold0.53	Random	6	1363,2	4,3E-06	Distance-Threshold0.31	Random	6	1369,2	1,7E-05
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.56	Random	6	1363,5	3,7E-06	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.24	Random	6	1369,5	1,5E-05
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.66	Random	6	1363,9	3,0E-06	Distance-Threshold0.61	Random	6	1370,7	8,3E-06
Distance-Threshold0.83	Random	6	1365,1	1,6E-06	Distance-Threshold0.21	Random	6	1371,5	5,6E-06
Distance-Threshold0.23	Random	6	1365,4	1,4E-06	Distance-Threshold0.71	Random	6	1374,1	1,5E-06
Distance-Threshold0.63	Random	6	1366,6	7,8E-07	Density_1.0km-Threshold22.22	Random	6	1375,5	7,8E-07
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.26	Random	6	1369,7	1,7E-07	Density_1.0km-Threshold28.22	Random	6	1376,1	5,6E-07
Density_1.0km-Threshold23.28	Random	6	1373,1	3,0E-08	Density_1.5km	Random	6	1376,9	3,7E-07
Density_1.0km-Threshold26.28	Random	6	1374,3	1,7E-08	Density_1.0km-Threshold25.22	Random	6	1377,0	3,6E-07
Density_1.0km-Threshold14.28	Random	6	1374,6	1,4E-08	Density_1.0km	Random	6	1377,9	2,3E-07
Density_1.0km	Random	6	1374,8	1,3E-08	Density_1.0km-Threshold31.22	Random	6	1379,3	1,1E-07
Density_1.0km-Threshold8.28	Random	6	1377,1	4,2E-09	Density_1.0km-Threshold13.22	Random	6	1380,2	7,1E-08
Density_1.0km-Threshold11.28	Random	6	1378,3	2,3E-09	Density_1.0km-Threshold16.22	Random	6	1381,6	3,5E-08

Density_1.5km	Random	6	1378,6	2,0E-09	Density_1.5km-Threshold22.41	Random	6	1382,8	1,9E-08
Density_1.0km-Threshold20.28	Random	6	1379,6	1,2E-09	Density_1.5km-Threshold19.41	Random	6	1383,8	1,2E-08
Density_1.0km-Threshold17.28	Random	6	1380,6	7,0E-10	Density_1.5km-Threshold16.41	Random	6	1384,4	9,0E-09
Density_1.5km-Threshold18.91	Random	6	1380,7	6,9E-10	Density_1.0km-Threshold34.22	Random	6	1384,5	8,2E-09
Density_1.0km-Threshold29.28	Random	6	1381,1	5,5E-10	Density_1.0km-Threshold19.22	Random	6	1384,7	7,6E-09
Density_1.5km-Threshold9.91	Random	6	1381,7	4,0E-10	Density_1.5km-Threshold13.41	Random	6	1384,7	7,5E-09
Density_1.0km-Threshold32.28	Random	6	1382,8	2,4E-10	Density_1.0km-Threshold37.22	Random	6	1385,0	6,4E-09
Density_1.5km-Threshold21.91	Random	6	1383,0	2,2E-10	NULL model	None	5	1385,4	5,4E-09
Density_1.5km-Threshold15.91	Random	6	1385,1	7,6E-11	Density_1.0km-Threshold40.22	Random	6	1385,9	4,2E-09
NULL Model	None	5	1385,4	6,6E-11	Density_1.5km-Threshold25.41	Random	6	1385,9	4,1E-09
Density_1.5km-Threshold12.91	Random	6	1386,5	3,7E-11	Density_1.5km-Threshold28.41	Random	6	1386,2	3,6E-09

Table 14: Comparison table based on AICc of the different generalized linear mixt models linking nectar foraging success of *honeybees* with beekeeping metrics interacting with a fixed session effect (left panel= Lower hypothesis, right panel = Upper hypothesis). The session variable combines the floral species and the year of sampling.

Lower hypothesis					Upper hypothesis				
Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc weight	Explanatory variable	Session effect	K	AICc	AICc weight
Distance-apiary \geq 8	Fixed	20	1368,5	0,55	Distance-apiary \geq 8	Fixed	20	1373,6	0,76
Distance	Fixed	20	1369,8	0,30	Distance-apiary \geq 16	Fixed	20	1377,3	0,12
Distance-apiary \geq 16	Fixed	20	1371,1	0,15	Distance	Fixed	20	1377,3	0,12
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.36	Fixed	20	1385,0	1,5E-04	NULL Model	None	5	1385,4	2,1E-03
Distance-Threshold0.43	Fixed	20	1385,4	1,2E-04	Distance-Threshold0.41	Fixed	20	1390,7	1,5E-04
NULL Model	None	5	1385,4	1,2E-04	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.44	Fixed	20	1391,6	9,3E-05
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.46	Fixed	20	1388,8	2,2E-05	Distance-apiary \geq 24	Fixed	20	1394,6	2,1E-05
Distance-apiary \geq 24	Fixed	20	1389,7	1,4E-05	Distance-Threshold0.61	Fixed	20	1397,8	4,2E-06
Distance-Threshold0.53	Fixed	20	1390,2	1,1E-05	Distance-Threshold0.51	Fixed	20	1400,4	1,1E-06
Distance-Threshold0.73	Fixed	20	1392,8	3,0E-06	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.34	Fixed	20	1400,7	1,0E-06
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.76	Fixed	20	1392,8	2,9E-06	Distance-Threshold0.31	Fixed	20	1401,2	7,6E-07
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.56	Fixed	20	1393,8	1,8E-06	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.54	Fixed	20	1401,3	7,2E-07
Distance-Threshold0.63	Fixed	20	1395,9	6,4E-07	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.64	Fixed	20	1403,2	2,8E-07
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.66	Fixed	20	1397,0	3,7E-07	Density_1.5km-Threshold16.41	Fixed	20	1404,5	1,5E-07
Distance-Threshold0.33	Fixed	20	1398,3	1,9E-07	Distance-Threshold0.21	Fixed	20	1405,0	1,1E-07
Density_1.0km-Threshold14.28	Fixed	20	1398,5	1,7E-07	Density_1.5km	Fixed	20	1405,5	8,8E-08
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.86	Fixed	20	1399,2	1,2E-07	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.74	Fixed	20	1407,1	4,0E-08
Distance-Threshold0.83	Fixed	20	1402,2	2,7E-08	Density_1.0km-Threshold22.22	Fixed	20	1408,2	2,3E-08
Density_1.0km	Fixed	20	1404,0	1,1E-08	Distance-Threshold0.71	Fixed	20	1408,4	2,1E-08
Distance-Threshold0.23	Fixed	20	1404,1	1,0E-08	Distance-apiary \geq 16-Threshold0.24	Fixed	20	1409,0	1,6E-08
Density_1.5km-Threshold18.91	Fixed	20	1408,9	9,3E-10	Density_1.0km-Threshold25.22	Fixed	20	1409,9	9,8E-09
Density_1.0km-Threshold23.28	Fixed	20	1410,6	4,0E-10	Density_1.0km-Threshold13.22	Fixed	20	1410,9	5,8E-09
Distance-apiary \geq 16-Threshold0.26	Fixed	20	1410,7	3,9E-10	Density_1.5km-Threshold22.41	Fixed	20	1411,1	5,4E-09
Density_1.5km	Fixed	20	1411,2	3,0E-10	Density_1.5km-Threshold19.41	Fixed	20	1412,8	2,3E-09

Density_1.5km-Threshold21.91	Fixed	20	1412,0	2,0E-10	Density_1.0km	Fixed	20	1412,8	2,3E-09
Density_1.0km-Threshold26.28	Fixed	20	1412,2	1,8E-10	Density_1.5km-Threshold13.41	Fixed	20	1416,8	3,2E-10
Density_1.0km-Threshold11.28	Fixed	20	1412,8	1,3E-10	Density_1.0km-Threshold16.22	Fixed	20	1417,3	2,5E-10
Density_1.5km-Threshold15.91	Fixed	20	1413,2	1,1E-10	Density_1.0km-Threshold28.22	Fixed	20	1419,6	7,8E-11
Density_1.0km-Threshold8.28	Fixed	20	1413,2	1,1E-10	Density_1.0km-Threshold31.22	Fixed	20	1420,0	6,2E-11
Density_1.0km-Threshold17.28	Fixed	20	1413,7	8,7E-11	Density_1.0km-Threshold19.22	Fixed	20	1422,4	1,9E-11
Density_1.0km-Threshold20.28	Fixed	20	1413,7	8,6E-11					
Density_1.0km-Threshold32.28	Fixed	20	1420,8	2,4E-12					
Density_1.0km-Threshold29.28	Fixed	20	1424,0	5,1E-13					
Density_1.5km-Threshold9.91	Fixed	20	1426,9	1,1E-13					
Density_1.5km-Threshold12.91	Fixed	20	1430,2	2,2E-14					

Table 15: Comparison table of the different models according to the AICc for models of pollen foraging success of wild bees including weather covariates and a random session effect (left= Lower hypothesis, right panel = Upper hypothesis)

Lower hypothesis				Upper hypothesis			
Explanatory_variable	Weather covariates	K	AICc	Explanatory_variable	Weather covariates	K	AICc
Distance-apiary ≥ 24 colonies	Wind* Hygrothermics	11	4168,5	Distance-apiary ≥ 16 colonies	Wind* Hygrothermics	11	4158,5
Distance-apiary ≥ 16 colonies	Wind* Hygrothermics	11	4170,4	Distance-apiary ≥ 24 colonies	Wind* Hygrothermics	11	4166,3
Density1.5km	Wind* Hygrothermics	11	4177,0	Distance-apiary ≥ 08 colonies	Wind* Hygrothermics	11	4174,5
Temperature	Temperature	5	4180,7	Density1.5km	Wind* Hygrothermics	11	4177,0
Distance-apiary ≥ 08 colonies	Wind* Hygrothermics	11	4182,0	Temperature	Temperature	5	4180,7
Relative humidity	Relative humidity	5	4185,7	Relative humidity	Relative humidity	5	4185,7
Density1.0km	Wind* Hygrothermics	11	4188,8	Distance-apiary	Wind* Hygrothermics	11	4188,3
Distance-apiary	Wind* Hygrothermics	11	4196,0	Density1.0km	Wind* Hygrothermics	11	4195,8
Hygrothermics	Hygrothermics	5	4212,9	Hygrothermics	Hygrothermics	5	4212,9
Wind	Wind	5	4214,8	Wind	Wind	5	4214,8
Distance-apiary ≥ 8 colonies	None	5	4216,1	Distance-apiary ≥ 8 colonies	None	5	4218,4
Distance- apiary ≥ 24 colonies	None	5	4216,9	Density1.5km	None	5	4220,8
Density1.5km	None	5	4218,6	Null model	None	4	4221,0
Density1.0km	None	5	4220,6	Distance-apiary ≥ 24 colonies	None	5	4221,1
Null Model	None	4	4221,0	Time Capture	Time Capture	5	4222,3
Time Capture	Time Capture	5	4222,3	Distance-apiary	None	5	4222,8
Distance-apiary ≥ 16 colonies	None	5	4222,3	Density1.0km	None	5	4222,9
Distance-apiary	None	5	4223,1	Distance-apiary ≥ 16 colonies	None	5	4223,1

Table 16: Comparison table of the different models according to the AICc for models of pollen foraging success of honeybees including weather covariates and a random session effect (left= Lower hypothesis, right panel = Upper hypothesis)

Lower Hypothesis –generic model (random session effect)				Upper Hypothesis generic model (random session effect)			
Explanatory variable	Weather covariates	K	AICc	Explanatory variable	Weather covariates	K	AICc
Density1.0km	Wind* Hygrothermics	11	11415,7	Density1.0km	Wind* Hygrothermics	11	11442,9
Relative humidity	Relative humidity	5	11540,7	Relative humidity	Relative humidity	5	11540,73
Time of capture	Time Capture	5	11561,3	Time of capture	Time capture	5	11561,31
Distance-apiary ≥ 8 colonies	Wind* Hygrothermics	11	11567,3	Distance-apiary ≥ 8 colonies	Wind* Hygrothermics	11	11567,28
Distance-apiary ≥ 16 colonies	Wind* Hygrothermics	11	11569,0	Distance-apiary ≥ 16 colonies	Wind* Hygrothermics	11	11568,96
Distance-apiary ≥ 24 colonies	Wind* Hygrothermics	11	11569,8	Distance-apiary ≥ 24 colonies	Wind* Hygrothermics	11	11569,77
Temperature	Temperature	5	11572,2	Temperature	Temperature	5	11572,20
Density1.0km	None	5	11579,0	Distance-apiary	Wind* Hygrothermics	11	11581,28
Distance-apiary	Wind* Hygrothermics	11	11581,3	Density1.5km	Wind* Hygrothermics	11	11583,43
Density1.5km	Wind* Hygrothermics	11	11583,4	Density1.0km	None	5	11595,10
Hygrothermics	Hygrothermics	5	11614,7	Hygrothermics	Hygrothermics	5	11614,65
Density1.5km	None	5	11618,3	Distance-apiary ≥ 8 colonies	None	5	11619,54
Wind	Wind	5	11625,4	Distance-apiary ≥ 16 colonies	None	5	11622,14
Distance-apiary ≥ 24 colonies	None	5	11629,0	Density1.5km	None	5	11623,24
Distance-apiary	None	5	11629,5	Wind	Wind	5	11625,41

Null Model	None	4	11629,5	Null Model	None	4	11629,52
Distance-apiary ≥8colonies	None	5	11630,8	Distance-apiary	None	5	11630,79
				Distance-apiary ≥24colonies	None	5	11631,45

Chapitre 4 – Accompagner l’action collective pour le partage des ressources florales entre apiculture et abeilles sauvages

Une approche de recherche-action basée sur le jeu sérieux
AGORAPI

Auteur·rices : Léo MOUILLARD-LAMPLE^{1,2,3,4,*}, Gabriel GONELLA⁵, Axel DECOURTYE^{2,3},
Mickaël HENRY^{1,3}, Christophe LE PAGE⁶, Cécile BARNAUD⁵

¹ INRAE, UR 406 Abeilles et Environnement, 84914 Avignon, France

² ITSAP – Institut de l’abeille, 84000 Avignon, France

³ UMT PrADE, Protection des Abeilles Dans l’Environnement, Avignon 84914, France.

⁴ Université d’Avignon, 84000 Avignon, France

⁵ INRAE, UMR DYNAFOR, Université de Toulouse, 31326 Castanet-Tolosan, France

⁶ CIRAD, UMR SENS, 34398 Montpellier, France

Keywords:

Commons; Companion Modelling; Collective Action; Serious game; Bees; Competition

Écriture inclusive :

Il est fait usage dans ce texte d’écriture inclusive : les noms ont été écrits lorsque nécessaire avec les deux terminaisons existantes séparées par un point médian. Pour les adjectifs, verbes, pronoms etc... l’accord de proximité a été choisi autant que possible.

Introduction :

Ces dernières années, la question de la compétition entre les abeilles pour les ressources a pris de l'ampleur dans le champ scientifique (Iwasaki and Hogendoorn 2022). Le butinage de nectar et de pollen par les colonies d'abeilles domestiques apportées par les apiculteur·rices en ville ou dans les aires protégées peut en effet entraîner une diminution des ressources disponibles pour les pollinisateurs sauvages (Geslin et al. 2017, Mallinger et al. 2017). Ces travaux, qui étayaient l'idée d'une compétition entre abeilles domestiques et pollinisateurs sauvages, rajoutent un élément au tableau des menaces qui pèsent sur les pollinisateurs sauvages (Goulson et al. 2015) : changements d'usage des sols (Durant 2019, Dixon et al. 2021), utilisation de pesticides (Desneux et al. 2007, Woodcock et al. 2017, Tosi et al. 2022) et bouleversements climatiques (Kammerer et al. 2021, Van Espen et al. 2023) . Il pose en tout cas la question, à la fois écologique et sociale, du partage des ressources florales entre abeilles domestiques et pollinisateurs sauvages dans les aires protégées. Certains scientifiques veulent ainsi exclure l'apiculture des zones protégées à des fins de conservation (Geldmann and González-Varo 2018). Même si d'autres estiment qu'il est nécessaire de trouver des solutions inclusives conciliant apiculture et préservation des abeilles sauvages (Kleijn et al. 2018, Alaux et al. 2019), ces solutions visent en général à la limitation du nombre de ruchers et au respect d'une distance minimale entre eux (Henry and Rodet 2020). Or le manque de connaissance concernant la quantité de ressource disponible et la capacité de charge des différents milieux génère des incertitudes quant aux règles de conservation à mettre en place (Wojcik et al. 2018). En effet, les résultats écologiques de mesures de la compétition reconnaissent que celle-ci est dépendante du contexte local, c'est-à-dire de la structure des paysages floraux (Sponsler et al. 2023) mais aussi des variations météorologiques et saisonnières (Wignall et al. 2020, Ropars et al. 2022). Par ailleurs la limitation, voire l'exclusion des colonies d'abeilles domestiques gérées augmente la vulnérabilité des apiculteur·rices (Durant 2019) et pose des questions non seulement d'acceptabilité mais aussi de justice sociale vis-à-vis des apiculteur·rices pour qui les ressources florales représentent un moyen de subsistance. Or ces enjeux sont peu abordés par une littérature sur la compétition qui se focalise surtout sur ses mécanismes écologiques. Face aux enjeux écologiques et sociaux soulevés par l'existence d'une compétition, nous pensons qu'il est pertinent de considérer la question du partage des ressources florales sous l'angle de la théorie des communs d'Elinor Ostrom (Mouillard-Lample et al. 2023).

En effet, les travaux d'Ostrom ont montré comment l'action collective et la coopération entre acteur·rices permettent de surmonter des situations de conflits d'usage, notamment dans le cas de partage de ressources naturelles communes (common-pool resources, CPR) pour une gestion durable des socio-écosystèmes (Ostrom 1990). Les CPR sont définies par deux caractéristiques : ce sont des ressources à forte soustraitabilité d'usage¹⁵, c'est-à-dire difficilement utilisables conjointement par plusieurs personnes, et dont il est difficile d'exclure des bénéficiaires. Si la non-excluabilité des ressources florales ne fait pas de doute étant donné le caractère mobile et discret de la transhumance de ruchers (Dupré 2020) et l'absence de frontière pour les abeilles, leur soustraitabilité, en revanche, fait débat. En effet, pour les écologues et les défenseur·euses d'abeilles sauvages, la notion de compétition suggère le caractère soustraitable des ressources florales : le nectar et le pollen produits par une plante sont limités et doivent être partagés entre les abeilles (Henry and Rodet 2018). En revanche, pour les apiculteur·rices les représentations sont plus variées. Si pour certain·es il s'agit d'une ressource à partager, pour d'autres la compétition n'entre pas dans leur perception de la réalité et la soustraitabilité des ressources n'est pas éprouvée (Dupré 2020, Mouillard-Lample et al. 2023). Les ressources florales sont perçues comme illimitées pour certains, ou trop dépendantes des conditions météorologiques pour que leur caractère soustraitable

¹⁵ Ostrom définit un continuum de situations plutôt qu'une vision dichotomique des ressources. Le terme de soustraitabilité d'usage vient ainsi remplacer celui de rivalité. Des ressources rivales ne peuvent être consommées par deux agents à la fois.

puisse être observé pour d'autres. Toutefois, les perceptions changent. Les problématiques de réchauffement climatique et de changement d'usage des sols conduisent les apiculteur·rices à considérer des problématiques de partage de ressources florales à la fois entre eux et avec les abeilles sauvages (Mouillard-Lample et al. 2023). Ainsi les ressources florales commencent à être perçue comme des CPR, ce qui constitue un important changement de paradigme. La compétition pour les ressources florales fait donc émerger à la fois une prise de conscience sur l'existence d'un bien commun et des débats sur leur gestion collective.

Or si l'analyse institutionnelle de l'action collective pour gérer des situations de partage de ressources naturelles élaborée par Elinor Ostrom a permis de mieux comprendre les facteurs favorables à la mise en place d'une gestion collective durable des socio-écosystèmes (Ostrom and Cox 2010), les travaux d'Ostrom ont essentiellement été menés sur des CPR déjà identifiées comme telles. Ici au contraire, la représentation des ressources florales comme un bien commun est en cours d'émergence et ne fait pas encore consensus. Dans un tel contexte, comment se met en place l'action collective pour la gestion de cette ressource commune en émergence ?

Pour répondre à cette question, nous proposons de nous appuyer sur une démarche de modélisation d'accompagnement (ComMod). Cette démarche de recherche-action est basée sur la modélisation pour accompagner les processus de concertation collective (Antona et al. 2003, Etienne 2010). Cette démarche passe notamment par l'utilisation de jeu de rôle comme outil de modélisation pour produire des connaissances sur les interactions entre acteur·rices engagé·es dans la gestion de ressources (Bousquet et al. 2023). Dans notre cas, nous avons conçu et utilisé le jeu de rôle AGORAPI afin d'étudier l'émergence d'action collective pour le partage des ressources florales.

En plus de la production de connaissances, cette démarche ComMod a aussi pour objectif d'accompagner des processus collectifs de décision. En effet, étant donné *(i)* les incertitudes concernant les connaissances sur la compétition et *(ii)* la tension sociale que représente cette problématique, il est nécessaire d'adopter une approche scientifique participative basée une validation par la communauté concernée (Funtowicz and Ravetz 1993). La démarche ComMod s'inscrit ainsi dans une approche de science post-normale pour mettre en œuvre des solutions concertées en reconnaissant la légitimité des différentes représentations (Bousquet et al. 2023). Cette démarche, que nous adoptons, constitue donc un engagement en tant que chercheur·euses dans la facilitation de ces processus de concertation. Le jeu AGORAPI propose ainsi une arène d'action¹⁶ pour discuter de la compétition et des règles collectives possibles. Le jeu sert ainsi un double rôle : comme outil d'accompagnement des acteurs du territoire et comme outil d'enquête sociale pour répondre à notre question de recherche.

Ainsi, dans un premier temps, nous étudierons la façon dont la perception des interdépendances entre les acteur·rices que génère la compétition entre abeilles influence la mise en place d'action collective. A travers les sessions de jeu de rôle, nous étudierons également les conditions favorables ou défavorables à la mise en place de règles d'action collective pour gérer ce bien commun émergent. Enfin nous nous demanderons quelles sont les règles et les enjeux que les acteur·rices concernées soulèvent pour gérer collectivement l'usage des ressources florales. Nous nous appuyerons sur la littérature issue des travaux d'Ostrom sur les conditions favorables à l'émergence, la pérennité ou l'évolution dynamique de l'action collective pour analyser les situations de jeu (Ostrom 2008, Carr Kelman et al. 2023).

¹⁶ Pour Ostrom une arène d'action « inclut des participant·es et plusieurs situations d'action qui représentent l'espace social dans lequel des participant·es doté·es de diverses préférences interagissent, échangent des biens et services, résolvent des problèmes, se dominant, ou se combattent » (Ostrom 2005).

Dans cet article, nous appliquerons cette démarche à la compétition entre abeilles dans une aire naturelle protégée du Sud de la France où l'apiculture est présente depuis plusieurs siècles (Lehébel-Péron 2014) : le parc national des Cévennes. Après la description de l'approche ComMod et l'explicitation notre cadre d'analyse construit à partir de ceux développés par Ostrom de façon à articuler l'émergence d'une représentation d'une ressource commune et l'émergence de règles collectives pour le gérer, nous nous appliquerons à décrire le contexte de notre zone d'étude et le design du jeu utilisé. Nous présenterons ensuite les résultats issus des différentes sessions de jeux en particulier. Enfin, dans une troisième section, nous discuterons de nos résultats à la lumière des études sur l'action collective. Nous discuterons les limites de notre étude mais aussi des apports de cette étude sur les débats autour des compétitions entre abeilles.

Méthodologie

Cadres conceptuels et méthodologie : de la recherche-action avec une approche de modélisation d'accompagnement

La modélisation d'accompagnement

La modélisation d'accompagnement est une démarche méthodologique fondée sur l'apprentissage collectif dans l'accompagnement d'action collective (Antona and Bousquet 2017). L'approche ComMod reconnaît pour cela la pluralité des interprétations du système et la légitimité de ces représentations (ComMod 2005). En cela elle est également une posture qui vise à faciliter la gestion concertée par un accompagnement des processus collectifs de décision (Bousquet et al. 2023). L'approche ComMod se place ainsi dans une perspective de recherche-action avec deux contextes d'usage qui ne sont pas mutuellement exclusifs : comprendre une situation de gestion sociale de ressources dans un système socio-écologique complexe et accompagner les acteur·rices vers des formes de gestion concertée et durable des ressources. La méthode ComMod utilise fréquemment des jeux de rôle pour modéliser une situation et ainsi favoriser la compréhension mutuelle des représentations de chacun·e des acteur·rices. Le jeu de rôle permet de stimuler l'apprentissage sociale des acteur·rices du socio-écosystème et favoriser l'engagement dans des processus d'organisation collective (Le Page et al. 2022).

La première étape clé de la démarche ComMod consiste à identifier la problématique nécessitant une action collective ainsi que les différents composants du socio-écosystème en interaction. Pour cette première étape l'application de la méthodologie ARDI est proposée par l'approche ComMod (Etienne 2010).

Suivant les principes méthodologiques de ComMod, le jeu AGORAPI combine les deux objectifs de recherche-action. D'une part, il est conçu comme un outil d'enquête sociale pour comprendre par la mise en situation comment la perception émergente d'une ressource en tant que CPR entraîne une situation de dilemme social¹⁷. Mais le jeu AGORAPI est aussi construit dans le but d'accompagner les acteur·rices dans la mise en place d'actions collectives pour surmonter cette situation. Les objectifs du jeu sont les suivants :

- Promouvoir le partage des connaissances écologiques locales et des connaissances scientifiques.
- Favoriser par la construction d'une arène d'action, la compréhension mutuelle entre les différent·es acteur·rices concerné·es par cette problématique : les apiculteur·rices, les gestionnaires d'aires protégées, et les défenseur·euses des abeilles sauvages.
- Stimuler l'émergence de nouvelles règles d'organisation collective.

Analyse du contexte socio-écologique

L'application de la démarche ComMod commence par l'application de la méthodologie ARDI (Acteurs, Ressources, Dynamiques, Interactions) (Etienne 2010). Cette méthodologie consiste en la construction d'une modélisation mentale identifiant et explicitant (i) les principales·aux acteur·rices concerné·es par la problématique, (ii) les ressources impliquées, (iii) les dynamiques des acteur·rices et des ressources en jeu, et (iv) les interactions entre acteur·rices et entre acteur·rices et ressources, c'est-à-dire en quoi les dynamiques sont affectées par les acteur·rices. Nous avons commencé par l'élaboration du modèle du socio-écosystème humain-abeille-fleur que nous avons développé dans un précédent article (Mouillard-Lample et al. 2023). Pour ce faire nous avons réalisés entre janvier 2020 et juin 2021, 34 entretiens semi-directifs avec des apiculteur·rices du territoire, choisi·es de façon à couvrir une diversité de profils apicoles (amateur·rices, pluriactif·ves, transhumant·es locaux·les, transhumant·es inter-régionaux·les, défenseur·euses de l'abeille noire,

¹⁷ « Un dilemme social est une situation dans laquelle le comportement qui convient le mieux aux intérêts d'un individu est désastreux pour le groupe quand chacun l'adopte. » (Antona and Bousquet 2017)

partisan·es ou contempteur·rices de l'IGP, retraité·es...). Les entretiens, d'une durée de 1 à 4 heures, ont été enregistrés et partiellement transcrits. Nous avons également assisté à la réunion du groupe de travail « apiculture et pollinisateurs » du parc autour d'une charte de bonnes pratiques apicoles, à l'initiative de certain·es apiculteur·rices locaux·les en juillet 2021. Cette réunion regroupait des agent·es du parc national, des apiculteur·rices représentant les organisations à l'initiative de la charte, un membre du conseil scientifique du parc défenseur des abeilles sauvages, un maire, le référent apiculture de la chambre d'agriculture. En outre, des échanges complémentaires avec les différent·es acteur·rices du territoire ont eu lieu. Ainsi nous avons échangé et observé des échanges avec les agent·es du parc national lors de réunions de suivi de notre travail, avec des écologues défenseur·euses des abeilles sauvages lors des réunions scientifiques plus ou moins informelles et avec des apiculteur·rices par des contacts informels réguliers par téléphone ou lors de rendez-vous apicoles. L'analyse qualitative de la totalité des entretiens nous a permis de comprendre les perceptions qu'ont les apiculteur·rices des ressources florales, leurs pratiques d'usages des ressources et leurs interactions en jeu entre les acteur·rices du socio-écosystème. A travers ces entretiens, nous avons ainsi dégagé les dynamiques des ressources et les interdépendances socio-écologiques entre l'ensemble des éléments du socio-écosystème humain-abeille-fleur.

Construction du jeu et sessions de test

Le jeu a été construit à partir du modèle conceptuel décrit ci-dessus et à l'aide des connaissances récoltées en entretien sur les acteur·rices, les ressources florales ainsi que les dynamiques et les interactions entre acteur·rices et ressources. Nous avons choisi de mettre au cœur du jeu l'action de déplacer des colonies d'abeilles pour récolter du miel. La compétition intraspécifique se retrouve ainsi en élément central pour les joueur·euses. La compétition interspécifique est un élément contextuel du jeu mais que nous avons décidé de mettre en avant pour montrer qu'on ne peut l'ignorer.

Afin de vérifier que le jeu permettait effectivement de répondre à nos questions de recherche, 6 sessions de jeu test ont été réalisées entre novembre et décembre 2021 auprès de scientifiques spécialistes des abeilles domestiques ou sauvages ou de l'action collective, d'étudiant·es mais aussi de « joueurs de loisir ». Ces sessions ont aussi permis de tester la jouabilité et d'affiner les valeurs numériques du modèle. Le modèle numérique calcule notamment les récoltes des apiculteur·rices, l'évolution de la population des abeilles sauvages et les différentes compétitions. Il a été construit et calibré dans un souci de jouabilité d'une part, et de façon à forcer les situations de compétition, pour provoquer des discussions autour des dilemmes provoqués par ces situations. Le jeu a été calibré pour six joueur·euses, pour faciliter la communication entre les joueur·euses tout en permettant une diversité de profils de participant·es.

Organisation des sessions de jeu et entretiens post-sessions

Trois sessions de jeux ont été organisées dans notre zone d'étude en janvier – février 2022. L'ensemble des participant·es des deux premières étaient apiculteur·rices. Nous avons décidé d'organiser les deux premières sessions uniquement avec des apiculteur·rices afin de placer les participant·es dans une situation de confiance. Nous voulions également observer les réactions et les solutions auprès des apiculteur·rices, qui sont les acteur·rices au cœur du système puisque ce sont elles et eux qui déplacent leurs ruches sur le territoire. Ainsi le jeu modélise plusieurs profils d'apiculteur·rices et, dans les sessions, les apiculteur·rices ont joué des rôles aux profils proches des leurs en réalité. Ce choix a été fait afin d'accentuer le lien à la réalité et de faciliter la projection des joueur·euses dans le jeu. La troisième session a été organisée avec des représentant·es de différentes instances apicoles et naturalistes présentes sur notre zone d'étude : parc national des Cévennes (agent·es des pôles conservation et développement agricole), Association de Développement Apicole (ADA) Occitanie, Office Français de la Biodiversité) et des chercheur·euses en écologie. Pour les institutionnel·les, l'objectif était également de favoriser la

compréhension des contraintes apicoles sur le choix des emplacements. Aussi nous avons choisi de faire jouer à des écologues défendant la conservation des abeilles sauvages des rôles d'apiculteur·rices avec un nombre important d'abeilles. Étant donné l'hypothèse de compétition dans le jeu, les systèmes apicoles de ces rôles en font des profils « compétiteurs » qui entrent en contradiction avec les aspirations de ces écologues.

Chaque session rassemblait 6 joueur·euses. La pandémie de COVID-19 a freiné la participation de certain·es invité·es et a entraîné des absences de dernières minutes. Aussi sur chaque session avec des apiculteur·rices, un ingénieur de notre équipe a participé aux sessions tests du jeu en remplacement de ces acteur·rices. Au total, les sessions ont donc rassemblé 16 participant·es. Les apiculteur·rices ont été choisi·es avant tout parmi celles et ceux avec qui nous avons réalisé des entretiens au préalable (80% des apiculteur·rices participant·es) (Mouillard-Lample et al. 2023). Nous avons élargi ensuite à d'autres personnes avec qui nous avons eu des discussions informelles ou dont nous avaient parlé certain·es de nos enquêté·es. Le choix des apiculteur·rices a été fait de façon à privilégier la rencontre d'apiculteur·rices aux profils différents et ayant des représentations différentes des ressources florales.

Par ailleurs, des entretiens téléphoniques ont eu lieu quelques jours après les sessions de jeu avec les apiculteur·rices des deux premières sessions. Ces appels d'environ 10-15 minutes avaient pour objectif d'avoir des retours à froid des joueur·euses. Nous avons interrogé les participant·es sur leurs ressentis sur les sessions de jeu et ce qu'ils en retenaient. Ils et elles sont revenu·es sur la méthodologie du jeu et les résultats qui en sont sortis. À la suite de ces entretiens, à la demande des apiculteur·rices, une discussion entre une partie des apiculteurs participants et de l'équipe d'animation a eu lieu. Elle a eu pour objectif de réexpliquer la méthodologie d'enquête par le jeu et la façon dont nous analysons ces sessions.

Analyse des sessions de jeu et entretiens

Les sessions ont été suivies par 2 à 4 observateur·rices chargé·es de relever les points cruciaux du jeu concernant quatre principaux thèmes : la réflexion sur les interdépendances, la mise en avant des incertitudes, la compréhension mutuelle entre participant·es et la mise en place de nouvelles règles et leurs effets. Le contenu des sessions de jeu, les notes manuscrites des observateur·rices, ainsi que les entretiens téléphoniques et la discussion collective post-session de jeu ont été retranscrits ou partiellement retranscrits, puis analysés à la lumière du cadre conceptuel présenté ci-dessous.

Cadre d'analyse et de développement institutionnels

Notre article se focalise sur deux objets. Le premier est l'émergence de réflexion collective sur la question de la compétition. Le second est les apports du jeu, à la fois comme outil d'accompagnement que comme un outil scientifique pour révéler les dynamiques, les freins et les leviers à l'action collective en émergence. Pour ce faire, notre analyse des sessions de jeu s'ancre dans le cadre de l'analyse institutionnelle et de la théorie des communs développés par Elinor Ostrom (Ostrom 1990). L'ensemble des travaux d'Ostrom visent à la compréhension des conditions institutionnelles et individuelles favorables à l'émergence d'action collective pour gérer des ressources communes, ainsi qu'à la pérennité de cette gestion et son évolution dynamique. Pour construire une grammaire commune à l'analyse des arènes d'action, Ostrom a développé le cadre IAD (Institutional Analysis and Development framework). Ce cadre met en avant les différentes variables à considérer dans l'analyse des arènes d'action : les variables intrinsèques à l'arène d'action (participant·es et situation d'action) et les variables exogènes concernant les conditions matérielles et biophysiques de la ressource, les attributs de la communauté et les règles en usage. Or Ostrom s'est intéressée essentiellement à des ressources considérées par leurs utilisateurs comme des ressources de type bien commun (CPR) au regard de leurs caractéristiques (forte difficulté à exclure un bénéficiaire, forte soustraitabilité à l'usage). Or dans le cas des ressources florales, il n'y a pas

de consensus entre les acteur·rices – qui ne sont pas toutes et tous des utilisateur·rices direct·es des ressources comme dans les travaux d’Ostrom – sur le fait qu’il s’agisse d’un bien commun. Face à cela, nous adoptons ici une approche constructiviste des biens communs : nous ne considérerons pas que les ressources sont des CPR en soi en raison de propriétés objectives, mais dans la mesure où elles sont perçues comme des CPR. La perception et la conscientisation des interdépendances par les acteur·rices sont cruciales pour leur investissement dans l’action collective. Le jeu de rôle AGORAPI apporte une situation d’action qui provoque cette réflexion. Nous portons donc une attention particulière à l’analyse de ces perceptions.

Dans son étude de l’émergence de commun dans le cadre de l’économie sociale et solidaire, Fontaine s’est appuyée sur les travaux d’Ostrom – à la fois sur l’analyse institutionnelle et l’analyse comportementale des individus – pour mettre en avant spécifiquement les attributs de chacune des variables intrinsèques et exogènes qui influencent l’émergence d’action collective (Fontaine 2016). En nous appuyant sur ses ces travaux, nous proposons d’analyser les sessions de jeu à la lumière du cadre institutionnel d’Ostrom en accordant une place toute particulière aux conditions spécifiques liées à l’émergence de biens communs.

Enfin, l’ensemble des travaux autour l’analyse institutionnelle d’action collective ont permis à Ostrom d’élargir le cadre IAD. Cet élargissement a été construit pour analyser des situations d’actions plus complexes. En effet, Ostrom montre que les situations d’actions sont emboîtées au sein d’un système socio-écologique (SSE) en interaction avec d’autres SSE (Ostrom 2009, McGinnis and Ostrom 2014). Dans notre analyse nous reviendrons donc également sur les variables institutionnelles, économiques et politiques qui impactent notre situation d’action. La Figure 29 présente le cadre d’analyse sur lequel nous nous appuyons.

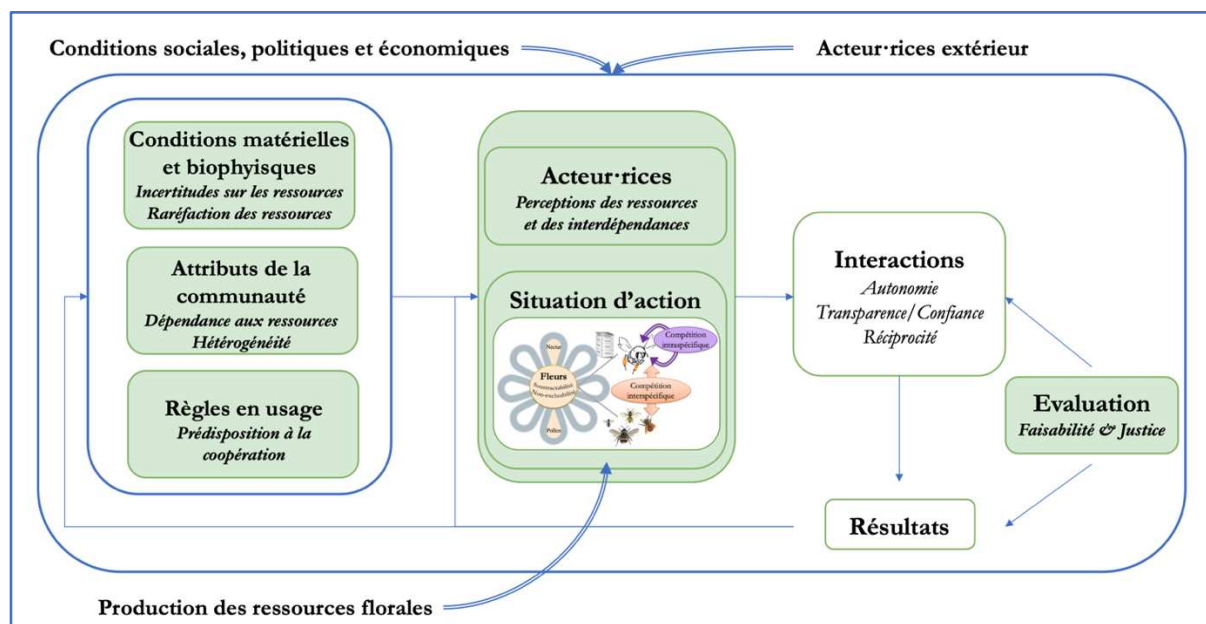


Figure 29 : Cadre d’analyse institutionnel adapté du cadre LAD d’Ostrom (2005). Parmi les différents facteurs clés d’une gouvernance collective perçue comme efficace (Carr Kelman et al. 2023) nous focaliserons notre analyse sur ceux présentés en italique dans cette figure. Ces facteurs ont été sélectionnés en raison de leur importance dans l’émergence d’action collective (Perrin 2019).

Application au cas de l’apiculture dans les Cévennes

Ressources florales et pratique apicoles dans les Cévennes

Notre étude s’applique principalement dans le périmètre du parc national des Cévennes sans que nous nous limitons aux frontières du parc *stricto sensu*. Ce parc national recouvre une zone de moyenne montagne du sud-est de la France. Notre zone d’étude est caractérisée par des climats

montagnards et méditerranéens, et des sols divers (schisteux, granitique et calcaire) ce qui donne lieu à une diversité d'habitats abritant plus de 264 espèces d'abeilles sauvages (Genoud and Fonderflick 2021). Par la suite nous appellerons Cévennes cette zone qui recouvre les vallées cévenoles (Cévennes au sens stricte) les massifs granitiques du Mont Lozère et de l'Aigoual, et les plateaux des Causses. Le parc national, vieux de 50 ans, est un des rares à abriter une présence humaine et de nombreuses activités humaines en zone cœur. Parmi elles, l'agropastoralisme, qui a été reconnu pour son importance dans le modelage des paysages cévenols et l'apiculture. Au-delà d'une api-collecte datant de l'Antiquité, on peut considérer la présence de l'apiculture dans les Cévennes depuis le XVIème siècle avec l'essor des ruchers troncs (Lehébel-Péron 2014).

Les éléments du contexte qui suivent sont basés sur les entretiens décrits plus haut. Une présentation plus complète des pratiques apicoles et des représentations des ressources est faite dans notre précédente étude (Mouillard-Lample et al. 2023). Conformément à la méthode ARDI, nous présenterons d'abord les acteur·rices, puis les ressources du territoire, leurs dynamiques et les dynamiques apicoles associées.

Les dernières évaluations, basées sur un recensement datant de 2012 (Jobard 2012), dénombrent 26 000 colonies qui appartiennent à environ 310 apiculteur·ices dont le siège d'exploitation est au sein du parc national des Cévennes (Lehébel-Péron 2014). Il faut ajouter à cette estimation les apiculteur·rices qui transhument sur le territoire. L'apiculture cévenole possède de multiples facettes. Outre les apiculteur·ices amateur·ices qui représentent plus de la moitié des apiculteur·ices, les pluriactifs de plus de 70 ruches représentent 12% du total, et 13% sont considérés comme professionnels (plus de 200 ruches). Ces apiculteur·rices se regroupent dans différents réseaux. Amateur·rices et professionnel·les présent·es depuis longtemps dans le territoire se côtoient à travers le syndicat apicole de Lozère et le groupement de défense sanitaire de Lozère. Parmi les apiculteur·rices professionnel·les, nombreux·ses sont les néo-ruraux venu·es s'installer ici pour vivre sur ce territoire, qui ont découvert l'apiculture ensuite. Ces apiculteur·rices sont plutôt organisés à travers l'Association de Développement Apicole (ADA) d'Occitanie. Enfin outre le réseau des affilié·es « Nature et Progrès », il existe des plus petits réseaux d'organisations internes notamment autour de la génétique de l'abeille. Certain·es apiculteur·rices s'organisent ainsi en CETA (Centre d'études techniques agricoles) pour sélectionner une abeille adaptée aux conditions régionales quand d'autres sont associés dans l'objectif de conservation de l'abeille noire – *Apis mellifera mellifera*, sous-espèce endémique en France – dans l'association l'Arbre aux abeilles.

L'apiculture de cette région repose sur une diversité de ressources florales tout au long de l'année. Pour les apiculteur·rices qui laissent leurs colonies sur le territoire, la saison commence en mars-avril avec des ressources qui permettent le développement des colonies essentiellement avec la floraison de la bruyère blanche (*Erica arborea*) et de l'acacia (*Robinia pseudoacacia*). Au mois de mai, les colonies connaissent une période de disette où les ressources florales sont rares. La particularité des Cévennes est la présence de châtaignier qui produit une importante quantité de ressources florales et permet aux apiculteur·ices une récolte qui leur assure une part essentielle de leur production annuelle. Pendant et après la floraison de cette ressource de masse, fleurissent, dans les vallées cévenoles, les buissons de ronce (*Rubus sp.*) et les landes de bruyère cendrée (*Erica cinerea*). Ces deux ressources assurent une ressource diversifiée et permettent d'assurer des productions de miels et de pollen après le châtaignier. Le miel polyfloral issu de ces floraisons est caractéristique de cette région et communément nommé « miel des Cévennes ». Enfin sur les sommets du mont Lozère – qui abritent également des ressources de prairies importante pour les apiculteurs locaux (Gonella et al. 2022) – la callune (*Calluna vulgaris*) produit un miel historiquement très prisé et difficile à extraire mais cette ressource est sur le déclin. Depuis les années 2000, rares ont été les années de forte production en raison notamment de l'absence de pluies estivales et de l'avancée de sa phénologie en début de mois d'août (Lehébel-Péron et al. 2016).

Ces ressources sont à l'origine d'une diversité de pratiques et de dynamiques apicoles sur le territoire, en particulier concernant la transhumance (Mouillard-Lample et al. 2023). Certaines apicultrices, peu nombreuses, sont sédentaires, mais la plupart transhument localement, depuis la garrigue des plaines méditerranéennes autour des Cévennes où hivernent les colonies, aux vallées cévenoles pour les floraisons de bruyère blanche et d'acacia puis de châtaignier et de fleurs de montagnes (ronce, bruyère cendrée) en passant par celles des prairies de montagnes et des champs de sainfoin des Causses (fin de printemps). Malgré le déclin avéré de la miellée de callune, les apicultrices locales sont encore nombreuses à aller installer leurs ruches sur les sommets du Mont Lozère pour produire ce miel recherché ou *a minima* fournir une ressource pour l'approvisionnement des colonies en fin de saison. D'autres transhument sur de plus longues distances, notamment dans le sud-ouest de la France en début de saison pour le romarin et dans le sud-est, en Provence pour produire du miel de lavande en début d'été. Enfin, la floraison massive du châtaignier entre fin juin et début juillet attire des apicultrices plus éloignées qui viendraient parfois même de l'étranger uniquement pour ce miel typique.

Diversité de représentation des ressources florales parmi les apicultrices

Cette diversité d'apicultrices et de pratiques s'accompagne d'une diversité de perception des ressources florales. En particulier, le caractère soustractible des ressources fait l'objet de perceptions très contrastées. Alors que certains considèrent les ressources comme quasi-illimitées ou si importantes pendant les périodes de miellées que le nombre de ruches n'a aucun impact sur la disponibilité globale, d'autres considèrent au contraire que ces ressources sont limitées et donc à partager entre l'ensemble des colonies (Mouillard-Lample et al. 2023). Les apicultrices s'accordent globalement sur le fait que cette ressource est imprévisible et variable, notamment du fait des conditions météorologiques qui peuvent modifier drastiquement la quantité de ressources disponibles. Certains admettent qu'en période de disette ou en cas de météorologie défavorable, une compétition pourrait avoir lieu. Cette compétition est donc reconnue possible mais du fait d'une absence de ressources plutôt que du fait de son prélèvement par les abeilles. Cette diversité de perceptions sur les ressources entraîne une diversité de perceptions des interdépendances avec les autres apiculteurs, ainsi qu'une diversité de règles collectives. Certaines considèrent que la présence de ruchers proches peut porter atteinte à leur récolte, tandis que d'autres estiment que cela n'a aucun impact. Ainsi même si des règles courtoisies informelles existent, elles ne sont pas forcément respectées par toutes et tous les apicultrices. La compétition interspécifique, quant à elle, est peu reconnue voire peu pensée. Si les apicultrices peuvent s'inquiéter des ressources pour les abeilles sauvages en période de disette, du fait de l'absence de complémentarité humaine, les apicultrices considèrent généralement que le manque de ressource n'est pas lié à une compétition avec leurs colonies. Certaines toutefois s'inquiètent de leur rôle dans cette compétition et craignent que leur activité s'accompagne d'impacts sur l'environnement. Au niveau national, certaines organisations apicoles, présentes localement, s'opposent à l'idée d'une compétition avec les abeilles sauvages et à la responsabilisation des apicultrices dans le déclin des abeilles sauvages (UNAF 2019). Toutefois les bouleversements climatiques et les transformations de l'agriculture, s'exprimant notamment dans la sécheresse, le raccourcissement des miellées et des floraisons (Lehébel-Péron et al. 2016, Gonella et al. 2022, Mouillard-Lample et al. 2023), ont entraîné une complexification de la pratique de l'apiculture et une vulnérabilité plus grande aux aléas de disponibilité en ressources, comme cela a pu être montré déjà dans d'autres zones d'études (Durant 2019, Dupré 2020). Cette incertitude grandissante autour des ressources disponibles s'accompagne de changements dans la perception des interdépendances entre apicultrices vis-à-vis des ressources florales.

Conflits concernant l'organisation spatiale sur le territoire

L'apiculture de notre zone d'étude a été récemment traversée par plusieurs situations de conflits. En particulier, l'arrivée d'importants ruchers (300 ruches) transhumants dans le proche périmètre

de ceux d'apiculteur·rices locaux a suscité la colère de ces dernier·es. Plusieurs plaintes à la préfecture ont été déposées suite à ces transhumances. Face aux conflits d'usages générés par l'augmentation du cheptel apicole et l'intensification des pratiques de transhumance, certain·es apiculteur·rices ont décidé d'établir une charte de « bonnes pratiques ». A l'initiative du groupement de défense sanitaire Apicole de Lozère et du Syndicat apicole de Lozère, cette charte vise à « réduire les conflits d'usage par une coopération volontaire ». Elle propose une base de règles de « bonnes pratiques » que s'engagent à respecter les apiculteur·rices, les exploitant·es agricoles, les propriétaires fonciers, les mairies, le parc national des Cévennes, ainsi que les institutions à l'initiative de la charte. Afin d'éviter que « la densité de ruchers dépasse la capacité d'accueil du milieu », la charte engage les apiculteur·rices à limiter les ruchers à un maximum de 70 ruches et de laisser un minimum de 300 mètres entre deux ruchers. Cette charte est fortement débattue au sein et entre les différentes organisation apicoles (Auneau et al. 2022). Certaines reprochent un manque de processus démocratique dans l'élaboration de la charte et la mise en place de mesures trop restrictives pour les professionnel·les. A l'inverse, des représentant·es des abeilles sauvages considèrent ces règles concernant la disposition des ruchers comme trop permissives étant donné la possible compétition avec les abeilles sauvages autour des ressources florales.

Au-delà de ce conflit d'usage sur les ressources florales, deux conflits notables existent dans notre zone d'étude autour de l'apiculture. Le premier concerne la conservation de la sous-espèce d'abeille endémique : l'abeille noire *Apis mellifera mellifera* (Lehébel-Péron 2014). Face aux introgressions génétiques et à l'hybridation avec les abeilles sélectionnées par les apiculteur·rices, cette sous-espèce a quasiment disparu. Certain·es estiment que sa conservation est essentielle et souhaitent installer un conservatoire dans le parc national excluant dans un certain périmètre l'ensemble des colonies d'abeilles mellifères non natives (Lehébel-Péron 2014, Requier et al. 2019). Ce conflit d'usage pour l'espace et donc les ressources disponibles a entraîné des conflits entre apiculteur·rices. A ce jour, le conservatoire envisagé n'a pas vu le jour. Le deuxième conflit concerne la mise en place d'une protection sur la commercialisation du miel. Un signe lié à la qualité et à l'origine : l'indication géographique protégée (IGP) miel des Cévennes a été mise place. Ce signe valide la provenance des miels en tant que produits d'un large territoire délimité comme cévenol, au-delà de l'appellation locale restreinte aux vallées. La mise en place de ce signe a cependant créé des conflits notamment vis-à-vis des apiculteur·rices locaux·les. En effet, ce signe a entraîné l'interdiction de l'appellation « Cévennes » pour des apiculteur·rices ne cotisant pas à l'IGP. Certain·es apiculteur·rices s'opposent à l'interdiction d'appeler leur miel en suivant un usage séculaire, notamment pour le miel caractéristique composé d'un mélange de châtaignier, ronce et bruyère cendrée. Ils et elles reprochent aussi à ce signe de permettre à des apiculteur·rices extérieur·es d'obtenir l'appellation en laissant leurs ruches sur de courtes périodes sans distinction avec les locaux·les dont les ruches sont présentes toute l'année sur le territoire de l'IGP. La mise en place de cette IGP a fortement divisé les apiculteur·rices et les organisations apicoles – l'ADA étant plutôt favorable et le syndicat apicole défavorable.

Les problématiques de compétition pour les ressources entre abeilles ouvrent une nouvelle situation de conflit d'usage sur notre zone d'étude. La compétition intraspécifique entre abeilles domestiques rejoint les situations de conflit qui ont abouti à l'élaboration de la charte. La compétition interspécifique entre abeilles domestiques et abeilles sauvages, se pose comme un conflit de répartition des ressources avec la prise en compte d'acteurs non-humains (abeilles sauvages), un conflit qui peut faire écho à celui sur la répartition du territoire avec l'abeille noire.

Modèle conceptuel de la situation d'action

L'analyse du contexte socio-écologique nous a permis de construire un modèle opérationnel du socio-écosystème humain-abeille-fleur (Figure 30 adaptée de Mouillard-Lample et al. 2023) en nous basant sur le cadre conceptuel développé par Barnaud et al. (Barnaud et al. 2018) . Ce cadre

conceptuel initialement pensé pour s'appliquer aux services écosystémiques met en avant la perception des interdépendances par les différentes parties prenantes d'une situation d'action. Le jeu de rôle AGORAPI s'appuie donc sur ce modèle du socio-écosystème qui indique les éléments clés de la méthodologie ARDI.

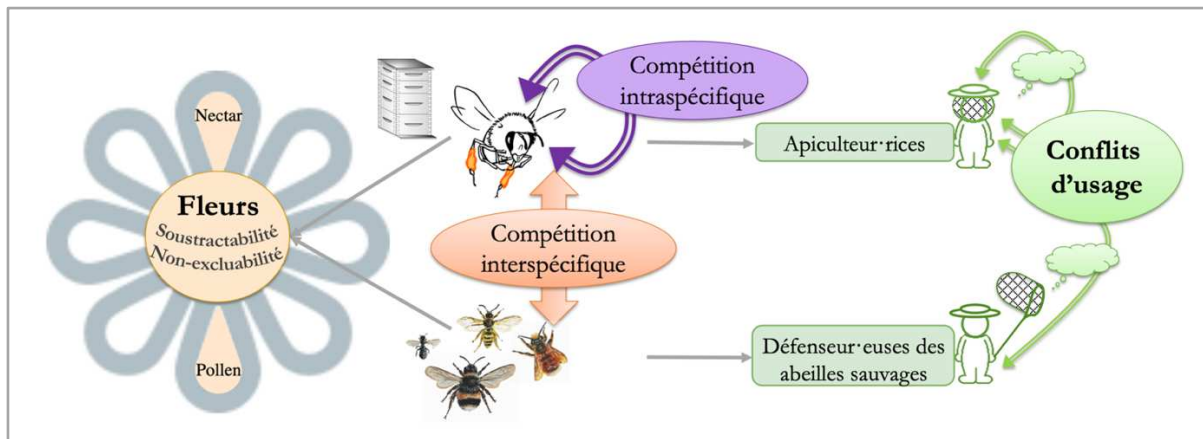


Figure 30 Modèle conceptuel adapté de Mouillard-Lample et al. 2023. Le modèle conceptuel ici se concentre sur les conséquences d'une compétition entre abeilles et donc sur le partage des ressources florales entre les différent·es acteur·rices humain·es et non-humain·es du socio-écosystème. Les nuages verts signifient que nous nous intéressons à la représentation qu'ont ces acteur·rices de ces conflits d'usage et des interdépendances en jeu entre elles et eux.

Présentation du jeu AGORAPI

Règles et déroulé du jeu AGORAPI

Rôles des joueur·euses

Dans le jeu AGORAPI, les participant·es incarnent des apiculteur·rices qui ont pour objectif de produire du miel (Figure 31). Pour ce faire, ils disposent « d'abeilles »¹⁸ qu'ils positionnent sur leurs différents emplacements pour obtenir des « pots de miel » qui représentent leur récolte et la monnaie d'échange du jeu. Ces abeilles sont matérialisées sur des jetons. Ces jetons sont physiquement identiques mais ils symbolisent des « charges en abeilles » variables. Cette charge est indiquée sur une des faces du jeton. Le nombre d'abeilles total, la quantité d'abeilles par jeton et le nombre d'emplacements diffèrent pour chacun des six rôles, qui représentent six systèmes de production apicoles : trois professionnel·les transhumant·es, un·e professionnel·le sédentaire, un·e transhumant·e en cours d'installation et un·e pluri-actif·ve (Table 17). Tous les jetons associés à un rôle sont de la même couleur, de telle sorte que tous les joueur·euses savent à qui appartiennent les abeilles disposées sur les emplacements. Chaque rôle est associé à un prénom qui sera utilisé dans l'analyse : Alex, Val, Dominique, Camille, Morgan et Sacha.

¹⁸ Le terme « abeilles » est utilisé pour remplacer les termes « colonies » ou « ruches ». Ce terme désigne une unité de production et est utilisé afin de créer une distance par rapport au nombre réel de colonies. Il est cependant indiqué aux joueur·euses qu'une unité d'abeille représente l'équivalent d'un rucher de 20-30 colonies.

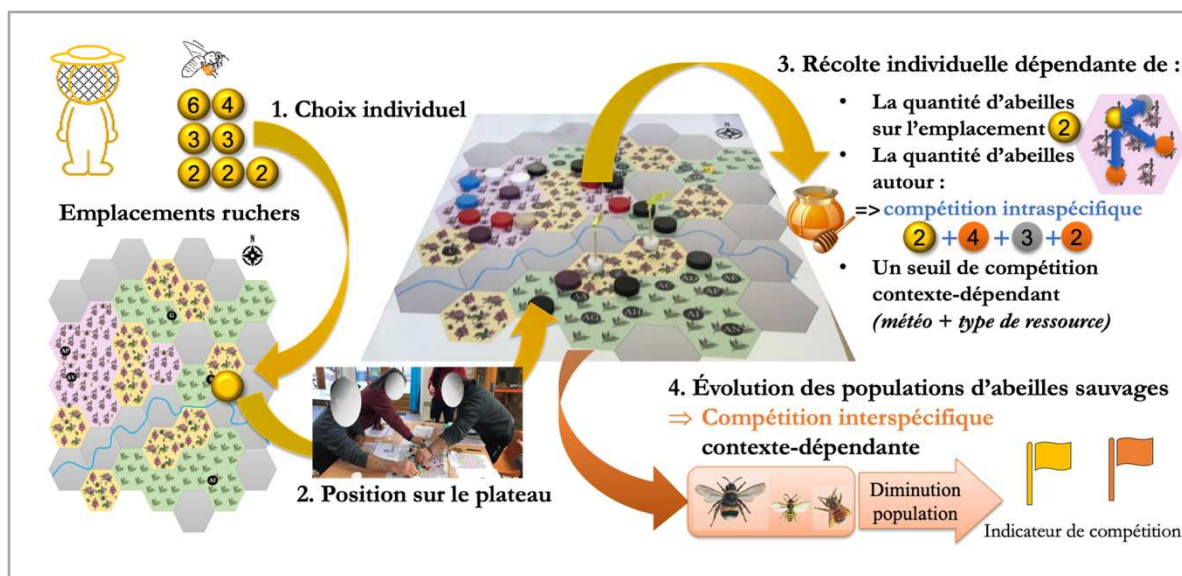


Figure 31 : Actions des joueur·euses et leurs résultats. (1) Les joueur·euses choisissent la répartition de leurs jetons abeilles sur leurs emplacements disponibles de façon individuelle. (2) Les joueur·euses positionnent leurs jetons sur le plateau commun. Chaque couleur de jeton est associée à un·e joueur·euse. (3) En fonction de la quantité d'abeilles par jeton déposées sur une tuile les apiculteur·rices récoltent le miel produit sur la tuile qui dépend de la ressource, de la compétition avec les autres « abeilles » et de la météo. Par exemple, le joueur·euse jaune qui a déposé deux abeilles récupère 2 fois la quantité de pot de miel produite par abeille quand 11 abeilles sont positionnées (somme des abeilles des joueur·euses jaune, rouge et gris). (4) En fonction des jetons « abeilles » déposés et de la compétition interspécifique qui en résulte la population des abeilles sauvages évolue. Quand elle descend sous un certain seuil des indicateurs de compétition sous forme de drapeaux de couleur sont positionnés sur les tuiles impactées.

Actions des joueur·euses pendant les saisons de floraisons

Le jeu se déroule sur plusieurs années apicoles divisées en trois saisons chacune (Table 18) : l'été précoce (floraison du châtaignier et des fleurs de montagne), l'été tardif (floraison de la callune) et l'hiver (pas de floraison). Lors de chaque saison, les joueur·euses décident de la répartition de leurs abeilles sur leurs emplacements. Ce processus se fait d'abord individuellement : c'est la planification de la saison (Figure 31). Ensuite les joueur·euses déplacent leurs jetons face cachée sur le plateau central. Ainsi les autres joueur·euses voient que l'emplacement est occupé mais le nombre d'abeilles est caché.

Les joueur·euses règlent alors le coût lié à la transhumance. Le déplacement d'abeilles entre les différentes saisons a un coût qui dépend du nombre d'abeilles déplacées et des moyens de transport associé à chaque rôle. Ainsi, certains peuvent déplacer une unité d'abeilles à la fois et paient 1 pot de miel pour chaque déplacement. D'autres disposent de camions avec une remorque, ce qui leur permet de réduire à 1 pot de miel le déplacement de 3 ou 4 unités d'abeilles. Un des rôles représente un système apicole dont le siège est éloigné du territoire, le coût du déplacement est plus élevé s'il est effectué vers un rucher dans la partie nord du plateau de jeu.

Modèle de compétition intraspécifique et récolte de miel

La récolte de pot de miel dépend de la nature de la ressource florale et de la météo, mais également de la quantité d'abeilles déposées par les joueur·euses sur leurs emplacements. Le jeu fait donc l'hypothèse d'une compétition intraspécifique entre les abeilles des joueur·euses (Table 19). Chaque tuile de ressources est associée à une production maximale par abeille selon la météo. Quand le nombre d'abeilles présentes sur la tuile ressource dépasse un seuil qui dépend lui aussi de la ressource et de la météo, cette quantité diminue (Figure 32).

Pendant la saison d'été précoce, nous avons voulu représenter dans la récolte le phénomène de « débordement » (*spillover*) des abeilles domestiques (Figure 32). La littérature scientifique indique que abeilles apportées par les apiculteur·rices et attirées par une ressource à floraison massive comme le châtaignier peuvent déborder sur les ressources adjacentes à la fin de la floraison de cette ressource (Magrach et al. 2017, Harris et al. 2023). Dans les Cévennes, la floraison du châtaignier

est plus courte que celle des fleurs de montagne (bruyère et ronce). Ainsi, en fin de floraison du châtaignier, les abeilles domestiques pourraient se retrouver en abondance sur les autres ressources et donc renforcer la compétition sur ces ressources. Aussi, dans le jeu AGORAPI, les abeilles déposées sur des tuiles de châtaignier adjacentes aux tuiles de montagne sont comptabilisées dans le calcul de la compétition comme un tiers d'abeille par abeille adjacente (la floraison du châtaignier est considérée comme 30% plus courte que la floraison des fleurs de montagne). En retour, la récolte de miel associée aux abeilles sur les tuiles de châtaignier est augmentée du tiers de la récolte de la tuile de fleur de montagne adjacente.

Pendant la saison d'été tardif seule la callune est en floraison. La miellée peut être importante en cas de conditions météorologiques favorables ou plutôt faible en cas d'été sec. Dans ce cas, la récolte est faible, voire nulle, mais permet aux colonies de constituer des réserves alimentaires pour l'hiver, ce qui limite l'alimentation d'appoint par l'apiculteur·rice. En cas de compétition trop importante, nous avons choisi pour la mécanique du jeu de faire perdre des pots de miel aux joueur·euses. Cela traduit le fait que la récolte de callune ne permet pas de faire de provisions suffisantes pour l'hiver et qu'il faudra nourrir. De la même façon si les joueur·euses ne peuvent pas ou ne veulent pas déplacer leurs abeilles sur la callune, ils et elles peuvent décider de mettre leurs abeilles en « hivernage ». Ils perdront ainsi un pot de miel par abeille pour les nourrir pendant l'hiver. Le déclin des ressources fournies par la callune, ainsi que les pressions importantes de varroa en fin de saison (dont le traitement est repoussé à la fin de la période de production de miel), ont poussé de nombreux·ses apiculteur·rices à ne plus compter sur cette ressource.

Au début de chaque saison de floraisons, des aléas courants du monde apicole sont annoncés aux joueur·euses (Table 20). Ces aléas apportent du concret aux participant·es. Ils permettent aussi d'ajouter de l'incertitude sur la ressource notamment du fait de conditions météo variables dont les participant·es ne connaissent pas l'effet exact.

Modèle de compétition interspécifique et populations d'abeilles sauvages

A la fin de chaque saison de récolte, des indices d'évolution des populations d'abeilles sauvages sont calculés sur chaque tuile en fonction de la disposition et du nombre d'abeilles présentes sur le plateau (Figure 32). Cet indice est basé sur l'hypothèse d'une compétition interspécifique. Toutefois, son calibrage n'est pas basé sur des connaissances scientifiques avérées. En effet, les connaissances scientifiques ne permettent pas ni d'indiquer l'évolution précise des populations d'abeilles sauvages et ni de faire un lien précis avec la quantité de colonies d'abeilles domestiques. Le mécanisme de compétition interspécifique dans le jeu intègre lui aussi l'hypothèse de « débordement » développée ci-dessus pour les miellées de fleurs de montagne (Figure 32). Cette compétition interspécifique est considérée possible sur les tuiles de montagne et de callune – les abeilles sauvages sont dans le jeu absentes des tuiles de châtaignier. Dans le cas où la compétition est élevée, la population en abeilles sauvages diminue. En dessous d'un premier seuil de diminution de population, les joueur·euses sont prévenus par la présence d'un drapeau jaune de l'existence d'une compétition démontrée par des scientifiques sur la tuile en question (Figure 31). Lorsque la population d'abeilles sauvages est inférieure à un second seuil, des drapeaux rouges sont déposés sur les tuiles concernées. A partir de la troisième année, les joueur·euses sont averti·es d'une nouvelle règle qui s'impose à elles et eux. Les primes apicoles pour pollinisation des espaces sauvages sont supprimées en cas de nouvelle diminution de population d'abeilles sauvages pour les apiculteur·rices qui ont déposés des jetons abeilles sur les tuiles avec un drapeau rouge. Les apiculteur·rices doivent alors retirer une partie de leur récolte en pot de miel. Cette règle s'appuie sur des réflexions en cours dans certaines régions et institutions françaises en dehors de la zone d'étude, qui remettent en cause la légitimité des mesures agro-environnementales et climatiques

(MAEC) de pollinisation¹⁹ et plus généralement la place des abeilles domestiques dans les espaces protégés.

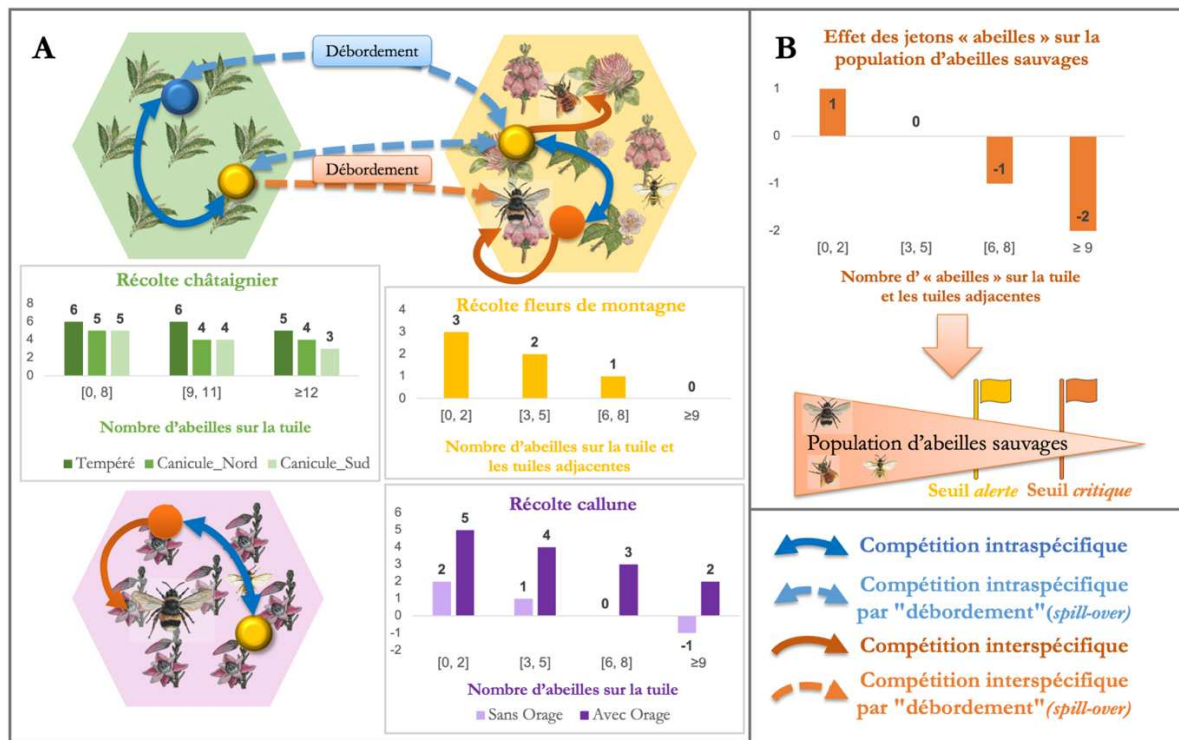


Figure 32 : Hypothèses de compétition, propriétés du modèle de calcul et effets des aléas météorologiques. Le nombre « d'abeilles » utilisé pour déterminer le niveau de compétition correspond à la somme des charges en abeilles sur les jetons des joueur·euses déposées sur la tuile en question. (A) Les diagrammes en barres représentent les calibrages du modèle pour déterminer la quantité de pot de miel que récupère une abeille sur une tuile. (B) Sur les tuiles de fleurs de montagne et de callune, une compétition interspécifique est calculée en fonction du nombre « d'abeilles » sur la tuile. Une population aléatoire d'abeilles sauvages sur chaque tuile est initialement modélisée. Chaque saison, la population de la tuile (en floraison pendant la saison) évolue en fonction du degré de compétition. Quand cette population passe sous un seuil « d'alerte », un drapeau jaune est déposé sur la tuile. Quand cette population est inférieure à un seuil « critique », un drapeau rouge est déposé sur la tuile. Dans le modèle, nous faisons l'hypothèse qu'un phénomène de « débordement » (spillover) impacte la récolte de pot de miel et les populations d'abeilles sauvages. Ce phénomène représente le débordement des abeilles domestiques, principalement attirées par le châtaignier (ressource florale massivement abondante), sur les ressources florales adjacentes lorsque la floraison du châtaignier se termine. Ce phénomène a notamment été décrit par Magrach et al. (2017) mais les études n'ont pas montré son effet sur les populations d'abeilles sauvages ni sur la production des colonies.

Action des joueur·euses en saison hivernal : location d'emplacement et achat d'abeilles

Lors de la saison d'hiver, les joueur·euses paient leurs dépenses annuelles – correspondant aux achats de nourriture et matériel apicole, aux dépenses pour maintenir leur cheptel et aux besoins pour vivre. Ils et elles peuvent aussi choisir d'augmenter leur cheptel en achetant une abeille pour un pot de miel, ou louer un emplacement supplémentaire à raison d'un pot de miel par an. L'augmentation du cheptel entraîne également une augmentation des dépenses annuelles.

Bilan et tours de jeu supplémentaires

À l'issue des 3 premières années, une première séance de discussion est lancée avec les joueur·euses pour faire un bilan des tours de jeu écoulés. Ce temps de réflexion collectif est l'occasion de revenir sur les observations des joueur·euses sur le jeu, notamment sur leur perception des hypothèses de compétition sous-jacentes au modèle du jeu. Cette étape amorce une discussion autour des interdépendances entre apiculteur·rices et entre l'apiculture et les enjeux de conservation des pollinisateurs sauvages. Elle a pour objectif de discuter de nouvelles règles du jeu à mettre en place.

¹⁹ Ces MAEC, délivrées dans le cadre de la Politique Agricole Commune (PAC), assurent une prime aux apiculteur·rices qui placent des ruches (au minimum 72 ruches, réparties dans des ruchers d'au moins 24 ruches, et distants de minimum 2km pour un·e même apiculteur·rice) pour la pollinisation des espaces semi-naturels.

Suite à ces discussions, une ou deux nouvelles années sont jouées afin de mettre à l'épreuve les nouvelles règles. Enfin la session se termine par une nouvelle phase de discussion pour revenir sur les règles mises en place et leur faisabilité dans la vie réelle.

Validation du jeu AGORAPI

Au-delà des tests de jeu réalisés pour le calibrage, un enjeu de notre processus résidait dans la validation du jeu par les différent·es acteur·rices du territoire, en premier lieu desquels les apiculteur·rices dont le jeu reprend les pratiques.

Les sessions de jeu ont révélé une intéressante adéquation du jeu avec les contraintes apicoles réelles. Les variations de production et l'aléatoire concernant la présence de ressources ont été reconnues comme « *faisant partie de l'apiculture* » (Lucas*²⁰, apiculteur professionnel pendant le débriefing jouant Camille). Par exemple, les faibles récoltes sur callune dans le jeu ont été associées au déclin de cette ressource dans la réalité : « *la sécheresse on connaît sur la callune, c'est la ruine mais c'est mieux que de perdre des ruches* » (Lucas*, Camille). Certains ont aperçu dans le jeu à la fois des échos de leurs pratiques : « *On dirait la réalité, tu gagnes plus mais avec plus de charges et plus de travail.* » (Lucas*, Camille). Un autre apiculteur s'est exprimé ainsi : « *La callune j'y vais pas [dans la vie], je sais pourquoi* » (Gustave*, apiculteur professionnel jouant Dominique). La dynamique modélisée de la production de miel de callune dans le jeu fait donc bien écho à son vécu professionnel. Les aléas notamment ont apporté du concret. Par exemple la canicule sur le châtaignier a fait réagir : « *Heureusement que ce n'est qu'un jeu et que la réalité est différente... - Ah bon ? La réalité est différente ? - Non c'était ironique...* » (Paul*, apiculteur professionnel jouant Dominique suite à la baisse associée à la canicule sur châtaignier). Certains joueurs se sont pris au jeu très concrètement, à tel point qu'ils inventaient de nouveaux aléas possibles. Ainsi lors de la floraison de callune lors de la 4^{ème} année du jeu, après avoir annoncé l'absence d'orage signifiant une récolte maigre, certains apiculteurs ont espéré une absence de vent pour s'assurer une bonne récolte : « *On sait jamais, des fois sans vent ça peut donner. Moi je préfère pas d'orage et pas de vent du Nord.* » (François*, apiculteur professionnel jouant Alex). Les apiculteur·rices qui ont joué au jeu ont toutefois insisté sur le simplisme du jeu par rapport à la complexité du monde apicole et des ressources florales.

²⁰ Les prénoms avec une astérisque sont utilisés pour anonymiser les participant·es aux sessions de jeu.

<i>Prénom</i>	<i>Profil d'apiculteur·rice</i>	<i>Situation initiale</i>	<i>Objectif</i>	<i>Coût déplacement</i>
Alex	Apiculteur·ice professionnel·le transhumant·e local·e	<ul style="list-style-type: none"> • 10 abeilles • 9 emplacements : <ul style="list-style-type: none"> ○ Châtaignier : 4,3 ○ Montagne : 1,3 ○ Callune : 3,3 • Dépense annuelle : 60 	Maintenir le cheptel et vivre de sa production	2 abeilles / pot de miel
Val	Apiculteur·ice professionnel·le transhumant·e local·e	<ul style="list-style-type: none"> • 12 abeilles • 6 emplacements : <ul style="list-style-type: none"> ○ Châtaignier : 3,5 ○ Montagne : 1 ○ Callune : 1,5 • Dépense annuelle : 70 	Maintenir le cheptel et vivre de sa production	1-4 abeilles / pot de miel
Dominique	Apiculteur·ice professionnel·le transhumant·e inter- régionalement	<ul style="list-style-type: none"> • 16 abeilles • 5 emplacements : <ul style="list-style-type: none"> ○ Châtaignier : 3,5 ○ Montagne : 0,5 ○ Callune : 1 • Dépense annuelle : 90 	Maintenir le cheptel et vivre de sa production	Au sud : 3-6 abeilles / pot de miel Au nord : 3-6 abeilles / 2 pots de miel
Camille	Jeune apiculteur·rice en installation	<ul style="list-style-type: none"> • 6 abeilles • 5 emplacements : <ul style="list-style-type: none"> ○ Châtaignier : 2,5 ○ Montagne : 0,5 ○ Callune : 2 • Dépense annuelle : 35 	Augmenter le cheptel à 10 abeilles en fin d'année 3. Acheter un plus gros camion (50 pots de miel)	1-3 abeilles / pot de miel
Morgan	Apiculteur·rice professionnel·le sédentaire	<ul style="list-style-type: none"> • 8 abeilles • 9 emplacements : <ul style="list-style-type: none"> ○ Châtaignier : 5 ○ Montagne : 2 ○ Callune : 2 • Dépense annuelle : 40 	Maintenir le cheptel et vivre de sa production	1 abeille / pot de miel
Sacha	Apiculteur·rice pluriactif·ve	<ul style="list-style-type: none"> • 3 abeilles • 5 emplacements : <ul style="list-style-type: none"> ○ Châtaignier : 3,2 ○ Montagne : 1,3 ○ Callune : 0,5 • Dépense annuelle : 18 	Maintenir le cheptel Protéger les pollinisateurs sauvages	1 abeille / pot de miel

Table 17 Rôles et situation initiale. Certains emplacements (localisés sur les bordures des tuiles) permettent de bénéficier de deux types de ressources. Lorsque les deux ressources fleurissent la même saison (châtaignier et montagne), les « abeilles » se répartissent sur deux emplacements 50/50 et l'emplacement compte alors pour 0,5 de chaque ressource. Lorsque les ressources fleurissent sur deux saisons différentes, les abeilles vont toutes sur la ressource en floraison lorsque le jeton est positionné, l'emplacement compte donc pour 1 pour chaque ressource. Par ailleurs, la dépense annuelle augmente lorsque le cheptel augmente.

DEROULE DU JEU			
Saison	Floraisons	Activités des joueur·ses	Répétition
Été précoce	Châtaignier	Récolte	3 années
Été tardif	Fleurs de montagne	Récolte	
Hiver	/	Achat de nouveaux emplacements Augmentation du cheptel	
Débriefing 1	<i>Temps de réflexion collective</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Observations des joueur·euses • Perception des compétitions ? • Débat sur l'existence de compétition et les interdépendances • Discussion sur les règles collectives 	
Été précoce	Châtaignier	Récolte	1 – 2 années
Été tardif	Fleurs de montagne	Récolte	
Hiver	/	Achat de nouveaux emplacements Augmentation du cheptel	
Débriefing 2	<i>Temps de réflexion collective</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Retour sur les règles mises en place • Faisabilité dans la vie réelle 	
DEROULE D'UNE SAISON			
Saison	Etape	Explication	
Récolte <i>(Été précoce ou Été tardif)</i>	1 Action des joueur·euses : planification	Actions des joueur·euses : <ul style="list-style-type: none"> • Posent leurs jetons abeilles sur leurs emplacements sur leur plateau individuel • Calculent leur coût de transport 	
	2 Action des joueur·euses : transhumance	Les joueur·euses transfèrent leurs jetons abeilles face cachée sur le plateau de jeu	
	3 Coût de transport	Païement des coûts liés au transport des abeilles	
	4 Aléas		
	5 Récolte	Les joueur·euses récupèrent les pots de miel associés à la récolte	
	6 Indicateur abeilles sauvages	L'animateur du jeu indique l'état des populations des abeilles sauvages en déclin	
Hiver	1 Action possible des joueur·euses	<ul style="list-style-type: none"> • Achat de nouveaux emplacements • Augmentation du cheptel 	
	2 Dépenses annuelles	En fonction de leur système et de leur nombre d'abeilles les joueur·euses paient leurs dépenses annuelles (<i>entretien de la colonie, vie de l'apiculteur·rice</i>)	

Table 18 : Etapes des sessions de jeu



		Population d'abeilles sauvages en dessous d'un premier seuil d'alerte.
A partir de l'année 2		Deuxième seuil d'alerte, les populations d'abeilles sauvages continuent de décroître et sont passées sous un deuxième seuil.
A partir de l'année 3	-1 pot de miel / abeille	Des mesures sont prises de retrait des primes apicoles dans les tuiles avec drapeaux. En cas de diminution des populations d'abeilles, tous les joueur·euses ayant posé un jeton avec plus de 2 abeilles sur la tuile doivent payer 1 pot de miel/abeille.

Table 19 : Indicateurs de compétition

ALÉAS	EFFET	ETAPE DU JEU
Attaque de varroa	Chaque joueur·euse perd un pot de miel par jeton présent sur la callune	Fin été tardif - Année 2
Orage	Des orages ont lieu en juillet. La miellée de callune est plus abondante	Eté tardif - Année 3
Canicule	La miellée de châtaignier au sud du plateau est diminuée par la sécheresse	Eté précoce – Année 3
Apiculteur extérieur	L'animateur dépose un jeton de 8 abeilles sur un rucher non attribué à un·e joueur·euse	Eté précoce ou Eté tardif – Année 4

Table 20 : Aléas

Résultats

Dans cette section nous présenterons les résultats issus des sessions de jeu de rôle à la lumière du cadre d'analyse présenté plus haut (Figure 29). Tout d'abord nous verrons comment le jeu a permis aux participant·es d'initier de l'action collective en faveur des abeilles sauvages, malgré les dissensus concernant les représentations des interdépendances liées aux ressources florales. Le jeu a également permis de mettre en avant les variables structurelles (sur la ressource et la communauté d'acteur·rices concerné·es) et institutionnelles (règles en usage). Nous verrons donc dans un deuxième temps en quoi ces variables sont des freins ou des leviers à l'action collective. Enfin nous verrons les pistes de règles d'action collective que le jeu a fait émerger et les questionnements qui en découle au prisme des besoins de transparence et de réciprocité.

Les interdépendances liées au partage des ressources florales font encore débat, mais leur conscientisation vis-à-vis des abeilles sauvages favorise l'action collective

Alors que les conditions de la compétition entre abeilles domestiques (et leurs effets sur les récoltes apicoles) restent incertaines dans la réalité et dans le contexte cévenol, nous avons construit le jeu autour de l'hypothèse d'une interdépendance entre les joueur·euses vis-à-vis de leur usage de la ressource florale et calibré la mécanique du jeu dans le but d'accentuer les conditions d'une situation de dilemme. Notre hypothèse était que le jeu pouvait décrire la situation de dilemme et amener une réflexion entre les participant·es sur leurs interdépendances. Le jeu a en effet bien mis les joueur·euses dans une situation de dilemme entre intérêt individuel et intérêt collectif. L'analyse des sessions de jeu met en avant les divergences de perception de ces interdépendances entre les participant·es. En effet, la question de la compétition et donc d'une possible interdépendance reste fortement débattue par les apiculteur·ices. Dans l'ensemble des sessions de jeu l'interdépendance entre les joueur·euses pour la production de pots de miel – due à une compétition intraspécifique – a été peu perçue. Dans toutes les parties, les joueur·euses ont commencé par jouer de façon individualiste en se souciant peu de la disposition des abeilles des autres sur le plateau et sans communiquer. Les joueur·euses ont partagé leurs moyennes de production et parfois les systèmes apicoles, mais essentiellement avec leurs voisins proches et n'ont pas directement discuté entre eux du nombre d'abeilles qu'ils mettaient sur chaque emplacement. En plus de l'incertitude de production liée aux aléas météorologiques qui limite la comparaison entre les années, l'absence de communication et d'information sur les autres abeilles empêche de percevoir cette compétition : « *On se parle pas* » (Lili*, agente du parc national jouant Morgan).

Après avoir déposé leurs jetons et en attendant les pots de miel, certain·es ont fait attention de savoir si d'autres jetons étaient présent·es sans demander combien d'abeilles représentait chaque jeton. Aussi lors des sessions avec des apiculteur·rices, les participant·es ont, dès le début de la première phase de discussion, demandé à retourner les jetons. Certain·es ont ainsi été surpris de découvrir des jetons avec des valeurs élevées d'abeilles et ont aussi demandé si leurs récoltes dépendaient des autres : « *C'est qui le blanc avec ses 8 [abeilles sur un jeton] ? C'est pour ça qu'il était pourri cet emplacement, je pensais être tout seul.* » (Lucas*, Camille).

Dans la réalité, cette compétition intraspécifique est largement débattue par les apiculteur·rices. Soit elle n'est pas perçue puisque leur production n'est pas impactée quand le nombre de ruches augmente : « *Dans le réel on la sent pas [la compétition], plus on met de ruches, plus on fait de miel.* » (Baptiste*, apiculteur professionnel jouant Val), « *C'est un fait de 40 à 200 ruches, la production de miel est proportionnelle* » (Octave* apiculteur professionnel jouant Camille). Soit cette compétition dépend d'autres paramètres comme la météo : « *quand ça mielle, ça mielle, quand ça mielle pas, ça mielle pas* » (Ulysse*, apiculteur professionnel jouant Alex), ou la force des colonies « *[le rendement] ça dépend de la force des ruches, des pratiques individuelles sur les ruchers partagés* » (Lucas*, Camille). Les participant·es se mettent à distance de la « soi-disant » compétition « *Dans le jeu c'est pas de la théorie, dans la vraie vie c'est de la théorie* » (Octave*, Camille).

La mise à distance que permet le jeu est aussi un moyen pour discuter de ces différentes représentations sans entrer en conflit avec les autres. Ainsi Gabin*, apiculteur professionnel sédentaire jouant le rôle de Morgan, utilise le jeu pour dire qu'il est difficile de s'organiser sans savoir si le nombre de ruches influence la quantité de miel récoltée : « *Dans le jeu hein pas dans la réalité* ».

Les échanges dans le jeu ont néanmoins révélé que deux représentations semblent cohabiter. Si elle est difficilement perçue et reconnue dans les discours, des signaux faibles laissent entrevoir une certaine perception de la compétition intraspécifique par les apiculteur·rices dans la réalité. Dans le jeu les apiculteur·rices ont demandé la taille des losanges pour voir à quel point les jetons voisins peuvent les impacter, se comparent les moyennes suite aux faibles récoltes ou reconnaissent une compétition liée à un trop gros chargement de leur part « *C'est pas top, ok j'ai trop chargé* » (Gustave*, Dominique). Si certains se doutent que le jeu fait l'hypothèse de compétition, les expressions utilisées dans le jeu pour désigner des gros ruchers sont aussi employées pour désigner la réalité. Ainsi lorsque Paul* (jouant Dominique) change son jeton de 8, il dit à Octave*, de qui il est voisin dans la réalité : « *quand on voit qu'il y a des ruchers de 200 ruches, on se demande qui est le cochon aha ! Vos ruchers ça impressionne* ». Sans être convaincu par l'existence d'une compétition Paul remarque aussi que les gros ruchers ont des « *impacts psychologiques* » et sont mal vus par les paysans alentours. Pour lui, c'est aussi une question de respect que d'éviter une trop grosse concentration de ruches, qui pourrait être assimilé à une mauvaise pratique apicole.

L'expérience et l'histoire du territoire sont aussi des facteurs clés qui affectent la perception des acteur·rices. Ainsi, Ulysse* se réfère à l'histoire apicole cévenole pour réfuter l'hypothèse de compétition. Pour lui, la quantité d'abeilles était plus importantes auparavant du fait de l'importance des ruchers-troncs historiquement présents au milieu du siècle dernier. Estimant qu'il n'y avait pas de compétition à l'époque, il réfute alors que ce soit la quantité d'abeilles qui puisse être responsable de la compétition. Par ailleurs, plusieurs participant·es justifient l'inexistence de compétition et évitent la discussion sur les interdépendances en s'appuyant sur l'exemple de la miellée de châtaignier. En effet, le châtaignier est une ressource perçue par la plupart des apiculteur·rices comme une ressource illimitée, non sujette à la compétition (Mouillard-Lample et al. 2023) Ainsi Gabin*, apiculteur sédentaire dans la réalité et le jeu ne se sent pas concerné dans la répartition des ruches étant donné qu'il ne transhume pas. Quand un autre lui fait remarquer qu'il est concerné parce qu'il subit la présence des autres ruchers, il répond que cela n'arrive que pendant la floraison du châtaignier et qu'il n'est donc pas impacté. Mais les échanges révèlent aussi que l'absence de compétition sur ces ressources dites « *illimitées* » ne fait pas consensus. En effet, quand Paul* et François* considèrent qu'il n'y a pas de compétition sur le châtaignier mais éventuellement sur la callune, Pascal* (apiculteur professionnel jouant Val) estime selon son expérience que c'est l'inverse. Au final, selon les participant·es, la compétition peut être perçue dans la réalité, mais différemment selon les expériences et les ressources.

Ainsi, si les participant·es remettent en question l'existence de cette compétition, les remarques concernant les ruchers à grand nombre de ruches (« *les cochons* ») et les récits d'expériences personnelles suggèrent qu'ils en ont une certaine conscience. L'existence d'une compétition apparaît comme un changement de paradigme important qui semble les placer dans une dissonance cognitive. Certain·es déclarent que si dans la réalité c'est prioritairement la production estimée selon les récoltes des années précédentes qui permet de choisir un emplacement, ils et elles ne négligent pas le nombre de ruches présentes autour.

Si la compétition intraspécifique n'est pas ressentie dans le jeu, la compétition interspécifique avec les pollinisateurs sauvages est mise en avant avec l'arrivée des drapeaux. Le jeu force ainsi une situation de dilemme et pose au cœur des discussions l'impact potentiel des apiculteur·rices sur la biodiversité. Cette compétition est aussi débattue mais c'est elle qui entraîne la concertation et la mise en place d'action collective. En effet, au cours du jeu l'arrivée des drapeaux suscite soit la peur

de la sanction : « *Je suis mal barré faut que je m'en aille* » (Ulysse*, Alex) et l'éloignement « *c'est bon je me casse* » (Gustave*, Dominique) soit l'indignation d'abord sur un ton ironique « *On s'en fout* », puis « *Ils commencent à nous pomper avec leurs abeilles sauvages* ». (Pascal*, Val). Les participant·es préfèrent pointer un défaut de ressource plutôt qu'une compétition : « *En cas de météo mauvaise, la soi-disant compétition avec les sauvages est accrue du fait d'un manque de ressources.* » Dans un premier temps, les joueur·euses n'ont pas l'indication explicite que l'ensemble des tuiles d'une même ressource produisent la même chose. Toutefois, ils ont en leur possession des données théoriques maximales de production pour chaque ressource. Ainsi, lorsqu'ils obtiennent des rendements plus faibles sur une tuile, ils proposent que ce soit lié à un manque de ressource sur la tuile plutôt qu'à une concurrence. Quand les abeilles des joueur·euses ne sont pas directement posées sur les tuiles avec drapeaux, ils se disent « tranquilles » mais cherchent de nouveaux emplacements en évitant ces zones à drapeaux.

Lors de la phase de discussion, les participant·es estiment que la cause des alertes dans le jeu est liée au manque de discussion et que ces alertes pourraient disparaître si les joueur·euses discutaient avant de poser les abeilles. Par ailleurs, cette discussion permet aux apiculteur·ices d'amener une autre idée forte sur la table, notamment l'impact des ruches par rapport aux autres menaces qui pèsent sur les abeilles sauvages : « *On vient enquiquiner les mauvaises personnes.* ». Pour les apiculteur·ices participant·es la compétition interspécifique reste à prouver : « *Il nous faut une étude scientifique qui nous le prouve, pas juste une spéculation pour faire accepter ça.* ». Ainsi, lors de la phase de discussion, c'est avant tout l'hypothèse que des mesures pourraient être prises dans les zones protégées en raison d'un principe de précaution pour restreindre les emplacements de ruchers qui stimule les participant·es pour trouver des solutions dans le jeu. Mais lors de la discussion post-jeu, les participant·es sont revenu·es sur le fait que ce sujet nouveau ne paraît pas concret en comparaison des problématiques liées au réchauffement climatique et à la diminution des ressources : « *les abeilles sauvages c'est un monde qu'on connaît pas* » (Ulysse*, en entretien post-session). Dans la session avec les institutionnel·les, les participant·es ont toutes et tous essayé d'éviter les drapeaux et se sont montré·es plus réceptif·ves à l'hypothèse d'une compétition. Mais cette stratégie les met plus en difficulté et certain·es ont terminé le jeu avec des dettes. Face à la situation de dilemme, ils et elles ont avant tout demandé des informations sur la production de ressources et sur la compétition et cherché des solutions pour diminuer leur cheptel plutôt que discuter de leur répartition spatiale et de solutions pour se concerter. Toutefois comme les autres ils et elles ont souligné la difficulté à percevoir la compétition et l'interdépendance vis-à-vis des autres joueur·euses dans le jeu, ainsi que le manque de communication dans leur session « *ça serait bien de savoir où vont les autres, on devrait plus se parler* » (Clément*, étudiant écologue jouant Sacha).

Bien que la démonstration de cette compétition reste un point clef, les échanges ont néanmoins révélé l'importance pour les apiculteur·rices de préserver les pollinisateurs sauvages. Les apiculteur·rices participant·es sont notamment revenu·es sur cette question lors de l'échange qui a eu lieu à l'issue des sessions de jeu : « *J'ai dit on s'en fout des abeilles sauvages parce qu'au moment où on transhume on ne pense pas aux abeilles sauvages, on pense à nos abeilles. Bien sûr qu'on est sensible aux insectes, à l'environnement. On a choisi de vivre ici aussi pour apprécier et protéger cet environnement* » (Pascal*). Contrairement au débat scientifique qui se focalise sur la compétition interspécifique, nous avons fait l'hypothèse que l'élargissement de la problématique à la compétition intraspécifique et donc au partage des récoltes entre apiculteur·rices les inciteraient à la coopération. Or les sessions montrent que compétition intraspécifique entre abeilles mellifères n'est pas forcément le meilleur moteur à l'action collective. Ainsi Baptiste* est prêt à jouer la transparence pour les abeilles sauvages mais pas pour la répartition des ressources entre apiculteur·rices « *Je suis pas propriétaire de la montagne [...] Ça [la présence d'autres ruches] peut faire des pots de miel en moins mais c'est pas grave.* ». A travers cette phrase, Baptiste explique d'une part qu'il ne se sent pas la légitimité d'imposer aux autres un règlement ou une restriction d'accès. D'autre part, qu'il accepte la compétition intraspécifique, ses conséquences sont vues comme faisant partie de l'apiculture et acceptée en tant que telles.

Les sessions de jeu révèlent la diversité des représentations autour de la compétition. Nombreux·ses sont celles et ceux qui considèrent leurs récoltes indépendantes de la présence des autres et la compétition comme inexistante. Pourtant cette compétition est aussi une réalité perçue par certain·es et parfois les mêmes. Dans le jeu, même si elle est aussi débattue, c'est l'exposition d'une compétition avec les abeilles sauvages qui a eu le plus d'impact sur le jeu des joueurs et qui les a amené à discuter d'organisation collective.

La compréhension des variables exogènes influençant l'émergence d'action collective
Outre la perception par elles et eux-mêmes des interdépendances qui se jouent entre les acteur·rices d'une situation d'action, les travaux sur l'organisation collective d'Ostrom ont mis en avant l'importance des variables exogènes : les attributs de la ressource, les attributs de la communauté et les règles en usage.

Les attributs de la ressource : les incertitudes de production de ressources freinent l'action collective

Les analyses d'Ostrom montrent que le contexte d'incertitudes concernant la production d'une ressource est un frein important à l'action collective (Ostrom 2010). En effet le partage de l'information concernant les bénéfices de la ressource est essentiel à la coopération. Dans le jeu, la mécanique sous-jacente à la récolte de ressources et les seuils de compétition n'étaient pas connus. En effet, les joueur·euses n'avaient accès qu'au rendement maximum par abeille possibles sur les différents types de ressources florales. Ces choix ont été fait pour représenter les incertitudes qui pèsent dans la réalité. Dans le jeu c'est la dissipation des incertitudes sur la compétition qui a fait basculer le débriefing et favorisé la concertation entre les participant·es pour déposer leurs ruches. Si le côté « poker » des ressources florales a été bien validé par les participant·es comme « faisant partie de l'apiculture », le manque de connaissances sur les ressources florales, la compétition et ses seuils limite l'action collective. D'une part parce que ce manque de connaissance limite la perception des interdépendances « *Qu'est-ce qui nous dit que mettre moins d'abeilles va diminuer la pression [dans le jeu]* » mais cela freine aussi les solutions à mettre en place : « *Si les scientifiques nous disent ce qu'il faut faire, nous donnent des vraies données, alors oui on peut changer nos pratiques.* » (Baptiste*, Val pour les deux citations). L'explicitation des règles du jeu a favorisé l'émergence de solutions. D'une part cela marquait un début de transparence – condition aussi importante à la coopération comme nous le verrons ensuite. D'autre part, l'explicitation des hypothèses de compétition révélait une part de ces incertitudes. En effet, derrière la question de la compétition résident plusieurs incertitudes : les besoins des abeilles sauvages sur une zone (considérés connus dans le jeu), le prélèvement de ressources des abeilles domestiques et la production de ressources (pour déterminer ainsi une capacité de charge éventuelle de l'environnement).

L'incertitude concernant le prélèvement des abeilles domestiques dépend des variations des besoins et de la « force » des colonies d'abeilles. Mais outre cette incertitude intrinsèque aux colonies, à l'échelle de l'emplacement l'incertitude de prélèvement est en premier lieu liée au manque de connaissances sur le nombre et la localisation des ruches sur le territoire. Le jeu souligne cette incertitude par la possibilité de placer les jetons face cachée ou face visible – l'action de retourner le jeton est un acte délibéré de partage d'information avec les autres joueurs. Si les apiculteur·rices ont dans la réalité quelques informations partagées avec leurs voisins proches, ils s'accordent sur le fait qu'ils n'ont pas une connaissance exhaustive des autres ruchers présents, et encore moins avant de poser leurs propres ruches. Le retournement des jetons dès le début du premier débriefing montre le besoin pour les participant·es de réduire cette incertitude pour jouer. Cette connaissance des autres ruchers pourrait changer la répartition des jetons de certain·es joueur·euses : « *le jeu serait différent si j'avais connaissance des jetons : la visibilité des charges aurait fait changer mes choix* » (François*, Alex). Toutefois dans la réalité les contraintes qui s'exercent sur les acteur·rices limitent les effets

de possibles changement de pratiques : « *Dans le réel j'ai des parcours de transhumance bien définis, avec peu de souplesse et des ruchers de 60 ruches maximum* » (Pascal*, Val).

Enfin, une autre incertitude d'importance est soulignée par les participant·es : la production de ressources florales. En effet la détermination d'une capacité de charge éventuelle et de seuils pour répartir les abeilles dépend de la production de ressources florales au cours du temps, qui reste très incertaine. Les joueur·euses soulignent la complexité des paramètres de ressources qui peuvent dépendre d'échelle micro-locales « *La disponibilité des ressources dépend de critères micro-locaux, très hétérogènes, sans compter la météo.* » (François*, Alex). Ainsi face à ces incertitudes, l'ensemble des participant·es de l'ensemble des sessions convergent sur le besoin d'améliorer les informations sur la production des ressources avec des suivis des flux de nectar et de pollen « *Il faudrait des connaissances sur la ressource* » (Eric*, agent de l'OFB, Alex). Certains proposent d'échanger des informations sur le potentiel mellifère pour se concentrer sur les sites intéressants tout en pointant le risque d'épuiser les ressources. Les échanges autour du jeu soulignent néanmoins la difficulté d'obtenir des informations sur la ressource en amont pour s'organiser. Les rendements ne sont pas connus en amont, les apiculteur·rices testent parfois certains ruchers en apportant quelques ruches et s'adaptent « au jour le jour ». Les écologues reconnaissent ce problème également pour les abeilles sauvages : « *Le problème c'est qu'on ne sait pas à l'avance où il y aura de la compétition* ».

Nos observations corroborent donc les résultats d'Ostrom : alors que les incertitudes freinent l'action collective, lever ces incertitudes au contraire favorise la coopération. Toutefois si certaines incertitudes peuvent être levées par un partage d'information, comme c'est le cas avec le retournement des jetons, certaines restent intrinsèquement présentes. Dans la réalité, ces incertitudes constituent des freins importants à une organisation collective en amont : « *L'aléatoire reste trop important* » (Paul*, Dominique).

Les attributs de la ressource : la raréfaction des ressources stimule la perception des interdépendances mais inhibe l'action collective

Pour Ostrom, la raréfaction de la ressource pousse les acteur·rices à coopérer. Dans notre cas, si la raréfaction de la ressource peut favoriser la perception d'une ressource commune à partager (voir le contexte ci-dessus), elle limite l'organisation collective que ce soit à propos de la compétition intra ou interspécifique. Dans les sessions de jeu, en effet la raréfaction des ressources et les obligations de récolte poussent les joueur·euses à aller sur les zones à drapeaux qu'ils fuyaient. Ainsi quand en troisième année, après une maigre récolte sur châtaignier, il est annoncé aux joueur·euses qu'un orage a lieu avant la floraison de la callune – annonçant une récolte plus importante, mais pas nécessairement sans compétition – les joueur·euses se ruent sur la callune pour faire du miel. Les joueur·euses posent alors leurs jetons sur les tuiles malgré les drapeaux rouges : « *Entre orage et bourdons il faut choisir* » (Gustave*, Dominique). Dans la réalité, les apiculteur·rices témoignent en effet de coins jadis favorables où les récoltes diminuent. Dans ce cas, la raréfaction des ressources liées notamment au réchauffement climatique et aux changements de pratiques agricoles limite les emplacements disponibles et donc la concertation : « Pascal* – *Pour s'entendre il faut des emplacements disponibles.* Paul* – *Dans le réel, les zones d'intérêt se réduisent.* » Même le châtaignier perçu comme illimité qui revient comme une ressource sûre à laquelle se raccrocher est reconnu comme menacé avec des dernières récoltes peu importantes.

A la différence des théories sur les biens communs, cette raréfaction de ressource n'est pas favorable à l'action collective. Or pour les apiculteur·rices, cette raréfaction associée à l'incertitude de production de ressource n'est pas liée à leur usage. En effet, à la différence d'un pâturage où la raréfaction proviendrait d'une surexploitation des ressources, ici la diminution des zones d'intérêts est liée à des paramètres extérieurs et notamment aux pratiques agricoles. Les apiculteur·rices n'ont pas intérêt à limiter leur appropriation de la ressource mais sont poussés à diversifier les emplacements – possible par le caractère mobile de l'apiculture – et intensifier leur conduite des colonies pour que celles-ci soient les plus efficaces au moment de la miellée. Cette raréfaction des

ressources pousse aussi les participant·es de toutes les sessions à discuter du besoin d'augmenter la ressource mellifère de façon pérenne afin d'anticiper le réchauffement climatique. Ce qui ouvre les débats sur les façons d'augmenter la ressource. Certain·es proposent de planter des haies ou de faucher plus tardivement quand d'autres au contraire expriment le besoin de se détourner de la dépendance aux agriculteur·rices – aussi contraint·es dans leurs pratiques – et de se tourner vers des ressources arborées avec des espèces exotiques adaptées au changement climatique – ce qui n'est pas sans soulever des interrogations vis-à-vis de cette introduction dans un parc national.

La dépendance des acteur·rices vis-à-vis de la ressource : la vulnérabilité des acteur·rices stimule l'action collective

La dépendance des acteur·rices vis-à-vis de l'accès aux et l'appropriation des ressources a été montré comme étant un facteur qui favorise l'action collective. En effet, dans le cas où les revenus, le bien-être voire la survie des acteur·rices dépendent des ressources, ceux-ci se retrouvent vulnérables en cas d'un manque de ressources ou d'une diminution de l'accès à celle-ci. Dans notre cas, cette dépendance et donc cette vulnérabilité est importante, ce qui limite les choix des joueur·euses comme le choix des apiculteur·rices dans la réalité « *On va là où on a besoin d'aller. On est dans un petit territoire. On n'a pas le choix sinon c'est Pôle emploi* » (Octave*, Camille).

Outre la vulnérabilité causée par les incertitudes de production et la raréfaction des ressources, ce qui fait réagir les participant·es c'est la vulnérabilité supplémentaire qu'engendre la problématique de compétition avec les abeilles sauvages à travers les menaces qu'elle fait peser en termes d'accès aux ressources. Dans le jeu, les drapeaux posent les joueur·euses dans une vulnérabilité vis-à-vis de l'accès à la ressource : « *Je ne sais pas quoi faire il y a des drapeaux partout* » (Baptiste*, Val). Dans la discussion c'est le constat de réflexion actuelles vers des restrictions de l'apiculture dans certaines zones de conservation qui pousse les participant·es à trouver des règles d'organisation.

De la même façon la vulnérabilité induite par la crainte d'une compétition intraspécifique a dans la réalité amené les apiculteur·rices du territoire à s'organiser. En effet, la charte en discussion sur le territoire a été motivée par l'arrivée de nouveaux et importants ruchers s'installant à proximité direct des ruches de certain·es apiculteur·rices. Cela a entraîné la crainte d'une compétition et donc d'une perte de ressources florales disponibles. Mais cette vulnérabilité concerne aussi l'accès aux emplacements sur le territoire. En effet, certain·es craignent que l'arrivée de gros ruchers fasse augmenter le tarif de location des emplacements ce qui serait « mortel » pour les jeunes en installation.

Cette dépendance et la vulnérabilité ressentie par les joueur·euses s'exprime très concrètement lors du débriefing : alors que le sujet de la compétition interspécifique est mis sur la table les participant·es discutent avant tout de leurs pratiques et de leurs besoins. C'est ce que fait remarquer Paul* (Dominique dans le jeu), ironiquement « *Tu as remarqué que depuis tout à l'heure on n'a pas une seule fois parlé des insectes sauvages. (Rires de Pascal*) On parle que de nous parce qu'on a faim ! On est comme les abeilles sauvages. C'est la réalité. (Tout le monde rit).* ». Cette citation souligne la réalité de la vulnérabilité qui impacte d'ores et déjà les apiculteur·rices du fait de la raréfaction des ressources et justifie le fait qu'ils se concentrent avant tout sur leurs pratiques et les conséquences de règles de préservation des abeilles sauvages sur leur survie. En écho dans une autre session de jeu, Gustave* fait le lien entre la dépendance aux ressources des colonies d'abeilles domestiques avec celle des abeilles sauvages. Il pointe un angle mort du jeu et des discussions, les périodes hors miellées, pour souligner l'impact du manque de ressources sur les abeilles sauvages : « *Certaines années il n'y que 15 jours avec des ruches qui grossissent. Nous on les a nourries. Qui nourrit les abeilles sauvages ?* ». En effet, durant ces périodes de disette ou de ressources peu abondantes, les apiculteur·rices expérimentent cette dépendance aux ressources en ayant recours de plus en plus à du nourrissage en sucre, ce que n'ont pas les abeilles sauvages. Outre la réalité d'un manque de ressource liée à la fragmentation des ressources, cette citation illustre aussi les difficultés de compréhension entre deux fonctionnements biologiques différents, les besoins nutritionnels des abeilles sauvages étant différents de ceux des colonies.

Attributs de la communauté : le jeu améliore la compréhension mutuelle entre des acteur·rices hétérogènes

Selon Ostrom il n'y a pas de commun sans une communauté d'acteur·rices. Ainsi, les attributs de la communauté d'acteur·rices impactent également l'émergence d'action collective.

A l'inverse de certaines situations d'actions autour des communs, dans notre cas d'étude les acteur·rices en présence ne sont pas toutes des appropriateur·rices des ressources. En effet, le dilemme du partage des ressources florales concerne à la fois des apiculteur·rices qui prélèvent les ressources florales et dont les pratiques et les représentations sont hétérogènes comme nous l'avons vu et des défenseur·euses des abeilles sauvages (acteur·rices de la conservation, écologues, gestionnaires d'espaces protégés...) qui ont de tout autres intérêts et représentations de la problématique. L'analyse du contexte de notre étude fait donc état d'un premier défi concernant l'émergence d'une action collective : l'hétérogénéité des acteur·rices, de leurs représentations et de leurs intérêts. Si l'hétérogénéité des acteur·rices est reconnue comme un facteur de richesse dans une gouvernance collaborative, le partage d'intérêts ou de représentations communes facilitent la résolution de dilemmes d'action collective (Carr Kelman et al. 2023). La construction sociale d'intérêts communs et le partage de représentations est donc nécessaire à l'émergence d'une action collective (Perrin 2019). Dans notre méthodologie, le jeu est utilisé pour favoriser la compréhension mutuelle des représentations des différent·es participant·es. Dans notre étude, nous nous intéressons d'une part à la compréhension entre différents apiculteur·rices et entre les apiculteur·rices et les naturalistes. Ainsi dans nos sessions de jeu nous avons convié des apiculteur·rices aux pratiques et aux représentations différentes. D'autre part, en faisant jouer aux acteur·rices « institutionnels » – parmi lesquels des défenseur·euses des abeilles sauvages – le rôle d'apiculteur·rice, notre jeu vise à une meilleure compréhension par les premier·es des problématiques des second·es.

Ainsi même entre professionnels aux pratiques différentes les échanges ont permis une meilleure compréhension des problématiques de chacun·e. Les discussions ont d'abord révélé les difficultés de compréhension entre apiculteur·rices professionnels et amateur « *Un amateur solidaire avec les pros c'est le monde à l'envers.* » (Gustave*, Dominique). Le jeu a rendu explicite pour les apiculteur·rices que les « petits » n'impactaient pas grand-chose avec leur petit rucher et subissaient la position des autres ruches, ainsi que pour les jeunes qui s'installent la difficulté de trouver de nouveaux emplacements. Même si peu d'amateur·rices étaient présent·es aux sessions de jeu, le jeu a permis de faire découvrir aussi la difficulté des professionnels « *qui eux en vivent.* » (Geneviève*, apicultrice amatrice).

De même, le jeu, à travers un modèle apicole simplifié, a permis de montrer aussi aux acteur·rices « institutionnel·les » les difficultés de la filière : « *C'est dur le métier d'apiculteur* » et la vulnérabilité que pouvaient engendrer l'incertitude sur les ressources ou la restriction des emplacements : « *Soit on se refait là soit on dépose le bilan* » (Eric*, OFB, Alex). Le jeu a aussi mis en avant les difficultés de compréhension, certains estimant le besoin de « *prendre en compte les études en respectant les abeilles sauvages, sans penser pot de miel* » (Eric*, OFB, Alex). Le jeu a permis l'échange de perceptions sur les contraintes des systèmes apicoles. « *Et pourquoi ne reviendraient-ils pas à des systèmes plus sédentaires comme par exemple les ruches-troncs ?* (Arnaud*, écologue) – *Mais ils n'étaient pas des pros* (Virgile*, agent du parc) – *J'entends des sédentaires qui me disent qu'ils sont obligés de transhumer à cause des aléas météo* (Lili*, agente du parc). ». Les sessions ont également permis à travers la discussion de la faisabilité de certaines règles de faire comprendre leurs impacts sur la vie des apiculteur·rices : « *Arnaud* – Est-ce que certains dorment dans leur camion ? En étant nomade c'est bien pour le bilan carbone.* Carole* – *Oui mais ils ont plus de vie...* ». En outre, en soulevant l'importance des incertitudes autour de la compétition dans le jeu, les acteur·rices de la conservation ont aussi pu mesurer les difficultés de perception de cette compétition et le besoin de mieux connaître les potentiels de ressources.

Le jeu et l'analyse du contexte révèlent une communauté d'acteur·rices hétérogène notamment sur leurs intérêts. Si le jeu a pu favoriser une compréhension en agissant comme une arène d'action, c'est-à-dire un espace de proximité pour échanger sur une situation de dilemme, cette compréhension mutuelle et la construction d'une volonté partagée d'action collective se construisent sur la durée à travers les interactions et la coopération (Carr Kelman et al. 2023).

Attributs de la communauté et des règles en usage : l'individualité du fonctionnement apicole et les règles d'usage apicole ne prédisposent pas à la coopération

La prédisposition des acteur·rices d'une communauté à la coopération ou l'existence de règles favorisant cette coopération sont des facteurs clés de l'émergence d'une gouvernance collective. L'analyse du contexte ayant montré l'absence d'arène d'action pour discuter de la répartition des ruchers, dans la première partie du jeu, nous avons positionné les joueur·euses dans une situation individuelle, en limitant la communication avant le dépôt des jetons. Si les participant·es ont rapidement émis le souhait collectif de retourner les jetons le jeu des joueur·euses que nous avons observé a reflété la réalité de la pratique : une pratique essentiellement individualiste, sans concertation avec les autres apiculteur·rices. Ainsi même lorsque les apiculteur·rices ont joué à jetons découvert, ils et elles ont aussi joué de façon individuelle sur certaines saisons. Dans la réalité, la communauté apicole est décrite par les participant·es comme très individualiste. En effet, bien que certain·es apiculteur·rices communiquent inter-individuellement la localisation de leurs ruchers ainsi que leur chargement en colonies, les décisions sur le choix de l'emplacement et son chargement reste prises individuellement. Toutefois, les participant·es, en particulier les jeunes générations soulignent l'évolution du métier avec des échanges plus réguliers via les réseaux. Mais ces échanges restent inter-individuels et si la compétition entre abeilles sauvages et la vulnérabilité qu'elle engendre ont posé des bases de discussions communes entre des apiculteur·rices professionnels aux pratiques différentes, les acteur·rices manquent d'outils pour gérer ces situations. En effet, dans un contexte où les conflits sont présents (charte, IGP), les participant·es ont soulevé le manque d'organisation collective de l'apiculture et le manque d'outils de négociation même entre professionnels « *On n'est pas organisés, donc on n'a pas les outils pour prendre des décisions en commun* » (Gustave*, Dominique).

Outre l'individualité, la communauté apicole s'est aussi constituée autour du besoin de liberté. Nombre d'apiculteur·rices ont commencé cette profession pour être « leur propre patron » et être libre. Ainsi, les règles d'usage apicole ne prédisposent pas directement à la coopération et la question de l'autonomie se révèle être un enjeu crucial pour la mise en place d'action collective.

Règles de concertation : l'analyse au prisme d'Ostrom de règles existantes ou discutées

Les travaux d'Ostrom ont permis de montrer les facteurs clés du contexte institutionnel et des règles en usage dans l'action collective. Outre les éléments déjà évoqués ci-dessus, nous analysons à travers les sessions de jeu les règles en usage dans un cas d'émergence de coopération sur le territoire : la mise en place de la charte. Par ailleurs, afin de mettre en avant les conséquences que des règles pourraient avoir si les acteur·rices concerné·es restaient dans le statu quo et pour stimuler l'émergence de nouvelles règles par les participant·es dans le jeu, nous avons décidé d'appliquer arbitrairement dans le jeu une règle de sanction en cas de compétition avec les abeilles sauvages. Nos résultats montrent à travers les réactions des participant·es les freins que cette règle peut générer à la fois en termes de perte d'autonomie et d'arbitraire.

La charte des bonnes pratiques initiées sur le territoire revêt un caractère unique de coopération sur les emplacements de ruchers sur le territoire. Pour rappel, à la suite des comportements « sauvages » (charges de ruches extrêmes ou installation sans déclaration), certain·es apiculteur·rices ont décidé de mettre en place une charte de bonnes pratiques, volontaire et non réglementaire afin d'éviter les vandalismes de ruches. Mais son étude à la lumière des principes

d'Ostrom révèle un certain nombre de lacunes pour garantir une gestion collective efficace et durable. Tout d'abord part la charte ne prévoit aucun moyen de gestion de conflit ni aucune sanction, les personnes ne respectant pas les bonnes pratiques étant juste prévenues. « *Une charte de bonnes pratiques ça marque que c'est pas le far west ici, c'est le sens commun, après les gens respectent ou pas.* » (Paul*, Dominique). Ensuite cette charte ne fait pas l'unanimité et notamment concernant la prise de choix collectif et la légitimité des personnes en charge de l'appliquer. Elle est notamment discutée du point de vue du repli sur soi que cela peut générer et de la légitimité des prises de décisions « *d'où vient [le seuil de] 70 ruches ?* » (Lucas*, Camille) et de la légitimité des pouvoirs qu'elle confère. Certains apis reviennent ainsi sur le besoin de prise en main de cette gestion de ruchers par la profession plutôt que par les mairies sinon « *le politique va nous passer dessus* » (Gustave*, Dominique). Toutefois la proposition, au sein de la charte, de géoréférencement de ruchers, à laquelle les apiculteur·rices étaient très réticent·es, semble aujourd'hui plus acceptée si celle-ci est organisée par la profession. La charte est aussi révélatrice des incertitudes qui pèsent sur la ressource. Les propositions de quota de ruches ne font pas de différenciation selon les habitats ce qui est qualifié « d'absurde » par des écologues défenseurs des abeilles sauvages.

A travers le jeu nous avons voulu faire réagir les participant·es à la problématique de compétition. Pour cela nous avons décidé d'apporter un élément perturbateur poussant à la concertation. Dans le jeu nous avons fait le choix d'imposer une règle s'appliquant de façon « *top down* » depuis une entité extérieure et mimant le retrait d'une prime aux apiculteur·rices. Cette règle n'est pas en place sur le territoire de l'étude mais est en réflexion dans certaines régions. Comme nous l'avons vu cette règle et la vulnérabilité qu'elle a engendré a effectivement fait réagir les participant·es. Bien qu'elle n'ait été énoncée qu'en troisième tour de jeu, elle avait été anticipée par les joueur·euses à l'arrivée des drapeaux « *ça veut dire qu'il y a un malus* » (Pascal*, Val). Face à cette règle et les drapeaux qui ne disparaissaient pas malgré un effort de concertation dans la deuxième phase de jeu, lors des deux sessions les apiculteur·rices ont proposé une action de revendication : « *J'ai une proposition : mettre toutes les ruches devant la préfecture. On aura pas de miel en Cévennes et ils comprendront.* » (Paul*, Dominique). Les participant·es de l'ensemble des sessions ont ensuite pointé les insuffisances – écologiques et économiques – et les freins que cette règle pouvait générer. Premièrement ils ont montré leur désaccord avec l'imposition de règles extérieures « *Si l'administration taxe, ça ne va pas bien se passer.* » (Gustave*, Dominique). Ces réactions soulignent la crainte et la vulnérabilité des apiculteur·rices vis-à-vis du contexte institutionnel. Elles ont d'ailleurs été confirmées par le besoin exprimé par les apiculteur·rices participant·es de la deuxième session d'avoir un temps d'échange avec l'équipe d'animation pour clarifier nos objectifs et le devenir des résultats de l'étude. Deuxièmement, en elle-même cette règle a été remise en question pour son inefficacité sur les pollinisateurs sauvages « *[La suppression des primes] ça va sauver les abeilles sauvages ? J'ai des doutes...* » (Baptiste*, Val). Enfin l'aspect économique de cette règle a été discuté. Si les joueur·euses reconnaissent avoir « *une logique économique avant tout, il faut gagner notre vie* » (Gustave*, Dominique), iels considèrent que « *ce n'est pas un bon levier. On reste dans un calcul coût-bénéfice.* » (Baptiste*, Val). En particulier les primes ne sont pas déterminantes, ils sont « *prêts à les perdre* » : « *En apiculture ce sont pas les primes qui nous font vivre. On soigne notre outil de travail.* » (Pascal*, Val). L'ensemble des participant·es des sessions s'accordent à dire qu'une sanction imposée n'est pas adaptée et qu'« *il vaudrait mieux valoriser* » (Carole*, Camille).

Le jeu fait émerger de nouvelles règles d'organisation dont la faisabilité est évaluée au prisme des enjeux de confiance, d'autonomie et de réciprocité

Un des objectifs du jeu était également d'accompagner les acteur·rices dans l'exploration et la co-construction de solutions. Le jeu AGORAPI a ainsi permis de faire émerger et de tester plusieurs règles d'organisation collective. Les discussions ont permis d'évaluer la faisabilité de ces règles à la

fois d'un point de vue technique mais aussi vis-à-vis de variables essentielles pour l'organisation collective : la confiance, l'autonomie et la réciprocité.

Dès la fin des premiers tours de jeu, les participant·es ont souhaité retourner les jetons abeilles afin de connaître la charge en abeilles. Il a ensuite été proposé de jouer avec les jetons face visible pour se concerter et limiter la charge sur les emplacements. Lors d'une session, les joueurs ont également proposé de visibiliser les propriétaires des emplacements libres afin de pouvoir se prêter mutuellement leurs emplacements « *Quand il y a un emplacement vacant, il n'y a pas de raison de pas le prêter à un autre. Plutôt se serrer les coudes que se tirer dans les pattes* » (Paul*, Dominique). Si des prêts d'emplacements existent actuellement, ce sont surtout des prêts entre apiculteur·rices habitués à travailler ensemble. Ces règles de transparence ont permis aux joueur·euses de sortir de leur individualité et de s'organiser collectivement dans le jeu. Elles ont été considérées comme un bon moyen de réduire des incertitudes : « *Ce qui pourrait être intéressant, c'est – pas de façon coercitive – savoir exactement combien il y a de ruches et à quel endroit. Et ce qui serait intéressant c'est d'avoir les moyennes par ruches sur les secteurs et on aura peut-être plus de déduction de savoir si on a eu une bonne récolte à cause de la météo ou à cause de la pression. Plutôt que d'anticiper et de dire « Y a trop de ruches, ça va pas et vous allez dans le mur », on laisse faire les choses et à partir de ce qui se fait, on récolte pleins de données pour en tirer des déductions sur la vraie ressource.* » (Paul*, Dominique). Toutefois, les participant·es ont discuté de leur faisabilité technique dans la réalité. Les apiculteur·rices ont soulevé la difficulté de trouver du temps à l'organisation collective au cours des périodes de la saison apicole très intense. De plus, les incertitudes sur la production de ressource et l'adaptation individuelle en « dernière minute » rendent difficiles le partage et la communication. « *De là à s'organiser systématiquement, je vois pas comment on peut le faire* » (Paul*, Dominique). Enfin, la transparence sur les emplacements et la charge en colonies a soulevé l'enjeu de la réciprocité de la transparence c'est-à-dire de la confiance envers les autres acteur·rices du territoire. « *C'est pas si simple de mettre les cartes sur la table, est-ce que tout le monde est transparent ?* » (Franck*, écologue, Val). Cet enjeu de confiance a été soulevé à l'ensemble des niveaux d'organisations. Ainsi certains n'ont pas confiance vis-à-vis des autres apiculteur·rices voisins : « *Tout le monde n'est pas correct* » (Octave*, Camille). L'enjeu de la confiance se pose aussi vis-à-vis de l'institution qui récupérerait les informations. « – Octave* : *Faut que la participation soit volontaire.* – Paul* : *et il faut la transparence.* – Octave* : *Mais ceux qui nous le demandent sont-ils transparents ?* ».

La mise en place de ces règles dans le jeu ont également permis de soulever l'enjeu de la réciprocité en termes de coûts/bénéfices. Dans le jeu ces règles ont permis de faire discuter les joueurs et de mieux répartir la charge sur le territoire mais cela a posé la question de la répartition des coûts « *Je me suis enquiné tout à l'heure, je t'enquique* » (Paul* à Pascal* pour répartir ses 8 abeilles en 2 jetons plutôt que tout concentrer sur un seul emplacement). D'autre part lorsque certains joueurs n'ont pas posé de jetons pour éviter de créer une compétition, ils ont demandé une compensation des pots de miels réalisés : « *C'est grâce à ceux qui n'y sont pas allés* » (Gustave* en tendant la main à Lucas*). Face à ces enjeux il a été proposé la mise en place d'une assurance collective permettant d'aider les apiculteur·rices ayant joué le jeu de la concertation mais ne réalisant que de faibles récoltes. Toutefois, les solutions économiques sur une période de l'année en tension ne permettent pas de nourrir les abeilles qui n'iraient pas sur des zones de miellées : « *Si tu les enlèves [les colonies] tu les mets où ?* » (Arnaud*, écologue jouant Dominique). Les apiculteur·rices ont tenu à rappeler que elleux et aussi s'occupent de non-humains vivants qu'il faut nourrir : « *on travaille avec des animaux vivants* » (Pascal*, Val). Cette réciprocité a également été débattue vis-à-vis de l'extérieur du territoire. D'une part l'arrivée de ruches d'un·e apiculteur·rice extérieur·re fictif·ve a confronté les joueur·euses à cette question sans que des solutions soient trouvées « *même s'il y a une concertation, on ne contrôle pas l'arrivée des extérieurs* » (Gabin*, apiculteur professionnel sédentaire, Morgan). D'autre part, les apiculteur·rices de notre zone d'étude étant amenées à transhumer à l'extérieur, les conséquences réciproques d'une organisation interne a été soulevée : « *si on se replie sur nous même, on risque de se faire exclure ailleurs* » (Gabin*, Morgan).

Les échanges montrent le besoin pour les participant·es de bien connaître et maîtriser l'objectif de ces récoltes de données. La confiance pourrait se construire avec un objectif scientifique de récolte de données sans que cela soit utilisé pour imposer un quota de ruches sur le territoire. Ainsi, cet enjeu de la confiance fait écho à celui de l'autonomie. *« Il ne faut pas laisser ça dans les mains de décideurs à la noix qui autorisent des pesticides. C'est nous qui connaissons le métier, nous qui connaissons le territoire. Il faut que ça vienne des apïs plutôt que d'en haut. »* (Paul*, Dominique). Les participant·es apiculteur·rices ont convergé vers l'idée de garder une maîtrise dans la filière *« il faut que la filière soit force de proposition pour éviter règles pénalisantes »* (François*, Alex). Mais les apiculteur·rices ont aussi insisté sur le besoin d'élargir cette gestion à d'autres acteur·rices (botanistes et scientifiques) : *« s'il n'y a que des pros ça va faire une mafia déconnectée »* (Lucas*, Camille). Les participant·es ont toutefois rejeté l'idée que ce soit le parc national qui collecte ces données. Ces questionnements n'ont pas empêché certain·es d'imaginer des organisations avec des règles « coercitives ». *« Ça me dérange pas je m'adapterai à des contraintes financières, je suis limite pour. L'apiculture devient de plus en plus intensive. En apiculture ça serait bien d'avoir des limites. Le danger c'est qui va diriger ça. »* (Lucas*, entretien post-session de jeu). Ainsi au-delà des limites et des règles fixées, c'est avant tout le rôle dans la prise de décision des règles et la détention de l'information qui est crucial pour les apiculteur·rices : *« On tient beaucoup à notre liberté »* (Gustave*, entretien post-session de jeu).

Enfin, le parti pris du jeu *« très orienté »* (Octave*, entretien post-jeu) a permis de mettre les apiculteur·rices dans *« une position de décision, [...] dans une situation de jeu qui a gommé notre potentielle réticence. »* (Gustave*, entretien post-jeu). Le jeu, en accord avec les analyses d'Ostrom, a souligné le besoin de la construction d'une arène d'action permettant de construire les outils de négociation par les acteur·rices concerné·es ainsi que d'expérimenter et construire la confiance sur le temps long. Ainsi, les participant·es ont été presque unanimement intéressé·es pour expérimenter sur une zone pilote des règles de partage avec transparence sur les localisations de ruches et les récoltes. Cette expérimentation « grandeur nature » à visée concrète et modeste permettrait de construire un espace de proximité en ajoutant progressivement différent·es acteur·rices (propriétaires, agriculteur·rices, scientifiques). La récolte de données permettrait aussi de réduire les incertitudes et pourrait aboutir à la construction par l'apprentissage collectif d'une représentation partagée des interdépendances et faire naître un intérêt commun pour la coopération. Cette expérimentation souligne la volonté et l'attitude favorable des apiculteur·rices vis-à-vis de l'apprentissage collectif par essai/erreur, une aptitude qui se retrouve aussi dans la propension des participant·es à tester plusieurs règles dans le jeu. Cette aptitude nourrie dans la réalité par l'adaptation aux incertitudes des ressources, a été démontrée comme importante dans l'engagement dans des processus d'action collective (Ostrom 2010). Mais cette proposition d'expérimentation révèle aussi une volonté de « faire commun » (Gaidet and Aubert 2022). En effet celle-ci a été portée par Ulysse* considère quant à lui que cette question d'organisation collective pour régler cette problématique est du « domaine du commun ». Toutefois, cette volonté d'organisation collective ne découle pas d'un intérêt individuel à se coordonner pour une ressource sujette à compétition. En effet selon lui la quantité d'abeilles n'est pas une question centrale puisque la ressource suit une loi de tout ou rien avec la météo : *« quand ça mielle, ça mielle »*. Mais les drapeaux le gênent et malgré sa remise en question de la compétition, il cherche tout au long du jeu à les faire disparaître. Au-delà de la simple question de la compétition entre abeilles, Paul* (absent de la session de jeu avec Ulysse*, en entretien post-session de jeu) y voit une question politique plus large derrière qui dépasse les apiculteur·rices : *« Le problème ne concerne pas que les apiculteurs, il se pose à tous les échelons de l'agriculture. [...] La façon d'aborder le problème peut amener à une réflexion plus politique : cela met en exergue la difficulté d'une société face à la gestion d'une ressource. C'est typiquement le problème de notre époque. »*

L'enclassement dans des systèmes socio-écologiques plus larges : une problématique qui dépasse la question de l'apiculture

Dans la construction du jeu nous avons choisi de cibler les interactions entre abeilles domestiques et abeilles sauvages et de focaliser sur la concertation entre des apiculteur·rices pour limiter la compétition à la fois inter et intraspécifique. Cette situation d'action est pourtant enclassée dans un système socio-écologique plus large. Nous avons fait l'hypothèse que les discussions autour du jeu pouvaient révéler les variables extérieures qui influencent cette situation de dilemme.

D'une part, le jeu a permis de mettre en avant les contraintes socio-économiques et écologiques du système apicole. La problématique de la compétition a mis au jour des antagonismes entre différents enjeux environnementaux autour de l'apiculture en particulier l'empreinte carbone. Lors des sessions avec les institutionnels, les participant·es ont davantage cherché à limiter le cheptel sur le territoire qu'à le répartir collectivement. Pour cela ils ont proposé une réduction des coûts via l'utilisation de covoiturage de ruches. Si ce covoiturage est déjà existant entre apiculteur·rices qui partagent un emplacement il est peu faisable pour les autres. Actuellement la réduction des coûts, ainsi que l'empreinte carbone pousse les apiculteur·rices à transhumer plus de ruches en même temps donc à augmenter la charge des ruchers : « *Il est logique de charger les camions pour réduire les coûts de transports, pour le carbone c'est mieux. Il faut que les indicateurs soient cohérents. Marre d'être un pion* » (Gustave*, Dominique). La remise en cause de ces pratiques afin de favoriser des petits ruchers pose les apiculteur·rices dans un dilemme concernant deux variables environnementales : la biodiversité ou l'empreinte carbone.

D'autre part, le jeu permet de révéler que si l'interdépendances envers les abeilles sauvages permet de faire changer certaines pratiques et de favoriser l'organisation collective, la restriction de cette problématique à la seule organisation des apiculteur·rices pose une question de justice sociale. La justice sociale correspond à une juste répartition des efforts environnementaux. Tout d'abord les apiculteur·rices ont rappelé que leur revenu vient de cette production mais aussi du marché du miel aujourd'hui trop bas à cause des importations : « *je peux faire attention aux abeilles sauvages si le prix du miel est augmenté.* » (Lucas*, Camille). Même en reconnaissant l'existence d'une compétition, les apiculteur·rices critiquent le fait que cette situation de dilemme se focalise sur leur rôle. Les discussions font ressortir que le problème ne vient pas d'eux et la solution non plus. En particulier les participant·es sont revenus sur les menaces liées aux changements globaux (bouleversement climatique, intensification des pratiques agricoles) qui entraînent la raréfaction des ressources pour l'ensemble des abeilles : « *On vient enquiquiner les mauvaises personnes : la ressource diminue avec le réchauffement, la chimie, l'agriculture et l'élevage.* » (Paul*, Dominique). En particulier, l'ensemble des joueur·euses (apiculteurs et « institutionnel·les ») ont insisté sur les manques de ressources liées à la fermeture des milieux, le dépérissement des forêts mellifères de châtaignier, la transformation du pâturage et des techniques de fauche. Les échanges ont aussi soulevé le rôle des pesticides dans l'élevage et l'enrobage de semences. En mettant en avant cette notion de justice sociale et environnementale, les participant·es ont soulevé un enjeu crucial : la question de la production de ressources et le défi d'incorporer dans la situation de dilemme les principaux acteur·rices impliqués : « *Il faut vraiment aller vers les agriculteurs* » (Lili*, agente du parc national).

Discussion-conclusion

Notre étude s'intéresse à l'émergence de réflexions collectives face à un commun en discussion et en construction. Nous avons étudié la façon dont les compétitions inter et intraspécifique sont perçues par les acteur·rices (Mouillard-Lample et al. 2023). Ici nous montrons comment le questionnement sur les interdépendances qui en découlent sont susceptibles de faire émerger une action collective. A travers le jeu AGORAPI, nous avons étudié les variables contextuelles du socio-écosystème humain-abeille-fleur qui peuvent favoriser ou freiner la mise en place d'organisation collective. Enfin, le jeu AGORAPI, en accompagnant les acteur·rices vers l'émergence de solution collective a permis de mettre en avant les principaux enjeux d'une gestion collective des ressources florales.

Dans cette section, nous reviendrons sur les principaux résultats de notre étude puis nous ouvrirons une discussion sur deux points. Nous verrons d'abord en quoi notre jeu suggère que la construction d'action collective pour gérer un bien commun et la représentation d'une ressource en tant que CPR peuvent avoir besoin de s'élaborer conjointement. Enfin, nous proposons de discuter les apports de nos résultats dans les débats autour de la place de l'apiculture à l'égard de la conservation des abeilles sauvages.

Les sessions de jeu, en mettant les participant·es face à l'hypothèse de compétitions intra et interspécifique entre les abeilles ont mis en avant les divergentes représentations concernant l'existence de ces interdépendances. En agissant comme arène de discussion, le jeu a révélé une dissonance cognitive chez certain·es apiculteur·rices. Ils et elles remettent en cause l'existence de ces compétitions dans la réalité tout en pointant l'impact de gros ruchers, raison qui a conduit à l'émergence de la charte dans la réalité. En revanche, le jeu a mis en avant le consensus de l'ensemble des participant·es concernant les importantes incertitudes sur la production de ressources. Ces incertitudes inhibent la perception des interdépendances et freinent l'existence d'action collective en amont. Face à ces incertitudes, les joueur·euses ont mis en place dans le jeu des stratégies individualistes (« *de poker* ») sans transparence sur la disposition des ruches sur le territoire que les apiculteur·rices ont trouvé concordantes avec leur expérience. Les règles en usage et la communauté apicole soulèvent sur ce sujet la faible prédisposition à la coopération, mais les interactions dans le jeu et la mise en place de la charte dans la réalité montrent une évolution. En accord avec les travaux d'Ostrom, nos résultats montrent que la vulnérabilité des acteur·rices liée à leur dépendance aux ressources les incite à coopérer. Ainsi la possibilité de sanctions mais aussi la volonté de préserver les pollinisateurs sauvages a permis de faire émerger les enjeux cruciaux pour une organisation collective. En confrontant différents profils d'acteur·rices à cette problématique, le jeu a permis de partager ces différentes représentations et de faire émerger de nouvelles règles. Ces règles ont été discutées tant sur leur faisabilité technique que sur les enjeux clés d'une action collective : la confiance, l'autonomie et la réciprocité. Ainsi les participant·es ont mis en avant le besoin de réduire les incertitudes sur les ressources et l'impact des colonies, notamment par la communication et la transparence. Pour cela la construction de confiance entre acteur·rices du territoire sur le long terme est nécessaire. Les participant·es ont proposé la mise en place d'une expérience grandeur nature sur le territoire pour construire cette confiance et améliorer les connaissances sur les ressources et la compétition possible.

Mais tout en discutant de la faisabilité technique d'une organisation en amont et *a minima* d'un partage de données de rucher et de récolte, les participant·es ont surtout mis en avant leur besoin d'autonomie. Les apiculteur·rices veulent conserver un regard sur ces données et éviter qu'elles soient utilisées pour la mise en place de règles imposées d'en haut. La réciprocité reste aussi à construire. Étant donné les incertitudes sur la production des ressources en amont, les participant·es ont soulevé la problématique de réciprocité des coûts et des bénéfices liés à une organisation collective. En particulier ils et elles ont soulevé le besoin d'avoir une approche qui va au-delà de l'économie pour prendre en compte le besoin de nutrition de leurs abeilles.

Enfin les sessions de jeu ont permis d'élargir la problématique aux enjeux du socio-écosystème humain-abeille-fleur. D'une part, les pratiques de transhumance apicole ont soulevé le besoin d'éviter un repli sur soi du territoire et de garantir la réciprocité vis-à-vis des apiculteur·rices extérieur·es. D'autre part les échanges ont révélé la nécessité d'une approche globale sur les ressources en prenant en compte notamment les pratiques agricoles. La diminution des ressources qui en découle nécessite selon les participant·es de penser une organisation collective qui ne se résume pas aux apiculteur·rices.

L'enjeu de la construction collective d'une perception des ressources comme biens communs

L'analyse de nos résultats montre comment le jeu, en mettant les participant·es dans une situation de bien commun, c'est-à-dire d'acceptation de l'hypothèse de compétition, a permis de mettre en avant le besoin d'un partage d'informations. Mais en discutant les freins et les leviers de cette première étape d'action collective, ils ont soulevé que ce besoin pouvait être aussi nécessaire à l'élaboration de l'émergence d'une représentation des ressources en tant que bien commun. Face aux divergences initiales et aux incertitudes, notre étude suggère que ces deux processus nécessitent une construction concomitante.

Dans un socio-écosystème non encore étudié à travers l'angle des communs, nos résultats confirment l'importance des facteurs et variables recensés dans la littérature sur l'action collective et permettant de favoriser une action collective (Ostrom 2010, Carr Kelman et al. 2023). Les sessions de jeu indiquent que la vulnérabilité des apiculteur·rices vis-à-vis des ressources favorise leur coopération. Nos résultats montrent aussi que cette coopération nécessite la construction d'une confiance entre les participant·es et à travers notamment la transparence sur les informations et la garantie d'une autonomie dans les prises de décision. Ces éléments tout comme la réciprocité des coûts et des bénéfices ont été désignés comme essentiels par les participant·es lors de la création de nouvelles règles. Or c'est l'utilisation du jeu qui les a mis dans cette situation de bien commun. Les acteur·rices avec précautions, précisaient leur organisation en cas d'acceptation de l'hypothèse du jeu, c'est-à-dire d'acceptation de l'existence d'un bien commun. Le jeu a permis aux acteur·rices de se projeter malgré les divergences. Si dans les études d'Ostrom, la ressource commune est déjà-là, déjà identifiée en tant que ressource à partager, dans notre cas ce qui fait commun est à concevoir par les différent·es acteur·rices (Berthet 2013).

De la même façon que la construction de la réciprocité, de l'autonomie et de la confiance est nécessaire et s'élabore tout au long du processus de création collective (Carr Kelman et al. 2023), nos résultats indiquent que la construction d'une représentation de bien commun nécessite un partage d'information en toute transparence – et donc de la confiance entre participant·es – et une garantie d'autonomie sur l'élaboration des règles. En effet, nos résultats indiquent que la diversité de représentations et l'obstacle cognitif à la perception des interdépendances provient des importantes variabilités et incertitudes sur les ressources. En accord avec les travaux sur l'action collective, notre étude montre que les incertitudes sur les ressources sont un frein à l'action collective (Ostrom 2010). En effet, elles rendent difficiles l'élaboration de règles de partage justes et équitables mais elles inhibent aussi la représentation de ces ressources comme biens communs. Nos résultats indiquent plusieurs sources d'incertitudes. Certaines sont radicales c'est-à-dire inhérente au système complexe (Le Page et al. 2022) des ressources florales comme l'imprévisibilité de la production de ressources. D'autres, dites épistémiques, sont liées au manque de connaissances sur les besoins des abeilles sauvages et sur la présence des abeilles domestiques. L'ensemble des participant·es reconnaissent ces incertitudes et l'intérêt d'une part de partager des informations apicoles et d'autre part d'améliorer les connaissances scientifiques sur la compétition. Or l'acceptation de ces deux processus nécessite la construction de confiance entre les acteur·rices et les garanties d'une réciprocité et d'une autonomie. Les sessions avec les apiculteur·rices ont montré l'importance de la gestion des informations sur la présence des ruchers. Les études sur les communs ont montré que les modalités de la gestion des règles collectives (par les acteur·rices eux-mêmes

ou par des structures déléguées) influençaient peu l'efficacité d'une organisation collective (Agrawal et al. 2023). Mais l'autonomie dans la prise de décision de cette modalité, la confiance envers les personnes et la légitimité qui leur est conférée restent des points essentiels.

Pour Ostrom, la représentation des interdépendances et la reconnaissance d'un bien commun sont vues comme des préliminaires à l'action collective. Or nos résultats suggèrent que la construction de règles d'action collective et de construction d'une représentation collective d'une ressource comme un bien commun suivent des processus semblables et peuvent avoir besoin de s'élaborer conjointement. En cela le jeu AGORAPI a confirmé dans notre situation le potentiel de l'approche ComMod pour accompagner cette construction à travers un apprentissage social et la compréhension mutuelle des différentes représentations (Bousquet et al. 2023). Des sessions supplémentaires réunissant apiculteur·rices professionnelles et amateur·rices seraient intéressantes et pourraient compléter nos résultats. En effet, les analyses réalisées avant les sessions de jeu montrent que les apiculteur·rices amateur·rices ont été en faveur d'une charte limitant les transhumances excessives. À l'inverse plusieurs apiculteur·rices professionnel·les restent critiques envers l'implication d'amateur·rices et considèrent qu'ils n'ont pas à participer à l'élaboration de règles touchant celles et ceux dont les moyens de subsistance dépendent de l'apiculture et donc des ressources florales. De même, l'organisation de sessions de jeu – ou d'une rencontre post-session de jeu – réunissant apiculteur·rices, gestionnaires d'aires protégées et défenseur·euses des abeilles sauvages pourrait stimuler le partage des différentes représentations et la construction d'une vision commune. Dans notre étude nous avons choisi explicitement de générer des tensions par la mise en avant de la compétition. Aussi, nous avons choisi de faire discuter les acteur·rices séparément pour offrir un espace sécurisé favorisant la libération de la parole et l'explicitation de ces différentes représentations. Ces espaces ne sont pas exempts de rapports de force, même entre apiculteur·rices. Nous n'avons pas directement étudié ces rapports de force, pourtant cruciaux dans les processus d'organisation collective (Barnaud and Van Paassen 2013, Agrawal et al. 2023). Nos résultats soulignent néanmoins la vulnérabilité des apiculteur·rices face à cette problématique et les craintes qui peuvent peser en particulier dans un espace protégé.

Au-delà de ces limites, le jeu a soulevé des enjeux clés pour la conciliation entre apiculture et conservation des pollinisateurs sauvages, en construisant une arène d'action et en révélant différentes représentations des interdépendances entre acteur·rices.

Apports des sessions de jeu sur la gestion de la compétition entre abeilles

Notre étude montre le besoin de confiance et de transparence dans la construction d'une représentation d'interdépendances. Les apiculteur·rices expriment un besoin de connaissances scientifiques mais nos résultats montrent aussi que ces résultats ont besoin d'être confrontés à leur réalité. En effet, les variabilités qu'ils et elles expérimentent sur la production de ressources compliquent la détection et la mesure de la compétition par les chercheur·euses (Wojcik et al. 2018). Mais par l'expérience de l'incertitude qu'elles génèrent auprès des apiculteur·rices, elles compliquent aussi la représentation de ces résultats scientifiques par les apiculteur·rices. Or les incertitudes radicales sur la production de ressources ne pourront être réduites par l'acquisition de nouvelles connaissances. L'approche de la science positiviste qui cherche à réduire ces incertitudes à l'aide d'études sur le terrain apparaît limitée et peu efficace dans ces contextes (Funtowicz and Ravetz 1993). Il est donc nécessaire de reconnaître ces incertitudes, de co-construire de nouvelles connaissances de façon concertée entre les différent·es acteur·rices concerné·es et de débattre collectivement des règles d'action collective potentielles (Antona et al. 2022).

Dans une perspective de dépassement du cadre d'Ostrom, des travaux montrent l'importance dans des contextes où les biens communs ne sont pas identifiés (Labatut 2009) ou dans le cas où l'incertitude est inhérente (comme c'est le cas pour les agro-écosystèmes) de concevoir une représentation commune de ce qui fait commun (Berthet 2013).

Notre étude suggère que d'autres motivations que la conscience de la soustraitabilité des ressources sont susceptibles de motiver la construction d'une représentation collective des ressources florales

comme un bien commun. En effet, bien que la charte ait été motivée par une compétition intraspécifique, les sessions de jeu montrent une faible motivation à l'organisation collective pour limiter la compétition intraspécifique. Les sessions ont par contre suggéré une volonté de « faire commun » motivée par l'envie de préserver les pollinisateurs sauvages. Ce n'est pas la seule étude qui suggère que la prise de conscience de l'impact de l'utilisation des ressources sur des usagers non-humains permet de reconsidérer l'organisation collective (Gaidet and Aubert 2022). Selon Gaidet et Aubert (2022), cette reconnaissance d'interdépendance n'est pas un moteur suffisant pour reconsidérer les pratiques et nécessite d'une part la construction d'un récit qui donne la possibilité et la mise en capacité de construire de nouvelles règles. Dans notre contexte, la vulnérabilité des apiculteur·rices (« *On a faim* ») souligne le besoin de construire de nouvelles règles pour le partage des ressources mais en défendant l'idée de justice sociale et écologique.

La considération de justice sociale implique d'accorder aux personnes concernées l'occasion concrète d'influer sur les décisions qui les impactent (Bousquet et al. 2023). Ces constructions passent donc par l'implication concrète des apiculteur·rices dans ces prises de décisions. Mais il s'agit aussi d'impliquer l'ensemble des acteur·rices concerné·es. Les apiculteur·rices soulignent notamment que « *le problème et la solution ne peuvent venir seulement de l'apiculture.* ». Ce discours insiste sur l'idée de prendre en compte la production des ressources florales – et notamment le rôle de l'agriculture.

Ceci est d'autant plus vrai que notre étude souligne une différence importante par rapport aux travaux d'Ostrom. De même que la compétition intraspécifique, la raréfaction des ressources n'a pas été un moteur à la coopération. Au contraire, dans le jeu quand l'orage est arrivé sur la callune, après une récolte de châtaignier faible et plusieurs années de faible récolte sur la callune, les participant·es se sont rué·es sur les ressources disponibles sans se soucier des abeilles sauvages. Ils et elles ont plutôt spontanément joué la tragédie des communs (Hardin 1968) que l'action collective. La coopération n'est pas stimulée par la raréfaction parce que celle-ci n'est pas perçue comme une conséquence liée en premier lieu à une surexploitation par les apiculteur·rices. En effet, pour ces dernier·es, cette raréfaction des ressources vient avant tout d'une diminution liée aux effets du chaos climatique, à la destruction d'habitats favorables et aux changements de pratiques agricoles. Ces constats sur la perte de ressources sont partagés par la communauté scientifiques (Baude et al. 2016, Durant and Otto 2019) sans que la part de chacun de ces effets relativement à la compétition ne soit déterminée.

La construction d'un récit de justice sociale et écologique conciliant les usages des humains et des non-humains pourrait ainsi mettre en capacité d'élaborer de nouvelles règles concernant la production de ressources. Gaidet et Aubert (2022) soulignent l'enjeu de transcender les clivages traditionnels basés sur un raisonnement exclusif fondé sur la propriété foncière et la segmentation de l'espace (comme dans les espaces protégés excluant des activités humaines), pour initier des propositions d'action inclusives fondées sur l'usage. Ces propositions prennent d'autant plus sens dans notre cas que les apiculteur·rices ne sont pas propriétaires des ressources qu'ils et elles utilisent. On peut en effet définir l'apiculture comme l'est la garrigue (décor de l'étude de Gaidet et Aubert), comme une pratique où « l'usage prime sur la propriété ».

Remerciements

Tous nos remerciements vont à l'ensemble des participant·es des sessions de jeu (apiculteur·rices, chercheurs, agent·es du parc ou d'autres institutions). Nous remercions aussi toutes les personnes qui ont participé à tester le jeu : Martine Antona, Fantine Badeau, Léna Barascou, Hajar Choukrani, Michel Etienne, Virginie Diévert, Laurent Guilbaud, Pierre Le Bivic, Zoé Le Marchand, Clémentine Leroy, Pierre-Alban Rault, Mathieu Stalin, et Julien Vallon. Nous remercions particulièrement Armelle Tournaire et les étudiant·es de la licence GENA, Mathieu Auneau, Rita Khawand, Théa Osorio, Louis Salomon qui ont testé le jeu et travaillé sur les différentes

règlementations en cours. Les auteur·rices remercient tout particulièrement Benjamin Bégou pour son aide précieuse et son implication dans les ateliers pour remplacer les personnes absentes.

Financements

Ce projet a reçu le soutien financier d'INRAE dans le cadre du métaprogramme Biosefair (consortium BECO). Les salaires de thèse de Léo Mouillard-Lample et Gabriel Gonella ont été financés par l'École normale supérieure de Lyon.

Références

- Agrawal, A., J. Erbaugh, and N. Pradhan. 2023. The Commons. *Annual Review of Environment and Resources* 48(1):null.
- Alaux, C., Y. Le Conte, and A. Decourtye. 2019. Pitting wild bees against managed honey bees in their native range, a losing strategy for the conservation of honey bee biodiversity. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7.
- Antona, M., S. Aubert, F. Bousquet, E. Delay, N. Gaidet, F. Gerard, P. Karpe, and C. Le Page. 2022. Prendre soin, être responsable et s'accorder. Page *Les communs : Un autre récit pour la coopération territoriale*. éditions Quae.
- Antona, M., and F. Bousquet. 2017. *Une troisième voie entre l'État et le marché: Échanges avec Elinor Ostrom*.
- Antona, M., P. D'Aquino, S. Aubert, O. Barreteau, S. Boisseau, F. Bousquet, W. Daré, M. Etienne, C. Le Page, R. Mathevet, G. Trébuil, and J. Weber. 2003. Our Companion Modelling Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6(1).
- Auneau, M., R. Khawand, L. Salomon, and T. Osorio. 2022. *Recensement des mesures de restrictions de l'apiculture dans des objectifs de conservation des insectes pollinisateurs sauvages*. Page 88. Licence Professionnelle Gestion Agricole des Espaces Naturels ruraux, L'institut agro Montpellier, Florac.
- Barnaud, C., E. Corbera, R. Muradian, N. Salliou, C. Sirami, A. Vialatte, J.-P. Choisis, N. Dendoncker, R. Mathevet, C. Moreau, V. Reyes-García, M. Boada, M. Deconchat, C. Cibien, S. Garnier, R. Maneja, and M. Antona. 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: A conceptual framework. *Ecology and Society* 23.
- Barnaud, C., and A. Van Paassen. 2013. Equity, Power Games, and Legitimacy: Dilemmas of Participatory Natural Resource Management. *Ecology and Society* 18(2).
- Baude, M., W. E. Kunin, N. D. Boatman, S. Conyers, N. Davies, M. A. K. Gillespie, R. D. Morton, S. M. Smart, and J. Memmott. 2016. Historical nectar assessment reveals the fall and rise of floral resources in Britain. *Nature* 530(7588):85–88.
- Berthet, E. 2013, September 23. Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes : Fonds écologique et inconnu commun. phdthesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Bousquet, F., W. Daré, and M. Antona. 2023. Analyser et s'engager. Page *Les communs : Un autre récit pour la coopération territoriale*.
- Carr Kelman, C., U. Brady, B. A. Raschke, and M. L. Schoon. 2023. A Systematic Review of Key Factors of Effective Collaborative Governance of Social-Ecological Systems. *Society & Natural Resources* 0(0):1–19.
- ComMod, C. 2005. La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés* 13(2):165–168.
- Desneux, N., A. Decourtye, and J.-M. Delpuech. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52:81–106.
- Dixon, D. J., H. Zheng, and C. R. V. Otto. 2021. Land conversion and pesticide use degrade forage areas for honey bees in America's beekeeping epicenter. *PLOS ONE* 16(5):e0251043.

- Dupré, L. 2020. Prendre place dans les territoires. *Etudes rurales* n° 206(2):28–47.
- Durant, J. L. 2019. Where have all the flowers gone? Honey bee declines and exclusions from floral resources. *Journal of Rural Studies* 65:161–171.
- Durant, J. L., and C. R. V. Otto. 2019. Feeling the sting? Addressing land-use changes can mitigate bee declines. *Land Use Policy* 87:104005.
- Etienne, M. 2010. *Modélisation d'accompagnement*. Quae.
- Fontaine, G. 2016, 27/05. Analyser les conditions favorables à l'émergence de communs, le cas d'un PTCE d'économie solidaire. Communication, Montpellier.
- Funtowicz, S. O., and J. R. Ravetz. 1993. Science for the post-normal age. *Futures* 25(7):739–755.
- Gaidet, N., and S. Aubert. 2022. “Faire commun” avec un non-humain. Pages 108–140 *Les communs : Un autre récit pour la coopération territoriale*.
- Geldmann, J., and J. P. González-Varo. 2018. Conserving honey bees does not help wildlife. *Science* 359(6374):392–393.
- Genoud, D., and J. Fonderflick. 2021. *Liste commentée des Hyménoptères Apiformes (Anthophila) du Parc national des Cévennes*. Page 97. Parc national des Cévennes, Florac-Trois-Rivières.
- Geslin, B., B. Gauzens, M. Baude, I. Dajoz, C. Fontaine, M. Henry, L. Ropars, O. Rollin, E. Thébault, and N. J. Vereecken. 2017. Chapter Four - Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant–Pollinator Interactions. Pages 147–199 in D. A. Bohan, A. J. Dumbrell, and F. Massol, editors. *Advances in Ecological Research*. Academic Press.
- Gonella, G., E. Léoni, L. Mouillard-Lample, C. Aubron, M. Deconchat, A. Decourtye, and C. Barnaud. 2022. Interactions between beekeeping and livestock farming systems in agropastoral landscapes: a floral resources centered approach. Page 14th *European Farming Systems Conference: Farming systems facing climate change and resource challenges (IFSA 2022)*, IFSA. Évora, Portugal.
- Goulson, D., E. Nicholls, C. Botías, and E. L. Rotheray. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347(6229):1255957.
- Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. *Science* 162(3859):1243–1248.
- Harris, C., R. Christopher, S. Humphrey-Ackumey, R. Mercer, P. Ney, and F. L. W. Ratnieks. 2023. Pollinator spillover: Hay cutting of grass with white clover, *Trifolium repens*, displaces bees and increases their abundance in adjacent patches of bramble, *Rubus fruticosus*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 354:108581.
- Henry, M., and G. Rodet. 2018. Controlling the impact of the managed honeybee on wild bees in protected areas. *Scientific Reports* 8(1).
- Henry, M., and G. Rodet. 2020. The apiary influence range: A new paradigm for managing the cohabitation of honey bees and wild bee communities. *Acta Oecologica* 105:103555.
- Iwasaki, J. M., and K. Hogendoorn. 2022. Mounting evidence that managed and introduced bees have negative impacts on wild bees: an updated review. *Current Research in Insect Science*:100043.
- Jobard, E. 2012. *Mise en place d'un observatoire de l'apiculture au sein du Parc National des Cévennes*. Rapport de Licence.
- Kammerer, M., S. C. Goslee, M. R. Douglas, J. F. Tooker, and C. M. Grozinger. 2021. Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology* 27(6):1250–1265.
- Kleijn, D., K. Biesmeijer, Y. L. Dupont, A. Nielsen, S. G. Potts, and J. Settele. 2018. Bee conservation: Inclusive solutions. *Science* 360(6387):389–390.
- Labatut, J. 2009. Gérer des biens communs. Processus de conception et régimes de coopération dans la gestion des ressources génétiques animales. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris.

- Le Page, C., W. Daré, M. Antona, and S. Aubert. 2022. Se confronter à la cogestion adaptative. Pages 183–205 *Les communs : Un autre récit pour la coopération territoriale*.
- Lehébel-Péron, A. 2014, December 18. L'abeille noire et la ruche-tronc : approche pluridisciplinaire de l'apiculture traditionnelle cévenole : histoire, diversité et enjeux conservatoires. phdthesis, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.
- Lehébel-Péron, A., P. Sidawy, E. Dounias, and B. Schatz. 2016. Attuning local and scientific knowledge in the context of global change: The case of heather honey production in southern France. *Journal of Rural Studies* 44:132–142.
- Magrach, A., J. P. González-Varo, M. Boiffier, M. Vilà, and I. Bartomeus. 2017. Honeybee spillover reshuffles pollinator diets and affects plant reproductive success. *Nature Ecology & Evolution* 1(9):1299–1307.
- Mallinger, R. E., H. R. Gaines-Day, and C. Gratton. 2017. Do managed bees have negative effects on wild bees?: A systematic review of the literature. *PLOS ONE* 12(12):e0189268.
- McGinnis, M. D., and E. Ostrom. 2014. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society* 19(2):art30.
- Mouillard-Lample, L., G. Gonella, A. Decourtye, M. Henry, and C. Barnaud. 2023. Competition between wild and honey bees: Floral resources as a common good providing multiple ecosystem services. *Ecosystem Services* 62:101538.
- Ostrom, E. 1990. *Governing the commons : the evolution of institutions for collective action*. Cambridge ; New York : Cambridge University Press.
- Ostrom, E. 2005. *Understanding Institutional Diversity*. Princeton University Press, Princeton.
- Ostrom, E. 2008. Design principles of robust property-rights institutions: what have we learned? Page 28. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA.
- Ostrom, E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science* 325(5939):419–422.
- Ostrom, E. 2010. Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. *The American Economic Review* 100(3):641–672.
- Ostrom, E., and M. Cox. 2010. Moving beyond panaceas: a multi-tiered diagnostic approach for social-ecological analysis. *Environmental Conservation* 37(4):451–463.
- Perrin, G. 2019. Les communs de capacités: une analyse des Pôles Territoriaux de Coopération Economique à partir du croisement des approches d'Ostrom et de Sen. *Economies et finances.*, Université Paris-Est.
- Requier, F., L. Garnery, P. L. Kohl, H. Njovu, C. Pirk, R. Crewe, and I. Steffan-Dewenter. 2019. The Conservation of Native Honey Bees Is Crucial. *Trends in Ecology & Evolution*.
- Ropars, L., L. Affre, É. Thébault, and B. Geslin. 2022. Seasonal dynamics of competition between honey bees and wild bees in a protected Mediterranean scrubland. *Oikos* 2022(4):e08915.
- Sponsler, D., A. Iverson, and I. Steffan-Dewenter. 2023. Pollinator competition and the structure of floral resources. *Ecography* n/a(n/a):e06651.
- Tosi, S., C. Sfeir, E. Carnesecchi, D. vanEngelsdorp, and M.-P. Chauzat. 2022. Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A meta-analysis and new risk assessment tools. *The Science of the Total Environment* 844:156857.
- UNAF. 2019, November 7. Menace sur les pollinisateurs sauvages : l'apiculture coupable ? Le point de vue de l'Union Nationale de l'Apiculture Française. <https://www.unaf-apiculture.info/actualites/menace-sur-les-pollinisateurs-sauvages-l-apiculture-coupable.html>.
- Van Espen, M., J. Williams, F. Alves, Y. Hung, D. de Graaf, and W. Verbeke. 2023. Beekeeping in Europe facing climate change: A mixed methods study on perceived impacts and the need to adapt according to stakeholders and beekeepers. *Science of The Total Environment* 888:164255.
- Wignall, V. R., I. Campbell Harry, N. L. Davies, S. D. Kenny, J. K. McMinn, and F. L. W.

- Ratnieks. 2020. Seasonal variation in exploitative competition between honeybees and bumblebees. *Oecologia* 192(2):351–361.
- Wojcik, V. A., L. A. Morandin, L. Davies Adams, and K. E. Rourke. 2018. Floral Resource Competition Between Honey Bees and Wild Bees: Is There Clear Evidence and Can We Guide Management and Conservation? *Environmental Entomology* 47(4):822–833.
- Woodcock, B. A., J. M. Bullock, R. F. Shore, M. S. Heard, M. G. Pereira, J. Redhead, L. Ridding, H. Dean, D. Sleep, P. Henrys, J. Peyton, S. Hulmes, L. Hulmes, M. Sárospataki, C. Saure, M. Edwards, E. Gensch, S. Knäbe, and R. F. Pywell. 2017. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science* 356(6345):1393–1395.

Supposer que le choix en faveur d'une gestion collective relève de calculs d'individus rationnels revient à oublier que le commun ne se décrète pas plus de l'extérieur qu'il n'est le résultat d'une agrégation de décisions individuelles prises isolément et qu'il relève en réalité d'un processus social qui a sa logique propre ;
Dardot et Laval (Commun)

Il n'y a pas de connaissances parfaites, il n'y a que des interprétations

Jean Krug, Cité d'Ivoire d'après Nietzsche

Les communs ne sont pas seulement les moyens par lesquels nous partageons à égalité les ressources que nous produisons, mais aussi un engagement en faveur de la création de sujets collectifs et d'intérêts communs dans toutes les dimensions de nos vies.

George Coffentzis et Silvia Federici

Discussion générale

L'objectif de cette étude était de mieux comprendre la compétition entre abeilles ainsi que les enjeux clés d'un partage des ressources florales pour concilier la préservation des abeilles sauvages avec le maintien d'une apiculture durable. Pour ce faire nous avons suivi une approche interdisciplinaire fondée sur le concept de biens communs. Nous nous sommes demandés s'il était pertinent d'appliquer ce concept aux ressources florales pour comprendre les conditions de l'émergence d'une action collective pour partager ces ressources. Nous avons également cherché à mettre en évidence des indicateurs opérationnels pour mieux comprendre cette compétition sur les territoires et la prendre en compte dans nos études.

Ce travail s'est construit sur trois approches complémentaires relevant de disciplines différentes qui se sont mutuellement nourries. Les résultats issus de nos enquêtes sociales ou écologiques ont permis de construire les différentes étapes de cette thèse.

La première approche, basée sur 34 entretiens auprès d'apiculteur·rices nous a permis de comprendre les perceptions de ces acteur·rices sur les ressources florales et les hypothèses de compétitions. Ces entretiens ont également permis d'analyser les usages des ressources florales sur le territoire du parc national des Cévennes (chapitre 2). En parallèle de ces entretiens, nous avons étudié les effets de la proximité des colonies d'abeilles domestiques et de la densité de colonies sur le succès de quête alimentaire des abeilles sauvages et domestiques (chapitre 3). La capture de ces 8665 abeilles sur 428 sites d'échantillonnages pendant deux années consécutives (2020 et 2021) nous a permis d'évaluer l'existence possible d'une compétition dans un paysage hétérogène aux multiples ressources florales. Les entretiens réalisés dans le chapitre 2 ont permis d'une part d'identifier les ressources principales pour les apiculteur·rices dans notre zone d'étude tout en construisant un lien avec les apiculteur·rices pour réaliser un recensement des ruchers sur le terrain. En complétant ce recensement par un arpentage des zones d'études, nous avons ainsi pu construire une cartographie des ruchers *ex nihilo*. La dernière phase a consisté en l'élaboration d'un jeu de rôle pour expliciter les différentes représentations sur les ressources florales entre les participant·es et stimuler l'émergence de règles collectives (chapitre 4). Nous avons construit ce jeu de rôle sur la compréhension des pratiques et des enjeux apicoles issue de nos entretiens (chapitre 2). Lors des trois sessions réalisées, les résultats préliminaires issus des analyses d'écologie (chapitre 3) ont pu nourrir les discussions avec les participant·es. Ce travail illustre l'importance d'une complémentarité entre ces différentes approches dans la réflexion autour des compétitions.

Dans cette discussion nous reviendrons d'abord sur les apports et les limites de ces travaux sur (i) la compréhension écologique de la compétition, (ii) l'émergence des biens communs et (iii) le débat autour de la place de l'apiculture dans les aires protégées. Au cours de ces discussions nous évoquerons également des pistes d'analyses complémentaires et des perspectives de recherche. En particulier nous reviendrons sur l'intérêt du jeu AGORAPI pour la réflexion autour de ces compétitions et les enjeux de la recherche scientifique dans ce débat. Enfin nous concluons sur la place des producteur·rices de ressources florales dans cette problématique de compétition et ouvrirons sur quelques réflexion politiques que ces sujets soulèvent.

Une nouvelle étude qui met en avant l'existence de compétition dans les aires protégées

Cette étude s'ajoute aux différents travaux qui ont examiné expérimentalement l'existence potentielle d'une compétition (Iwasaki and Hogendoorn 2022). Dès le démarrage de cette thèse, il nous a semblé crucial de nous demander si une compétition était observable dans le contexte local de notre étude. Les résultats du chapitre 4 ont montré que ces résultats scientifiques étaient attendus par les participant·es aux sessions de jeu et nécessaires à la construction d'une action collective.

Au cours de cette thèse nous nous sommes également demandé·es quels indicateurs étaient opérants pour réfléchir à la mise en place d'un partage des ressources (*Question 5*) et si le concept d'aire d'emprise des ruchers – l'« apiary influence-range concept » ou AIR, développé par Henry et Rodet (2020) – était transposable et applicable dans des paysages hétérogènes avec de multiples ressources florales (*Question 6*).

Nos résultats ont mis en avant des effets significatifs de la distance au rucher le plus proche sur le succès d'approvisionnement des abeilles sauvages comme domestiques (Chapitre 3). Comme nous le discutons dans le chapitre 3, ces effets de distance suggèrent l'existence de compétition intra et interspécifique dans le parc national des Cévennes sur les ressources florales que nous avons étudiées. Alors que les études et les revues de littérature considèrent pour la plupart la densité de colonies (Steffan-Dewenter and Tscharrntke 2000, Lindström et al. 2016, Geslin et al. 2017, Iwasaki and Hogendoorn 2022), notre étude montre que la distance au rucher le plus proche modélise mieux nos variables de compétition que la densité de ruches - même si nos résultats montrent aussi que cette dernière est significativement liée au succès d'approvisionnement. Ces résultats vont donc dans le sens d'une généralisation du concept d'aire d'emprise des ruchers au-delà de la situation paysagère (landes à romarin) dans laquelle il a été démontré pour la première fois (Henry and Rodet 2018).

Toutefois, l'analyse sessions-spécifique montre également des variations entre les années et entre les systèmes floraux. Ainsi, la validation de ce concept ouvre aussi des remises en question et des incertitudes quant aux valeurs seuils trouvées par Henry et Rodet dans leur étude sur la Côte Bleue. En effet, selon les modèles (et la présence des ruchers incertains) nos résultats suggèrent l'existence de seuils de 350 m (ou 650 m dans l'hypothèse où plus de ruchers sont présents sur le territoire au moment de notre étude) de distance au rucher le plus au-delà desquels le succès de quête alimentaire est plus important. La détection de ces seuils est-elle liée à un relâchement concret de la compétition interspécifique entre abeilles dès 350 m de distance au rucher le plus proche ? Est-ce que pour ces ressources florales, deux ruchers éloignés d'un kilomètre laisseraient un espace sans compétition de 300 m suffisant pour éviter une compétition ? Ces questions ne sont pas encore résolues. Il serait intéressant de compléter nos études par des mesures de ces effets de limitation du succès d'approvisionnement par des indicateurs de succès reproducteurs (Wojcik et al. 2018) ou des marqueurs physiologiques comme les marqueurs nutritionnels (Leroy et al. 2023). Nos études peuvent néanmoins permettre de fournir des indicateurs pour borner de futures analyses expérimentales.

Certain·es auteur·rices soulignent le manque d'études expérimentales, c'est-à-dire modifiant la quantité d'abeilles domestiques en modifiant la densité de colonies ou la distance aux ruchers (Wojcik et al. 2018, Thomson and Page 2020). Dans notre étude l'arrivée de nouveaux ruchers a été davantage accidentelle que programmée dans un protocole scientifique. Certains sites d'un même environnement proche ont néanmoins été échantillonnés avant et après l'arrivée de ruchers. Une collaboration étroite avec les apiculteur·rices serait une perspective intéressante pour la mise en place de protocoles prenant en compte précisément les arrivées de nouveaux ruchers.

Concernant la mise en place de protocoles expérimentaux futurs, notre étude apporte également un nouvel éclairage. En effet, une des originalités de notre étude est la prise en compte d'un seuil de rucher dans la détection de cette compétition : la taille minimale d'un rucher pour considérer la

distance. En effet, étant donné la recherche d'un partage des ressources, nous nous sommes demandés si l'AIR pouvait être différent en fonction des ruchers. Le comportement de *central-place foraging* – la recherche de nourriture à partir d'un lieu central, la ruche – est une explication plausible à l'existence de cet AIR. Toutefois, l'existence d'une compétition laisse penser que le rayon de cette aire d'emprise évolue en fonction du nombre de colonies. Si nous n'avons pas pu tester cela directement, nos résultats montrent que l'effet de la distance est mieux modélisé quand les ruchers inférieurs à 16 (ou 24) colonies ne sont pas pris en compte dans notre matrice de distance – dans notre zone d'étude nous avons considéré 145 ruchers contenant de 1 à 177 ruches (moyenne=47, médiane = 36 colonies par rucher). Si nos résultats ne nous permettent pas directement de conclure à l'absence de compétition en dessous d'un seuil de 16 colonies, ils suggèrent que cette compétition n'est pas détectable pour ces ruchers. Ainsi, les protocoles expérimentaux contrôlant le nombre de colonies doivent s'assurer de l'ajout d'un nombre suffisant de colonies pour pouvoir discuter de cette compétition (St. Clair et al. 2022) mais aussi de façon à être plus en adéquation avec le nombre de colonies déposées par les apiculteur·rices dans la réalité.

Ce travail de thèse nous a permis l'acquisition d'un nombre important de données sur le succès de quête alimentaire. Des analyses supplémentaires permettraient d'affiner nos résultats. Nous proposons ici de revenir sur trois d'entre elles :

Premièrement, pour les systèmes floraux les plus échantillonnés (callune, bruyère *Erica* et ronce), une étude spécifique des seuils de compétition pour chaque ressource florale nous permettrait d'affiner notre analyse pour obtenir des seuils spécifiques sur chaque ressource. En effet étant donné la répartition aléatoire des ruchers (et leur recensement chemin faisant), les distances maximales échantillonnées varient entre ces ressources. Des seuils plus élevés seraient peut-être plus robustes sur certaines de ces ressources.

Deuxièmement, si nous avons regardé les effets de la compétition sur différents systèmes floraux, nous n'avons pas regardé la façon dont la structure du paysage pouvait impacter cette compétition (Herbertsson et al. 2016, Sponsler et al. 2023). Le parc national des Cévennes est composé de paysages variés. Nous avons capturé des ressources florales situées dans des contextes paysagers. Si la différence est surtout marquée entre les types de ressources florales étudiées, le contexte paysager varie aussi au sein d'un même type de ressource florale. Par exemple, nos sites d'échantillonnages pour les buissons de ronce ou les landes de bruyère *Erica* se trouvaient dans des paysages parfois ouverts et parfois fermés par la forêt. En particulier cette forêt pouvait être composée de châtaignier en fleur constituant une ressource importante pour les abeilles domestiques ou de chênes verts non mellifères. En lien avec l'hypothèse de *spillover* (Magrach et al. 2017), déjà présentées dans les chapitres 3 et 4, on pourrait se demander si la présence ou l'absence de châtaigniers en floraison pourrait avoir un impact sur le succès d'approvisionnement des abeilles.

Enfin, nous avons mesuré une autre variable sur le terrain qui pourrait être considérée à la fois comme une variable réponse et une variable explicative : l'intensité de butinage. En faisant l'hypothèse d'une compétition – et donc d'une soustraitabilité des ressources florales selon la typologie d'Ostrom – nous supposons que la récolte de pollen ou de nectar par une abeille limite la quantité de ressources disponibles pour les autres abeilles. Aussi la mise en évidence d'un lien entre l'intensité de butinage (alors considérée comme une variable explicative) et la quantité de ressources récoltées sur le site d'échantillonnage serait un indice supplémentaire de cette compétition pour les ressources. Bien que nous ayons mesuré cet indicateur, nous n'avons pas pu analyser son effet.

Il y a toutefois deux précautions à prendre pour mettre en avant cet effet. Tout d'abord notre mesure d'intensité de butinage est réalisée sur une période limitée et non pas sur une longue période temporelle. Cette mesure ponctuelle de l'intensité de butinage pourrait ne pas refléter le

prélèvement au sein de la journée. En revanche, les métriques apicoles comme la densité de colonies ou la distance au rucher le plus proche sont des indicateurs moins ponctuels et pourrait donc mieux refléter le butinage global sur le site de capture. D'autre part, des analyses exploratoires menées sur cette intensité de butinage suggèrent l'existence d'un effet non linéaire. En effet, ces analyses, tout comme nos observations sur le terrain, laissent penser que pour de faibles intensités de butinage le succès d'approvisionnement serait faible. Cet effet serait alors imputable à la qualité du site d'échantillonnage, ne produisant pas ou plus de ressources. Le recrutement des abeilles sur les sites de meilleures qualités – et donc une augmentation de l'intensité de butinage – semblent corrélés avec une augmentation de ce succès d'approvisionnement jusqu'à un certain seuil. Au-delà, un effet de compétition pourrait entraîner une diminution de ce succès d'approvisionnement. Des études préliminaires de la stagiaire Taïna Lemoine, ont néanmoins mis en évidence un effet négatif de cette intensité de butinage sur le succès d'approvisionnement des abeilles sauvages et domestiques pour les sessions de ronce et de bruyère en 2020 (Lemoine et al. 2020).

L'intensité de butinage pourrait également être considérée comme une variable réponse et expliquée par les métriques apicoles (distance au rucher et densité de colonies). Si un effet sur le nectar ou le pollen a pu être mis en évidence, il est possible que cet effet soit moins visible dans le cas d'une exclusion compétitive. Henry et Rodet, ont ainsi mis en avant une diminution de la présence d'abeilles sauvages à proximité des ruchers sur le romarin (Henry and Rodet 2018). En effet si la compétition est déjà effective et entraîne une diminution de la quantité d'abeilles sauvages, il est possible que notre étude soit moins robuste pour détecter un effet de compétition concernant le succès de quête alimentaire.

Comme la plupart des études examinant les effets des abeilles domestiques, nous nous sommes intéressé·es avant tout à la compétition d'exploitation des ressources sur les abeilles (Geslin et al. 2023). Nous n'avons étudié ni cette compétition sur les pollinisateurs non-abeilles, ni les effets de transmission de pathogènes sur les abeilles. Ces derniers pourraient néanmoins avoir un intérêt dans la mise en place d'initiatives collectives. En effet, dans la littérature (Dupré 2020) comme dans nos entretiens (Chapitre 2), plusieurs apiculteur·rices ont fait mention de cet aspect sanitaire dans le respect de distance de « courtoisie » entre deux ruchers. Dans une étude sur la difficulté de la mise en place de collaboration entre agriculteur·rices pour assurer une transition vers des pratiques agroécologiques, Salliou et al. suggèrent que la recherche de solutions groupant plusieurs bénéfiques pourrait favoriser cette collaboration (Salliou et al. 2019). Ainsi, grouper préservation des abeilles sauvages et limitation de la dispersion de pathogènes entre colonies pourrait être une piste pour favoriser la gestion concertée des colonies sur un territoire.

Les ressources florales, un modèle d'étude de l'émergence d'un bien commun

Notre étude des compétitions entre abeilles repose sur une approche originale : l'étude des ressources florales en tant que biens communs. Mais à la différence des travaux d'Ostrom, nous n'avons pas considéré les ressources florales comme des biens communs (CPR) identifiés comme tels *a priori*.

Nous avons choisi d'adopter une perspective constructiviste, considérant que la nature des ressources selon cette typologie n'est pas donnée selon des caractéristiques intrinsèques des ressources mais qu'elle est socialement construite. Dans le chapitre 2, nous avons donc présenté un cadre conceptuel fondé sur les services écosystémiques et construit selon cette perspective constructiviste (Barnaud et al. 2018). L'objectif de cette approche était d'analyser le système socio-écologique *homme-abeille-fleur* afin de mettre en avant les perceptions et les pratiques des apiculteur·rices, ainsi que les leviers et obstacles critiques pour la gouvernance collective des ressources florales en tant que CPR.

Cette perspective constructiviste était particulièrement pertinente pour notre cas car nos résultats montrent que les perceptions des apiculteur·rices sur la compétition sont complexes, multiples et en évolution (*Question 2*). Si la plupart des apiculteurs soulignent les fortes incertitudes qui sous-tendent ces processus de concurrence alimentaire, certains commencent à les envisager comme une possibilité. Par ailleurs, l'idée que ces ressources florales constituent un bien commun sous-tend une série de discours et de pratiques (*question 3*). Pourtant nos résultats montrent qu'il n'existe actuellement aucune arène pour discuter de ces différentes perceptions et des approches potentielles pour parvenir à une gouvernance partagée des ressources florales. Au total, les entretiens auprès des apiculteur·rices (chapitre 2), les analyses écologiques qui mettent en évidence une soustraitabilité des ressources (chapitre 3), et les sessions de jeu (chapitre 4) ont confirmé la pertinence de considérer les ressources florales comme des biens communs (*Question 1*).

En cherchant à répondre à ces questions, notre travail a non seulement permis d'ajouter un nouveau domaine d'application de cette théorie des communs. Mais il a aussi permis d'acquérir des connaissances à la fois sur les systèmes apicoles des Cévennes, et sur une situation particulière dans le champ des communs : l'émergence d'une représentation collective des ressources en tant que CPR.

Tout d'abord, les études en sciences humaines et sociales sur l'apiculture restent peu abondantes (Van Dam et al. 2021). Parmi ces travaux, plusieurs études se sont attachées à comprendre le lien des apiculteur·rices aux abeilles ou à la ruche. Rares sont les études qui se sont intéressées aux relations entre les apiculteur·rices et les ressources florales dont ils et elles dépendent pour l'approvisionnement de leurs colonies et leur production. Dupré s'est intéressée à cette question en montrant le lien singulier à la fois social et professionnel entre l'apiculteur·rice et son emplacement (Dupré 2020). Les résultats de nos entretiens permettent une description originale des différents types d'apicultures dans le parc national des Cévennes (chapitre 2 et contexte du chapitre 4). Nos résultats viennent fournir une image actuelle de l'apiculture qui complète la description historique de l'évolution de l'apiculture cévenole faite dans un précédent travail (Lehébel-Péron 2014). Le conflit que cette autrice traite dans sa thèse à propos de la conservation de la sous-espèce d'abeille domestique *Apis mellifera mellifera*, dite l'abeille noire, n'a pas été traité dans cette thèse. Toutefois le sujet de la préservation de la génétique d'abeille s'ajoute aux différents débats qui traversent l'apiculture et pose également des conflits de partage de l'espace. En écho aux travaux réalisés sur la génétique des « ressources animales » en tant que bien communs (Labatut 2009), il semblerait intéressant d'étudier ces conflits à travers l'angle de l'action collective.

Ces travaux sur les ressources génétiques en tant que biens communs ont mis en avant l'existence de biens communs « non donnés » – contrairement à ceux des travaux canoniques d'Ostrom – mais facilement perceptibles (Labatut 2009). Notre travail de thèse montrent que les ressources florales rejoignent ces nouveaux types de biens communs non identifiés et aux dynamiques incertaines (Barnaud 2022). Tout comme ces nouveaux communs, les ressources florales ne sont pas identifiées *a priori* comme des biens communs. Elles font partie de systèmes socio-écologiques complexes avec des usagers diversifiés. Alors que les apiculteur·rices sont des appropriateur·ices des ressources via les abeilles domestiques qui subviennent à leurs besoins grâce à ce prélèvement. Les défenseur·euses des abeilles sauvages ne s'approprient pas la ressource pour vivre, mais cherchent à en préserver l'accès pour les abeilles sauvages. De plus, dans les deux cas, ces utilisateur·rices de la ressource ne sont pas nécessairement celles et ceux qui influencent la disponibilité de la ressource.

Ainsi, un nouveau front de science avance sur la façon dont ces nouveaux communs émergent. Ces communs émergents ont jusqu'à présent surtout été étudiés à travers la façon dont des règles collectives pouvaient se mettre en place (Hannachi 2011, Labatut 2013). La façon dont se construit une représentation collective d'une ressource en tant que bien commun par les acteur·rices, reste

en revanche peu étudiée. Certaines autrices ont étudiées ce « moment où un groupe social change son regard sur une ressource donnée, et la considère comme un bien commun » (Barnaud 2022) à travers le principe de conception de ce qui fait « bien commun » (Berthet 2013, Perrin 2019). Toutefois dans ces études, la valeur de ce qui fait commun est à concevoir. Dans notre cas, la ressource est reconnue comme de haute valeur, l'accès à cette ressource est un enjeu crucial, mais c'est son caractère soustractible qui ne fait pas consensus. Le fait que l'utilisation de cette ressource entraîne une interdépendance envers les acteur·rices et la nécessité d'une action collective est précisément ce qui est à construire. La perception de cette interdépendance est en effet cruciale pour l'organisation collective (Salliou et al. 2019). Dans notre étude il est intéressant de voir que cette interdépendance d'usage est motrice pour certain·es apiculteur·rices locaux·les (souvent amateur·rices) qui sont à l'origine de la charte pour réduire la compétition entre colonies. Mais pour d'autres, c'est la problématique du partage avec les abeilles sauvages – et avec elle une volonté de préserver les abeilles sauvages et la menace d'une limitation de l'accès à cette ressource pour l'apiculture – qui stimule l'action collective. Notre étude s'inscrit ainsi dans un contexte où l'introduction d'un nouvel élément de conflit (la compétition interspécifique) avec un récit, qui inclut la défense par un groupe social d'un accès aux ressources pour des non-humains (Gaidet and Aubert 2022), vient bousculer les représentations et le partage des ressources. Au-delà de la question de la compétition entre pollinisateurs, le contexte de partage des ressources florales apparaît donc comme un cas d'étude particulièrement intéressant pour analyser ce processus d'émergence des communs.

A travers le jeu AGORAPI et la construction de règles pour le partage des ressources florales, nous avons fait un premier pas dans la construction de ce commun en émergence. Le jeu nous a placé dans une situation d'agrément (en référence à la situation d'action d'Ostrom) c'est-à-dire un espace dans lequel se construisent les règles mais aussi ce qui fait commun (Le Page et al. 2022). La proposition des participant·es de la mise en place d'une expérience grandeur nature sur le territoire pour co-construire la confiance et la transparence – enjeux clefs soulevés dans le chapitre 4 – et améliorer les connaissances sur les ressources – et ainsi réduire les incertitudes, freins à l'action collective – s'annonce comme une étape singulière. Son observation scientifique ainsi que son accompagnement engagé (Bousquet et al. 2023) se révèlent être des perspectives de recherches enthousiastes.

Les apports de cette thèse sur le débat autour du partage des ressources florales

Aux lecteur·rices de ce manuscrit qui chercheraient des solutions simples et des mesures applicables, cette thèse apportera peu de réponses – tant nos enquêtes auprès des apiculteur·rices, les relevés écologiques et les sessions de jeu ont mis en avant les importantes incertitudes en jeu autour de ce débat. Alors que le volet écologique de cette thèse (chapitre 3) visait à réduire les incertitudes sur la compétition entre pollinisateurs en caractérisant des indicateurs opérationnels de cette compétition, il a aussi ouvert d'autres questionnements comme nous l'avons vu ci-dessus. Les sessions de jeu ont également mis en avant le besoin pour les acteur·rices de réduire les incertitudes sur la production de ressources. Or il semble que ces incertitudes que nous avons appelées radicales ne seront peut-être jamais réduites. Pourtant, pour certain·es acteur·rices, comme les gestionnaires des aires protégées, l'action est nécessaire. C'est le parti pris de ce travail, et du chapitre 4 en particulier dans lequel nous avons décidé de confronter ces incertitudes à la réalité du terrain pour co-construire et éprouver des solutions. Le jeu a mis en avant l'intérêt du partage de connaissances et de la transparence pour améliorer les connaissances sur la compétition et ainsi favoriser la construction d'une représentation collective d'un bien commun. Mais il a aussi montré les difficultés de faisabilité de cette transparence. Avant tout il a mis en avant le besoin de construire sur le temps long la confiance et la réciprocité du partage des ressources florales tout en

garantissant l'autonomie des apiculteur·rices. Ces résultats ouvrent ainsi sur les perspectives de recherches sur ces compétitions entre abeilles.

Une récente étude, s'appuyant sur les théories de Dewey sur le comportement en réaction à un trouble (Dewey 1938), montre que les débats environnementaux influencent peu les pratiques apicoles. Au contraire les apiculteur·rices apparaissent comme « des bricoleurs », au sens de Lévi-Strauss (Lévi-Strauss 1962), qui face au trouble que génère une nouvelle représentation, façonnent en combinant l'ancien avec le nouveau pour retrouver une forme d'harmonie. Il apparaît donc intéressant de questionner l'apport des productions scientifiques auprès des apiculteur·rices. Alors que les études se multiplient (avec leur lot d'incertitudes), les résistances aux changements de pratiques restent importantes.

Face aux enjeux, il apparaît important de penser ces études de façon conjointe entre chercheur·euses et apiculteur·rices. L'approche des communs, quant à elle, insiste sur l'importance des règles et des normes ainsi que sur l'apprentissage collectif par essai-erreur pour le changement des représentations et l'évolution des pratiques (Ostrom 2010). Contrairement aux objectifs de certains travaux scientifiques s'arrêtant à prouver la compétition, il apparaît crucial pour les scientifiques et les défenseur·euses des abeilles sauvages de s'engager dans la co-construction de modalités de gestion. Plutôt que de réguler l'apiculture par un principe de précaution – face à l'incapacité à vérifier la compétition dans chaque aire à protéger – il devient crucial de concevoir avec les apiculteur·rices de nouvelles organisations pour un usage raisonné des ressources florales. Si notre étude se fait en collaboration avec l'ITISAP - Institut de l'abeille, nous avons eu plus de mal à agréger les apiculteur·rices sur le terrain pour construire cette étude de façon collaborative. Si nos relevés écologiques se sont appuyés sur un contact important avec les apiculteur·rices, le protocole n'a pas été co-construit. De même, le jeu de rôle a été construit à partir des entretiens mais il n'a pas été un lieu de partage des représentations et de co-construction comme c'est le cas dans d'autres démarches ComMod (Etienne 2010). Le temps relativement court de la thèse, l'absence de collectif existant et la crise du COVID n'ont pas permis la création de liens plus étroits comme nous avons pu les tisser avec le parc national. Les propositions de test grandeur nature de partage des informations de ruchers associées à un suivi des populations de pollinisateurs sont un premier pas dans ce sens. Le jeu a permis l'émergence de cette initiative et la constitution d'un groupe d'acteur·rices intéressé·es qui semble aujourd'hui attendre l'étincelle qui lancera cette dynamique concrètement.

Un questionnement crucial qui restera après ces sessions est « *Qui gère ?* ». Quelles seront les acteur·rices et structures qui participeront à la gestion de données pour assurer la transparence dans un cadre de confiance ? Nos sessions montrent des divergences importantes, notamment sur la place des chercheur·euses. La place des apiculteur·rices amateur·rices n'a pas été évoquée (du fait du manque de participant·es amateur·rices), mais elle n'est pas à négligée étant donné les rapports de force et les conflits possibles sur les territoires. Au sein du parc national des Cévennes, le seul consensus qui se construit se fait dans l'opposition à une gestion pilotée par le parc national, identifié comme détenteur du droit régalién. L'étude de la construction de ces étapes ultérieures d'émergence de commun, ne pourront sans doute pas éviter l'étude des rapports de force, que nous avons peu abordés dans notre travail.

Au cours des sessions de jeu a été évoqué un point que nous avons peu abordé dans le chapitre 4 : le rapport des acteur·rices à l'histoire des ressources. Dans son recensement des facteurs issus des travaux d'Ostrom favorisant l'émergence d'une action collective, Perrin insiste sur l'importance de l'Histoire et de l'expérience des acteur·rices vis-à-vis d'une ressource (Perrin 2019). Or en effet, lors des sessions de jeu, les apiculteur·rices ont plusieurs fois mis en avant le fait qu'historiquement le nombre de colonies d'abeilles domestiques était beaucoup plus élevé notamment dans les ruchers

troncs. Par cet argument, les apiculteur·rices d'une part se déchargeaient de la responsabilité de la compétition – qui serait plus liée à une perte des ressources donc – mais aussi infirmaient l'hypothèse d'une compétition en considérant que le territoire est à même d'accueillir l'ensemble de ces pollinisateurs sans compétition. Les études sur le nombre de colonies d'abeilles domestiques tendent à confirmer ces études en montrant qu'en France la population d'abeilles domestiques en dynamique croissante actuellement n'a pas atteint son niveau d'avant 1980 (l'arrivée du varroa en 1982 et des pesticides en 1990 étant les causes possibles de cette baisse). En revanche cet argument néglige le fait que parallèlement la quantité de miel produite par colonie augmente. Ainsi l'apiculture est devenue plus intensive. Le travail d'Ameline Lehébel-Péron montre que « la production d'une ruche-tronc variait d'un à quatre kilogrammes de miel », alors que dans une ruche à cadres « il est courant de récolter de dix à parfois plusieurs dizaines de kilogrammes de miel » (Lehébel-Péron 2014). Ces chiffres suggèrent que le prélèvement de ressource par les colonies d'abeilles domestiques a augmenté.

En revanche les ressources actuelles semblent moins importantes qu'auparavant. Par exemple, un déclin a été montré sur la production de callune en lien avec le réchauffement climatique et au passage d'une agriculture ovine à bovine sur le Mont Lozère (Lehébel-Péron et al. 2016).

Il est intéressant de voir comment cet aspect de diminution de ressources a déjà été – dans une région où l'abeille domestique a été introduite – l'occasion de rediscuter des règles de partage des ressources et de fournir des recommandations sur le nombre de colonies et de la distance entre ruchers pour éviter la disette ou une compétition qui nécessiterait pour les abeilles de parcourir de plus grandes distances (Beauchesne 1977).

Nombre de colonies par ruchers

Le nombre de ruches à placer au même endroit varie d'après la production possible de nectar. Dans une région à faible production on ne devrait pas dépasser 12 à 15 colonies. Un petit nombre de ruches peut tirer profit d'un tel endroit et fournir une bonne récolte, tandis que pour un plus grand nombre, ce serait la disette. Dans une région très mellifère, on peut aller jusqu'à 25 ou 30 ruches mais il n'est jamais recommandé de dépasser ce nombre. Avec un nombre élevé de colonies, les abeilles doivent parcourir de plus grandes distances et la récolte s'en ressent. Autrefois, on pouvait se permettre de placer un plus grand nombre de colonies au même endroit. Les façons culturales et les plantes cultivées ayant changées, la nourriture des abeilles est devenue plus rare.

Distance entre les ruchers

En raison des facteurs considérés plus haut, il vaut mieux avoir un plus grand nombre de ruchers et les espacer d'environ 3 à 4 kilomètres (1,5 à 2 milles). Le rucher devrait être placé à au moins 7 kilomètres (4 milles) de celui de l'apiculteur voisin. On obtient ainsi un meilleur contrôle des maladies. De plus, la récolte sera peu ou pas affectée si l'apiculteur voisin plaçait trop de ruches au même endroit.

(Extrait du Conseil des productions végétales du Québec, 1977)

Un défi, la prise en compte de la production des ressources florales

Dans l'extrait cité ci-dessus, l'adaptation des apiculteur·rices pour éviter une compétition est clairement associée aux pratiques agricoles portant la responsabilité du déclin des ressources florales, comme le souligne cette phrase « *Les façons culturales et les plantes cultivées ayant changées* ». Nos résultats le montrent à travers les enquêtes et les sessions de jeu, les questions de justice environnementale et sociale participent aux freins que rencontre une action collective centrée autour des apiculteur·rices uniquement. Les apiculteur·rices estiment ne pas devoir « être LA solution à ce problème ». A travers cette notion de justice environnementale, les apiculteur·rices

estiment qu'il est nécessaire de questionner la place des activités humaines qui modifient le paysage et affectent directement les ressources florales, en premier lieu desquelles l'agriculture et la foresterie – dans le contexte des Cévennes, la place de la sylviculture n'est pas à négliger. L'effet des pratiques agricoles sur les communautés des pollinisateurs (Wood et al. 2015, Grab et al. 2019, Rollin et al. 2019, Rivers-Moore et al. 2020) tout comme la diminution des ressources florales (Goulson et al. 2015, Lehébel-Péron et al. 2016, Durant and Otto 2019) sont reconnus par la communauté scientifique

Ces questionnements sont un terrain de consensus entre défenseur·euses des abeilles sauvages et apiculteur·rices comme l'illustre l'expérience à laquelle j'ai participé en tant que co-animateur d'une table ronde sur l'estimation du risque de compétition entre cheptels apicoles et pollinisateurs sauvages. Cette table-ronde organisée dans le cadre du projet COPOL (Concertation pour la conservation des pollinisateurs en zones protégées) et réunissant chercheur·euses, apiculteur·rices, agriculteur·rices et gestionnaires de réserves, s'est déroulée en trois temps. Dans un premier temps, les participant·es étaient amené·es à faire émerger les représentations sur les ressources nécessaires à la cohabitation des cheptels apicoles et des pollinisateurs sauvages. Puis ils devaient définir les facteurs favorisant ou atténuant la préservation de ces ressources et enfin les acteur·rices impactant ces facteurs. Les participant·es ont mis en avant trois types d'habitats et ont ensuite évoqué les facteurs (et les acteur·rices) agricoles liés à la production ou la diminution des ressources florales dans ces habitats. Au final, le dissensus sur le risque de compétition n'a pas été abordé dans les ateliers collectifs. Les (rares) agriculteur·rices présent·es ont regretté le manque de partages de connaissances autour des pollinisateurs sauvages et ont pointé le déséquilibre dans le débat de leurs pratiques. Alors qu'ils et elles venaient pour discuter de la compétition entre pollinisateurs, ils et elles se sont trouvé·es seul·es à défendre leurs pratiques face aux autres acteur·rices.

Notre thèse ouvre ainsi sur un défi, comment associer les producteur·rices de ces ressources florales dans ces discussions ? Forestiers, agriculteur·rices sont propriétaires de leur terre. Ils produisent des ressources florales de façon collatérale à leur activité, c'est-à-dire que la production de nectar et de pollen n'est pas leur objectif de production en soi. Les apiculteur·rices et les défenseur·euses des abeilles sauvages par l'intermédiaire des abeilles domestiques et sauvages font seulement un prélèvement pour usage de ces ressources, sans être ni propriétaires du foncier qui les supporte, ni décisionnaire sur la production des ressources (Kouchner et al. 2019). Ils bénéficient des décisions et des pratiques en faveur des ressources florales et pâtissent des pratiques qui détruisent ces ressources florales.

Pour ces producteur·rices de ressources, propriétaires du foncier, la surexploitation ou la diminution des ressources florales n'est pas un dilemme qui les menacent dans leurs besoins. Alors que les apiculteur·rices sont plus proches de certaines valeurs environnementales (Decourtye 2018, Fortier et al. 2020), les études récentes montrent que ces débats environnementaux transforment faiblement ou lentement les pratiques des apiculteur·rices (Nizet and Van Dam 2021). Comment dès lors, transformer les pratiques des agriculteur·rices pour préserver les cheptels apicoles ou des pollinisateurs sauvages ? L'inclusion de ces acteur·rices qui ont le plus grand pouvoir est un enjeu de taille. Quels intérêts ont-ils à participer à une concertation et qu'ont-ils à y perdre ?

Dans le contexte des Cévennes, quelles pratiques agricoles et forestières sont susceptibles d'augmenter la disponibilité en ressources florales pour abeilles domestiques et sauvages ? Quelles coopérations sont déjà à l'œuvre et quels sont les freins et leviers à de nouvelles formes d'actions collectives pour favoriser la conciliation des productions agricoles avec la production de ressources florales pour les abeilles sauvages et domestiques ?

Perspectives et conclusion

Perspective de la thèse : le développement d'AGORAPI

Le jeu AGORAPI construit pendant cette étude, et décrit dans le chapitre 4, apparaît avoir un certain potentiel pour sensibiliser les acteur·rices principaux aux enjeux de cette problématique.

Un projet scientifique débutant en 2024 a pour objectif de prolonger les travaux de cette thèse. Partant du prototype de jeu existant ce projet a pour objectif de le faire évoluer vers un nouvel outil générique, simplifié et transférable aux acteur·rices de terrains. Il repose sur l'organisation de nouvelles sessions tests de simulations participatives dans différentes aires protégées, et d'un suivi-évaluation des effets de ces simulations sur les territoires et les participant·es. Au-delà de l'objectif appliqué d'accompagnement des acteurs à la co-construction de modalités de gestion des ressources florales, ce projet vise aussi à prolonger notre compréhension du processus d'émergence des communs, à travers l'analyse des sessions de jeu et de ses effets. Comme nous l'avons vu cette émergence concerne à la fois (i) le processus cognitif qui conduit les acteurs à percevoir une ressource comme un bien commun, et (ii) le processus de négociation qui conduit à la mise en place de règles de gestion concernant l'accès, l'usage et les bénéfices de ces ressources. La prise de conscience nouvelle et croissante que ces ressources florales constituent une ressource de type bien commun (du fait de la compétition) en fait, en effet, un cas d'école pour contribuer aux recherches sur les communs.

Profondément ancré dans la co-construction de connaissances, ce projet vise également à transférer le jeu auprès des acteur·rices de terrains souhaitant animer des concertations (associations de développement apicole, parcs régionaux ou nationaux, collectivités...). Il a pour objectif en particulier de produire le jeu AGORAPI en plusieurs exemplaires et sous un format libre d'accès de type « print and play », de produire un guide méthodologique pour son appropriation par les animateur·ices, de communiquer sur le jeu dans les réseaux professionnels, de prendre en charge sa diffusion, et d'organiser des sessions de formation à destination de futur·es animateur·ices du jeu. Si certains territoires mettent en place des expérimentations de nouvelles formes de gouvernance, ils feront l'objet d'un suivi plus poussé et d'un accompagnement.

Ce projet de trois ans ouvrira ainsi à un contrat de recherche post-doctorale de 18 mois pour mener à bien cet objectif.

Réflexions conclusives : L'importance de la compétition entre pollinisateurs dans le Capitalocène

Le parcours de recherche que constitue le doctorat est tout autant un travail scientifique ancré dans une question de recherche et un territoire d'étude, qu'il est ancré dans la société et traversé par ses débats. En guise de conclusion je vous propose donc une brève ouverture sur les questions plus politiques – au sens d'organisation collective – qui ont mûri tout au long de ce parcours de thèse.

Un des arguments qui a traversé les débats avec les apiculteur·rices était que cette compétition n'était pas la principale menace des abeilles. Selon certain·es d'entre elles et eux, interdire l'apiculture dans les parcs ne ferait qu'arrêter la production de miel et repousser de quelques trop peu d'années un déclin qui ne serait pas arrêté par ces mesures. Force est de constater qu'il est difficile d'argumenter en retour. Le constat est là, amère et angoissant, les insectes disparaissent et avec elles, les abeilles (Hallmann et al. 2017, Sánchez-Bayo and Wyckhuys 2019, Zattara and Aizen 2021). Pourtant les causes sont connues : la destruction des habitats favorables aux pollinisateurs, le chaos climatique en cours, l'utilisation de pesticides – toujours en augmentation malgré les plans de réduction, comme en France où leur usage a augmenté de 20% entre 2008 et 2018 (Reporterre 2023). Aujourd'hui, les liens entre déterminants socio-économiques et destruction de la biodiversité

sont de plus en plus avérés (Rigal 2021). La production capitaliste dans un but de croissance illimitée n'est pas compatible avec des limites planétaires qui sont pour la plupart franchies (Rockström et al. 2009). Face à ce Capitalocène (Bonneuil 2017, Moore 2017), quelle est la place de cette compétition entre pollinisateurs ? Quels espoirs apportent les communs ?

Les études sur les communs ont fait émerger des espoirs dans la mise en place d'organisation pour gérer des ressources de façon soutenable, mais ces études se sont focalisées en général sur la stabilité des ressources plutôt que l'engagement vers de nouvelles formes de production et d'organisation soutenables (Agrawal et al. 2023). La visée transformative est en effet peu présente dans les travaux d'Ostrom (Perrin 2019). Pas plus que la concertation n'est pas une solution miracle aux enjeux de conservation (Bousquet et al. 2023), l'intérêt pour les « biens communs » n'est pas une garantie contre les récupérations (Atécopol 2019) ou la mise en place de « pseudo-communs » décidés de façon descendante qui ne font que prolonger le système *business-as-usual*. Ce dernier exemple d'échec de commun réellement transformatif a été montré à travers l'étude des relations de production des ressources florales (Durant 2021). La motivation à « faire commun » avec les usagers de la terre et des ressources qu'elle porte (Gaidet and Aubert 2022, Bousquet et al. 2023) permettra-t-elle de l'emporter sur la destruction de nos environnements pour une production à des fins capitalistes ? Ou les valeurs environnementalistes finiront-elles par évoluer dans des logiques capitalistes, comme c'est ce qu'une étude montre des perceptions des apiculteur·rices vis-à-vis de la problématique de compétition (DiDonato and Gareau 2022).

Face à l'écocide causé par le Capitalocène, Caffentzis et Federici, rappellent que les communs ont toujours existé en dehors du capitalisme et soulignent l'enjeu de récupérer ces communs pour en faire de véritables éléments de transformation des rapports sociaux (Caffentzis and Federici 2022). Construire des « espaces autonomes d'où reprendre le contrôle sur les conditions de notre reproductions sociales » tout en s'opposant aux processus d'enclôture de nos espaces de production est un enjeu crucial de la construction de communs anticapitalistes. Afin de conserver les ressources, les auteur·rices appellent à sortir d'un rapport commercial. Or comment le faire quand c'est de cette production que dépend la subsistance de certain·es. Les apiculteur·rices ont plusieurs fois souligné leur dépendance à la ressource (« *Sinon c'est pôle Emploi* »).

Un angle mort de notre étude et des études sur la coopération réside souvent dans le besoin économique. Dans notre problématique, gestionnaires des aires naturelles et chercheur·euses ne dépendent pas de la production de miel pour subvenir à leurs besoins élémentaires. Ce qui renforce à la fois la responsabilité d'alerter sur les destructions des écosystèmes mais pose aussi la question de la réciprocité. Comment dès lors en appeler à une solidarité écologique ou à une moralité écologique quand la survie des autres dépend des ressources ? Loin de remettre en cause le statut des chercheur·euses, le mieux n'est-il pas de l'étendre ? En France, le statut de fonctionnaire apparaît comme la conquête d'un droit économique attaché à la personne et non à l'emploi ou à la production (Friot 2012). L'extension d'un salaire attaché à la personne à tous les êtres humains serait-elle un moyen anticapitaliste de redevenir maître collectivement de notre production. En agriculture, et donc en apiculture, cette extension pourrait commencer par la mise en place d'une sécurité sociale de l'alimentation (Petersell and Certenais 2022).

Se détacher d'un droit économique lié à la production, pourrait être un chemin à la mise en place de communs anticapitalistes (Caffentzis and Federici 2022), un chemin collectif vers l'autonomie qui ouvrirait la voie à de nouvelles formes d'organisation collective pour préserver les abeilles sauvages tout en garantissant une liberté aux apiculteur·rices plus grande que celle que leur impose la vente du miel pour survivre.

La constitution d'un commun pour gérer le partage des ressources florales peut alors constituer un premier pas d'action collective mais il ne saurait s'arrêter là.

Références bibliographiques

- Agrawal, A., J. Erbaugh, and N. Pradhan. 2023. The Commons. *Annual Review of Environment and Resources* 48(1):null.
- Alaux, C., Y. Le Conte, and A. Decourtye. 2019. Pitting wild bees against managed honey bees in their native range, a losing strategy for the conservation of honey bee biodiversity. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7.
- Al-Ghamdi, A., N. Adgaba, A. Getachew, and Y. Tadesse. 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.
- Alton, K., and F. L. W. Ratnieks. 2016. To Bee or Not To Bee. *The Biologist*:60:12–15.
- Ameisen, J.-C. 2013. *Sur les épaules de Darwin - Tome 2: Je t'offrirai des spectacles admirables*. les liens qui libèrent.
- Antona, M., and F. Bousquet. 2017. *Une troisième voie entre l'État et le marché: Échanges avec Elinor Ostrom*.
- Atécopol, A. 2019, December 31. Un « sommet du Bien Commun » qui s'annonce comme le summum du greenwashing. Billet.
- Auneau, M., R. Khawand, L. Salomon, and T. Osorio. 2022. *Recensement des mesures de restrictions de l'apiculture dans des objectifs de conservation des insectes pollinisateurs sauvages*. Page 88. Licence Professionnelle Gestion Agricole des Espaces Naturels ruraux, L'institut agro Montpellier, Florac.
- Balfour, N. J., S. Gandy, and F. L. W. Ratnieks. 2015. Exploitative competition alters bee foraging and flower choice. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 69(10):1731–1738.
- Barnaud, C. 2022, July 5. Interactions entre agriculture, biodiversité et société : constructions sociales et négociations territoriales. thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Barnaud, C., E. Corbera, R. Muradian, N. Salliou, C. Sirami, A. Vialatte, J.-P. Choisis, N. Dendoncker, R. Mathevet, C. Moreau, V. Reyes-García, M. Boada, M. Deconchat, C. Cibien, S. Garnier, R. Maneja, and M. Antona. 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: A conceptual framework. *Ecology and Society* 23.
- Beauchesne, F. 1977. *Emplacement du rucher et dérive*. Conseil des productions végétales du Québec.
- Berthet, E. 2013, September 23. Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes : Fonds écologique et inconnu commun. phdthesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Bonneuil, C. 2017. Capitalocène. Réflexions sur l'échange écologique inégal et le crime climatique à l'âge de l'Anthropocène. *EcoRev'* 44(1):52–60.
- Bousquet, F., W. Daré, and M. Antona. 2023. Analyser et s'engager. Page *Les communs : Un autre récit pour la coopération territoriale*.
- Brittain, C., N. Williams, C. Kremen, and A.-M. Klein. 2013. Synergistic effects of non-Apis bees and honey bees for pollination services. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280(1754):20122767–20122767.
- Caffentzis, G., and S. Federici. 2022. Les communs anticapitalistes. *Esprit* Juin(6):57–72.
- Cane, J. H., and V. J. Tepedino. 2017. Gauging the Effect of Honey Bee Pollen Collection on Native Bee Communities. *Conservation Letters* 10(2):205–210.
- Carr Kelman, C., U. Brady, B. A. Raschke, and M. L. Schoon. 2023. A Systematic Review of Key Factors of Effective Collaborative Governance of Social-Ecological Systems. *Society & Natural Resources* 0(0):1–19.
- Cilia, L. 2019. The Plight of the Honeybee: A Socioecological Analysis of large-scale Beekeeping in the United States. *Sociologia Ruralis* 59(4):831–849.

- Couvillon, M. J., R. Schürch, and F. L. W. Ratnieks. 2014. Waggle Dance Distances as Integrative Indicators of Seasonal Foraging Challenges. *PLOS ONE* 9(4):e93495.
- Crane, E. 1999. *The World History of Beekeeping and Honey Hunting*. Taylor & Francis.
- Dalmon, A., V. Diévert, M. Thomasson, R. Fouque, B. E. Vaissière, L. Guilbaud, Y. Le Conte, and M. Henry. 2021. Possible spillover of pathogens between bee communities foraging on the same floral resource. *Insects* 12(2):122.
- Danner, N., A. Keller, S. Härtel, and I. Steffan-Dewenter. 2017. Honey bee foraging ecology: Season but not landscape diversity shapes the amount and diversity of collected pollen. *PLOS ONE* 12(8):e0183716.
- Decourtye, A. 2018. Abel l'apiculteur et Caïn l'agriculteur. Page *Les abeilles, des ouvrières agricoles à protéger*. France agricole. Paris.
- Decourtye, A., C. Alaux, Y. Le Conte, and M. Henry. 2019. Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science. *Current Opinion in Insect Science* 35:123–131.
- Decourtye, A., and F. Allier. 2023, April. Concurrence entre pollinisateurs, pourquoi la filière doit se saisir du sujet ? *Réussir Apiculture* n°3:38.
- Decourtye, A., E. Mader, and N. Desneux. 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie* 41(3):264–277.
- Desneux, N., A. Decourtye, and J.-M. Delpuech. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52:81–106.
- Dewey, J. 1938. *Experience and education*. The Macmillan company, New York.
- DiDonato, S., and B. J. Gareau. 2022. Be(e)coming pollinators: Beekeeping and perceptions of environmentalism in Massachusetts. *PLOS ONE* 17(3):e0263281.
- Dixon, D. J., H. Zheng, and C. R. V. Otto. 2021. Land conversion and pesticide use degrade forage areas for honey bees in America's beekeeping epicenter. *PLOS ONE* 16(5):e0251043.
- Duchenne, F., E. Thébault, D. Michez, M. Elias, M. Drake, M. Persson, J. S. Rousseau-Piot, M. Pollet, P. Vanormelingen, and C. Fontaine. 2020. Phenological shifts alter the seasonal structure of pollinator assemblages in Europe. *Nature Ecology & Evolution* 4(1):115–121.
- Dupré, L. 2020. Prendre place dans les territoires. *Etudes rurales* n° 206(2):28–47.
- Durant, J. L. 2019. Where have all the flowers gone? Honey bee declines and exclusions from floral resources. *Journal of Rural Studies* 65:161–171.
- Durant, J. L., and C. R. V. Otto. 2019. Feeling the sting? Addressing land-use changes can mitigate bee declines. *Land Use Policy* 87:104005.
- Elbgami, T., W. E. Kunin, W. O. H. Hughes, and J. C. Biesmeijer. 2014. The effect of proximity to a honeybee apiary on bumblebee colony fitness, development, and performance. *Apidologie* 45(4):504–513.
- Elliott, B., R. Wilson, A. Shapcott, A. Keller, R. Newis, C. Cannizzaro, C. Burwell, T. Smith, S. D. Leonhardt, W. Kämper, and H. M. Wallace. 2021. Pollen diets and niche overlap of honey bees and native bees in protected areas. *Basic and Applied Ecology* 50:169–180.
- Etienne, M. 2010. *Modélisation d'accompagnement*. Quae.
- Fortier, A., L. Dupré, and P. AlphanDéry. 2020. Les mondes apicoles entre agriculture et environnement. *Etudes rurales* n° 206(2):8–26.
- Friot, B. 2012. *L'Enjeu du salaire*. La Dispute.
- Fürst, M. A., D. P. McMahon, J. L. Osborne, R. J. Paxton, and M. J. F. Brown. 2014. Disease associations between honeybees and bumblebees as a threat to wild pollinators. *Nature* 506(7488):364–366.
- Gaidet, N., and S. Aubert. 2022. "Faire commun" avec un non-humain. Pages 108–140 *Les communs : Un autre récit pour la coopération territoriale*.
- Geldmann, J., and J. P. González-Varo. 2018. Conserving honey bees does not help wildlife. *Science* 359(6374):392–393.

Geslin, B., B. Gauzens, M. Baude, I. Dajoz, C. Fontaine, M. Henry, L. Ropars, O. Rollin, E. Thébault, and N. J. Vereecken. 2017. Chapter Four - Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant–Pollinator Interactions. Pages 147–199 in D. A. Bohan, A. J. Dumbrell, and F. Massol, editors. *Advances in Ecological Research*. Academic Press.

Geslin, B., L. Mouillard-Lample, M. Zakardjian, I. Dajoz, F. Flacher, M. Henry, A. Perrard, F. Requier, L. Ropars, B. Schatz, N. J. Vereecken, and B. Gauzens. 2023. Chapter Four - New insights on massively introduced managed species and their consequences for plant–pollinator interactions. Pages 63–89 in D. A. Bohan and A. J. Dumbrell, editors. *Advances in Ecological Research*. Academic Press.

Ghisbain, G., P. Rosa, P. Bogusch, S. Flaminio, R. L. Divelec, A. Dorchin, M. Kasparek, M. Kuhlmann, J. Litman, M. Mignot, A. Müller, C. Praz, V. G. Radchenko, P. Rasmont, S. Risch, S. P. M. Roberts, J. Smit, T. J. Wood, D. Michez, and S. Reverté. 2023. The new annotated checklist of the wild bees of Europe (Hymenoptera: Anthophila). *Zootaxa* 5327(1):1–147.

Gill, R. J., K. C. R. Baldock, M. J. F. Brown, J. E. Cresswell, L. V. Dicks, M. T. Fountain, M. P. D. Garratt, L. A. Gough, M. S. Heard, J. M. Holland, J. Ollerton, G. N. Stone, C. Q. Tang, A. J. Vanbergen, A. P. Vogler, G. Woodward, A. N. Arce, N. D. Boatman, R. Brand-Hardy, T. D. Breeze, M. Green, C. M. Hartfield, R. S. O’Connor, J. L. Osborne, J. Phillips, P. B. Sutton, and S. G. Potts. 2016. Protecting an Ecosystem Service: Approaches to Understanding and Mitigating Threats to Wild Insect Pollinators. *Advances in Ecological Research* 54:135–206.

Goodale, E., and J. C. Nieh. 2012. Public use of olfactory information associated with predation in two species of social bees. *Animal Behaviour* 84(4):919–924.

Goulson, D., E. Nicholls, C. Botías, and E. L. Rotheray. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347(6229):1255–1257.

Grab, H., M. G. Branstetter, N. Amon, K. R. Urban-Mead, M. G. Park, J. Gibbs, E. J. Blitzer, K. Poveda, G. Loeb, and B. N. Danforth. 2019. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science* 363(6424):282–284.

Hallmann, C. A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmans, A. Müller, H. Sumser, T. Hörren, D. Goulson, and H. de Kroon. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* 12(10):e0185809.

Hannachi, M. 2011, January 1. La coopération au service du bien commun : les stratégies des entreprises de collecte et de stockage de céréales face aux OGM. These de doctorat, Versailles-St Quentin en Yvelines.

Hardin, G. 1968. The Tragedy of the Commons. *Science* 162(3859):1243–1248.

Harris, C., R. Christopher, S. Humphrey-Ackumey, R. Mercer, P. Ney, and F. L. W. Ratnieks. 2023. Pollinator spillover: Hay cutting of grass with white clover, *Trifolium repens*, displaces bees and increases their abundance in adjacent patches of bramble, *Rubus fruticosus*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 354:108581.

Hartig, F. 2022. *DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models*.

Havens, K., and P. Vitt. 2016. The Importance of Phenological Diversity in Seed Mixes for Pollinator Restoration. *Natural Areas Journal* 36(4):531–537.

Henry, M., and G. Rodet. 2018. Controlling the impact of the managed honeybee on wild bees in protected areas. *Scientific Reports* 8(1).

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

Herbertsson, L., S. A. M. Lindström, M. Rundlöf, R. Bommarco, and H. G. Smith. 2016. Competition between managed honeybees and wild bumblebees depends on landscape context. *Basic and Applied Ecology* 17(7):609–616.

- Holzschuh, A., M. Dainese, J. P. González-Varo, S. Mudri-Stojnić, V. Riedinger, M. Rundlöf, J. Scheper, J. B. Wickens, V. J. Wickens, R. Bommarco, D. Kleijn, S. G. Potts, S. P. M. Roberts, H. G. Smith, M. Vilà, A. Vujić, and I. Steffan-Dewenter. 2016. Mass-flowering crops dilute pollinator abundance in agricultural landscapes across Europe. *Ecology Letters* 19(10):1228–1236.
- Hudewenz, A., and A.-M. Klein. 2013. Competition between honey bees and wild bees and the role of nesting resources in a nature reserve. *Journal of Insect Conservation* 17(6):1275–1283.
- Iwasaki, J. M., and K. Hogendoorn. 2022. Mounting evidence that managed and introduced bees have negative impacts on wild bees: an updated review. *Current Research in Insect Science*:100043.
- Kaluza, B. F., H. Wallace, T. A. Heard, A.-M. Klein, and S. D. Leonhardt. 2016. Urban gardens promote bee foraging over natural habitats and plantations. *Ecology and Evolution* 6(5):1304–1316.
- Kayadjanian, M., A. Muratet, O. Ricci, and J. Valognes. 2020. *Les effets des pratiques apicoles sur la santé des ruches en île-de-France*. Note rapide de l'institut Paris Region, Institut Paris Région - Agence Régionale Biodiversité.
- Kleijn, D., K. Biesmeijer, Y. L. Dupont, A. Nielsen, S. G. Potts, and J. Settele. 2018. Bee conservation: Inclusive solutions. *Science* 360(6387):389–390.
- Klein, A.-M., V. Boreux, F. Fornoff, A.-C. Mupepele, and G. Pufal. 2018. Relevance of wild and managed bees for human well-being. *Current Opinion in Insect Science* 26:82–88.
- Kouchner, C., C. Ferrus, S. Blanchard, A. Decourtye, B. Basso, Y. Le Conte, and M. Tchamitchian. 2019. Bee farming system sustainability: An assessment framework in metropolitan France. *Agricultural Systems* 176:102653.
- Labatut, J. 2009. Gérer des biens communs. Processus de conception et régimes de coopération dans la gestion des ressources génétiques animales. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris.
- Labatut, J. 2013. Introduction. La biodiversité en crise ? Pages 7–19 *Construire la biodiversité : Processus de conception de « biens communs »*. Presses des Mines, Paris.
- Le Page, C., W. Daré, M. Antona, and S. Aubert. 2022. Se confronter à la cogestion adaptative. Pages 183–205 *Les communs : Un autre récit pour la coopération territoriale*.
- Lehébel-Péron, A. 2014, December 18. L'abeille noire et la ruche-tronc : approche pluridisciplinaire de l'apiculture traditionnelle cévenole : histoire, diversité et enjeux conservatoires. phdthesis, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.
- Lehébel-Péron, A., P. Sidawy, E. Dounias, and B. Schatz. 2016. Attuning local and scientific knowledge in the context of global change: The case of heather honey production in southern France. *Journal of Rural Studies* 44:132–142.
- Lemoine, T., J. Fonderflick, and M. Henry. 2020. Etude des interactions de compétition inter- et intraspécifiques pour la ressource en nectar, entre abeilles : le cas du Parc National des Cévennes. Mémoire de Master 2, Université de Montpellier.
- Leroy, C., J.-L. Brunet, M. Henry, and C. Alaux. 2023. Using physiology to better support wild bee conservation. *Conservation Physiology* 11(1):coac076.
- Lévi-Strauss, C. 1962. *La pensée sauvage*. [Paris] : Plon.
- Lindström, S. A. M., L. Herbertsson, M. Rundlöf, R. Bommarco, and H. G. Smith. 2016. Experimental evidence that honeybees depress wild insect densities in a flowering crop. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283(1843):20161641.
- Lloyd, P., D. Maclaren, P. Bardsley, and P. J. Lloyd. 2017. Competition in the Manuka Honey Industry in New Zealand. *Department of Economics, University of Melbourne, Parkville, Victoria, Australia*:22.
- Lorenz, S., and K. Stark. 2015. Saving the honeybees in Berlin? A case study of the urban beekeeping boom. *Environmental Sociology* 1(2):116–126.

- Magrach, A., J. P. González-Varo, M. Boiffier, M. Vilà, and I. Bartomeus. 2017. Honeybee spillover reshuffles pollinator diets and affects plant reproductive success. *Nature Ecology & Evolution* 1(9):1299–1307.
- Mallinger, R. E., H. R. Gaines-Day, and C. Gratton. 2017. Do managed bees have negative effects on wild bees?: A systematic review of the literature. *PLOS ONE* 12(12):e0189268.
- Marchenay, P. 1993. Un insecte au statut incertain : l'abeille. *Études rurales* 129(1):117–128.
- Matias, D. M. S., J. Leventon, A.-L. Rau, C. Borgemeister, and H. von Wehrden. 2017. A review of ecosystem service benefits from wild bees across social contexts. *Ambio* 46(4):456–467.
- Moore, J. W. 2017. The Capitalocene, Part I: on the nature and origins of our ecological crisis. *The Journal of Peasant Studies* 44(3):594–630.
- Mouillard-Lample, L., G. Gonella, A. Decourtye, M. Henry, and C. Barnaud. 2023. Competition between wild and honey bees: Floral resources as a common good providing multiple ecosystem services. *Ecosystem Services* 62:101538.
- Newstrom-Lloyd, L. 2016, October. Bees without Borders : What is the Limit. *New Zealand Beekeeper*(October):22–27.
- Nizet, J., and D. Van Dam. 2021. Les expériences des apiculteurs confrontés aux débats environnementaux. Page *Apiculteurs, nature et société*. Educagri éditions. Dijon.
- Osterman, J., M. A. Aizen, J. C. Biesmeijer, J. Bosch, B. G. Howlett, D. W. Inouye, C. Jung, D. J. Martins, R. Medel, A. Pauw, C. L. Seymour, and R. J. Paxton. 2021. Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 322:107653.
- Ostrom, E. 1990. *Governing the commons : the evolution of institutions for collective action*. Cambridge ; New York : Cambridge University Press.
- Ostrom, E. 2008. Design principles of robust property-rights institutions: what have we learned? Page 28. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA.
- Ostrom, E. 2010. Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. *The American Economic Review* 100(3):641–672.
- Patel, V., E. Biggs, N. Pauli, and B. Boruff. 2020. Using a social-ecological system approach to enhance understanding of structural interconnectivities within the beekeeping industry for sustainable decision making. *Ecology and Society* 25(2).
- Patel, V., N. Pauli, E. Biggs, L. Barbour, and B. Boruff. 2021. Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio* 50(1):49–59.
- Perrin, G. 2019. Les communs de capacités: une analyse des Pôles Territoriaux de Coopération Economique à partir du croisement des approches d'Ostrom et de Sen. *Economies et finances.*, Université Paris-Est.
- Petersell, L., and K. Certenais. 2022. *Régime Général. Pour une Sécurité sociale de l'alimentation*. Riot Éditions.
- Phiri, B. J., D. Fèvre, and A. Hidano. 2022. Uptrend in global managed honey bee colonies and production based on a six-decade viewpoint, 1961–2017. *Scientific Reports* 12(1):21298.
- Potts, S. G., J. C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger, and W. E. Kunin. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25(6):345–353.
- Potts, S. G., V. Imperatriz-Fonseca, H. T. Ngo, M. A. Aizen, J. C. Biesmeijer, T. D. Breeze, L. V. Dicks, L. A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, and A. J. Vanbergen. 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540(7632):220–229.
- Reporterre. 2023. Pesticides : la France, l'un des pires pays d'Europe. <https://reporterre.net/Pesticides-la-France-l-un-des-pires-pays-d-Europe>.
- Rigal, S. 2021, November 19. “Tout est lié” : réponses complexes de la biodiversité aux changements globaux et déterminants socio-économiques. phdthesis, Université Montpellier.

- Rivers-Moore, J., E. Andrieu, A. Vialatte, and A. Ouin. 2020. Wooded Semi-Natural Habitats Complement Permanent Grasslands in Supporting Wild Bee Diversity in Agricultural Landscapes. *Insects*:812.
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society* 14(2).
- Rollin, O., N. Pérez-Méndez, V. Bretagnolle, and M. Henry. 2019. Preserving habitat quality at local and landscape scales increases wild bee diversity in intensive farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 275:73–80.
- Ropars, L., L. Affre, É. Thébault, and B. Geslin. 2022. Seasonal dynamics of competition between honey bees and wild bees in a protected Mediterranean scrubland. *Oikos* 2022(4):e08915.
- Ropars, L., I. Dajoz, C. Fontaine, A. Muratet, and B. Geslin. 2019. Wild pollinator activity negatively related to honey bee colony densities in urban context. *PLOS ONE* 14(9):e0222316.
- Roubik, D. W. 1978. Competitive Interactions Between Neotropical Pollinators and Africanized Honey Bees. *Science* 201(4360):1030–1032.
- Roué, M., V. Battesti, N. Césard, and R. Simenel. 2015. Ethnoecology of pollination and pollinators. Knowledge and practice in three societies. *Revue d'ethnoécologie*(7).
- Rutschmann, B., P. L. Kohl, and I. Steffan-Dewenter. 2023. Foraging distances, habitat preferences and seasonal colony performance of honeybees in Central European forest landscapes. *Journal of Applied Ecology* 60(6):1056–1066.
- Salliou, N., R. Muradian, and C. Barnaud. 2019. Governance of Ecosystem Services in Agroecology: When Coordination is Needed but Difficult to Achieve. *Sustainability* 11(4):1158.
- Sánchez-Bayo, F., and K. A. G. Wyckhuys. 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 232:8–27.
- Saunders, M. E., T. J. Smith, and R. Rader. 2018. Bee conservation: Key role of managed bees. *Science* 360(6387):389–389.
- Savajol, C. 2014. Analyse bibliométrique de la littérature scientifique mondiale sur la recherche en Apidologie:111.
- Schaffer, W. M., D. B. Jensen, D. E. Hobbs, J. Gurevitch, J. R. Todd, and M. V. Schaffer. 1979. Competition, Foraging Energetics, and the Cost of Sociality in Three Species of Bees. *Ecology* 60(5):976–987.
- Schaffer, W. M., D. W. Zeh, S. L. Buchmann, S. Kleinhans, M. V. Schaffer, and J. Antrim. 1983. Competition for Nectar between Introduced Honey Bees and Native North American Bees and Ants. *Ecology* 64(3):564–577.
- Schönfelder, M. L., and F. X. Bogner. 2017. Individual perception of bees: Between perceived danger and willingness to protect. *PloS One* 12(6):e0180168.
- Seeley, T. D. 2017. *La démocratie chez les abeilles: Un modèle de société*. Quae.
- Shackleton, K., N. J. Balfour, H. Al Toufalia, E. James, and F. L. W. Ratnieks. 2023. Honey bee waggle dances facilitate shorter foraging distances and increased foraging aggregation. *Animal Behaviour* 198:11–19.
- Smart, M., J. Pettis, N. Rice, Z. Browning, and M. Spivak. 2016. Linking Measures of Colony and Individual Honey Bee Health to Survival among Apiaries Exposed to Varying Agricultural Land Use. *PLOS ONE* 11(3):e0152685.
- Soroye, P., T. Newbold, and J. Kerr. 2020. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science*.

- Sponsler, D., A. Iverson, and I. Steffan-Dewenter. 2023. Pollinator competition and the structure of floral resources. *Ecography* n/a(n/a):e06651.
- St. Clair, A. L., G. Zhang, A. G. Dolezal, M. E. O’Neal, and A. L. Toth. 2022. Agroecosystem landscape diversity shapes wild bee communities independent of managed honey bee presence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 327:107826.
- Steffan-Dewenter, I., and A. Kuhn. 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270(1515):569–575.
- Steffan-Dewenter, I., and T. Tschardt. 2000. Resource overlap and possible competition between honey bees and wild bees in central Europe. *Oecologia* 122(2):288–296.
- Thomson, D. M., and M. L. Page. 2020. The importance of competition between insect pollinators in the Anthropocene. *Current Opinion in Insect Science* 38:55–62.
- Tosi, S., C. Sfeir, E. Carnesecchi, D. vanEngelsdorp, and M.-P. Chauzat. 2022. Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A meta-analysis and new risk assessment tools. *The Science of the Total Environment* 844:156857.
- UNAF, (Union Nationale de l’Apiculture Française). 2005. Programme l’abeille sentinelle de l’environnement. <https://www.abeillesentinelle.net/>.
- Van Dam, D., J. Nizet, and M. Streith. 2021. *Apiculteurs, nature et société*. Educagri éditions. Dijon.
- Veldtman, R. 2018. Are managed pollinators ultimately linked to the pollination ecosystem service paradigm? *South African Journal of Science* 114(11/12).
- Ville de Paris. 2022. Biodiversité urbaine : comment Paris préserve les insectes pollinisateurs. <https://www.paris.fr/pages/paris-se-mobilise-pour-les-abeilles-3488>.
- Westphal, C., I. Steffan-Dewenter, and T. Tschardt. 2003. Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters* 6(11):961–965.
- Wignall, V. R., M. Brolly, C. Uthoff, K. E. Norton, H. M. Chipperfield, N. J. Balfour, and F. L. W. Ratnieks. 2020. Exploitative competition and displacement mediated by eusocial bees: experimental evidence in a wild pollinator community. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 74(12):152.
- Wojcik, V. A., L. A. Morandin, L. Davies Adams, and K. E. Rourke. 2018. Floral Resource Competition Between Honey Bees and Wild Bees: Is There Clear Evidence and Can We Guide Management and Conservation? *Environmental Entomology* 47(4):822–833.
- Wood, T. J., J. M. Holland, W. O. H. Hughes, and D. Goulson. 2015. Targeted agri-environment schemes significantly improve the population size of common farmland bumblebee species. *Molecular Ecology* 24(8):1668–1680.
- Woodcock, B. A., J. M. Bullock, R. F. Shore, M. S. Heard, M. G. Pereira, J. Redhead, L. Ridding, H. Dean, D. Sleep, P. Henrys, J. Peyton, S. Hulmes, L. Hulmes, M. Sárosspataki, C. Saure, M. Edwards, E. Genersch, S. Knäbe, and R. F. Pywell. 2017. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science* 356(6345):1393–1395.
- Woodcock, B. A., A. E. Oliver, L. K. Newbold, H. Soon Gweon, D. S. Read, U. Sayed, J. Savage, J. Bacon, E. Upcott, K. Howell, K. Turvey, D. B. Roy, M. Gloria Pereira, D. Sleep, A. Greenop, and R. F. Pywell. 2022. Citizen science monitoring reveals links between honeybee health, pesticide exposure and seasonal availability of floral resources. *Scientific Reports* 12(1):14331.
- Zattara, E. E., and M. A. Aizen. 2021. Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth* 4(1):114–123.
- Zurbuchen, A., L. Landert, J. Klaiber, A. Müller, S. Hein, and S. Dorn. 2010. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation* 143(3):669–676.

Annexe 0 - Ma place au sein des collaborations autour de cette thèse

Ce projet de thèse est le fruit d'un travail collectif et d'une collaboration entre plusieurs unités de recherche, l'institut technique apicole et le parc national des Cévennes. Au cours de cette thèse, plusieurs collaborations ont été réalisées ou tentées en lien avec ce travail. Cette section présente les contributions à l'ensemble de ces collaborations.

Ayant la chance d'avoir accès à une bourse de thèse de l'ENS de Lyon, j'ai pris contact avec Mickaël Henry et Axel Decourtye pour leur proposer un travail sur la compétition entre abeilles prenant en compte l'aspect social. J'ai rédigé sous leur supervision ce projet de thèse interdisciplinaire combinant des enquêtes de terrain auprès des apiculteur·rices, des relevés écologiques et un processus de recherche-action suivant l'approche ComMod incluant la construction d'un jeu de rôle. J'ai ensuite contacté Cécile Barnaud pour quelle nous rejoigne pour m'encadrer dans la mise en place de ce dernier volet. Parallèlement, nous avons été contactés par le parc national des Cévennes dans le cadre du lancement de son programme sur les pollinisateurs pour une collaboration.

Outre le financement initial nous avons plusieurs autres financements :

- Financement auprès de la fondation Lune de Miel : réalisation des entretiens et organisation des sessions de jeu, coordinateur principal Mickaël Henry
- Projet AIR Concept financé par le département SPE, INRAE : relevés écologiques, coordinateur principal Mickaël Henry
- Projet BECO (aBEilles et Concertation) du métaprogramme Biosefair, INRAE : réalisation des sessions de jeu, coordinatrice principale Cécile Barnaud
- Financement auprès du producteur SOJUFEL : relevés écologiques, coordinateur principal Mickaël Henry

J'ai pris contact avec les apiculteur·rices en passant notamment par le syndicat apicole de Lozère après avoir participé à un concours de miel, et par l'Association de Développement Apicole d'Occitanie en participant à son séminaire. La collaboration avec le parc nous a permis également de prendre contact avec d'autres apiculteur·rices sur le territoire. Enfin, la vie dans les Cévennes et l'arpentage des routes et des épicerie m'a permis d'élargir ce réseau.

J'ai ensuite construit le cadre d'analyse de mes entretiens. J'ai réalisé l'ensemble des entretiens, seul ou accompagné de Gabriel Gonella avec qui nous avons également collaboré (nos deux thèses étant étroitement liées l'une et l'autre), puis les ai intégralement réécrits et partiellement retranscrits.

J'ai déterminé les zones d'échantillonnages sur le territoire à partir des connaissances acquises auprès des apiculteur·rices sur les ressources florales et les ruchers. J'ai ensuite recensé l'ensemble des ruchers sur le territoire à partir de mes entretiens et en sillonnant les routes à la recherche des ruches avant et pendant notre période d'échantillonnage.

Pour les sessions d'échantillonnages, j'ai coordonné différentes équipes composées de collègues d'Avignon et d'agents du parc.

Axel et Mickël ont participé avec d'autres (voir les remerciements) aux sessions d'échantillonnages. J'ai participé au co-encadrement des trois stagiaires qui ont travaillé avec nous sur ce projet : Taïna Lemoine (en 2020), Sarah Bourdon et Maxime Lewin (en 2021). J'ai ainsi travaillé avec elleux sur le terrain puis ai participé à la relecture et correction des mémoires de Taïna et Sarah. J'ai également assisté à leur soutenance. L'épingleage des abeilles a été réalisé par Taïna, Maxime et Laurent (et Morgane).

J'ai réalisé les analyses statistiques avec l'aide de mes co-encadrant·es.

A partir des entretiens réalisés, j'ai construit le jeu de rôle AGORAPI de toutes pièces, organisé les sessions de test du jeu. J'ai organisé les sessions de jeu avec l'ensemble des participant·es et ai animé ces sessions. Axel, Cécile, Christophe Le Page et Gabriel m'ont accompagné dans l'élaboration de ce jeu et ont observé les sessions de jeu à partir des grilles d'observation que je leur ai fournies. J'ai ensuite analysé ces sessions à partir des notes d'observations réalisées.

Dans le cadre du partenariat avec le parc national des Cévennes, qui m'a permis d'être hébergé à Florac, j'ai collaboré avec Margot Monnier et ai participé à la relecture de son mémoire. J'ai également participé à une réunion du groupe de travail sur les pollinisateurs et l'apiculture autour de la charte en juillet 2021.

J'ai été en contact avec les référent·es de la Licence Professionnelle Gestion Agricole des Espaces de Florac pour la proposition d'un projet tutoré à leur étudiant·es sur le recensement des mesures de restrictions de l'apiculture dans des objectifs de conservation des insectes pollinisateurs sauvages et commandé par l'ITTSAP - Institut de l'abeille. J'ai participé avec Fabrice Allier au tutorat des élèves, en organisant plusieurs réunions avec elles et eux et en les orientant vers les personnes à enquêter. J'ai également organisé une session de test de jeu avec ces étudiant·es pour discuter avec elleux de cette problématique et leur faire prendre connaissances des enjeux et des contraintes.

Dans le cadre de la session d'échantillonnage 2021, nous avons collaboré avec le laboratoire Labogena et l'unité GenPhySE pour étudier la génétique des abeilles domestiques dans les Cévennes. J'ai géré l'adaptation de notre protocole pour ajouter à notre échantillonnage, la collecte d'abeilles domestiques.

Au cours de cette thèse, j'ai également participé au projet COPOL (Concertation pour la conservation des pollinisateurs en zones protégées) porté par Fabrice Requier. J'ai pour cela participé aux réunions du comité scientifique. J'ai participé à la construction des ateliers lors de la table ronde prévue entre apiculteur·rices, gestionnaires d'aires protégées et scientifiques et ai co-animé ces ateliers.

Par ailleurs, j'ai participé à la rédaction de plusieurs appels à projet. Tout d'abord pendant la thèse auprès de la fondation Lune de Miel.

Dans l'optique d'un prolongement de ce travail de thèse, j'ai participé à la rédaction de trois projets de financement. Les deux premiers, refusés ont été déposés à la fondation Lune de Miel et au CESAB. Pour ce dernier j'ai entièrement endossé la construction du *pre-proposal* de cet appel. J'ai proposé un projet scientifique collaboratif basé sur les sessions de jeu de rôles et des ateliers réalisés aux Etats-Unis et en Australie dans le but (i) de mieux comprendre les processus socio-écologiques qui sous-tendent l'émergence des ressources florales en tant que nouveaux biens communs et (ii) de fournir un guide méthodologique générique pour la construction de jeux sérieux visant à encourager la gouvernance collaborative des ressources florales afin de réconcilier les questions d'apiculture et de conservation. Pour cela j'ai pris contact avec des chercheur·euses en Australie (Natasha Pauli), aux USA (Jennie Durant) et au Brésil (Roldan Muradian).

J'ai également co-écrit avec l'ensemble des membres du consortium le projet déposé à l'ADEME dans le cadre de l'appel à projet CO3, accepté celui-ci. Ce projet COPOL2 vise à (1) estimer le risque de compétition entre cheptels apicoles et pollinisateurs sauvages dans les espaces naturels protégés et (2) accompagner la filière apicole et les gestionnaires d'espaces protégés vers une gestion spatiale concertée des ressources florales afin de limiter ce risque. Il repose sur les résultats issus du premier projet COPOL et ceux issus cette thèse.

Annexe 1 – Standardising the nectar foraging success of wild bee according to their size, sex and taxonomy: an empirical method to determine reference allometric functions of maximal nectar crop content.

List of presupposed authors: **Bourdon, S.***, **Mouillard-Lample L.***, **Lemoine T.**, **Guilbaud L.**, **Lewin M.**, Barascou L., Le Bivic P., Schatz B., **Henry M.**

Materials and methods

Study areas and sampled floral resources

Bee crop content data collated for this study proceed from two different surveys based on the exact same methodology, both aiming at studying ecological interactions between wild bees and honeybees. The original study (Henry and Rodet 2018) was carried out in 2015-16 in the Côte Bleue area, a ca. 34-km² protected Mediterranean scrubland dominated by Rosemary *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) and held by the French Coastal Protection Agency, in southeast France. Beside Rosemary, the main floral resources sampled in this area were Thyme *Thymus vulgaris* (Lamiaceae), and several species from the Cistaceae family (*Cistus albidus*, *C. salvifolius*, *Helianthemum marifolium*, *H. nummularium*). The dataset from this study was supplemented with unpublished data on males.

Later on, the Henry and Rodet (2018) study design was replicated into a larger and more heterogeneous area, the core protection zone of the Cévennes National Park, in southern France. The National Park covers 938 km² with an altitude varying between 117m and 1699m. More specifically, after extensive interviews of local beekeepers on their practices (Mouillard-Lample et al. 2023), we targeted three different zones recognized for the abundance and diversity of floral resources: (i) the Cévennes schistose valleys dominated by oak and chestnut forests, (ii) the Mont Lozère, a granite massif predominantly covered with grazing areas and *Calluna vulgaris* heathlands maintained by pastoral grazing (Lehével-Péron et al. 2016) and (iii) the Mont Bougès, a transitory area between the schistose valleys and granite part of the massif. The main floral resources sampled in these areas were Clover species (*Trifolium dubium*, *Trifolium incarnatum*, *Trifolium nigrescens*, *Trifolium repens*, Fabaceae) in grasslands in May 2021, Brambles (*Rubus sp.*, Rosaceae) and *Erica* heathlands (*E. cinerea*, Ericaceae) in June – July 2020 and 2021, and *Calluna* heathlands (*C. vulgaris*, Ericaceae) in August 2020 and 2021. Several additional floral resources species were sampled opportunistically in grasslands to get as many individual bee samples as possible. A total of 535 sites has been sampled from 17 different flower genus (Table 21).

Individual bee capture and field nectar load measurement

As in the original study (Henry and Rodet 2018), we favored a spatially extensive sampling design in the Cévennes National Park, consisting in reducing capture effort at each sampling site in order to increase site numbers and cover a broad variety of sampling contexts. At a given site, bees were sampled with nets while foraging in flowers, during typically 10-minute capture sessions involving two observers. No sample was performed under rainy, windy or cold (<12°C) weather.

As their nectar crop content is expected to be gradually absorbed after capture (Fournier et al. 2014), bees were stored in coolers at 4°C to slow down their metabolism and then processed immediately *in situ* as rapidly as possible after capture.

The field nectar load refers to the nectar volume stored in bees' crop stomach at the time of capture. Bees were first narcotized for few seconds with CO₂ (ProFlora U500 Cylinder, JBL GmbH & co, Neuhausen, Germany) injected in the capture container (Figure 33). They were measured (to the nearest mm) from the front of the head to abdomen extremity, for later allometric modelling of nectar crop volume as a function of body length. Then, a gentle dorso-ventral pressure was applied on their abdomen until their crop nectar content was regurgitated. The extracted nectar was capillary-collected (1- μ l or 10- μ l micropipettes Ringcaps, Hirshmann Laborgeräte GmbH & co, Eberstadt, Germany) for volume measurement, with an estimated \pm 0.05 μ l resolution. We then used a refractometer (REF108, Index Instruments Ltd., Cambridgeshire, England) to ascertain the presence of measurable concentrations of sugar whenever permitted by the nectar volume (Figure 33). On very rare occasions, crop content was identified to be mostly water, with null or low (<5%) sugar concentrations. Bee water foragers were discarded from the nectar foraging databases.

Finally, individuals were carefully examined for sex determination and taxonomic identification to family, genus, or species whenever possible. The taxonomic validation to genus or species levels

often requires invasive individual sampling. Instead, we favoured a morphotype approach, whereby individuals collected on a given capture site and sharing the same appearance and morphological characteristics were presumed to be of the same species. Only a couple of individuals were effectively collected per sex and per morphotype within a given site or over several neighbouring sites, while all other individuals were released right after being processed. Collected specimens were frozen, and subsequently pinned and dried before identification with the help of a network of expert taxonomists recognised by the French *Inventaire National du Patrimoine Naturel* (INPN).

Capture protocol

1. Capturing bees
2. Narcotizing the bees with CO₂
3. Measurement of body length and identification
4. Regurgitation of nectar

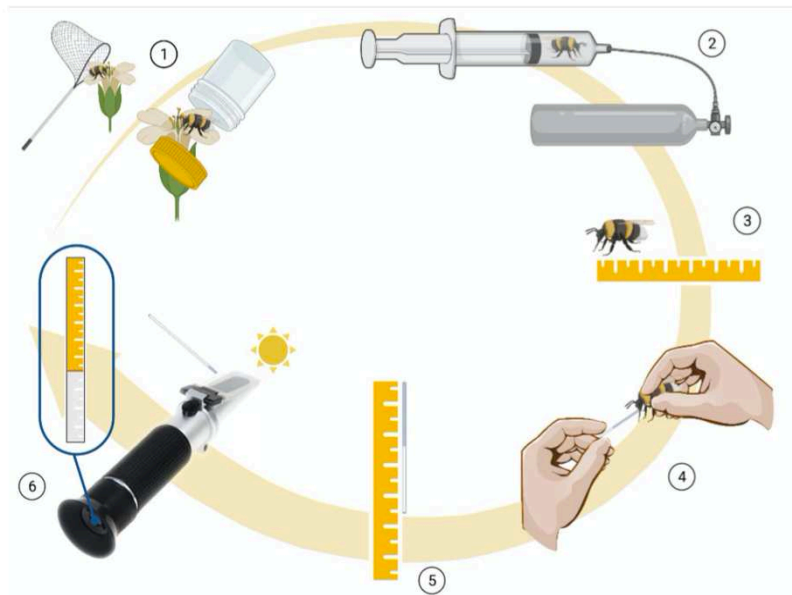


Figure 33: Adapted protocol describing the diverse steps from (1) bee capture to (5/6) the final nectar volume measurement, in field conditions.

Statistical analyses

General principles of allometric modelling. The basic reasoning of the study is to establish reference allometric functions of maximal field nectar load V_{max} (μl) as a function of bee body length L (mm). We expanded on the general allometric framework described in Henry and Rodet (2018, Supplementary Figure S4), using the usual allometric function of the form:

$$V_{max} = aL^b \quad (\text{eq. 1})$$

indicating that V_{max} scales as a power function of L , with a and b as scaling constants. It should be noticed that body length L is a one-dimensional measurement, while V_{max} is a three-dimensional one. Therefore, V_{max} is expected to increase roughly as a cubic function of L , i.e. with a scaling constant b approaching 3. This property appeared respected for V_{max} values observed in female bees, with $b=3.0618$ (Henry and Rodet 2018).

The allometric relation may be linearized as:

$$\ln(V_{max}) = \ln(a) + b \times \ln(L) \quad (\text{eq. 2})$$

Linearization (eq. 2) opens the way to more complex modelling approaches, e.g. implementing or testing the effect of additional covariates, such as sex or any other morphological characteristics, within a generalized linear model (GLM) framework. In this study, we used GLMs to further assess

the role of sex, either as a simple covariate or in interaction with body length, in shaping the allometric laws underlying maximal field nectar load V_{max} .

Under the circumstance, scaling constants $\ln(a)$ and b correspond to parameters returned by the GLM, respectively the *intercept* and the slope *estimate*. one should back-transform the *intercept* with an e-exponentiation, and consider the *estimate* as power coefficient to recover the original allometric function (eq. 1).

To assess the overall goodness of fit of the allometric model, we computed a pseudo- R^2 indicating the proportion of deviance explained by the GLM and based on the relative difference between null and residual deviance. We also ensured the residual normality requirements were fulfilled using the residual diagnostic facilities provided by the *testResiduals* function of the DHARMA R package (Hartig 2022).

Generic field nectar load allometric model. In a first step (model #1), all observed nectar load values V were pooled in the same analysis (except *Bombus* sp., see below), regardless of sex, and assigned into the body length class of the corresponding individual, from 5mm to 26 mm. Given the small number of large bees (> 19 mm) sampled we created “double” body length classes by merging classes 2mm by 2mm. For example, we merged the 19mm and 20mm bees in a new 19,5mm classe. Then, the maximal observed volume in each body length class L_i (to the nearest mm) was selected and considered as the virtual maximal nectar load V_{max_i} for that body length class L_i . We finally modelled V_{max} as a function of L using GLM, with a prior log-transformation of both variable. V_{max_i} will be arguably all the more so accurate that body length class L_i is covered by more data. To account for variable sample size among body length classes, we followed two principles. First, we ignored under-sampled body length classes, with $n < 5$ nectar load measurements. Second, we used the GLM weighting argument to give more weight to V_{max_i} values, proportionally to the initial sample size of body length class L_i .

Sex-specific allometric models. In a second step, we further introduced the sex component in GLMs, either as a simple covariate (model #2) or in interaction with body length (model #3). This implies to re-assign raw nectar load values V into both sex and body length classes before identifying new candidate V_{max_i} values with respect to sex. Models #2 and #3 were computed with respect to the same sample size control previously described for model #1 (minimum sample size and weighting argument). The relevance of sex as a simple or interacting covariate was assessed by comparing models #2 and #3, regarding a trade-off between model fit and complexity using the Akaike information criterion corrected for small samples, AICc.

Improving the robustness of reference allometric functions. The above-mentioned modelling procedure is based on a single V_{max} value per body length class, and may therefore return instable or inaccurate allometric functions. To further improve allometric model stability and robustness, we considered a second approach whereby the 10% greater values in each body length class, i.e. all the V values within the upper decile, were used instead of the sole maximal value. This was expected to ground the allometric models on much more values, though it implies to substitute the “maximum” field nectar load V_{max} for a less concrete notion of “upper range” of field nectar load, hereafter abbreviated as V_{up} . Models #4 to #6 were computed for V_{up} , analogously to Models #1 to #3, respectively, for V_{max} .

Dealing with Bombus species. We noticed (see results) that V_{max} or V_{up} values of *Bombus* species, also covering the largest body length classes, appear noticeably low compared to expectations. *Bombus* species also typically comprise the largest individuals in the dataset. We therefore decided to treat them separately so as to get allometric candidate models independent from other bee groups. Models #7 to #12 were computed for *Bombus* species, analogously to Models #1 to #6, respectively, for all other bees. In case of *Bombus* data we merged the small and the large body

length classes. Thus, 11 and 12 mm individuals were considered in the 11,5mm classe. In the same way we pooled 21-22mm bees together and 23-24mm bees.

Results

After excluded *Bombus* species (532 specimens) and specimens without nectar in their crop (24.7 % of females and 69.9 % of males), our main data set was composed of 1 124 female specimens and 261 male specimens distributed in length between 5 and 23.5 mm. Five bee families were represented: Andrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae and Megachilidae. Our second data set, solely composed of *Bombus* species, was composed of 80 female specimens and 122 male specimens with nectar in their crop.

Findings on the anatomy of bees

Our “regurgitation method” was successfully used on male and cuckoo bees. Therefore, we have demonstrated that they have a crop and that they could fill it with nectar to use for they personal consumption according to their energy needs.

Relation between maximum nectar load and body length

The models carried out on the quantities of nectar in wild bees as a function of body length revealed that length has a very significant influence on the maximum-based (V_{max}) and upper-range-based (V_{up}) volume of nectar (p-values < 0.001). Thus, V_{max} and V_{up} increase with the length of the individual (Figure 34, Table 23) but this effect is faster for V_{up} (exponent = 3.8857, Table 23) than V_{max} (exponent = 3.2702, Table 23).

Sex effect

Bee length and sex jointly influence V_{max} and V_{up} (Figure 35). Based on AICc criteria ($\Delta AICc < 2$), our analyses revealed that the most parsimonious model did preserve the interaction between bee length and sex in the case of V_{up} (Table 22). In the case of V_{max} , the two models considering sex interaction or not are consider equivalent according to AICc criteria. If the model that did not preserve the interaction has the smallest AICc we cannot rule out the model which preserves it ($\Delta AICc = 1.7$). We conducted supplementary analyses and thus, combined with variance criteria, we decide to conserve the interaction between bee length and sex for V_{up} (variance criteria, p-value < 0.05) but not for V_{max} (variance criteria, p-value > 0.05).

According to both approaches i.e., V_{max} and V_{up} , we found a significant difference between female and male bees (respectively, p-value < 0.05 and p-value < 0.01, Table 23). Moreover, for each length considered, V_{max} and V_{up} are more important for female than male bees. More specifically, for a given length, V_{max} is 3 time greater for female and V_{up} vary between 2.1 time for smallest (L = 4 mm) and 9.1 time for biggest (L = 25.5 mm) female bees compared to male bees.

Bombus

When considering *Bombus* specimens separately, we observed a slight increase of V_{max} and V_{up} with the increase of bee length (exponent = 1,4736, Table 23, Figure 36) compared to other wild bees. Moreover, when we tested the impact of sex, we found that female and male are not significantly different in regard of V_{max} approach (Table 23). On the contrary, male bees' V_{up} was significantly different from female bees', and we also observed a small increase of V_{up} with bee length of both sexes (Table 23, Figure 37). Finally, for all the models considering *Bombus* only, we observed much smaller pseudo- R^2 in comparison to other models (pseudo- $R^2 < 35$, Table 22).

Tables and figures

Table 21 : Sampling sites and floral resources

Area	Floral Resource	Family	Number of sites	Date	Number of bees	Number of <i>Bombus</i>
Cévennes	<i>Trifolium sp.</i> (4 species)	Fabaceae	53	May – June 2021	171	35
	<i>Carduus sp.</i>	Asteraceae	23	June – July 2021	69	8
	<i>Knautia arvensis</i>	Dipsacaceae	17	June 2021	83	3
	<i>Echium vulgare</i>	Boraginaceae	2	May – June 2021	9	3
	<i>Erica cinerea</i>	Ericaceae	56	June – July 2020 & 2021	59	16
	<i>Helianthemum nummularium</i>	Cistaceae	13	June 2021	7	0
	<i>Rhinantus minor</i>	Orobanchaceae	1	June 2021	5	2
	<i>Rubus sp.</i>	Rosaceae	100	June – July 2020 & 2021	403	18
	<i>Salvia pratensis</i>	Lamiaceae	5	May – June 2021	15	4
	<i>Serratula tinctoria</i>	Asteraceae	1	August 2021	1	1
	<i>Calluna vulgaris</i>	Ericaceae	100	August 2020 & 2021	261	139
	<i>Epilobium angustifolium</i>	Onagraceae	7	August 2020 & 2021	28	17
<i>Cirsium sp.</i> (2 species)	Asteraceae	12+5	August 2020 & 2021	142	56	
Côte bleue	<i>Rosemarinus officinalis L.</i>	Lamiaceae	114	March – April 2015 & 2016	147	24
	<i>Thymus sp.</i>	Lamiaceae	8	March – April 2015 & 2016	12	0
	<i>Cistus</i>	Cistaceae	10	March – April 2015 & 2016	12	0
	<i>Helianthemum nummularium</i>	Cistaceae	8	March – April 2015 & 2016	6	0
TOTAL			535		1430	326

Table 22: Summary of the best models from a model-based selection for the response variable individual length in relation to the predictor variable nectar volume, in all specimens except *Bombus* (models 1 to 6) and for *Bombus* specimens (models 7 to 12).

Model based on	Model No.	Initial model	Formula	Pseudo R ²	AICc	Weights
Maximum data	1	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L})$	–	94,06	23,61486	–
	2		$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) + \mathbf{S}$	90,23	59,5	0,7
	3	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	90,55	61,2	0,3
Last decile data	4	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L})$	–	87,73	236,6736	–
	5		$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	88,82	291,4	0,87
	6	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) + \mathbf{S}$	88,47	295,2	0,13
Maximum data <i>Bombus</i> only	7	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L})$	–	33,34	17,77654	–
	8		$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) + \mathbf{S}$	26,06	40,4	0,182
	9	$\log_{10}(\mathbf{N}) \sim \log_{10}(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	26,76	43,9	0,033
Last decile data <i>Bombus</i> only	10	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L})$	–	30,08	49,36171	–
	11		$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) + \mathbf{S}$	31,15	82,00	0,76
	12	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	$\ln(\mathbf{N}) \sim \ln(\mathbf{L}) \times \mathbf{S}$	31,19	84,4	0,232

Table 23: Equation of linear relation

Model based on	# Model	Sex	Formula	R ²	AICc	Weights
Maximum data	1	–	N $0,00306 \times L^{3,2702}$	= 94,06	-8.078373	–
	2	Female	N $0,002740 \times L^{3,3155}$	= 90,23	4,5	0,7
	2	Male	N $0,000909 \times L^{3,3155}$	= 90,23	4,5	0,7
Last decile data	4	–	N $0,000382 \times L^{3,8857}$	= 87,73	-61,91001	–
	6	Female	N $0,000719 \times L^{3,7035}$	= 88,82	-22,2	0,87
	6	Male	N $0,00101 \times L^{2,9175}$	= 88,82	-22,2	0,87
Model based on	Model No.	Sex	Formula	R ²	AICc	Weights
Maximum data <i>Bombus only</i>	7	–	N $0,8568011 \times L^{1,47361}$	= 33,34	-0,572170	–
		Female	–	–	–	–
		Male	–	–	–	–
Last decile data <i>Bombus only</i>	10	–	N $0,2314728 \times L^{1,7984}$	= 30,08	-45.71799	–
	11	Female	N $0,1627047 \times L^{1,9654}$	= 31,15	-13,1	0,76
	11	Male	N $0,1056136 \times L^{1,9654}$	= 31,15	-13,1	0,76

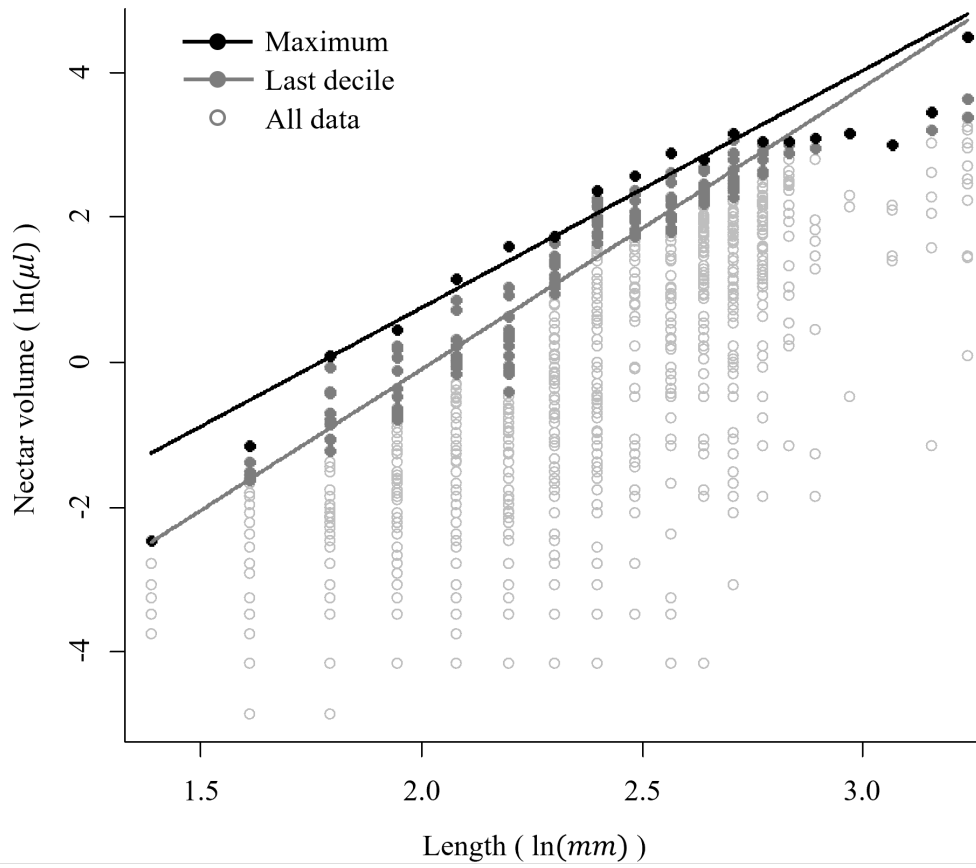


Figure 34: Relationships between bee individual length (mm) and nectar volume (in μL) for all specimens except *Bombus*.

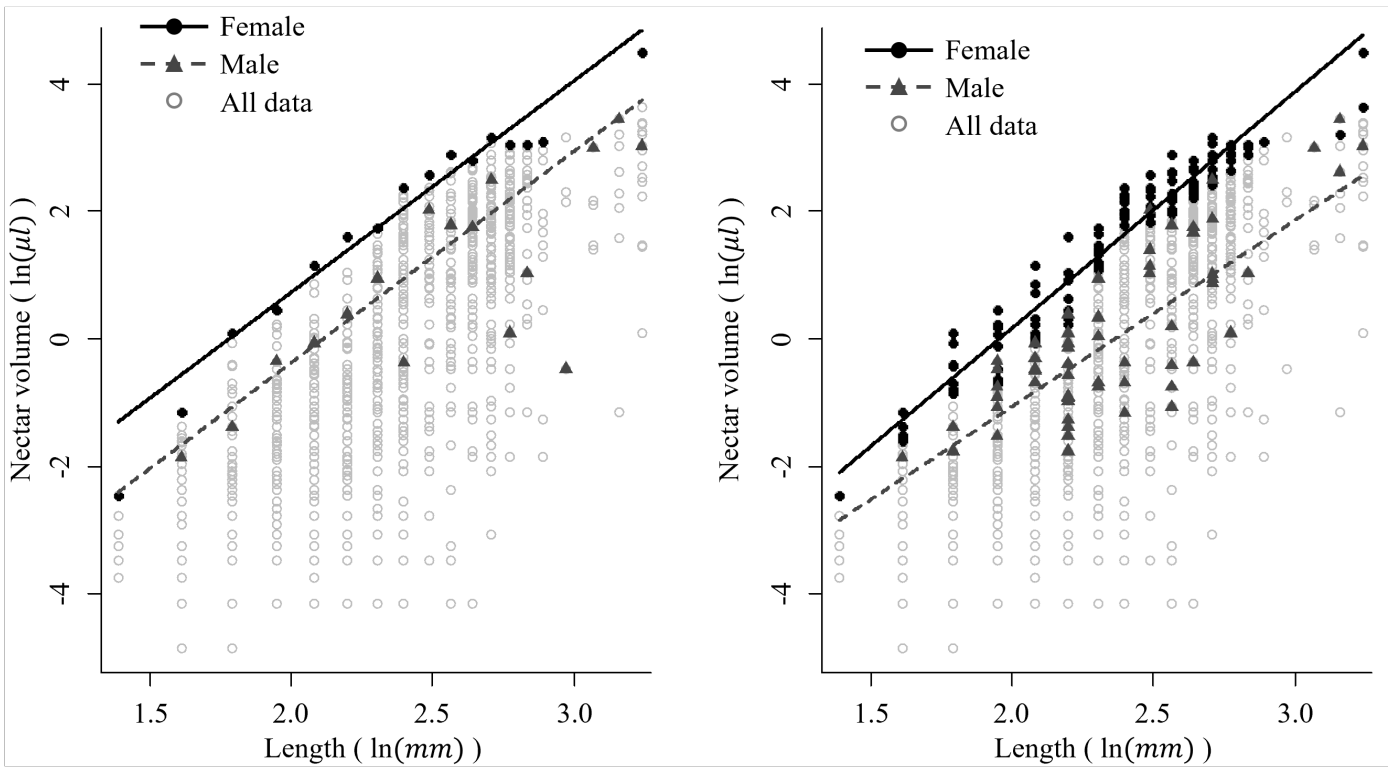


Figure 35: Relationship between bee individual length (in mm) and nectar volume (in μL) for the maximum based model (V_{max}) on the left panel and for the upper range based model (V_{up}) on the right panel, considering males and females separately.

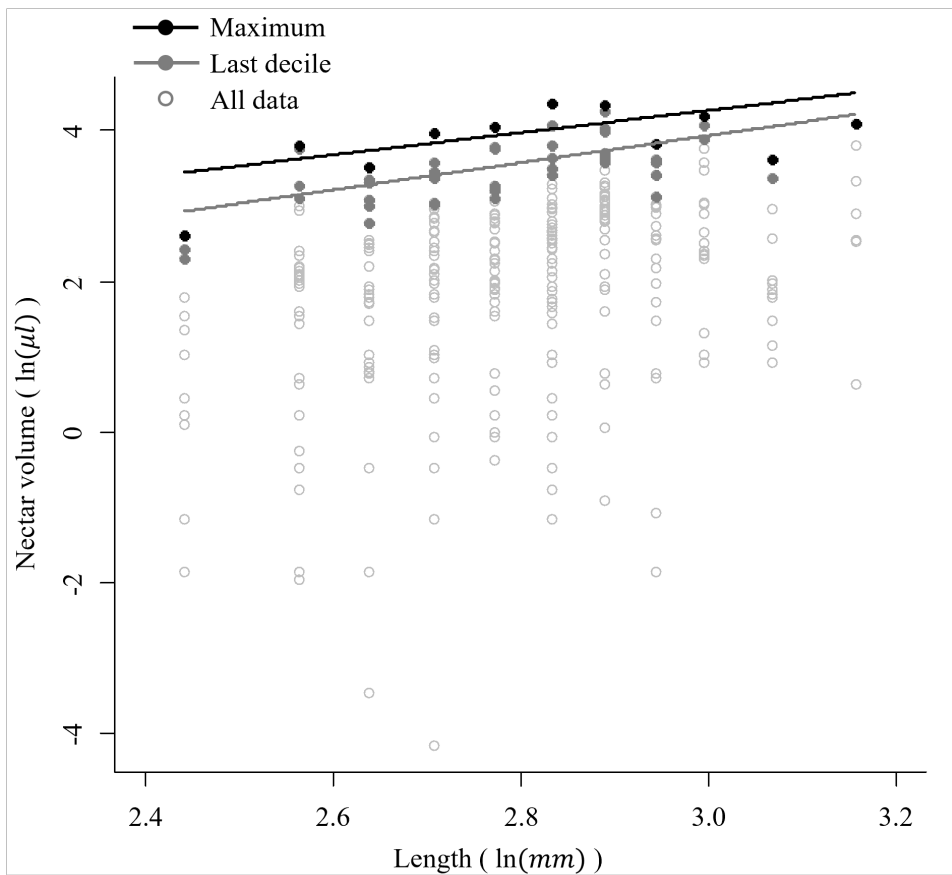


Figure 36: Relationships between bee individual length (mm) and nectar volume (in μL) for *Bombus* specimens only.

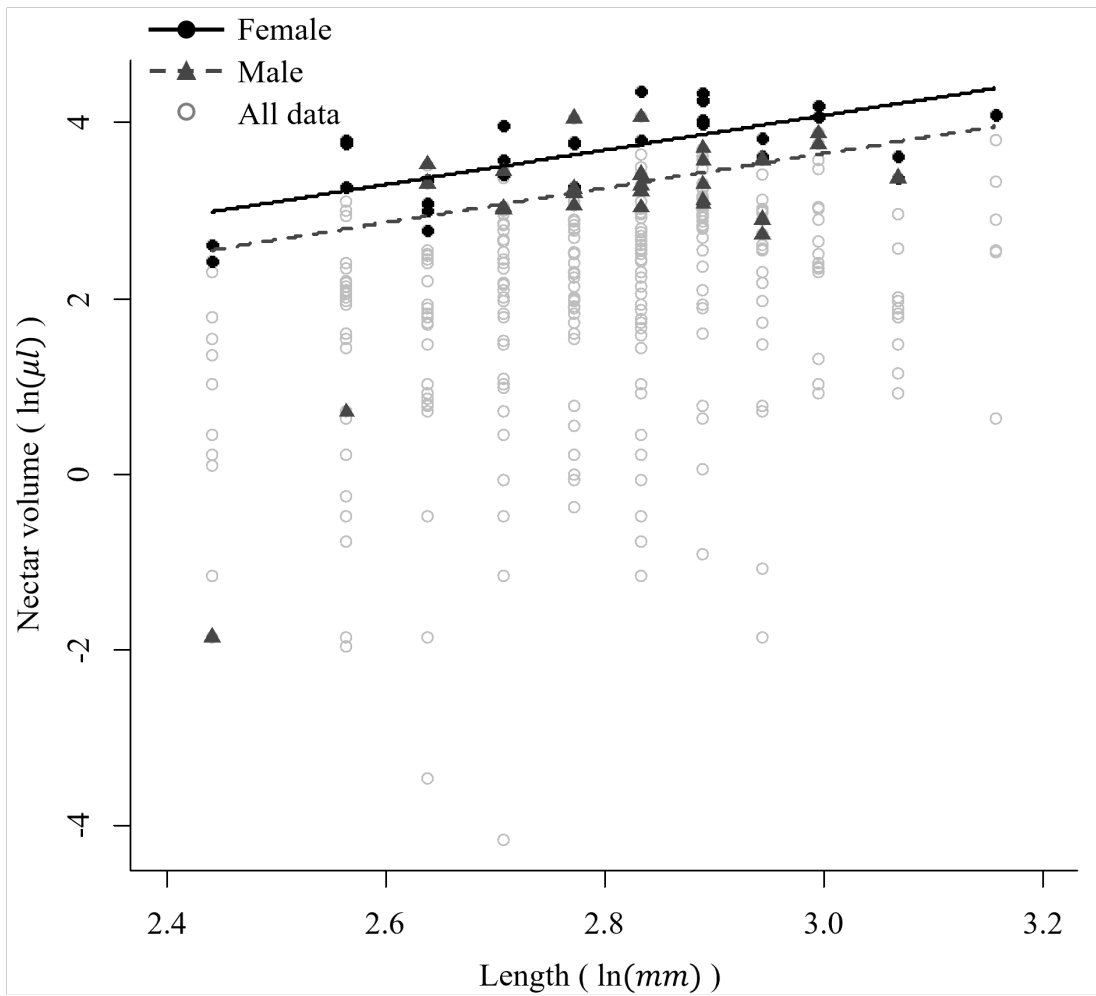


Figure 37: Relationship between bee individual length (in mm) and nectar volume (in μL) for the upper range based model (V_{up}) considering males and females separately.

Annexe 2 – Charte des bonnes pratiques pour les emplacements de ruchers en Cévennes et en Lozère

CHARTRE DES BONNES PRATIQUES

Les emplacements de ruchers en Cévennes & en Lozère

Préambule : Le contexte de l'apiculture en Cévennes et en Lozère

Depuis quelques années, le nombre de ruches augmente sur les Cévennes et en Lozère. Le cheptel apicole local se développe et les pratiques de transhumance à grande échelle s'intensifient durant la saison apicole.

Sur des sites donnés, certains apiculteurs redoutent que la densité de ruchers dépasse la capacité d'accueil du milieu, engendrant d'éventuelles difficultés d'accès à la ressource mellifère pour leurs abeilles. Le non-respect des règles de bienséance et l'absence de dialogue peuvent alors devenir sources de conflits.

Aussi, à l'initiative du Groupement de Défense Sanitaire Apicole de Lozère (GDSA 48) et du Syndicat Apicole de Lozère (SA 48), des apiculteurs du secteur Cévennes et Lozère, concernés par ces conflits d'usage, ont souhaité proposer une charte sur les « bonnes pratiques » que peuvent mettre en place les apiculteurs, les exploitants et les propriétaires fonciers pour une gestion apaisée des emplacements de ruchers sur le territoire.

Il s'agit là d'un premier document, visant à réduire les conflits d'usage par une coopération volontaire. Le contenu de la charte est spécifique à ce territoire et son appropriation sera suivie localement. Des ajustements et précisions pourront être apportés si nécessaire.

Les objectifs de cette charte

- **Améliorer la répartition des ruchers sur le territoire de manière concertée et respectueuse**

Pour les apiculteurs, une meilleure répartition des ruchers pourrait se traduire par une meilleure production en miel et en pollen, en s'affranchissant d'une possible compétition sur la ressource florale. D'autre part, des ruchers mieux répartis dans l'espace limiteraient les risques de contamination de maladies. Cette problématique concerne tout apiculteur ayant des ruchers sur le territoire, qu'il soit amateur ou professionnel, sédentaire ou transhumant.

- **Sensibiliser et impliquer les différents usagers à ces enjeux**

Toute personne ou structure ayant un rôle sur l'emplacement des ruchers sur le territoire est concernée par ces propositions : propriétaires fonciers, exploitants agricoles ou forestiers, collectivités locales, établissement public, syndicat apicole, groupement de défense sanitaire apicole, etc.

CETTE CHARTRE RAPPELLE LES PRINCIPES DE COURTOISIE ET DES REGLES DE BASE EN APICULTURE.

ELLE INVITE AUSSI CHACUN A AGIR A SON ECHELLE POUR UNE MEILLEURE COMPREHENSION ET UNE ENTENTE DANS LA GESTION DES EMBLEMES DE RUCHERS.

△ ATTENTION : Les chiffres évoqués dans cette charte (nombre de ruches par rucher, espacement entre les ruchers) constituent des limites maximales données à titre indicatif qu'il apparaît nécessaire de ne pas dépasser sur tous types de milieux.

Il ne s'agit bien sûr en aucun cas d'un objectif de densité à atteindre mais bien de valeurs maximales considérées comme des limites absolues !

1. Engagements des apiculteurs

Conformément à la loi, je m'engage à respecter les obligations suivantes :

- Je déclare mes ruchers chaque année entre le 1^{er} septembre et le 31 décembre (nombre et emplacement)
- Je respecte les règles d'implantation de ruchers définies dans l'arrêté préfectoral
- J'indique à l'entrée du rucher ou sur les ruches le numéro NAPI et un numéro de téléphone pour contact éventuel
- Je déclare les déplacements de mes ruches hors département (cf. Arrêté du 23 décembre 2009¹)

Avant de placer mes ruches sur un emplacement, je m'engage de façon volontaire à :

- Me renseigner au préalable auprès des instances apicoles locales et du référent technique communal de la présence de ruchers sur le territoire de la commune
- Prévenir si possible les apiculteurs les plus proches sur la commune
- Ne pas installer de ruchers à moins de 300 m d'un rucher existant (NB : cet engagement ne concerne pas les « micro-ruchers » de moins de 10 ruches)
- Ne pas installer de ruchers si le nombre de ruches déjà présentes n'est pas en adéquation avec le potentiel mellifère
- Ne pas installer un nombre déraisonnable de ruches par rucher (maximum 70 ruches)
- Ne pas utiliser les pneus comme supports de ruches et préférer les palettes en bois ou les parpaings
- Ranger ou enlever les supports de ruches après transhumance (palettes, etc.)

2. Engagement des propriétaires

Si un apiculteur me demande l'autorisation pour mettre des ruches sur ma propriété, je m'engage à :

- Lui présenter cette charte et l'inciter à prendre contact avec le référent technique communal ou le groupement de défense sanitaire apicole (GDSA 48) pour participer à la gestion concertée des emplacements de ruchers sur le territoire
- Indiquer à l'apiculteur les ruchers déjà installés localement et les coordonnées des apiculteurs de la commune
- Ne pas autoriser un nombre déraisonnable de ruches par ruchers (maximum 70 ruches)

¹ Arrêté du 23 décembre 2009

« Art. 13 – Chaque transport d'abeilles à l'extérieur du département d'origine doit être déclaré par l'apiculteur, dans les jours qui précèdent ou qui suivent le transport, au directeur en charge des services vétérinaires du département de destination »

- Ne pas autoriser l'installation de ruches si le nombre de ruches déjà présentes est jugé suffisamment important au regard des ressources mellifères

3. Engagement des agriculteurs et forestiers

Si j'exploite une parcelle avoisinant un rucher ou un emplacement de rucher, je m'engage à :

- Ne pas effectuer de traitement phytosanitaire dans la mesure du possible, et si le cas se présente, prévenir l'apiculteur en amont (au moins 48h avant) et respecter l'arrêté du 28 novembre 2003 d'interdiction d'usage des insecticides et acaricides durant la période de floraison et de production d'exsudats.
- Favoriser les prairies permanentes et les cultures mellifères dans mon assolement
- Mettre en place des pratiques favorables aux abeilles et aux pollinisateurs sauvages
- Communiquer avec les apiculteurs présents localement lorsque je sème une culture mellifère (ex : sainfoin) et lorsque je prévois de la faucher, afin qu'ils puissent placer leurs ruches à proximité pendant la période de floraison
- En forêt : éviter les traitements pesticides dans les chargements de bois

4. Engagement des mairies

Les mairies partenaires de la charte s'engagent à :

- Répertorier les ruchers de la commune avec l'aide des instances apicoles locales, et définir un référent technique communal
- Inciter les propriétaires de ruches à déclarer leurs ruchers (conformément à la loi)
- Prévenir autant que possible les conflits entre usagers du territoire
- Favoriser la plantation de végétaux mellifères, et ne pas faucher les espaces enherbés avant la floraison
- Recenser les terrains communaux disponibles pour l'implantation éventuelle de ruchers
- Valoriser la présence d'apiculteurs sur le territoire auprès des citoyens

5. Engagement du PNC

L'établissement public du Parc national des Cévennes s'engage à :

- Mettre en place une politique de territoire d'accueil pour les pollinisateurs sauvages et domestiques
- Valoriser une apiculture cévenole respectueuse de l'environnement
- Participer au recensement des ruchers sédentaires et transhumants, aux côtés des collectivités et des instances apicoles (appui pour la cartographie)
- Veiller à la préservation d'un environnement sain pour les abeilles et les pollinisateurs sauvages (réduction des pesticides, lutte contre le bouleversement climatique)
- Participer à la lutte contre le frelon asiatique
- Favoriser l'implantation de ressources mellifères (prairies, arbustes, arbres)

6. Engagement du Syndicat Apicole Lozère et du GDSA Lozère

Le syndicat apicole et le GDSA de Lozère s'engagent à :

- Informer leurs adhérents et la population de la mise en place de la Charte
- Informer les départements voisins et les instances régionales apicoles de la signature de la Charte
- Conseiller sur les bonnes pratiques lors d'interventions, de formations ou de manifestations apicoles
- Accompagner les communes qui les sollicitent sur la problématique apicole
- Contribuer à la recherche des propriétaires des ruchers
- Assurer une médiation entre apiculteurs en cas de conflits
- Organiser le recensement des ruchers, avec un référent par commune
- Récupérer les déclarations d'installation de ruchers sur le site de la préfecture

Annexe 3 – Productions scientifiques

Articles scientifiques

Mouillard-Lample, L., G. Gonella, A. Decourtye, M. Henry, and C. Barnaud. 2023. Competition between wild and honey bees: Floral resources as a common good providing multiple ecosystem services. *Ecosystem Services* 62:101538.

Gonella, G., E. Léoni, **L. Mouillard-Lample**, C. Aubron, M. Deconchat, A. Decourtye, and C. Barnaud. In press. Interactions between beekeeping and agropastoralism: an approach based on floral resources. *Agronomy for Sustainable Development*.

Geslin, B., **L. Mouillard-Lample**, M. Zakardjian, I. Dajoz, F. Flacher, M. Henry, A. Perrard, F. Requier, L. Ropars, B. Schatz, N. J. Vereecken, and B. Gauzens. 2023. Chapter Four - New insights on massively introduced managed species and their consequences for plant–pollinator interactions. Pages 63–89 in D. A. Bohan and A. J. Dumbrell, editors. *Advances in Ecological Research*. Academic Press.

Articles techniques

Sonia Eynard et al., ‘Explorer la diversité génétique des abeilles domestiques’, *ITSAP* (blog), 19 May 2022, <http://blog-itsap.fr/explorer-la-diversite-genetiquedes-abeilles-domestiques/>.

Mouillard-Lample, L., A. Decourtye, M. Henry, F. Allier, and C. Barnaud. 2023, September 26. Le partage des ressources florales : tragédie ou auto-gestion de biens communs ?

Présentations

Congrès / workshop scientifiques

Léo Mouillard-Lample et al., ‘Compétitions Inter-Spécifiques et Intra-Spécifiques : L’apport Des Travaux Sur Les Biens Communs. Enquêtes Sur Le Territoire Du Parc National Des Cévennes’, in *GDR Pollinéco* (Toulouse, France, 2021), <https://hal.inrae.fr/hal-03593813>

Gabriel Gonella, Estelle Léoni, **Léo Mouillard-Lample**, Claire Aubron, Marc Deconchat, Axel Decourtye et Cécile Barnaud. ‘Interactions between beekeeping and livestock farming systems in agropastoral landscape: a floral resources centered approach’, *4th European Farming Systems Conference: Farming systems facing climate change and resource challenges (IFSA 2022)*, IFSA, (Évora, Portugal, Apr 2022).

Léo Mouillard-Lample et al., ‘Le jeu sérieux AGORA : Accompagner la Gestion et l’Organisation du partage des Ressources Apicoles’ in *GDR Pollinéco*, Paris, France, 2022.

Mouillard-Lample, L., G. Gonella, C. Le Page, M. Henry, A. Decourtye, and C. Barnaud. 2022. Beekeep calm and think common. A game for the governance of floral resources use among beekeepers. IALE 2022 European Landscape Ecology Congress, Warsaw (online), Poland.

Léo Mouillard-Lample et al., ‘Competition for Floral Resources between Honey Bees and Wild Bees: A Social-Ecological Approach Based on Commons Theory’, in *International Workshop on Competition between Domesticated Bees and Wild Pollinators* (Silkeborg, Denmark, 2022), <https://hal.inrae.fr/hal-03594086>.

Mickael Henry et al., 'Detecting, Gauging and Managing Foraging Competition between Domesticated Bees and Wild Bees: A Case Study from France', in *International Workshop on Competition between Domesticated Bees and Wild Pollinators* (Silkeborg, Denmark, 2022), <https://hal.inrae.fr/hal-03594079>.

Séminaires scientifiques

- Journée des doctorants INRAE DYNAFOR - *Juin 2023*
- Animation scientifique pôle abeille INRAE Abeilles et Environnement - *Avril 2023*
- Séminaire unité INRAE DYNAFOR - *Mars 2022*
- Présentation ateliers AGORA – Comité pilotage projet COPOL – *Mars 2022*
- Journées association ComMod – *Septembre 2022*
- Journal club – autour de mon article en rédaction – Abeilles & environnement, UMT PrADe - *Mai 2021*
- Groupe Abeilles et société – *Octobre 2019*

Présentations aux professionnels (parc national et filière apicole)

- Webinaire ADA Occitanie - *Février 2023*
- Séminaire ADA Occitanie : Atelier jeu de rôle – *Novembre 2022*
- Webinaire UMT PrADe - *Novembre 2022* https://youtu.be/j0U--RcEr_k
 - Résultats des enquêtes du premier volet
 - Revue sur la compétition entre abeilles
- Journée apicole de Florac – *Avril 2022*
- Présentation GdT pollinisateurs – Parc national des Cévennes – *Mars 2022*

Transfert vers le grand public

- Conférence Avignon université – Midisciences – *Mars 2022*

<https://www.canal-u.tv/chaines/au/midisciences-2022-au-dela-de-la-compétition-concilier-apiculture-et-conservation-des>

- Article de presse – GEO, Décembre 2020 (écrit par Yann Chavance)
« Nos abeilles, un danger pour la nature »
- Article de presse – Terre Sauvage n°390 (écrit par Yann Chavance)
« Précieuses butineuses »

Enseignements

IUT d'Avignon - Université d'Avignon - 189,75 heures eq. TD réalisées entre 2019 et 2022, incluant :

- DUT 1^{ère} année *en 2019 et 2020*
 - M1.3.01 – Biologie – Physiologie générales (TP crustacé (2019) ou TP escargot (2020) + TP sortie systématique animale + TD insectes)
 - TP et TD : 34,5 h eq. TD
- DUT 2^{ème} année, option Agronomie *en 2020, 2021 et 2022*
 - M4.1.A02 Gestion intégrée des agrosystèmes, Aménagement – SIG
 - Cours magistraux : 3h (4.5h eq. TD)
 - TP : 24h
- BUT 1^{ère} année, parcours Agronomie
 - R2.17A Analyse paysagère – SIG
 - TP : 8h
 - SAE2.3A Approche globale d'un territoire – SIG
 - Cours magistraux : 4.5h (6.75h eq. TD)
 - TD : 20.5h

Université Paul Sabatier, Toulouse – 17h eq. TD réalisées en 2022 :

- M2 BEE-MAB
 - Modélisation et accompagnement (KBEMAAA1)
 - Cours magistraux : 4h (6h eq. TD)
 - TD : 11h

Équipe d'encadrement

Cécile Barnaud, co-encadrante de thèse, DYNAFOR, INRAE

Axel Decourtye, Directeur de thèse, ITSAP-Institut de l'abeille

Mickaël Henry, co-directeur de thèse, Abeilles et environnement, INRAE