

Année 2022-2023

Mention : Biodiversité, écologie et évolution (BEE)

Finalité : *Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes (BioEffect)*

Évaluer les potentialités des miellées printanières de Corse : disponibilité des ressources mellifères et impact des variations climatiques sur le rendement en miel



Présenté par : Pauline BELLIARD

Responsable de stage : Yin YANG

Tuteur universitaire : Benoît GESLIN

Structure d'accueil : Office du Développement Agricole et Rural de Corse
Responsables pédagogiques : B. Talon, C. Fernandez, V. Baldy, A. Bousquet-Melou

Année 2022-2023

Mention : Biodiversité, écologie et évolution (BEE)

Finalité : *Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes (BioEffect)*

Évaluer les potentialités des miellées printanières de Corse : disponibilité des ressources mellifères et impact des variations climatiques sur le rendement en miel

présenté par : Pauline BELLIARD

Nom de la structure d'accueil : Office du Développement Agricole et Rural de Corse

Nom de l'encadrant dans la structure d'accueil : Yin YANG

Charte relative à la lutte contre le plagiat de d'Aix Marseille Université

Approuvée par le Conseil des Études et de la Vie Universitaire de l'Université d'Aix-Marseille en date du 4 octobre 2012,
Approuvée par le Conseil Scientifique de l'Université d'Aix-Marseille en date du 16 octobre 2012,
Approuvée par le Conseil d'Administration de l'Université d'Aix-Marseille en date du 27 novembre 2012,

Préambule

Afin de garantir la qualité des diplômes délivrés à ses usagers, l'originalité des publications pédagogiques et scientifiques de ses personnels enseignants et/ou chercheurs, et faire respecter les droits de propriété intellectuelle des auteurs, l'Université d'Aix-Marseille est engagée dans la lutte contre le plagiat.

Les travaux réalisés par les usagers et par les personnels de l'Université doivent répondre à l'ambition de produire un savoir inédit et d'offrir une lecture nouvelle et personnelle d'un sujet.

Les travaux concernés par cette obligation sont notamment : les thèses, les mémoires, les articles, les supports de cours, sans que cette liste soit exhaustive.

Article 1

Le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou les idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité

Tout plagiat, quel qu'en soit le support, constitue une faute.

Le plagiat constitue à la fois la violation la plus grave de l'éthique universitaire et un acte de contrefaçon. C'est un délit au sens de l'article L 335-2 du code de la propriété intellectuelle.

En outre, le fait de commettre un plagiat dans un document destiné à être publié constitue une circonstance aggravante.

Article 2

Les usagers et les personnels de l'Université ne doivent pas commettre de plagiat dans leurs travaux.

Article 3

Les reproductions de courts extraits de travaux préexistants en vue d'illustration ou à des fins didactiques sont admises sans nécessité de demander le consentement de l'auteur, uniquement dans le strict respect de l'exception de courte citation.

Dans ce cadre, les usagers et les personnels de l'Université s'engagent, lorsqu'ils reproduisent de courts extraits de tels travaux, à identifier clairement qu'il s'agit d'un emprunt, en apposant des guillemets, et en indiquant le nom de l'auteur et la source de l'extrait.

Article 4

L'Université d'Aix-Marseille est attachée au respect des droits de propriété intellectuelle et se réserve la possibilité de rechercher les tentatives de plagiat, notamment par l'utilisation d'un logiciel adapté.

Article 5

Les cas présumés de plagiat feront l'objet de poursuites engagées par l'Université devant les instances compétentes, et leurs auteurs seront passibles de sanctions disciplinaires.

Ces violations des droits de propriété intellectuelle pourront également donner lieu à des poursuites judiciaires.

Je, soussignée, Pauline BELLARD certifie avoir pris connaissance de la présente charte et l'avoir respectée

Fait à Corte, le 13 août 2023

Signature :



Remerciements

En cette étape marquante de mon parcours, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les personnes et les institutions qui ont joué un rôle essentiel dans ce stage.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes remerciements à Ange Bianchini pour m'avoir donné la possibilité de réaliser ce stage, ainsi que pour son suivi tout au long de cette étude.

Je tiens également à remercier ma responsable de stage, Yin Yang. Un grand merci pour ses conseils, son encadrement mais aussi pour sa gentillesse et sa bienveillance. Merci de m'avoir fait découvrir la Corse sous un nouvel angle à travers toute sa biodiversité. Je la remercie également pour les très nombreuses relectures et corrections apportées à cette rédaction.

J'exprime également mes remerciements et mon profond respect aux membres du jury pour l'attention et le temps consacrés à l'égard de mon travail.

Je remercie Jennifer Mejean pour ses corrections, ses conseils avisés et sa bonne humeur.

Je souhaite également adresser mes remerciements chaleureux aux apiculteurs qui nous ont accueillis avec générosité et partagé leurs connaissances précieuses. Votre passion pour l'apiculture, votre expertise et votre ouverture d'esprit ont enrichi mon expérience et ont renforcé ma compréhension de ce domaine fascinant.

Merci à l'ensemble des personnes de la station expérimentale d'Altiani pour avoir créé un environnement d'apprentissage stimulant et inspirant.

Un grand merci à Benoît Geslin d'avoir accepté d'être mon tuteur universitaire pour ce stage.

Un merci tout particulier à Amandine Robin, pour son soutien et pour m'avoir fait découvrir une autre filière agricole à travers les dégustations de brocci. Aussi, un grand merci à Serena André et Abi Godzina pour leur soutien et pour leur aide sur ce mémoire.

Je remercie aussi mes parents, mes frères et ma famille pour m'avoir soutenue et aidée tout au long de ce stage.

Enfin, je remercie l'ensemble des partenaires qui ont permis le financement et la réalisation de ce stage : le Laboratoire de Recherche sur le Développement de l'Élevage (INRAE LRDE-SELMET), le Conservatoire Botanique National de Corse et l'Observatoire Conservatoire des Invertébrés de Corse (respectivement, CBNC et OCIC - Office de l'Environnement de la Corse), le Laboratoire Sciences Pour l'Environnement (Université de Corse) et l'Institut Technique et Scientifique de l'Apiculture et de la Pollinisation (ITSAP).

À tous, un grand merci !

Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Matériel et Méthodes	6
2.1. Site d'étude	6
2.2. Design expérimental	7
2.3. Collecte des données météorologiques et du poids des ruches.....	8
2.4. Collecte des données floristiques.....	8
2.5. Évaluation des potentialités mellifères	9
2.6. Analyses statistiques	9
2.6.1. Effets du climat sur le rendement en miel	10
2.6.2. Biodiversité des ruchers et rendement en miel	10
3. Résultats.....	12
3.1. Caractéristiques des ruchers.....	12
3.1.1. Climat des microrégions	12
3.1.2. Diversité spécifique	12
3.1.3. Structure du paysage.....	14
3.2. Rendement en miel et climatologie.....	15
3.3. Rendement en miel et diversité des habitats	16
4. Discussion.....	17
4.1. Effets de la variabilité du climat sur le rendement en miel.....	17
4.2. Potentialités mellifères et rendement en miel	18
4.3. Impact potentiel du changement climatique	21
4.4. Limites de l'étude	23
5. Conclusion	24
6. Références bibliographiques.....	26

1. Introduction

La délicate équation entre les systèmes écologiques et la production agricole constitue un enjeu majeur dans la préservation des écosystèmes et la sécurité alimentaire. Au cœur de cette dynamique, les pollinisateurs, et en particulier l'abeille domestique *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera : Apidae), émergent comme des acteurs clefs. Cependant, ces dernières années ont été marquées par une tendance préoccupante, notamment en Corse, où la production de miel témoigne d'une décroissance persistante (Brown et al., 2016; Picknoll & Poot, 2021; Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica, 2020) renforçant l'urgence d'investigations.

La pollinisation réalisée par les abeilles est une force motrice sous-tendant la reproduction des plantes de 85 % des espèces sauvages (Ollerton et al., 2011) et 35 % des espèces cultivées (Klein et al., 2007). *A. mellifera* se distingue par sa valeur économique exceptionnelle grâce à sa production de miel, aux services de pollinisation qu'elle fournit, à sa vaste distribution à travers des climats variés et à son grand potentiel d'adaptation (via l'existence de nombreux écotypes).

Le déclin préoccupant de la production de miel ne peut être attribué à un facteur isolé, mais résulte d'une conjonction complexe de plusieurs éléments interdépendants. Parmi eux, les changements dans les potentialités des miellées jouent un rôle crucial (Flores et al., 2019; Gajardo-Rojas et al., 2022; Takkis et al., 2015). Le nectar et le pollen sont des ressources essentielles pour *A. mellifera* puisqu'ils constituent leur alimentation de base (Haydak, 1970). Le nectar, riche en sucres, fournit l'énergie nécessaire à diverses activités quotidiennes telles que le vol, la thermorégulation, ou encore la production de cire (Wright et al., 2018). Le pollen, quant à lui, est une source de protéines, de lipides, d'acides aminés, de vitamines et de minéraux cruciaux dans l'alimentation et l'élevage du couvain, la croissance et la répartition des tissus cellulaires ou encore dans la résistance aux maladies (Picknoll & Poot, 2021). Ce partenariat entre *A. mellifera* et les plantes à fleurs façonne la biodiversité, tout en soutenant les chaînes alimentaires et les écosystèmes à grande échelle.

Un deuxième élément clé réside dans la réduction de la diversité écologique (Picknoll & Poot, 2021) et l'appauvrissement des habitats (Brown et al., 2016; Picknoll & Poot, 2021). La disponibilité et la diversité des plantes à fleurs, sources de nectar et de pollen, déterminent la qualité et la quantité des ressources accessibles pour les abeilles. La diversité florale et l'abondance des espèces végétales (notamment des herbacées) jouent un rôle essentiel dans la régulation des agroécosystèmes afin de maintenir les services de pollinisation (Decourtye et al., 2011). Lorsque la diversité florale diminue, les colonies peuvent se retrouver confrontées à des

pénuries de nourriture, entravant ainsi leur développement et leur reproduction. De plus, cette réduction de la diversité végétale peut conduire à une concurrence accrue entre les abeilles elles-mêmes, mais également entre les abeilles et d'autres pollinisateurs, exacerbant ainsi les pressions sur les ressources disponibles (Ropars, 2020).

Le potentiel de récolte de nectar et de pollen, communément désigné comme potentiel mellifère, est intrinsèquement lié aux caractéristiques des plantes et de leur environnement (Ion et al., 2018). Il est défini comme la quantité théorique de miel pouvant être obtenu au cours d'une saison provenant d'un hectare de terres couvertes de végétation. Ce potentiel est dépendant du nombre total de fleurs produites par plante, des quantités de nectar et de sucre sécrétés par chaque fleur et des caractéristiques de la floraison (*i.e.* période, durée, longévité des fleurs, etc.). Cependant, le taux de nectar et la concentration en sucres varient selon la morphologie des fleurs et plus particulièrement, de leur corolle mais aussi selon les conditions microclimatiques de l'habitat (température, humidité, évaporation) (Jocić et al., 2004). De même, le potentiel à collecter du nectar dépend fortement du climat et de l'arrangement spatial des ressources dans le paysage (Gavina et al., 2014; Menz et al., 2011).

Parallèlement, les effets du changement d'usage des terres et de l'urbanisation sont manifestes dans la fragmentation et la perte d'habitats naturels. Les paysages transformés par l'urbanisation et l'expansion humaine se traduisent souvent par une diminution de la diversité florale et la raréfaction des ressources pour les abeilles. Les distances accrues entre les sources de nourriture peuvent exiger des efforts plus importants de la part des abeilles pour collecter des ressources (Eckert, 1933). Ces déplacements dépassent alors l'énergie gagnée entraînant une réduction du butinage par les colonies et un épuisement des stocks de ressources alimentaires au sein des ruches. De plus, les changements dans la morphologie des paysages peuvent influencer la distribution des ressources, rendant certaines zones moins accessibles aux abeilles pour la collecte de nectar (Picknoll & Poot, 2021). La composition et la configuration des ressources végétales sont alors d'autant plus importantes que *A. mellifera* ne visite exclusivement qu'une espèce par vol (Battesti, 1990). Ce phénomène met en lumière la dépendance étroite entre les abeilles et les espèces végétales.

Dans ce contexte, le changement climatique apparaît comme un facteur déterminant, ayant un impact considérable sur le cycle de développement d'*A. mellifera* et sur la distribution des plantes à fleurs, source fondamentale de son alimentation (Le Conte & Navajas, 2008). Il est actuellement l'une des raisons majeures des désordres ayant lieu dans les colonies (Flores et al., 2019). En apiculture, le climat est un des facteurs déterminant les modalités d'expression et

d'utilisation des potentialités apicoles, y compris le déroulement des miellées. Les colonies d'*A. mellifera* ne sortent des ruches que sous des conditions climatiques optimales (*i.e.* pas de températures trop basses, de vents forts ou encore de précipitations violentes). Cependant, les phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et les sécheresses prolongées ont des répercussions significatives sur le bien-être des abeilles. Ces conditions climatiques défavorables limitent les fenêtres temporelles pendant lesquelles les abeilles peuvent quitter la ruche pour butiner, entraînant une réduction des opportunités de collecte de nectar et de pollen, et perturbant ainsi l'approvisionnement alimentaire des colonies. La ressource en eau, élément vital pour la prospérité des abeilles et des plantes à fleurs, est également menacée par le changement climatique. Les abeilles ont un besoin crucial d'eau pour leurs activités quotidiennes, notamment pour refroidir la ruche et diluer le miel cristallisé (Joachimsmeier et al., 2012). La raréfaction de l'eau peut donc engendrer des tensions supplémentaires pour les colonies et limiter leur capacité à faire face aux défis environnementaux.

Les pressions anthropiques viennent intensifier les défis posés par le changement climatique. Comme vu précédemment, l'urbanisation et les changements des terres altèrent la structure des paysages et la disponibilité des habitats naturels. Ainsi, la convergence du changement climatique et des pressions anthropiques érode les ressources alimentaires des abeilles tout en compromettant leurs capacités physiologiques et comportementales.

La Corse, au cœur de la Méditerranée, abrite un écosystème unique qui a longtemps été un pilier de la biodiversité et de la production de miel. Cependant, elle témoigne d'une décroissance persistante dans sa production de miel, un phénomène observé depuis 2010 (Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica, 2020 ; Annexe 1).

En Corse, le miel provient de nectars et/ou de miellats butinés par les abeilles d'écotype Corse *A. m. mellifera* sur des associations végétales spontanées et naturelles de la Corse (en dehors de quelques plantations de *Citrus sp.*), en accord avec le cahier des charges prédéfini par l'AOP Miel de Corse - Mele di Corsica (Cahier des charges de l'appellation d'origine « Miel de Corse - Mele di Corsica », 2013). Les miels corses sont caractéristiques des habitats et des espèces végétales, et suivent les dynamiques des floraisons tout au long de l'année. Ils sont classés en six gammes variétales : (i) miel de Printemps, (ii) miel de Maquis de Printemps, (iii) miel de Maquis d'Été, (iv) miel de Maquis d'Automne, (v) miel de Châtaigneraie, et (vi) miel de Miellat du Maquis. Chacune de ces gammes dépend des successions des productions apicoles dans l'année. Chaque catégorie de miel correspond à un paysage, à une physionomie de la végétation

et à des associations floristiques en rapport avec les typicités du terroir. Ces miels sont uniques puisque certaines espèces sont endémiques et sub-endémiques tandis que d'autres sont absentes en Corse (mais présentes sur le continent). Les miels printaniers représentent une végétation caractéristique des maquis qu'il est possible d'observer jusqu'à 1 200 m d'altitude, mais aussi des vergers de clémentinier (pour le miel de Printemps - Clémentinier) et des pelouses d'*Asphodelus ramosus* L. (pour le miel de Printemps Asphodèle). *A. m. mellifera corsica* (*i.e.* écotype corse) se distingue des autres écotypes présents sur le continent français par sa parfaite adaptation aux conditions climatiques et géographiques de la Corse. Elle présente une langue plus longue, des poils plus courts et un index cubital plus élevé que les autres écotypes d'*A. m. mellifera*. Ces caractéristiques lui permettent de profiter au mieux de la succession de floraison au cours de l'année. Cependant, elles ne sauraient suffire pour faire face aux pressions croissantes résultant du changement climatique et des pressions anthropiques.

La Corse est souvent décrite comme une « montagne dans la mer » avec un relief particulièrement accidenté, découpant l'île en plusieurs microrégions selon le climat. De cette manière, plusieurs étages bioclimatiques sont définis et conditionnent la nature de la végétation existante (Battesti, 1990; Gamisans, 1978).

Le régime hydrique de la Corse est de type pluvio-nival à caractère méditerranéen. Il se caractérise par des pluies intenses en automne, un apport de neige en hiver et une période de sécheresse de cinq à sept mois en été. Ces apports en eau sont cruciaux dans la prospérité des colonies d'*A. mellifera* et des végétaux dont elles dépendent. Cependant, dans un contexte de changement climatique, les vagues de chaleurs et de sécheresses sont de plus en plus fréquentes et intenses (Arias et al., 2021; Mori et al., 2017). Cela est d'autant plus problématique que les ressources en eau de la Corse tendent à diminuer car l'eau provenant des précipitations automnales soudaines et violentes est peu absorbée par la végétation tandis que le manteau neigeux est de plus en plus réduit (Orsini, 2022).

En somme, les spécificités insulaires de la Corse confèrent un caractère unique à la problématique de la décroissance de la production apicole. Les conditions topographiques, climatiques et écologiques complexes façonnent les interactions entre les abeilles et leur environnement. Une compréhension approfondie de ces spécificités offre des perspectives cruciales pour concevoir des stratégies de conservation qui tiennent compte des défis et des opportunités inhérents à la Corse.

Avec les changements globaux et la diminution significative des produits apicoles, les apiculteurs de différentes régions du monde ont mis en place plusieurs méthodes, notamment

la pratique de transhumance et le nourrissage des colonies, afin de s'adapter à ces environnements changeants (Gajardo-Rojas et al., 2022; Lehébel-Péron et al., 2016; Vercelli et al., 2021). Des études précédentes sur la diversité de pratiques apicoles insulaires ont recensé des mesures d'adaptation mises en place par les apiculteurs corses comme les pratiques de transhumance (leur période et leur fréquence), l'augmentation de fréquence de visite et notamment le nourrissage de colonie depuis 2017 (Orhant, 2021; Sannier, 2022). Cependant, ces pratiques ne sont pas suffisantes pour contrer la diminution de production de miel et subvenir à la demande des colonies pour nourrir la caste ouvrière d'*A. mellifera*. En effet, en Corse, le rendement en miel a drastiquement diminué de plus de 50 %, passant d'un rendement moyen par ruche de 27 kg – sur la période s'étalant de 1999 à 2010 – à seulement 14 kg de 2011 à 2020 (Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica, 2020). Les apiculteurs insulaires ont signalé à plusieurs reprises les effets du changement climatique (e.g. ressources nectarifères trop faibles dues aux sécheresses) sur les colonies d'*A. mellifera*, résultant avec une baisse de production en miel (Orhant, 2021; Sannier, 2022). Néanmoins, il reste important de transformer ces suppositions en données scientifiques afin de comprendre les problématiques liées aux colonies corses d'*A. mellifera*. Tout cela doit être alors basé sur des modèles scientifiques en proposant des mesures préventives et correctives. Ainsi, pour tenter de déterminer les causes de cette baisse de production des miels insulaires, le syndicat AOP Miel de Corse – Mele di Corsica et l'Office du Développement Agricole et Rural de Corse (ODARC) ont mis en place un Comité Scientifique et Technique Apicole (CSTA). Trois thèmes d'investigation ont été définis afin d'améliorer la compréhension des phénomènes en jeu dans cette problématique : i) le suivi des floraisons, de l'évolution des miellées et de la disponibilité des ressources nectarifères et pollinifères ; ii) le lien entre les productions de miel AOP, les aspects météorologiques et les pratiques apicoles ; et iii) la coexistence de l'apiculture avec les autres filières agricoles et les activités humaines.

Ce stage s'inscrit dans cette première prérogative et fait suite à de premiers travaux menés en 2021 et 2022 sur l'évaluation des potentialités des miellées printanières de Corse. L'objectif principal de cette étude est de déterminer les facteurs écologiques majeurs à l'origine des variations de la production des miels printaniers en Corse. D'une part, les ressources nectarifères et pollinifères sont importantes pour la pérennité des colonies d'*A. mellifera* et une biodiversité plus importante aux alentours des ruchers est supposée favorable à une production de miel (Brown et al., 2016; Hicks et al., 2016).

D'autre part, le climat est connu pour impacter l'activité de butinage des abeilles (Flores et al., 2019) et la floraison des espèces végétales sur lesquelles elles butinent (Ogaya & Peñuelas, 2007). Bien que diverses études traitent des pratiques apicoles dans un contexte de changement

climatique, très peu s'orientent sur l'impact actuel des dynamiques des floraisons et des variations climatiques dans la production de miel. Plusieurs études mettent en évidence une disponibilité de nectar insuffisante mais des lacunes subsistent pour en connaître les causes (Ion et al., 2018; Takkis et al., 2015, 2018). Une meilleure connaissance du fonctionnement du maquis et de la diversité spécifique de la flore qui le constitue est nécessaire pour identifier son rôle dans le rendement en miel.

Des conditions de sécheresses de plus en plus extrêmes sont attendues dans les prochaines années, pouvant mettre en péril l'apiculture (IPCC, 2021). Du fait d'une diversité importante des écotypes d'*A. m. mellifera*, ceux-ci ont souvent été négligés des études. À notre connaissance, aucune étude sur *A. m. mellifera* corsica n'a été effectuée et aucun lien n'a été mis en évidence sur l'impact des variations climatiques et de la biodiversité sur leur activité de butinage. L'écotype corse est adapté au climat et à la végétation de l'île, mais il reste à savoir si celui-ci est suffisamment résilient pour pouvoir s'adapter rapidement à la dynamique de changement des conditions environnementales.

Ainsi, cette étude est basée sur trois grands axes. Premièrement, une caractérisation générale de la flore et des associations végétales au printemps a été effectuée dans le but d'approfondir les connaissances sur les écosystèmes matorrals corses et leur fonctionnement. Ensuite, une évaluation de l'impact des variations climatiques a été effectuée afin de déterminer les conditions optimales à une production en miel. Enfin, une évaluation des potentialités mellifères a été réalisée à travers des inventaires floristiques pour identifier les dynamiques végétales pouvant être à l'origine de la variabilité du rendement. Ces éléments ont par la suite été mis en lien dans un contexte de changement climatique et d'anthropisation.

Cette étude préliminaire permettra d'apporter des premiers éléments de réponses afin d'établir des préconisations auprès des apiculteurs pour un rendement en miel optimal.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Site d'étude

L'étude a été conduite sur toute l'île de Corse (Haute-Corse et Corse-du-Sud, France) au sein du bassin Méditerranéen. Cette région est caractérisée par des reliefs abrupts dont le plus haut sommet, le Monte Cintu, culmine à 2 706 m d'altitude. Elle est soumise à un climat méditerranéen avec une sécheresse marquée en été et des précipitations importantes en automne et en hiver. Les précipitations moyennes annuelles sont de 687,1 mm tandis que la température moyenne annuelle est de 15,3 °C. En montagne, les précipitations sont plus abondantes,

atténuant le caractère méditerranéen du régime hydrique (Gärtner et al., 2011). Elles dépendent également des vents humides et de l'instabilité des masses d'air, ce qui peut être à l'origine de pluies violentes et irrégulières très présentes en plaine. Ces dernières ne permettent pas un développement optimal des végétaux et favorisent le processus d'érosion et de dégradation des sols. La température, quant à elle, varie à travers sa latitude et ses reliefs qui sont à l'origine de variations notables à travers l'altitude et l'exposition des versants.

2.2. Design expérimental

Cette étude fait suite à de premiers travaux réalisés en 2021 et en 2022 sur le suivi des floraisons, l'évolution des miellées et la disponibilité des ressources nectarifères et pollinifères. Ils contiennent des enquêtes auprès des apiculteurs, des relevés botaniques, une collecte des données météorologiques et une cartographie des ruchers. Dans l'objectif d'apprécier les changements interannuels des miellées printanières, cette étude est prévue pour s'étendre sur plusieurs années.

Les disponibilités mellifères printanières ont été évaluées à travers différents ruchers en Corse, dont la gestion est réalisée sur la base de pratiques apicoles conformes au cahier des charges de l'AOP Miel de Corse - Mele di Corsica. L'échantillonnage a été basé sur une étude précédente portant sur le recensement des pratiques apicoles mises en œuvre par les apiculteurs (Orhant, 2021), qui a permis de collecter 95 emplacements dédiés à la production de miels de Maquis de Printemps et de Printemps.

Dix-sept ruchers ont été sélectionnés avec l'accord des apiculteurs concernés. Leur répartition a été définie de manière suffisamment étendue pour pouvoir attribuer à ce travail un caractère régional représentatif, dans la limite de l'échantillonnage. Ils sont situés du littoral à la montagne, entre 84 et 583 m d'altitude, dans différentes microrégions (Fig. 1), afin de prendre en compte la diversité des différentes composantes du milieu (*i.e.* le relief, les conditions climatiques, la végétation environnante). Seule la microrégion de la Castagniccia n'a pas été prise en compte dans cette étude du fait de la dominance des châtaigniers dans le paysage, lesquels sont caractéristiques du miel de Châtaigneraie et non des miellées printanières.

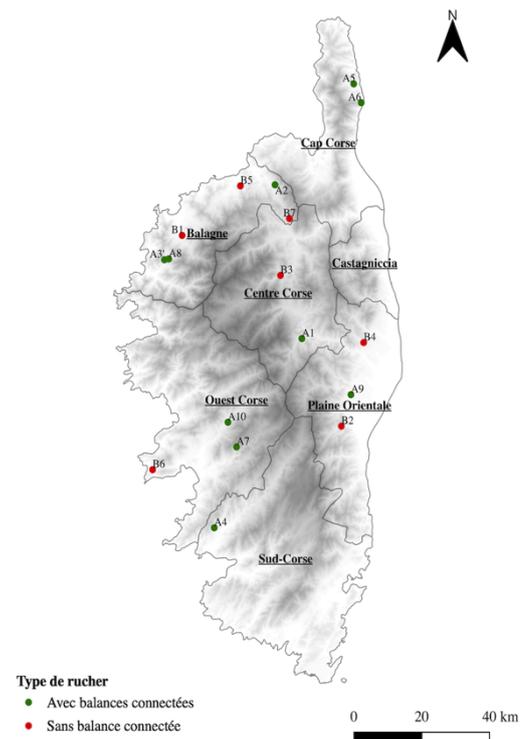


Fig. 1. Localisation des différents ruchers.

Ces ruchers sélectionnés ont été divisés en deux groupes : (A) dix ruchers équipés d'une station météorologique et de trois balances connectées (BeeGuard®, France), (B) sept ruchers n'étant équipés d'aucune balance connectée mais proche d'une station météorologique (Fig. 1).

Nota Bene : Des ruchers de substitution ont dû être définis pour diverses raisons (*e.g.* production trop faible, cessation des accords entre le propriétaire du terrain et l'apiculteur). Ainsi, A3', B6 et B7 sont des ruchers de remplacement. A3' se situe à quelques kilomètres de A3.

2.3. Collecte des données météorologiques et du poids des ruches

Afin d'évaluer l'impact du climat sur la production de miel, les données climatiques des ruchers du groupe A ont été enregistrées grâce à une station météorologique connectée aux balances des ruches (BeeGuard®, France). Elles permettent le recueil des données de pluviométrie, d'hygrométrie, de direction et de vitesse du vent, de pression atmosphérique ainsi que de la température extérieure sur un pas horaire de 1 h. Ces stations et leurs balances connectées ont été installées au début de chaque saison des miellées printanières depuis 2022, chacune placée sous une ruche aléatoirement. Celles-ci pouvant être déplacées, elles permettent le suivi des transhumances des apiculteurs des ruchers. Les données de poids des ruches ont été extraites à minuit lorsque la totalité des abeilles a rejoint la ruche et que les apiculteurs n'effectuent pas de manipulation. Les variations quotidiennes dues à des manœuvres de l'apiculteur (*e.g.* retrait des hausses) ont été corrigées afin d'obtenir l'évolution la plus juste possible du poids des ruches.

Les ruchers du groupe B se situent à proximité directe d'une station météorologique conforme aux normes en vigueur concernant le recueil des températures journalières, le cumul des précipitations et la vitesse et la direction des vents. Aucune donnée de poids des ruches n'a été recueillie, seul le rendement total a pu être obtenu auprès des apiculteurs.

Les variables climatiques ont été recalculées sur une moyenne des valeurs de chacune des variables climatiques entre 9 h et 17 h, correspondant aux horaires d'activité des abeilles (Aryal et al., 2016).

2.4. Collecte des données floristiques

Des relevés botaniques ont été effectués au printemps, dans un rayon de 500 m autour du rucher afin d'estimer la diversité floristique qui y est présente. Cela correspond à la distance où

les abeilles butinent le plus (Battesti, 1990; Yédomonhan et al., 2012). L'évolution de la floraison sur chaque site a été appréhendée sur la base de deux visites réalisées à six semaines d'intervalle.

Chaque rucher a été divisé en plusieurs milieux correspondant chacun à un type d'habitat (e.g. chênaie ouverte, oliveraie, maquis à strate arbustive haute dominante) où les espèces végétales sont similaires. Une cartographie des différents habitats de chaque emplacement a été réalisée sur un logiciel de système d'information géographique (QGIS Development Team, 2022).

Pour chaque habitat, les espèces végétales ont été dénombrées et identifiées à l'aide d'une flore locale (Jeanmonod & Gamisans, 2013). Une identification *a posteriori* à partir d'exsiccata préalablement recueillis sur le terrain a été effectuée. Toutes les espèces de plantes vasculaires ont été caractérisées par des coefficients d'abondance-dominance et des indices de sociabilité, selon la procédure de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1932) et de Gillet (Gillet et al., 1991) respectivement. Du fait d'un manque d'intérêt apicole et d'expertise d'identification, les lichens et les bryophytes n'ont pas été décomptés et identifiés dans cette étude.

Des associations phytosociologiques des espèces végétales ont été définies pour chaque habitat d'après un référentiel (Gamisans, 2003; Reymann et al., 2016 ; Annexe 2).

2.5. Évaluation des potentialités mellifères

Les potentialités mellifères ont été évaluées à partir d'indices de possibilités apicoles des espèces végétales de la Corse (Conrad, 1977). Ces indices ont été divisés en trois classes : i) les potentialités nectarifères, ii) les potentialités miellatifères, et iii) les potentialités pollinifères. Elles ont été calculées sur la base des 100 espèces ayant le recouvrement le plus important. Dans le cadre de cette étude, seules les potentialités nectarifères ont été estimées afin de déterminer l'intérêt des ressources végétales ayant un intérêt apicole au sein d'un rucher. Celles-ci s'étendent sur un indice ordinal allant de 1 (*i.e.* espèces produisant de 0 à 5 kg.ha⁻¹) à 6 (*i.e.* espèce produisant plus de 500 kg.ha⁻¹).

2.6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.2.1 (R Core Team, 2022). Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. La normalité et l'homoscédasticité des échantillons et des résidus ont été vérifiées en utilisant les tests de Shapiro-Wilk et de Bartlett, respectivement.

Les données d'abondance/dominance des relevés botaniques ont été transformées en valeur numérique selon la procédure de van der Maabel (1979) avant les analyses statistiques. Les données de présence/absence utilisées pour les calculs des indices de biodiversité ont été dérivées de la matrice de données d'abondance/dominance. Les données de recouvrement (espèces et habitats) ont été extraites par un fichier texte délimité dont le calcul de surface a été mesuré à partir de la cartographie des différents ruchers (effectuée préalablement sur QGis).

2.6.1. Effets du climat sur le rendement en miel

Afin d'étudier l'influence du climat sur le poids des ruchers, des modèles additifs généralisés (GAM) ont été réalisés à l'aide du package *mgcv* (Wood, 2011). Ces modèles ont été utilisés à partir des données météorologiques des stations connectées. Ils ont permis de modéliser une variable non-linéaire (*i.e.* poids des ruches) avec des fonctions de lissage appliquées sur les variables explicatives (*i.e.* variables climatiques). Les degrés effectifs de liberté (edf) correspondent aux termes lisses $s()$ utilisés dans la fonction de lissage pour chacune des variables climatiques. Plus le nombre de degrés de liberté est élevé, plus la courbe est complexe et ondulée.

La variable « précipitation » extraite des données des stations météorologiques des ruchers n'a pas été analysée en raison de divers problèmes d'enregistrement. De plus, suite à une tempête au début du printemps 2023, des dommages ont été occasionnés sur la station météorologique de l'un des ruchers connectés. De ce fait, aucune donnée n'a pu être recueillie lors de la saison des miellées printanières.

Afin de connaître la variabilité des conditions climatiques entre 2022 et 2023, un test de Wilcoxon a été réalisé sur les variables climatiques. Un test de comparaison par microrégion a également été réalisé à l'aide de la fonction *pairwise_wilcox_test()* (Kassambara, 2023).

2.6.2. Biodiversité des ruchers et rendement en miel

Afin d'apprécier la diversité des différents ruchers, des indices de biodiversité ont été calculés à l'aide du package *vegan* (Oksanen et al., 2022).

La diversité α , c'est-à-dire la richesse intra-formation, a été quantifiée à l'aide du calcul de :

- (i) la richesse spécifique qui a mis en évidence le nombre d'espèces présentes sur chacun des ruchers,
- (ii) l'indice de Shannon : il a permis de mesurer la stabilité des communautés et de prendre en considération la richesse et l'abondance relative des espèces,

- (iii) l'indice de Simpson : il a permis de mesurer la probabilité que deux individus tirés au hasard à partir d'un échantillon appartiennent à la même espèce,
- (iv) l'indice de Piélou : il a permis de mesurer la répartition des individus au sein des espèces.

La diversité β , c'est-à-dire la diversité inter-formation, a été quantifiée à l'aide de l'indice de Jaccard. Par la suite, une classification ascendante hiérarchique a été effectuée à partir de cet indice.

Des modèles linéaires généralisés (GLM) et des modèles linéaires (LM) ont été effectués afin de déterminer si les indices de diversité étaient significativement différents au niveau des microrégions. Un test de corrélation de Spearman a été effectué dans le but de savoir si le rendement en miel était corrélé à la diversité spécifique au sein des ruchers.

Dans le but de comparer la variabilité de la biodiversité des ruchers entre 2022 et 2023, un test de Student a été effectué pour chacun des indices.

Pour déterminer le rôle des habitats dans le rendement en miel, une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée. Les différents habitats et les associations végétales ont permis de rassembler les entités en huit grands ensembles : (i) pelouse, (ii) pelouse à *Asphodelus ramosus*, (iii) maquis, (iv) maquis à *Erica arborea*, (v) forêt, (vi) forêt ripicole, (vii) verger de clémentinier, et (viii) zone sans intérêt apicole. Ils ont permis de mettre en évidence la structure générale des différents ruchers. La production de miel a été ajoutée comme variable quantitative supplémentaire afin de mettre en évidence les grands ensembles floristiques les plus représentés dans le miel.

Afin de tester si le recouvrement des habitats a un effet significatif sur la production de miel, un modèle linéaire à effets mixtes (LMM) a été réalisé à l'aide du package *lme4* (Bates et al., 2015). Les types d'habitats (*i.e.* maquis, maquis à *E. arborea*, pelouse, etc.) ont été définis comme variables fixes. Les microrégions ont été utilisées comme variables aléatoires afin de tenir compte des corrélations spatiales. Le calcul du R^2 a été effectué à l'aide du package *MuMIn* (Bartoń, 2023). Le R^2 marginal ne considère que la variance des effets fixes (sans les effets aléatoires), tandis que le R^2 conditionnel prend en compte à la fois les effets fixes et aléatoires (*i.e.* le modèle total).

Dans le but de connaître l'impact d'une mosaïque d'habitats et du recouvrement des ressources les plus nectarifères dans la production de miel, un modèle linéaire à effets mixtes a été effectué. Ici, les microrégions ont été utilisées comme variables aléatoires afin de tenir compte des corrélations spatiales.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques des ruchers

3.1.1. Climat des microrégions

En 2023, les températures moyennes printanières ont été de 16,73 °C avec un maximum de 40,71 °C et un minimum de -1,28 °C. L'humidité moyenne relevée est de 72,05 % ($\pm 11,20$ %) et la vitesse des vents moyenne s'est située à 5,73 km.h⁻¹. L'année 2022 a été soumise à une importante sécheresse avec des températures quotidiennes moyennes très élevées (18,44 \pm 4,88 °C) et une humidité relativement basse (58,42 \pm 13,01 %). Les microrégions ont présenté des conditions climatiques significativement différentes (Tableau I ; Annexe 4).

Tableau I. : Climatologie des différents ruchers en 2022 et en 2023, entre 9 h et 17 h (moyenne).

	Année	Température (°C)			Amplitude thermique (°C)	Humidité (%)	Vitesse des vents (km.h ⁻¹)
		Moyenne	Maximale	Minimale			
Balagne	2022	18,83	28,92	12,30	16,63	62,55	9,49
	2023	14,87	24,60	8,23	16,37	69,61	10,26
Cap Corse	2022	15,34	24,39	9,69	14,70	67,86	5,00
	2023	13,02	22,65	7,24	15,41	68,45	5,06
Centre-Corse	2022	15,96	27,48	5,59	21,89	64,84	7,80
	2023	15,16	27,07	6,02	21,04	73,40	7,55
Ouest-Corse	2022	18,23	28,64	10,66	17,98	65,25	3,83
	2023	13,99	26,92	8,62	18,30	76,32	2,99
Plaine orientale	2022	19,39	29,03	11,36	17,67	59,37	7,13
	2023	17,25	27,26	9,56	17,70	72,37	1,94
Sud-Corse	2022	16,07	26,33	8,97	17,36	61,55	3,30
	2023	15,41	25,98	8,68	17,30	74,24	3,02

En dehors de l'amplitude thermique, les conditions climatiques ont été significativement différentes entre 2022 et 2023 (test de Wilcoxon, $p < 0,001$). Les température moyenne, maximale et minimale ont été 3,60, 3,91 et 3,23 °C plus chaudes en 2022 comparées à 2023. La vitesse des vents a été supérieure de 0,73 km.h⁻¹ en 2022 par rapport à 2023. L'humidité a été 9,23 % plus faible en 2022 comparée à 2023. Cependant, des variations sont à noter selon les microrégions où les ruchers sont présents (Annexe 5).

3.1.2. Diversité spécifique

Au total, 1 271 espèces végétales ont été recensées à travers l'ensemble des ruchers. Parmi elles, les 15 espèces recouvrant le plus les ruchers sont : *Quercus ilex* subsp. *ilex* (6,32 %), *Arbutus unedo* (4,98 %), *Erica arborea* (4,61 %), *Cistus monspeliensis* (4,32 %), *Olea europaea* (1,70 %), *Asphodelus ramosus* subsp. *ramosus* (1,36 %), *Rubus ulmifolius* (1,27 %), *Quercus suber* (1,25 %), *Alnus glutinosa* (0,92 %), *Citrus × clementina* (0,90 %), *Phillyrea angustifolia* (0,74 %), *Fraxinus ormus* var. *ormus* (0,71 %), *Hordeum murinum* subsp. *leporinum* (0,70 %), *Brachypodium retusum* (0,66 %) et *Cistus creticus* (0,59 %). Elles représentent à elles-seules 31,02 % du recouvrement végétal tous ruchers confondus.

Les inventaires floristiques effectués ont permis de mettre en évidence une diversité spécifique variée selon les ruchers (Tableau II). Une diversité significativement plus basse a été observée en 2022 comparée à 2023 (test de Student, p-value < 0,001). La diversité spécifique n'a pas été différente entre les microrégions (GLM et LM, p-value > 0,05). Cependant, le rendement en miel a été plus élevé avec une biodiversité plus importante (test de Spearman, $\rho = 0,75$, p-value < 0,001).

Tableau II. Biodiversité au sein de chaque rucher à partir de différentes approches : (i) richesse spécifique, (ii) indice de Shannon, (iii) indice de Simpson et (iv) indice de Piélou.

	Richesse spécifique		Indice de Shannon		Indice de Simpson		Indice de Piélou	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
A1	247	394	4,813	5,426	0,986	0,993	0,874	0,908
A2	155	221	4,507	4,905	0,983	0,989	0,894	0,909
A3	229	/	4,908	/	0,989	/	0,903	/
A3'	/	278	/	5,227	/	0,993	/	0,929
A4	101	238	4,204	5,053	0,977	0,991	0,911	0,923
A5	226	248	5,071	5,139	0,991	0,992	0,936	0,932
A6	111	174	4,373	4,857	0,982	0,990	0,928	0,942
A7	110	235	4,270	4,893	0,979	0,988	0,908	0,896
A8	196	356	4,790	5,222	0,987	0,991	0,907	0,889
A9	171	243	4,798	5,140	0,989	0,992	0,933	0,936
A10	225	372	4,824	5,273	0,987	0,992	0,891	0,891
B1	175	269	4,610	4,996	0,985	0,990	0,893	0,893
B2	144	226	4,541	4,940	0,984	0,989	0,914	0,911
B3	242	353	5,008	5,416	0,990	0,994	0,912	0,923
B4	260	399	5,147	5,508	0,992	0,994	0,926	0,920
B5	176	257	4,618	4,963	0,983	0,990	0,893	0,894
B6	/	326	/	5,199	/	0,992	/	0,898
B7	/	387	/	5,452	/	0,994	/	0,915

Cette diversité très différente, entre 2022 et 2023, s'explique par les conditions climatiques et la turgescence des espèces végétales. En 2022, les observations du terrain ont mis en évidence un stress hydrique très important avec une sécheresse marquée. La floraison d'*E. arborea*, espèce végétale caractéristique du miel de Maquis de Printemps, a été très limitée avec peu de fleurs. En 2023, les végétaux ont été turgescents en dehors de quelques individus pouvant être en stress hydrique. La floraison d'*E. arborea* a eu lieu sur la totalité des ruchers.

L'indice de Jaccard a permis de mettre en évidence des similitudes entre les différents ruchers (Fig. 2). Des clusters ont été définis pour une valeur de taille supérieure à 0,75. De manière générale, le cluster 1 a regroupé l'ensemble des ruchers de Balagne et du Sud-Corse. Le cluster 3 a regroupé l'ensemble des ruchers du Centre-Corse. Le cluster 4 a regroupé deux des trois ruchers de Plaine Orientale. Les autres ruchers ont montré des dissimilitudes en termes de diversité spécifique, notamment le cluster 2 au sein duquel aucun rucher ne provient de la même microrégion.

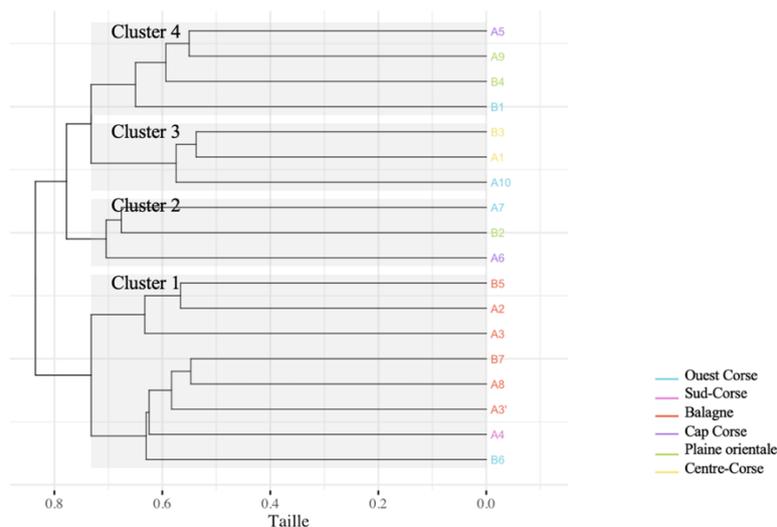


Fig. 2. Classification hiérarchique ascendante d'après l'indice de Jaccard.

3.1.3. Structure du paysage

Chacun des ruchers a présenté une diversité d'habitats où les maquis étaient les habitats les plus représentés (Fig. 3). Le rucher A9 fait exception car il s'agit d'un rucher typique pour la production de Miel de Printemps - Clémentinier expliquant le recouvrement important de vergers de clémentinier. Ces habitats ont été plus ou moins fragmentés au sein des différents ruchers, créant une réelle mosaïque. Le nombre de fragments d'habitat par rucher a varié entre 29 (B2) et 111 (A8). Cependant, cette mosaïque d'habitat n'a pas eu d'impact sur le rendement en miel. De même, la présence d'un recouvrement avec des espèces ayant un potentiel nectarifère important sur un rucher n'a pas expliqué un rendement plus abondant en miel. Enfin, des démaquisages ont eu lieu pour 12 ruchers, de l'ordre de 0,16 à 9,69 % du recouvrement total selon les ruchers. Proche d'un des ruchers étudiés, un incendie s'est déclaré le 28 juillet 2022, représentant 6,32 % . En 2023, le changement de la composition florale a été drastique, seulement des herbacées et des rejets de *E. arborea* étaient présents alors qu'il s'agissait, auparavant, d'un maquis dense d'*E. arborea* et d'*Arbutus unedo* L. au niveau de l'incendie.

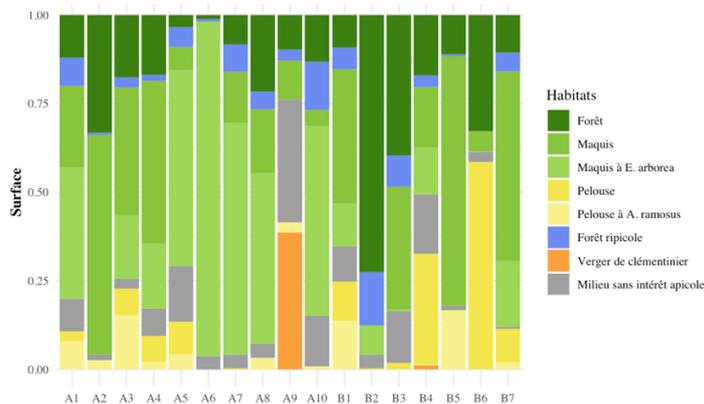


Fig. 3. Distribution du recouvrement des huit grands ensembles pour chaque rucher.

3.2. Rendement en miel et climatologie

L'analyse par modèle additif généralisé (GAM) a permis de mettre en évidence un impact significatif des conditions climatiques sur le rendement en miel (Tableau III). Ce modèle permet d'expliquer 42,4 % de la variation du poids des ruches. Les variables climatiques ont toutes mis en évidence une relation non-linéaire avec le poids des ruches.

Tableau III. Résultats de l'analyse par modèle additif généralisé du poids des ruches selon les variables climatiques. Les seuils de significativité sont représentés par : « * » pour $p < 0,05$, « ** » pour $p < 0,01$ et « * » pour $p < 0,001$.**

<i>Intercept</i>	Estimation	Erreur standard	p-value	
	46,780	0,230	<0,001	***
	edf	F	p-value	
Température (°C)	6,228	24,300	<0,001	***
Amplitude thermique (°C)	4,530	2,878	<0,001	***
Vitesse de vent (km.h ⁻¹)	8,196	67,592	<0,001	***
Humidité (%)	5,075	14,948	<0,001	***
Pression atmosphérique (hPa)	8,107	30,811	<0,001	***
R²			0,415	
Déviance expliquée			42,4 %	

La représentation graphique des analyses par GAM des variables de température moyenne, d'amplitude thermique, d'humidité et de vitesse de vent a permis de montrer les conditions optimales à la production de miel. Le rendement en miel est favorisé avec des températures situées aux alentours de 22 °C, une humidité de 70 à 80 % et des vents inférieurs à 5 km.h⁻¹. Une amplitude thermique élevée, une sécheresse ou encore des vents forts n'ont pas contribué à une production de miel favorable.

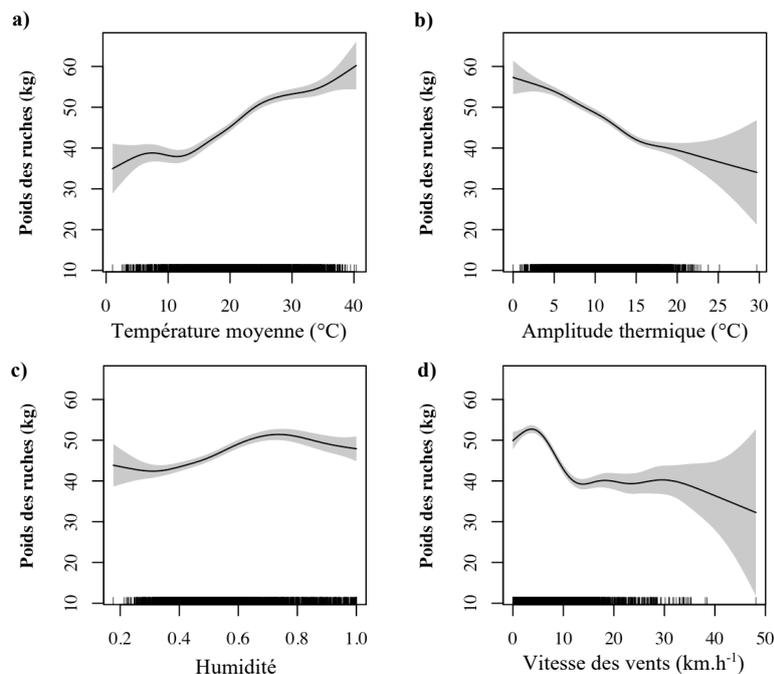


Fig. 4. Représentation graphique des analyses par GAM pour chacune des variables climatiques : a) la température (°C), b) l'amplitude thermique (°C), c) l'humidité et d) la vitesse des vents (km.h⁻¹).

3.3. Rendement en miel et diversité des habitats

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de mettre en évidence les habitats ayant un rôle prépondérant dans la production de miel (Fig. 5). Les ACP expliquent 70,2 % et 58,2 % de la variance pour 2022 et 2023, respectivement.

En 2022, la production a principalement résulté des espèces présentes dans les pelouses, dont les pelouses à *A. ramosus* (Fig. 5.a). L'apiculteur correspondant à la production de Miel de Printemps - Clémentinier a été mis à l'écart puisqu'il a été le seul à produire du miel grâce à la présence des vergers de clémentiniers. Alors que le miel de Maquis de Printemps est caractérisé par la présence de maquis à *E. arborea*, la production n'a pas dépendu de cette variable. Au contraire, elle a même été inversement proportionnelle. Cela corrèle avec sa faible floraison.

En 2023, la production a été expliquée par la présence de maquis à *E. arborea* mais également par des espèces présentes dans les forêts ripicoles (Fig. 5.b). La production de Miel de Printemps - Clémentinier a été plus faible en 2023, expliquant la relation inversement proportionnelle du rendement en miel selon le recouvrement en verger de clémentinier.

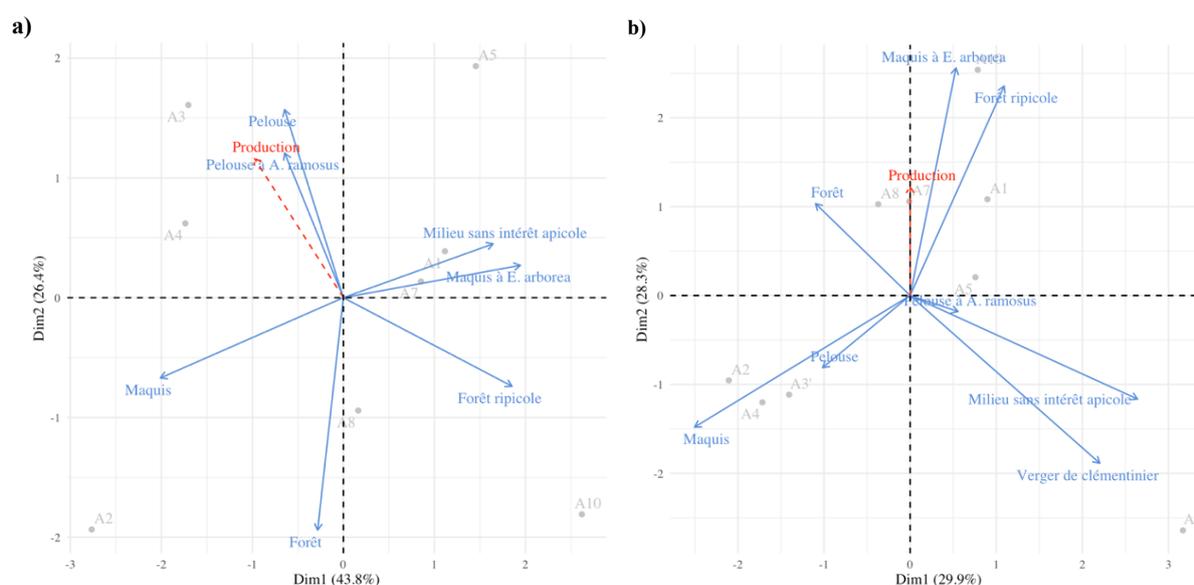


Fig. 5. Analyse en composantes principales de la production en miel d'après le recouvrement (%) des habitats sur les différents ruchers, en 2022 (a) et 2023 (b).

Les résultats du modèle linéaire à effets mixtes (LMM) ont permis de mettre en lumière des effets significatifs de certaines variables sur la production en miel (Tableau IV). En 2022, les résultats ont confirmé la représentation de l'ACP. En effet, il a été possible de remarquer qu'un recouvrement important en *E. arborea* n'a pas favorisé une production de miel. Cette dernière a nettement été favorisée par un recouvrement abondant en pelouse. En 2023, aucun effet significatif des divers habitats n'a été relevé sur la production en miel, contrairement à ce qui a pu être observé au travers de l'ACP.

Tableau IV. Régression linéaire à effets mixtes de la production de miel selon le recouvrement des divers habitats. Les seuils de significativité sont représentés par : « . » pour $p < 0,10$, « * » pour $p < 0,05$ et « ** » pour $p < 0,01$.

		Estimation	Erreur standard	p-value	
<i>Intercept</i>					
	2022	73,958	11,781	0,003	**
	2023	61,069	25,968	0,085	.
<i>Maquis (%)</i>					
	2022	-18,176	11,536	0,190	
	2023	-16,916	20,742	0,473	
<i>Maquis à E. arborea (%)</i>					
	2022	-30,356	9,466	0,033	*
	2023	1,292	17,728	0,947	
<i>Pelouse (%)</i>					
	2022	163,845	51,478	0,033	*
	2023	117,103	91,573	0,311	
<i>Pelouse à A. ramosus (%)</i>					
	2022	-68,374	43,467	0,191	
	2023	90,681	189,570	0,680	
R² marginal					
	2022				0,687
	2023				0,246
R² conditionnel					
	2022				0,687
	2023				0,899

4. Discussion

En Corse, les miellées printanières sont les premières miellées et peuvent être déterminantes sur le reste de la production de miel durant l'année dans le maintien des colonies en bonne santé, afin qu'elles soient prêtes pour les miellées suivantes. Principalement représentées par des ressources nectarifères en provenance des maquis, ces milieux sont soumis à d'importants facteurs de stress environnementaux. Cette étude préliminaire a mis en évidence les facteurs structurants des miellées printanières et l'impact de la variabilité interannuelle des ressources végétales et du climat sur le rendement en miel.

4.1. Effets de la variabilité du climat sur le rendement en miel

Le climat a joué un rôle prépondérant dans l'activité des abeilles et la production de miel, que ce soit au niveau de l'activité de butinage (effet direct) ou à travers la disponibilité des ressources nectarifères (effet indirect).

L'activité de butinage dépend fortement des conditions climatiques lors des horaires de sorties des abeilles. À travers cette étude, nous avons mis en évidence que les conditions optimales pour une production de miel étaient une température moyenne de 22 °C, une amplitude thermique faible (< 10 °C), une humidité de 70 à 80 % et des vents inférieurs à 5 km.h⁻¹. Ces conditions climatiques sont en accord avec d'autres travaux effectués, y compris dans des régions méditerranéennes (Asensio et al., 2016; Brittain et al., 2013; Clarke & Robert, 2018;

Puškadija et al., 2007; Vicens & Bosch, 2000). Ils confirment également les résultats préliminaires obtenus en 2022 mais ils doivent être consolidés grâce aux futures données qui seront récoltées (Bourreau, 2022; Sannier, 2022). Cependant, l'abeille corse étant adaptée à son écosystème avec un climat sec en été, il serait intéressant de poursuivre cette étude sur la saison estivale afin de connaître les limites de températures maximales. En effet, dans le cadre des miellées printanières, la fréquence des températures supérieures à 30 °C n'est pas suffisante pour pouvoir établir une conclusion même s'il ne semble pas y avoir d'effet négatif de la température sur les activités des abeilles jusqu'à 40 °C.

En dehors des variations intra-annuelles, les variations interannuelles peuvent également avoir un impact sur la production de miel. Deux années de sécheresses consécutives, en 2021 et 2022, n'ont pas permis à la végétation de fleurir en 2022. Les ressources nectarifères et pollinifères étaient très faibles et n'ont pas permis une production de miel pour la vente. De plus, bien que le miel ait été préservé pour maintenir des ressources alimentaires dans les ruches, celles-ci n'ont pas été suffisantes et un nourrissage des abeilles par les apiculteurs a été nécessaire. Il est important, à l'avenir, de déterminer si des conditions climatiques antérieures (d'une saison ou d'une année précédente) peuvent impacter le rendement en miel et si une certaine cyclicité du rendement des miels printaniers existe.

4.2. Potentialités mellifères et rendement en miel

À travers cette étude, il a été démontré l'importance des ressources nectarifères au sein des ruchers dans la production de miel.

Une importante biodiversité a été observée sur chacun des ruchers avec une mosaïque d'habitats plus ou moins importante. Les maquis, dont les maquis à *Erica arborea*, ont représentés les ressources nectarifères disponibles les plus importantes sur un rayon de 500 m autour du rucher. La richesse spécifique a été près de deux fois supérieure en 2023 comparée à 2022, avec 1 271 espèces *v.s.* 603 espèces. Cette tendance s'explique par des conditions climatiques plus favorables en Corse avec des précipitations plus importantes et des températures plus douces au printemps. En effet, plusieurs études ont mis en avant le lien entre les conditions climatiques et la floraison des végétaux. Chaque espèce a une physiologie qui lui est propre, avec des *optima* hydriques et thermiques. De manière générale, les températures diurnes au printemps doivent être comprises entre 18 et 25 °C avec des températures maximales inférieures à 30 °C (Noy-Porat et al., 2009; Petanidou & Smets, 1996; Pohajda & Vaci, 2013). Le sol doit également être suffisamment humide pour permettre de répondre aux besoins hydriques des plantes (Giménez-Benavides et al., 2007; Ogaya & Peñuelas, 2007; Rocarpin et al., 2016) même si certaines

plantes méditerranéennes semblent plus adaptées à un sol sec (Catorci et al., 2017; Prieto et al., 2008). Les conditions climatiques obtenues en 2023 ont donc été favorables à la turgescence des végétaux et à une diversité importante alors que celles de 2022 n'ont pas permis la floraison et/ou le développement d'un grand nombre d'espèces. Également, la localisation géographique est importante à considérer car le climat ou encore les conditions topo-édaphiques jouent un rôle essentiel sur le développement des végétaux (Nunes et al., 2019). Dans cette étude, six microrégions ont été définies en tenant compte de ces paramètres. Les analyses suggèrent que la diversité spécifique n'est pas significativement différente selon la microrégion considérée pour chacune des années. Cela laisse penser que les maquis corses restent relativement homogènes qu'importe la microrégion. Cependant, l'échantillonnage effectué est trop restreint et il serait sans doute nécessaire d'inclure des ruchers supplémentaires pour confirmer cette observation. De même, des variations intra-microrégions pourraient être présentes. Cette approche nécessite d'être approfondie (e.g. avec une sélection de plusieurs autres ruchers sur une microrégion) afin de déterminer si des facteurs locaux peuvent impacter cette biodiversité et expliquer une production de miel différente entre les ruchers. Néanmoins, les indices de biodiversité α et β ont permis de mettre en évidence une grande richesse spécifique et des similitudes entre les ruchers. Nos résultats ont mis en évidence que la diversité spécifique était corrélée positivement avec le rendement. Ces résultats corroborent avec ceux de plusieurs auteurs. En effet, il a été mis en évidence que l'abondance des ressources permet aux abeilles d'avoir une grande variété et quantité de plantes à fleurs où elles auront un accès à une plus grande quantité de nectar et de pollen (Picknoll & Poot, 2021; Takkis et al., 2015). Cela leur permet de subvenir à leurs besoins mais également de pouvoir transformer le miel à un rythme plus élevé, augmentant ainsi le rendement en miel. Cependant, l'analyse par habitat n'a pas permis de mettre en lumière un impact spécifique, qu'il soit positif ou négatif, sur la production de miel en 2023. Ainsi, il semblerait que la biodiversité à fine échelle joue un rôle plus important que les habitats définis à partir des associations végétales. Une analyse plus approfondie permettra de définir les facteurs pouvant expliquer cette observation, notamment en lien avec les conditions climatiques. De plus, Donaldson-Matasci et al. (2013) ont également mis en évidence que de grandes colonies d'abeilles domestiques étaient plus à même d'avoir une meilleure communication en indiquant les ressources disponibles les plus nectarifères. Ainsi, lorsque toutes les données de production de miel par ruche seront obtenues, il sera possible de déterminer si un plus grand rendement en miel est observé selon le nombre de ruches par rucher et la diversité floristique.

Bien que la production de miel ait été meilleure en 2023, comparée à 2022, elle reste encore loin des récoltes printanières effectuées il y a quelques dizaines d'années avec une production des miels de Maquis de Printemps et de Printemps allant jusqu'à 38,89 kg par ruche (AOP Miel de Corse - Mele di Corsica, 2023, pers. comm.) contre 16,60 kg par ruche en 2023. Outre les facteurs climatiques et floristiques, cette année, la Corse a connu de nombreux épisodes aux particules fines (PM₁₀) rapportées des sables sahariens par des flux provenant du Sud. Ces particules peuvent avoir un effet sur l'altération du comportement et de l'orientation des pollinisateurs, sur leur santé respiratoire, mais aussi réduire la qualité de l'environnement floral en y déposant des substances toxiques directement sur les plantes (et donc le nectar) (Chand et al., 2022; Macri et al., 2023; Thimmegowda et al., 2020). Des dépôts de ces particules sur les espèces végétales ont été observés au cours des sessions terrain en 2023. Au niveau des plantes, un dépôt excessif de poussières pourrait également obstruer les stomates des feuilles et réduire la photosynthèse (Rahul & Jain, 2014). La poursuite de cette étude permettra de définir si la fréquence des épisodes aux particules fines entraîne un impact sur la production de miel.

L'aménagement du territoire et l'usage des terres peuvent réduire la production en miel. Que cela soit par des pratiques agricoles invasives ou une expansion urbaine, ces facteurs anthropiques sont importants à prendre en considération car ils peuvent affecter les ressources végétales ou l'activité de butinage des abeilles. En effet, l'utilisation de pesticides et d'insecticides s'est avéré entraîner une diminution drastique des colonies d'*A. mellifera* (Fikadu, 2020; Wilmart et al., 2021). Ces cas ont déjà été reportés par plusieurs apiculteurs de Plaine orientale et par l'un des apiculteurs ayant effectué cette étude en 2022. Ici, c'est un insecticide contre les fourmis utilisé dans les vignobles qui est mis en cause, dont la molécule principale est le N,N-déthyl-meta-toluamide (DEET). Plusieurs études scientifiques ont examiné les effets potentiels du DEET sur les abeilles et d'autres insectes pollinisateurs (El Agrebi et al., 2020; Wilmart et al., 2021). Certaines suggèrent que cette molécule peut affecter le comportement et le développement des abeilles, notamment en perturbant leur système nerveux (El Agrebi et al., 2020; Singh et al., 2015).

Concernant l'aménagement du territoire, les observations *in natura* ont montré de grandes modifications entre 2022 et 2023. En effet, des démaquisages massifs ont eu lieu dans un rayon de 500 m autour des ruchers. De même, au niveau du rucher destiné à la production de miel de Printemps - Clémentinier, le milieu urbain représente près d'un tiers du rayon de butinage des abeilles sur un rayon de 500 m autour du rucher. Celui-ci est encore en pleine expansion avec la construction de nouveaux établissements prévus dans les prochaines années (notamment un

lotissement d'une dizaine de villas). Cette urbanisation rapide pourrait poser problème car le cahier des charges de l'AOP Miel de Corse - Mele di Corsica exclut certaines espèces végétales du miel certifié. Or, la population urbaine possédant des jardins cultive fréquemment des espèces végétales exogènes qui peuvent fournir du nectar aux abeilles. Plusieurs d'entre elles ont été relevés au sein des ruchers, échappées des jardins des habitations environnantes (e.g. *Pyra-cantha coccinea* M.Roem., *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng.). De ce fait, cela peut engendrer un risque de non-conformité du miel pour les apiculteurs adhérents et, à l'avenir, ces derniers devront peut-être changer de lieu pour se conformer aux exigences du cahier des charges.

Également, en Corse, les incendies sont souvent d'origine anthropique et aggravés par des sécheresses de plus en plus longues. Cela peut affecter le rendement en miel de plusieurs manières, notamment : (i) un changement de la composition florale, (ii) une qualité du nectar et du pollen différentes (composés chimiques différents), et (iii) une altération de l'écosystème. Bien que le changement de la composition florale ait été drastique, le rucher ne semble pas avoir été impacté sur la production de miel par rapport aux autres ruchers et présente une production toujours plus importante que celle du printemps 2022. Néanmoins, les conditions climatiques et de floraison étant très différentes entre ces deux années, il est difficile d'émettre une conclusion de l'impact du feu sur le rendement de ce rucher.

Des analyses complémentaires des miels concernés permettront de dire si l'incendie a eu un impact sur leur qualité et, par conséquent, sur la qualité du nectar. Un suivi floristique sur plusieurs années de ce rucher permettra également de mettre en avant si l'écosystème a été altéré par cet incendie.

4.3. Impact potentiel du changement climatique

De nos jours, le changement climatique est une réelle menace et se retrouve au cœur de nombreux débats. Il affecte l'apiculture à travers des événements climatiques imprévisibles, une diminution de la diversité végétale nécessaire à la production de miel ou encore l'apparition de nouvelles maladies et parasites.

Actuellement, l'évaluation des ressources mellifères et l'enregistrement de données climatiques précises ne se sont effectués que sur deux ans. Deux extrêmes ont été observés sur ces deux années, avec une production marquée par un très faible rendement en 2022 et une production avec un rendement important en 2023. Contrairement à 2023 qui a été une année douce et humide ($16,73 \pm 3,44$ °C ; $72,05 \pm 11,20$ %), la première année a été soumise à une importante sécheresse avec des températures quotidiennes moyennes très élevées ($18,44 \pm 4,88$ °C ;

58,42 ± 13,01 %). Dans un contexte de changement climatique, il est dès lors important de considérer les tendances climatiques prédites pour les prochaines années. En effet, à travers les dynamiques de la végétation, les ressources nectarifères pourront être d'autant plus impactées (Takkis et al., 2015, 2018). Entre autres, le changement climatique peut provoquer une expansion de certaines espèces sur d'autres étages de la végétation ou encore une densité de recouvrement plus importante, et inversement (Cannone et al., 2007).

Les *scenarii* envisagés du changement climatique prévoient, dans le bassin méditerranéen, une augmentation des températures de +0,9 à +5,6 °C, avec des précipitations plus faibles et des sécheresses estivales plus longues (Cherif *et al.*, 2020). En Méditerranée, les espèces végétales sont adaptées à des températures élevées et à la sécheresse. Cependant, Takkis *et al.* (2018) ont mis en évidence que les espèces à floraison tardive (*i.e.* floraison entre mai et juin), comme *Echium plantagineum* L., étaient déjà au niveau de leur limite de température optimale pour la photosynthèse, et *de facto*, pour la production de fleurs. Néanmoins, concernant les espèces à floraison précoce (*i.e.* floraison entre janvier et avril), comme *Asphodelus ramosus* ou *Rosmarinus officinalis* Spenn., celles-ci pourraient être favorisées par le changement climatique avec une production plus importante de nectar (Takkis et al., 2018). Face au dérèglement de ces floraisons, les apiculteurs nécessiteront une approche plus attentive au suivi des miellées, avec la mise en place de pratiques adaptatives (*e.g.* une rotation des ruches), notamment par le biais d'outils technologiques telle que l'utilisation de balances connectées. En effet, même si cette étude tendrait à décrire une situation plus propice à la production de miel de Printemps – Asphodèle (*A. ramosus*) au détriment du miel de Maquis de Printemps (où *E. arborea* est une espèce à floraison tardive) dans les prochaines années, il est important de noter que les pelouses à *A. ramosus* sont bien moins présentes en Corse comparées aux maquis. De plus, des observations récentes mettent en évidence la présence d'un champignon ravageur (*Rhizoctonia sp.* DC.) chez *A. ramosus* qui impacterait le rendement apicole (FREDON Centre-Val de Loire, 2021). À présent, aucune étude n'a mis en évidence ce phénomène. De ce fait, cela nécessite d'être approfondi à l'échelle régionale afin de déterminer les évolutions conjointes de ces deux espèces dans un contexte de changement climatique.

Une autre problématique liée à l'impact du changement climatique sur la végétation serait des compétitions pour les ressources plus importantes. En effet, Cailleret *et al.* (2021) ont mis en évidence que l'augmentation de dépérissement sur des garrigues à *R. officinalis* entraînerait une diminution des floraisons et une chute de la diversité des pollinisations. De ce fait, des problèmes de compétition entre les abeilles domestiques et les abeilles sauvages auraient lieu, entraînant des baisses de production de miel. Ce lien de compétition entre les abeilles

domestiques et les pollinisateurs sauvages est une des observations relevées sur le terrain. En effet, il a été possible de remarquer que des individus de *Bombus xanthopus* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera : Apidae) avaient tendance à piller les ressources pollinifères nécessaires à la santé des abeilles domestiques. Ceux-ci, proche phylogénétiquement de *Bombus terrestris*, sont adaptés à des vents plus forts (jusqu'à 20 à 25 km.h⁻¹ ; Woodward, 1990) et sont capables de sortir récolter du pollen alors que les abeilles sont contraintes de rester dans la ruche. Cette observation sur le terrain reste cependant à être confirmée par une étude complémentaire à celle-ci.

4.4. Limites de l'étude

Au cours de cette étude, plusieurs limites sont apparues et ont impacté son déroulé ou les analyses qui en découlent.

D'une part, toute l'étude a dépendu des apiculteurs et de leurs pratiques. Les apiculteurs ne réalisant pas de transhumance sur les ruchers (n = 2) ont permis d'avoir des données de poids et de climat en continu (hors problèmes de dysfonctionnement). Cependant, pour ceux pratiquant la transhumance (n = 8), les balances ont été déconnectées durant l'hiver et repositionnées seulement en début de saison. Cela a alors induit un décalage sur l'enregistrement des données entre les ruchers avec parfois près d'un mois de différence.

De plus, certains apiculteurs ont été contraints d'abandonner leur rucher. En effet, le manque de production ou une mortalité importante des colonies les ont amenés à changer d'emplacement. De manière générale, l'utilisation d'anti-fourmis par les vignerons ou encore le manque de ressources florales ont été les causes de changement. Également, certains apiculteurs (ruchers du groupe B) ne sont pas propriétaires des terrains utilisés et les accords ont été rompus (e.g. pour une autre destination). Ces ruchers ont alors été remplacés par d'autres afin d'avoir un échantillonnage représentatif mais cela a empêché d'avoir un suivi floristique complet. Également, des résultats ont mis en évidence des contradictions. Cela peut être dû au fait d'un nombre d'échantillon trop faible, qui ne permet pas d'obtenir des analyses statistiques fiables. Ces données nécessiteront d'être approfondie avec des approches complémentaires à celles utilisées à ce jour. Dans la mesure du possible, il serait intéressant d'étendre cette étude à d'autres emplacements afin d'obtenir plus de poids dans les analyses statistiques.

D'autre part, l'échantillonnage entre les deux années de ces études a été approfondi. De nouvelles approches ont été effectuées, notamment l'ajout d'un indice de sociabilité, d'un pourcentage de floraison de *Erica arborea* ou encore de la phénologie de l'espèce. Ainsi, ces données n'ont pas pu être comparées entre ces deux années. De plus, avec le changement

climatique, un décalage de la floraison peut être présent. Cependant, peu d'études phénologiques sont effectuées en Corse et les données sont d'autant plus lacunaires que la Corse présente un fort taux d'endémisme.

De même, concernant les indices nectarifères, pollinifères et miellatifères, de nombreuses espèces végétales étaient lacunaires, alors que parfois typiques de la végétation corse et importantes dans la production de miel (*e.g. Asphodelus ramosus*). De ce fait, une réactualisation de ces indices à travers des manipulations en laboratoire seraient à effectuer. Entre autre, des indices pollinifères peuvent être classés à partir d'un décomptage des grains de pollen au microscope pour un volume identique (Waser et al., 2016). Quant à eux, les indices nectarifères pourraient se baser notamment sur une étude des concentrations en sucre du nectar à l'aide d'un réfractomètre (Jocić et al., 2004).

5. Conclusion

Cette étude a permis de contribuer à déterminer les facteurs climatiques et écologiques à l'origine des variations de production des miels printaniers en Corse. Il a été mis en évidence que la dynamique de ces miellées a été profondément liée aux variables climatiques et aux ressources florales. Nos résultats ont révélé que les paramètres climatiques, tels que la température, l'amplitude thermique, l'humidité et la vitesse des vents, exercent un contrôle substantiel sur l'activité des abeilles ainsi que sur la disponibilité des ressources nectarifères, influençant de manière directe la production de miel. La variabilité climatique a pu retarder ou avancer la floraison des plantes, influençant ainsi la disponibilité des ressources nectarifères. De même, des irrégularités interannuelles, comme des périodes de sécheresse consécutives, se traduisent également par une diminution de la production de miel, comme cela a été observé en 2022 en Corse. Les ressources nectarifères ont eu un rôle primordial dans la production de miel, illustrant une biodiversité significative autour des ruchers. En 2023, une augmentation notable de la richesse spécifique végétale a été observée, engendrant une production de miel supérieure à l'année 2022, marquée par une sécheresse intense. Par ailleurs, il convient de noter que des facteurs anthropiques, dont l'aménagement du territoire, l'utilisation d'agents phytosanitaires et l'urbanisation, ont été mis en lumière comme pouvant réduire la production de miel en impactant les ressources florales. Enfin, le facteur du changement climatique est identifié comme une menace réelle, suscitant des événements climatiques extrêmes et occasionnant des transformations végétales notables susceptibles de perturber les ressources mellifères.

Ces résultats préliminaires ont montré un rôle important des conditions climatiques et des ressources nectarifères disponibles pour les abeilles. L'utilisation de balances connectées

permet une surveillance active de l'activité d'un rucher et de suivre les miellées. La collecte et l'utilisation des données météorologiques apparaît dès lors essentielle dans la planification apicole et permet de prendre des décisions plus éclairées.

La filière apicole corse devra évoluer de manière concertée avec les autres filières agricoles. La promotion de pratiques durables et respectueuses de l'environnement avec les agriculteurs locaux favorisera un environnement plus propice aux abeilles. De plus, maintenir la collaboration entre les apiculteurs et les chercheurs scientifiques sera indispensable pour préconiser les meilleures méthodes d'adaptation face au changement climatique.

Bien que les plantes méditerranéennes aient des réponses plastiques et une évolution rapide face aux changements climatiques, il reste à savoir si l'abeille corse aura le dynamisme nécessaire pour pouvoir prospérer malgré un dérèglement climatique relativement rapide. Une approche de cet aspect a été effectuée au travers d'enquêtes auprès des apiculteurs mais il reste encore à effectuer des études sur cet écotype très peu connu du monde scientifique.

Grâce aux inventaires effectués sur les deux années, d'autres analyses statistiques sont en cours en tenant compte de la phénologie des espèces végétales, de l'indice de sociabilité, des couleurs des fleurs ou encore du pourcentage de floraison dans les maquis d'*E. arborea* et dans les pelouses d'*A. ramosus*. Ces analyses permettront de mettre en évidence si le décalage de floraison est important d'une année sur l'autre et la manière dont il impacte les miellées (en termes de qualité comme de quantité de miel).

Une analyse pollinique en laboratoire de la composition des miels est en cours et permettra de déterminer la qualité du miel à travers les espèces végétales qui y seront présentes mais aussi concernant la présence de traces de pesticides ou insecticides. De cette manière, il sera possible de compléter les observations sur le terrain et d'identifier si les espèces définies avec un potentiel mellifère fort l'ont été au cours de ces deux saisons.

Enfin, notre rayon d'étude se situant à 500 m autour du rucher, alors que les abeilles sont capables de butiner jusqu'à 3 km, une étude des paysages à plus grande échelle sera nécessaire. Celle-ci pourra avoir lieu à travers une analyse de photographies aériennes ou en vue satellite sur un logiciel de cartographie afin de délimiter les habitats qui semblent similaires à ceux déjà identifiés.

Cette étude a pour vocation de s'étendre sur plusieurs années afin de recueillir une large gamme de données climatiques, floristiques et de production pour mettre en lumière les variations intra-annuelles et interannuelles. Elle a également pour but de se déployer sur l'ensemble des gammes de miels corses.

6. Références bibliographiques

- Arias, P. A., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R. G., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M. D., Plattner, G.-K., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P. W., Trewin, B., Achuta Rao, K., Adhikary, B., Allan, R. P., Armour, K., ... Zickfeld, K. (2021). Technical Summary. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Éds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 33–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Aryal, L. N., Thapa, R. B., Tiwari, S., & Chaudhary, N. K. (2016). Foraging Behavior of Native Honeybee (*Apis Cerana F.*) and European Honeybee (*Apis Mellifera L.*) on Flowers of Common Buckwheat (*Fagopyrum Esculentum M.*) in Chitwan, Nepal. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 4(2), 236-239. <https://doi.org/10.3126/IJASBT.V4I2.15131>
- Asensio, I., Vicente-Rubiano, M., Jesús Muñoz, M., Fernández-Carrión, E., Sá Nchez-Vizcaíno, J. M., & Carballo, M. (2016). *Importance of Ecological Factors and Colony Handling for Optimizing Health Status of Apiaries in Mediterranean Ecosystems*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164205>
- Bartoń, K. (2023). *MuMIn: Multi-Model Inference* (R package version 1.47.5).
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.
- Battesti, M. J. (1990). *Contribution à la méliissopalynologie méditerranéenne: les miels corses* [Aix-Marseille Université (Marseille III)]. <https://books.google.fr/books?id=DhnSMgEACAAJ>
- Bourreau, M. (2022). *Étude des potentialités nectarifères et pollinifères de milieux spontanés de Corse : relations avec le rendement en miel et rôle des variations climatiques*. Sciences Sorbonne Université & Université Paris-Saclay.
- Braun-Blanquet, J. (1932). *Pflanzensoziologie: grundzüge der vegetationskunde*. Springer-Verlag.
- Brittain, C., Kremen, C., & Klein, A. M. (2013). Biodiversity buffers pollination from changes in environmental conditions. *Global change biology*, 19(2), 540-547. <https://doi.org/10.1111/GCB.12043>
- Brown, M. J. F., Dicks, L. V., Paxton, R. J., Baldock, K. C. R., Barron, A. B., Chauzat, M. P., Freitas, B. M., Goulson, D., Jepsen, S., Kremen, C., Li, J., Neumann, P., Pattemore, D. E., Potts, S. G., Schweiger, O., Seymour, C. L., & Stout, J. C. (2016). A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. *PeerJ*, 2016(9). <https://doi.org/10.7717/PEERJ.2249>
- Cailleret, M., Audouard, M., Lopez, J.-M., Estève, R., & Vennetier, M. (2021). Peut-on gérer les romarins pour améliorer leur santé et leur floraison ? *Forêt méditerranéenne*, 42(1), 3-12. <https://hal.inrae.fr/hal-03570683>
- Cannone, N., Sgorbati, S., & Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation - Cannone - 2007 - *Frontiers in Ecology and the Environment* - Wiley Online Library. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 360-364. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1540-9295%282007%295%5B360%3AUIOCCO%5D2.0.CO%3B2>
- Catorci, A., Piermarteri, K., Penksza, K., Házi, J., & Tardella, F. M. (2017). Filtering effect of temporal niche fluctuation and amplitude of environmental variations on the trait-related flowering patterns: lesson from sub-Mediterranean grasslands. *Scientific Reports 2017 7:1*, 7(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12226-5>
- Chand, B., Thakur, P. K., Lata, R., Kuniyal, J. C., & Kumar, V. (2022). *Assessment of Particulate Pollutants (PM10 and PM2.5), Its Relation with Vegetation Cover and Its Impacts on Apple Orchards in Kullu Valley, Himachal Pradesh, India*. 283-297. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7731-1_13
- Cherif, S., Doblas-miranda, E., Lionello, P., Borrego, C., Giorgi, F., Iglesias, A., Jebari, S., Mahmoudi, E., Moriondo, M., Pringault, O., Rilov, G., Somot, S., Tsikliras, A., Zittis, G., Argenti, G., Azzurro, E., Basnou, C., Bastin, S., Brilli, L., ... Zenetos, A. (2020). Drivers of change. In W. Cramer, J. Guiot, & K. Marini (Éds.), *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report* (Union for, p. 59-180). Plan Bleu, UNEP/MAP. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7100601>
- Clarke, D., & Robert, D. (2018). Predictive modelling of honey bee foraging activity using local weather conditions. *Apidologie*, 49(3), 386-396. <https://doi.org/10.1007/S13592-018-0565-3/FIGURES/6>
- Decourtye, A. A., Alaux, C., Odoux, J. F., Henry, M., Vaissière, B., & Le Conte, Y. (2011). *Why enhancement of floral resources in agro-ecosystems benefit honeybees and beekeepers?* InTech.
- Donaldson-Matasci, M. C., Degrandi-Hoffman, G., & Dornhaus, A. (2013). *Bigger is better: honeybee colonies as distributed information-gathering systems*. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.12.020>
- Eckert, J. E. (1933). The flight range of the honeybee. *Journal of Agricultural Research*, 47(5), 257-285. http://scholar.google.com/scholar?q=related:FfvCH9zeJGQJ:scholar.google.com/&hl=en&num=20&as_sd t=0,5%5Cnpapers2://publication/uuid/8E911548-E76A-4981-B36F-E2B68B86A4BA

- El Agrebi, N., Traynor, K., Wilmart, O., Tosi, S., Leinartz, L., Danneels, E., de Graaf, D. C., & Saegerman, C. (2020). Pesticide and veterinary drug residues in Belgian beeswax: Occurrence, toxicity, and risk to honey bees. *Science of The Total Environment*, 745, 141036. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141036>
- Fikadu, Z. (2020). Pesticides use, practice and its effect on honeybee in Ethiopia: a review. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(3), 473-481. <https://doi.org/10.1007/S42690-020-00114-X/TABLES/1>
- Flores, J. M., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M. I., Ortiz, M. A., & Quiles, F. J. (2019). Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Science of The Total Environment*, 653, 1111-1119. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.004>
- FREDON Centre-Val de Loire. (2021). *Prélèvement sur Asphodelus ramosus*.
- Gajardo-Rojas, M., Muñoz, A. A., Barichivich, J., Klock-Barría, K., Gayo, E. M., Fontúrbel, F. E., Olea, M., Lucas, C. M., & Veas, C. (2022). Declining honey production and beekeeper adaptation to climate change in Chile. *Progress in Physical Geography*, 46(5), 737-756. <https://doi.org/10.1177/03091333221093757>
- Gamisans, J. (1978). A propos d'espèces indicatrices des étages de végétation en Corse. *Ecologia mediterranea*, 4(1), 45-48. <https://doi.org/10.3406/ecmed.1978.941>
- Gamisans, J. (2003). *La végétation de la Corse* (Edisud). Edisud.
- Gärtner, H., Rozenberg, P., Montès, P., Bertel, O., Heinrich, I., & Helle, G. (2011). Proceedings of the DENDROSYMPOSIUM 2011 : May 11th - 14th, 2011 in Orléans, France. *Tree Rings in Archaeology*. <https://doi.org/10.2312/GFZ.b103-12036>
- Gavina, M. K. A., Rabajante, J. F., & Cervancia, C. R. (2014). Mathematical programming models for determining the optimal location of beehives. *Bulletin of Mathematical Biology*, 76(5), 997-1016. <https://doi.org/10.1007/s11538-014-9943-9>
- Gillet, F., De Foucault, B., & Julve, P. (1991). La phytosociologie synusiale intégrée : objets et concepts. *Candollea*, 46(2).
- Giménez-Benavides, L., Escudero, A., & Iriondo, J. M. (2007). Reproductive limits of a late-flowering high-mountain Mediterranean plant along an elevational climate gradient. *New Phytologist*, 173(2), 367-382. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2006.01932.X>
- Haydak, M. H. (1970). *Honey Bee Nutrition*. 6907.
- Hicks, D. M., Ouvrard, P., Baldock, K. C. R., Baude, M., Goddard, M. A., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Memmott, J., Morse, H., Nikolitsi, M., Osgathorpe, L. M., Potts, S. G., Robertson, K. M., Scott, A. V., Sinclair, F., Westbury, D. B., & Stone, G. N. (2016). Food for pollinators: Quantifying the nectar and pollen resources of urban flower meadows. *PLoS ONE*, 11(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158117>
- Ion, N., Jean-François, O., & Vaissière, B. E. (2018). Melliferous potential of weedy herbaceous plants in crop fields of Romania from 1949. To 2012. *Journal of Apicultural Science*, 62(2), 149-165. <https://doi.org/10.2478/JAS-2018-0017>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Vol. In Press*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jeanmonod, D., & Gamisans, J. (2013). *Flora Corsica* (La Société).
- Joachimsmeier, I., Pistorius, J., Heimbach, U., Schenke, D., & Kirchner, W. (2012). Water collection by honey bees – How far will foragers fly to use water sources like guttation drops? A first distance trial using cereals and oilseed rape. *Julius-Kühn-Archiv*, 437(October 2012), 82-86. <https://doi.org/10.5073/jka.2012.437.019>
- Jocić, M., N, D.-L., & G., J. (2004). Nectar production in three melliferous species of Lamiaceae in natural and experimental conditions. *Acta Veterinaria*, 54. <https://doi.org/10.2298/AVB0406475M>
- Kassambara, A. (2023). *rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests* (R package version 0.7.2). <https://rpkgs.datanovia.com/rstatix/>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Le Conte, Y., & Navajas, & M. (2008). Climate change: impact on honey bee populations and diseases. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz*, 27(2), 499-510.
- 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>
- Macri, M., Gea, M., Piccini, I., Dessì, L., Santovito, A., Bonelli, S., Schilirò, T., & Bonetta, S. (2023). Cabbage butterfly as bioindicator species to investigate the genotoxic effects of PM10. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 45285-45294. <https://doi.org/10.1007/S11356-023-25510-X/METRICS>
- Menz, M. H. M., Phillips, R. D., Winfree, R., Kremen, C., Aizen, M. A., Johnson, S. D., & Dixon, K. W. (2011). Reconnecting plants and pollinators: Challenges in the restoration of pollination mutualisms. *Trends in Plant Science*, 16(1), 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.006>

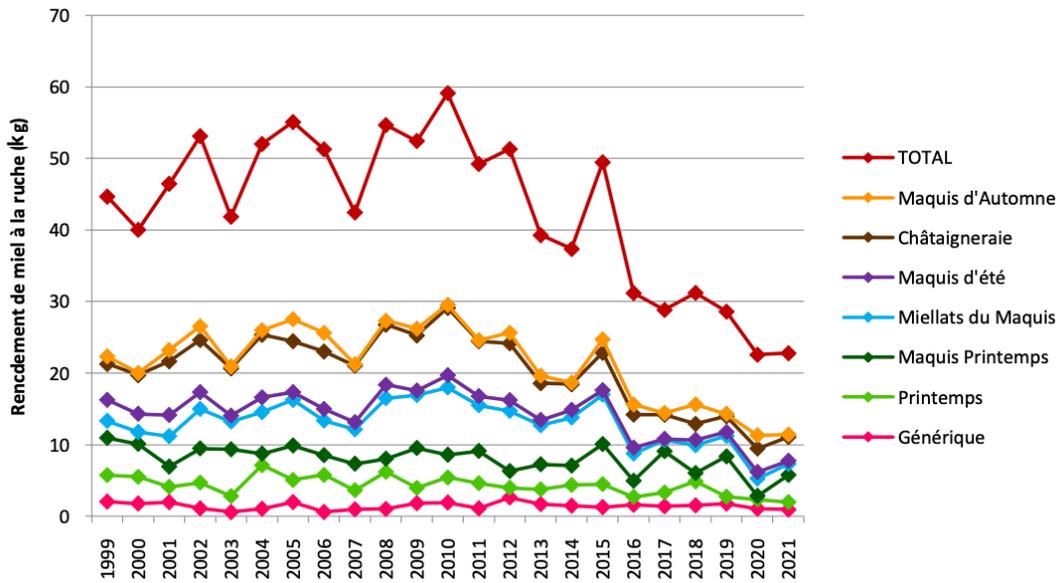
- Mori, C., Orsini, A., Colonna, F., Orsini, S., & Faggianelli, J. (2017). The consequences of climate change for the mountain environment in Corsica. *Interdisciplinary Symposium, topic global change*.
- Noy-Porat, T., Flaishman, M. A., Eshel, A., Sandler-Ziv, D., & Kamenetsky, R. (2009). Florogenesis of the Mediterranean geophyte *Narcissus tazetta* and temperature requirements for flower initiation and differentiation. *Scientia Horticulturae*, *120*(1), 138-142. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2008.09.016>
- Nunes, A., Köbel, M., Pinho, P., Matos, P., Costantini, E. A. C., Soares, C., de Bello, F., Correia, O., & Branquinho, C. (2019). Local topographic and edaphic factors largely predict shrub encroachment in Mediterranean drylands. *Science of The Total Environment*, *657*, 310-318. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.475>
- Ogaya, R., & Peñuelas, J. (2007). Species-specific drought effects on flower and fruit production in a Mediterranean holm oak forest. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, *80*(3), 351-357. <https://doi.org/10.1093/FORESTRY/CPM009>
- Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, R., Solymos, P., Stevens, M., Szocs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., ... Weedon, J. (2022). *vegan: Community Ecology Package* (R package version 2.6-4).
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, *120*(3), 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
- Orhant, L. (2021). *Les facteurs liés à la chute de la production de Miel de Corse AOP : le cas des pratiques apicoles*. ESA - L'École supérieure des agricultures.
- Orsini, A. (2022). *Les Eaux Douces de Corse* (Editions 8).
- Petanidou, T., & Smets, E. (1996). Does temperature stress induce nectar secretion in Mediterranean plants? *Neii: Phytol*, *133*, 513-518. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01919.x>
- Picknoll, J. L., & Poot, P. (2021). *A New Approach to Inform Restoration and Management Decisions for Sustainable Apiculture*. 1-20.
- Pohajda, I., & Vací, D. (2013). Contemporary production of annual flowers in continental and Mediterranean Croatia. *Conference VIVUS - Environmentalisme, Agriculture, Horticulture, Food Production and Processing*, 337-345.
- Prieto, P., Peñuelas, J., Ogaya, R., & Estiarte, M. (2008). Precipitation-dependent Flowering of *Globularia alypum* and *Erica multiflora* in Mediterranean Shrubland Under Experimental Drought and Warming, and its Inter-annual Variability. *Annals of Botany*, *102*(2), 275-285. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCN090>
- Puškadija, Z., Štefanić, E., Mijić, A., Zdunić, Z., Paradiković, N., Florijančić, T., & Opačak, A. (2007). Influence of weather conditions on honey bee visits (*Apis mellifera carnica*) during sunflower (*Helianthus annuus* L.) blooming period. *Poljoprivreda*, *13*(1), 230-233.
- QGIS Development Team. (2022). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Rahul, J., & Jain, M. K. (2014). An investigation in to the impact of particulate matter on vegetation along the national highway: a review. *Res. J. Environ. Sci*, *8*(7), 356-372.
- Reymann, J., Panaïotis, C., Bioret, F., Bacchetta, G., Delage, A., Delbosc, P., Gamisans, J., Gauberville, C., Hugot, L., O'deye-Guizien, K., Piazza, C., & Pioli, A. (2016). *Documents phytosociologiques - Prodrome des végétations de Corse* (Société, Vol. 4, Numéro 3).
- Rocarpin, P., Gachet, S., Metzner, K., & Saatkamp, A. (2016). Moisture and soil parameters drive plant community assembly in Mediterranean temporary pools. *Hydrobiologia*, *781*(1), 55-66. <https://doi.org/10.1007/S10750-015-2604-7/METRICS>
- Ropars, L. (2020). *Les communautés d'abeilles sauvages dans les habitats protégés méditerranéens : diversité, interactions et co-occurrence avec l'abeille domestique*. September 2020, 234.
- Sannier, H. (2022). *Effets des changements climatiques sur la production de miel en Corse : irrégularités des miellées et adaptations des apiculteurs*. Aix-Marseille Université.
- Singh, N. K., Eliash, N., Kamer, Y., Zaidman, I., Plettner, E., & Soroker, V. (2015). The effect of DEET on chemosensing of the honey bee and its parasite *Varroa destructor*. *Apidologie*, *46*(3), 380-391. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0330-1i>
- Syndicat AOC Miel de Corse – Mele di Corsica. (2013). *Cahier des charges de l'appellation d'origine « Miel de Corse – Mele di Corsica »*.
- Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica. (2020). *Alerte sur la situation des exploitations apicoles de Corse*.
- Takkis, K., Tscheulin, T., & Petanidou, T. (2018). Differential effects of climate warming on the nectar secretion of early-and late-flowering mediterranean plants. *Frontiers in Plant Science*, *9*(June), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00874>
- Takkis, K., Tscheulin, T., Tsalkatis, P., & Petanidou, T. (2015). Climate change reduces nectar secretion in two

- common Mediterranean plants. *AoB PLANTS*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv111>
- Thimmegowda, G. G., Mullen, S., Sottolare, K., Sharma, A., Mohanta, S. S., Brockmann, A., Dhandapany, P. S., & Olsson, S. B. (2020). A field-based quantitative analysis of sublethal effects of air pollution on pollinators. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(34), 20653-20661. <https://doi.org/10.1073/PNAS.2009074117/VIDEO-1>
- van der Maabel, E. (1979). Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio*, 39(2), 97-114. <https://doi.org/10.1007/BF00052021>
- Vercelli, M., Novelli, S., Ferrazzi, P., Lentini, G., & Ferracini, C. (2021). A qualitative analysis of beekeepers' perceptions and farm management adaptations to the impact of climate change on honey bees. *Insects*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/INSECTS12030228>
- Vicens, N., & Bosch, J. (2000). *Weather-Dependent Pollinator Activity in an Apple Orchard, with Special Reference to Osmia cornuta and Apis mellifera (Hymenoptera: Megachilidae and Apidae)*. 29(3), 413-420. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.3.413>
- Waser, N. M., Price, M. V., Waser1', N. M., & Price1', M. V. (2016). Drought, pollen and nectar availability, and pollination success. *Source: Ecology*, 97(6), 1400-1409.
- Wilmart, O., Legrève, A., Scippo, M. L., Reybroeck, W., Urbain, B., de Graaf, D. C., Spanoghe, P., Delahaut, P., & Saegerman, C. (2021). Honey bee exposure scenarios to selected residues through contaminated beeswax. *Science of The Total Environment*, 772, 145533. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.145533>
- Wood, S. N. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 73(1), 3-36.
- Woodward, D. R. (1990). Food demand for colony development, crop preference and food availability for *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae). *Doctoral Thesis*, ii-241.
- Wright, G. A., Nicolson, S. W., & Shafir, S. (2018). Nutritional Physiology and Ecology of Honey Bees. In *Annual Review of Entomology* (Vol. 63, p. 327-344). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043423>
- Yédomonhan, H., Adomou, A. C., Akoègninou, A., & De Foucault, B. (2012). Diversité spatiotemporelle des ressources florales autour d'un rucher en zone de végétation de transition soudano-guinéenne au Bénin. *Acta Botanica Gallica*, 159(1), 97-108. <https://doi.org/10.1080/12538078.2012.671654>

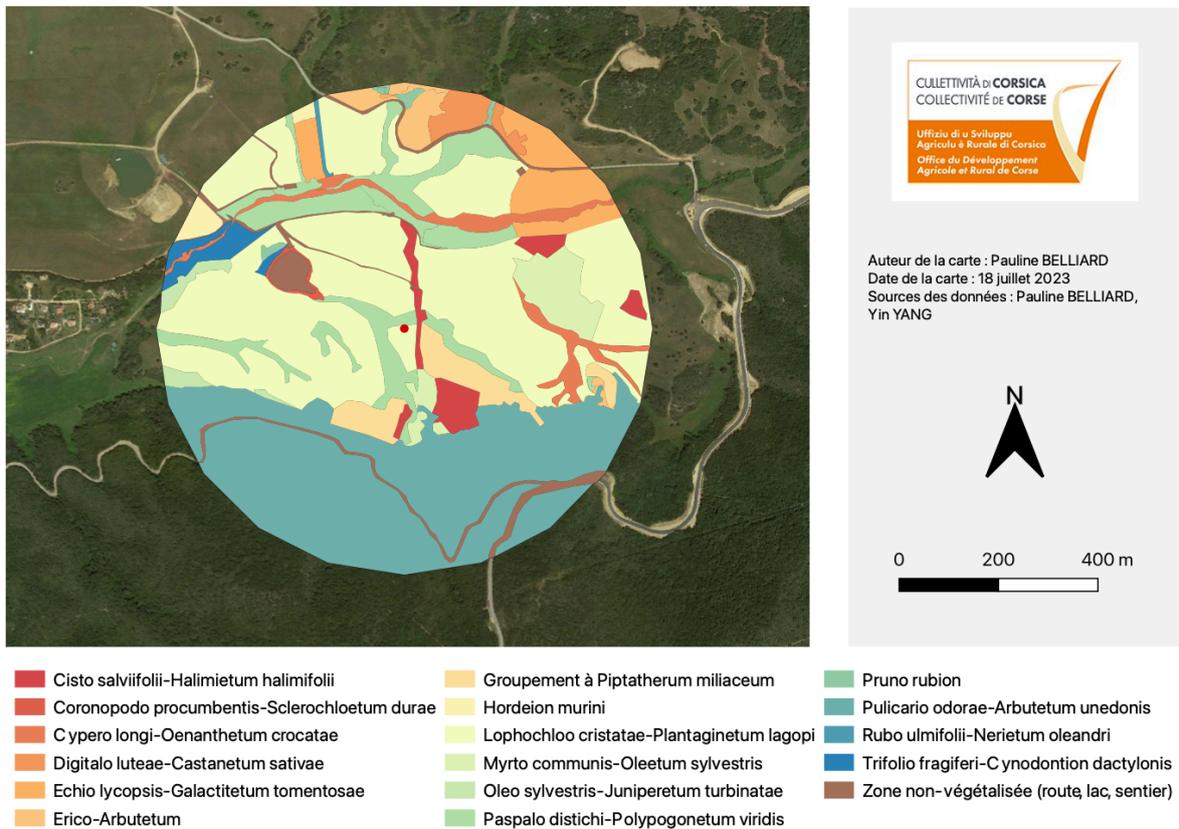
Table des annexes

<i>Annexe 1.</i> Évolution de 1999 à 2021 du rendement en miel (sources : Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica).....	I
<i>Annexe 2.</i> Exemple d'un rucher selon les associations végétales présentes.....	I
<i>Annexe 3.</i> Liste des espèces les plus nectarifères parmi les 100 espèces ayant le recouvrement le plus important.....	II
<i>Annexe 4.</i> Analyse par GLM et LM pour comparer les variables climatiques selon les microrégions.	III
<i>Annexe 5.</i> Test de Wilcoxon avec comparaisons par paires des variables climatiques selon l'année.	IV

Annexe 1. Évolution de 1999 à 2021 du rendement en miel (sources : Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica).



Annexe 2. Exemple d'un rucher selon les associations végétales présentes.



Annexe 3. Liste des espèces les plus nectarifères parmi les 100 espèces ayant le recouvrement le plus important. *Voir Matériel et méthodes pour la signification des indices.*

Nom de l'espèce	Pollen	Nectar	Miellat
<i>Echium plantagineum</i>	3	6	0
<i>Arbutus unedo</i>	3	5	0
<i>Asphodelus ramosus subsp. ramosus*</i>	0	5	0
<i>Carlina corymbosa subsp. corymbosa</i>	0	5	0
<i>Castanea sativa</i>	3	5	0
<i>Citrus x clementina</i>	1	5	0
<i>Erica arborea</i>	3	5	0
<i>Erica scoparia subsp. scoparia</i>	3	5	0
<i>Hedera helix subsp. helix</i>	0	5	0
<i>Silybum marianum</i>	0	5	0
<i>Teucrium capitatum subsp. capitatum</i>	0	5	0
<i>Teucrium marum</i>	0	5	0
<i>Viburnum tinus subsp. tinus</i>	1	5	0
<i>Centaurea calcitrapa</i>	0	5	0
<i>Cytisus villosus</i>	3	4	0
<i>Ferula communis</i>	0	4	0
<i>Medicago arabica</i>	0	4	0
<i>Ornithopus compressus</i>	0	4	0
<i>Salvia rosmarinus</i>	2	4	0
<i>Achillea ligustica</i>	1	3	0
<i>Allium triquetrum</i>	2	3	0
<i>Calicotome spinosa</i>	2	3	0
<i>Calicotome villosa</i>	2	3	0
<i>Coleostephus myconis</i>	0	3	0
<i>Dittrichia viscosa subsp. viscosa</i>	2	3	0
<i>Lavandula stoechas subsp. stoechas</i>	1	3	0
<i>Salix purpurea var. purpurea</i>	1	3	1
<i>Stachys glutinosa</i>	0	3	0
<i>Bellis perennis</i>	2	2	0
<i>Crataegus monogyna subsp. monogyna</i>	2	2	0
<i>Eucalyptus sp.</i>	0	2	0
<i>Malva sylvestris</i>	0	2	0
<i>Myrtus communis</i>	0	2	0
<i>Olea europaea</i>	0	2	1
<i>Phillyrea angustifolia</i>	0	2	0
<i>Phillyrea latifolia</i>	0	2	0
<i>Rosa canina</i>	2	2	0
<i>Silene gallica</i>	0	2	0
<i>Crepis sp.</i>	1	1	0
<i>Fraxinus ornus var. ornus</i>	2	1	0
<i>Genista corsica</i>	1	1	0
<i>Hedynois rhagadioloides</i>	1	1	0
<i>Helichrysum italicum subsp. italicum</i>	2	1	0
<i>Hypericum hircinum subsp. hircinum*</i>	1	1	0
<i>Pulicaria odora</i>	1	1	0
<i>Pyrus spinosa</i>	1	1	0
<i>Rubus ulmifolius</i>	0	1	0
<i>Smilax aspera</i>	1	1	0
<i>Urtica dioica subsp. dioica</i>	1	1	0

Annexe 4. Analyse par GLM et LM pour comparer les variables climatiques selon les microrégions.

		Estimation	Erreur standard	t-value	p-value	
Température moyenne (°C)	<i>Intercept</i>	25,420	0,639	39,806	p<0,001	***
	<i>Cap Corse</i>	0,017	1,628	0,011	0,992	
	<i>Centre-Corse</i>	-1,502	1,237	-1,214	0,235	
	<i>Ouest-Corse</i>	-0,400	1,075	-0,372	0,713	
	<i>Plaine orientale</i>	0,488	1,075	0,454	0,653	
	<i>Sud-Corse</i>	4,139	1,237	3,347	0,002	**
Température maximale (°C)	<i>Intercept</i>	29,380	0,719	40,853	p<0,001	***
	<i>Cap Corse</i>	0,585	1,834	0,319	0,752	
	<i>Centre-Corse</i>	-1,083	1,393	-0,777	0,444	
	<i>Ouest-Corse</i>	-0,020	1,211	-0,017	0,987	
	<i>Plaine orientale</i>	-0,181	1,211	-0,150	0,882	
	<i>Sud-Corse</i>	2,214	1,393	1,589	0,124	
Température minimale (°C)	<i>Intercept</i>	18,550	0,478	38,801	p<0,001	***
	<i>Cap Corse</i>	-1,046	1,219	-0,858	0,398	
	<i>Centre-Corse</i>	-2,643	0,926	-2,855	0,008	
	<i>Ouest-Corse</i>	-1,174	0,805	-1,459	0,156	
	<i>Plaine orientale</i>	2,084	0,805	2,590	0,015	
	<i>Sud-Corse</i>	8,175	0,926	8,830	p<0,001	***
Amplitude thermique (°C)	<i>Intercept</i>	10,831	0,821	13,189	p<0,001	***
	<i>Cap Corse</i>	1,631	2,094	0,779	0,443	
	<i>Centre-Corse</i>	1,561	1,590	0,982	0,335	
	<i>Ouest-Corse</i>	1,154	1,382	0,835	0,411	
	<i>Plaine orientale</i>	-2,265	1,382	-1,639	0,113	
	<i>Sud-Corse</i>	-5,961	1,590	-3,749	p<0,001	***
Vitesse de vent (km.h ⁻¹)	<i>Intercept</i>	10,879	0,705	15,430	p<0,001	***
	<i>Cap Corse</i>	-7,053	1,798	-3,924	p<0,001	***
	<i>Centre-Corse</i>	1,803	1,365	1,321	0,198	
	<i>Ouest-Corse</i>	-5,849	1,187	-4,929	p<0,001	***
	<i>Plaine orientale</i>	-4,492	1,187	-3,785	p<0,001	***
	<i>Sud-Corse</i>	-4,422	1,365	-3,239	0,003	**
Humidité (%)	<i>Intercept</i>	0,504	0,022	22,989	p<0,001	***
	<i>Cap Corse</i>	0,040	0,056	0,722	0,477	
	<i>Centre-Corse</i>	0,034	0,042	0,807	0,427	
	<i>Ouest-Corse</i>	0,020	0,037	0,543	0,592	
	<i>Plaine orientale</i>	0,004	0,037	0,108	0,915	
	<i>Sud-Corse</i>	-0,122	0,042	-2,877	0,008	**

Annexe 5. Test de Wilcoxon avec comparaisons par paires des variables climatiques selon l'année. Les seuils de significativité sont représentés par : « ns » pour non-significatif, « * » pour $p < 0,05$, « ** » pour $p < 0,01$ et « *** » pour $p < 0,001$. La p-value est ajustée grâce à la correction de Bonferroni.

Paramètre	Microrégion	Statistique	p-value	p-value ajustée	
Température moyenne (°C)	Balagne	162592	2,01E-17	<0,001	***
	Cap Corse	12077	5,89E-04	0,004	**
	Centre-Corse	1869	0,381	1,000	ns
	Ouest-Corse	58240	2,53E-12	<0,001	***
	Plaine orientale	4125	5,94E-04	0,004	**
	Sud-Corse	2181	0,385	1,000	ns
Température maximale (°C)	Balagne	160253	1,47E-15	<0,001	***
	Cap Corse	10912	0,086	0,520	ns
	Centre-Corse	1876	0,361	1,000	ns
	Ouest-Corse	55618	9,44E-09	<0,001	***
	Plaine orientale	3819	0,018	0,110	ns
	Sud-Corse	2215	0,301	1,000	ns
Température minimale (°C)	Balagne	168646	8,93E-23	<0,001	***
	Cap Corse	13001	1,58E-06	<0,001	***
	Centre-Corse	1610	0,593	1,000	ns
	Ouest-Corse	58193	2,98E-12	<0,001	***
	Plaine orientale	3945	0,005	0,030	*
	Sud-Corse	2091	0,667	1,000	ns
Amplitude thermique (°C)	Balagne	127598	0,421	1,000	ns
	Cap Corse	8928	0,225	1,000	ns
	Centre-Corse	1958	0,174	1,000	ns
	Ouest-Corse	48955	0,011	0,066	ns
	Plaine orientale	3208	0,794	1,000	ns
	Sud-Corse	2209	0,316	1,000	ns
Vitesse de vents (km.h ⁻¹)	Balagne	112381	0,011	0,066	ns
	Cap Corse	9530	0,745	1,000	ns
	Centre-Corse	2018	0,092	0,552	ns
	Ouest-Corse	55718	2,31E-09	<0,001	***
	Plaine orientale	5759	1,02E-19	<0,001	***
	Sud-Corse	2181	0,385	1,000	ns
Humidité (%)	Balagne	91566	1,15E-12	<0,001	***
	Cap Corse	9534	0,750	1,000	ns
	Centre-Corse	817	1,17E-06	<0,001	***
	Ouest-Corse	26186	1,01E-16	<0,001	***
	Plaine orientale	1456	6,73E-09	<0,001	***
	Sud-Corse	1186	8,07E-05	<0,001	***

Résumé

Au cours de la dernière décennie, la Corse a été témoin d'une diminution persistante de sa production apicole, suscitant une préoccupation majeure. Dans le but de comprendre cette évolution et de proposer des stratégies d'amélioration, une étude préliminaire sur deux ans a été entreprise pour évaluer les ressources mellifères potentielles et analyser l'impact des conditions climatiques sur le rendement des miels printaniers en Corse.

Afin d'identifier les facteurs structurants des miellées printanières en Corse, des relevés botaniques ont été menés dans un rayon de 500 mètres autour des ruchers. De plus, dix ruchers ont été équipés de balances connectées à des stations météorologiques pour surveiller en temps réel les facteurs climatiques influençant la production de miel.

Les résultats de cette étude ont permis de déterminer les conditions optimales pour une production réussie de miel printanier en Corse : une plage d'humidité entre 70 et 80 %, une température journalière moyenne à plus de 22 °C et des vents inférieurs à 5 km.h⁻¹. Les relevés botaniques ont révélé une homogénéité des espèces végétales sur tous les sites étudiés avec une mosaïque d'habitats plus ou moins marquée. L'analyse comparative des données sur les deux années d'étude a mis en évidence des variations substantielles. L'année 2022 a été caractérisée par une faible production de miel et une biodiversité restreinte, attribuables à des conditions marquées de sécheresse. En revanche, l'année 2023 a présenté une production plus importante, en lien avec une biodiversité floristique plus riche.

En fournissant des informations précises sur les conditions climatiques optimales et en mettant en évidence l'impact de la biodiversité floristique sur les rendements, cette étude offre des recommandations pratiques. Ces résultats se posent comme un outil essentiel pour guider les décisions futures dans le secteur apicole insulaire.

Mots-clefs : potentiel mellifère, changement climatique, abeille domestique, apiculture corse

Abstract

Over the past decade, Corsica has witnessed a consistent decline in its beekeeping production, raising significant concerns. With the aim of comprehending this trend and proposing enhancement strategies, a preliminary two-year study was undertaken to assess potential honey resources and analyze the impact of climatic conditions on spring honey yields in Corsica.

To identify the key determinants of spring honey flows in Corsica, botanical surveys were conducted within a 500-meter radius of beehives. Additionally, ten beehives were equipped with connected scales linked to meteorological stations, enabling real-time monitoring of climatic factors influencing honey production.

The findings of this study enabled the determination of optimal conditions for successful spring honey production in Corsica: a humidity range between 70 and 80%, a daily average temperature exceeding 22 °C, and winds below 5 km.h⁻¹. Botanical surveys unveiled uniformity in plant species across all study sites, displaying a varying mosaic of habitats. Comparative analysis of data from the two study years highlighted substantial variations. The year 2022 was marked by low honey production and limited biodiversity, attributed to pronounced drought conditions. In contrast, 2023 witnessed increased honey production, correlating with a richer floral biodiversity.

By furnishing precise insights into optimal climatic conditions and underscoring the influence of floral biodiversity on yields, this study provides practical recommendations. These outcomes stand as a pivotal tool to guide future decisions in the island's beekeeping sector.

Keywords : melliferous potential, climate change, honeybee, corsican beekeeping