

Évaluation des miellées printanières de Corse :

Influence des variations météorologiques et de l'évolution des disponibilités des ressources mellifères sur le rendement en miel



CHAMBERLIN Emelyne

2024/2025

Sous la direction de : YANG Yin

Office du Développement Agricole et Rural de Corse



Remerciement

Plusieurs personnes m'ont accompagné dans cette aventure corse. Tout d'abord, je tiens à remercier mon encadrante, **Yin Yang**, pour son soutien et son accompagnement tout au long de ce stage. J'ai énormément appris à ses côtés, notamment en identification floristique !

Merci au Syndicat AOP Miel de Corse – Mele di Corsica, et plus particulièrement à **Jennifer Mejean**, pour le temps consacré aux relectures et corrections, mais aussi pour sa bonne humeur et son rire au bureau ! Merci à **Caroline Marinthe** et **Arnaud Massoni** de m'avoir ouvert les portes de la miellerie et partagé leurs connaissances sur la profession apicole. Merci également à tous les **apiculteurs et apicultrices** en AOP rencontrés sur le terrain, qui nous offrent un temps d'échange. Enfin, merci à la filière de l'apiculture corse de m'avoir fait découvrir la diversité des saveurs des miels de l'île.

Merci à **Ange Bianchini** et à **Stéphane Andreani** pour leur relecture, leurs conseils et leur bienveillance.

Merci à l'ODARC, où différentes filières cohabitent au sein des mêmes bureaux d'Altiani. Cette expérience m'a permis de découvrir le monde agricole et les spécialités corses, comme le Brocciu ou la charcuterie AOP, lors des dégustations. Merci également à tous ces professionnels qui font perdurer et rayonner ces savoir-faire locaux.

Merci aux ami.e.s – collègues de l'ODARC, en particulier à **Alexis Merville et Fanny Lepinay**, pour avoir partagé avec moi la découverte des paysages corses, que ce soit en kayak sur la mer ou avec les bâtons de marche en montagne.

Merci à tous mes proches, présents à mes côtés, que ce ne soit en personne ou à distance, pour leur soutien tout au long de cette aventure de six mois.

Merci à Guapy, qui a su cohabiter en paix avec les poules de notre voisin corse.

Présentation et contexte du stage

Le présent stage s'inscrit dans le cadre des activités de recherches de l'Office du Développement Agricole et Rural de Corse (ODARC) qui, depuis 2021, met en place au sein de sa division « Recherche et Développement » un Comité Scientifique et Technique Apicole (CSTA), en partenariat avec le Syndicat AOP Miel de Corse – Mele di Corsica. Le CSTA regroupe des partenaires professionnels et institutionnels en lien avec le domaine de l'apiculture, dans le but de mieux comprendre et de pallier les causes possibles de la baisse de rendement en miel. Parmi ces partenaires figurent 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).

Ce stage, qui s'est déroulé de mars à août 2025, fait suite aux premiers travaux menés entre 2022 et 2024 sur la miellée printanière de Corse. Il avait pour objectif de perfectionner le protocole de recherche mis au point précédemment, afin de réaliser un inventaire précis de la flore autour des ruchers, de relever des paramètres météorologiques et d'étudier leurs relations avec le rendement en miel. Le stage s'est articulé en plusieurs phases : le premier mois a permis de prendre connaissance du sujet et d'explorer la structure des données recueillies précédemment ; les deux mois suivants ont été dédiés à la réalisation de relevés botaniques dans différentes régions de l'île, en binôme avec mon encadrante, la Dr. Yin Yang, cheffe de projet en apiculture au sein de l'ODARC ; enfin, les trois derniers mois ont été consacrés à l'analyse de données et à la rédaction du rapport. Afin d'assurer ces missions, un poste de travail équipé d'un ordinateur contenant les logiciels statistiques et cartographiques nécessaires à la réalisation des analyses a été mis à ma disposition.

Le stage a été suivi tout au long par mon encadrante. Le fait de partager un même bureau a grandement facilité les échanges sur ce sujet. Par ailleurs, deux réunions ont été organisées afin de mieux cadrer le stage et de suivre l'avancée des travaux, en présence d'Ange Bianchini, chef de la division Recherche et Développement de l'ODARC et de Jennifer Mejean, coordinatrice du Syndicat AOP Miel de Corse – Mele di Corsica.

Table des matières

1. Introduction	1
1.1. Contexte historique, écologique et territorial de l'apiculture en Corse	1
1.2. Rendement apicole et ses facteurs clés : météorologie et ressource mellifère.....	2
2. Matériels et Méthodes	4
2.1. Sites d'études et période de suivi.....	4
2.2. Collecte et traitement des données météorologiques et du rendement en miel	5
2.3. Collecte des données floristiques et évaluation de la biodiversité florale	5
2.4. Analyses statistiques	6
3. Résultats	8
3.1. Variabilité du rendement entre les sites et les années	8
3.2. Analyse des communautés végétales	8
3.2.1. Caractérisation des ruchers en fonction de IPM	8
3.2.2. Caractérisation des ruchers en fonction de l'abondance relative.....	9
3.3. Relations entre la variation climatique et la végétation avec le rendement printanier	10
3.3.1. Influence de la météorologie sur la biodiversité floristique.....	10
3.3.2. Classification des sites suivant leurs profils environnementaux.....	12
3.4. Influence de la météorologie sur le rendement journalier.....	13
4. Discussion	15
4.1. Rendement printanier et ses déterminants écologiques	15
4.1.1. Variabilité du rendement printanier	15
4.1.2. Rendement printanier en lien avec la dynamique de la floraison	15
4.1.3. Influence des facteurs environnementaux sur la production printanière en miel	17
4.1.4. Variabilité du rendement printanier selon les profils environnementaux	18
4.2. Rendement journalier.....	19
5. Conclusion	21
6. Bibliographie	22
7. Annexe	25

1. Introduction

1.1. Contexte historique, écologique et territorial de l'apiculture en Corse

La préservation des pollinisateurs constitue un enjeu crucial pour la sécurité alimentaire mondiale, d'autant plus préoccupant que plus d'un tiers d'entre eux est menacé d'extinction (Benhabri, 2021). Ce déclin, mis en évidence dès les années 1990 avec de fortes mortalités de colonies d'abeilles (Dupré *et al.*, 2021), résulte de multiples pressions : perte et fragmentation des habitats, pesticides, maladies et parasites (Potts, 2016). Or, environ 35 % de la production alimentaire humaine dépend directement de l'entomogamie. Et près de 75 % des cultures alimentaires bénéficient de cette pollinisation, par une amélioration du rendement ou de la qualité (Klein *et al.*, 2007). En France, ce service écosystémique était estimé entre 2 et 5 milliards d'euros par an en 2010 (EFESE, 2016).

L'abeille mellifère est un taxon emblématique qui incarne les enjeux croisés de l'agriculture et de l'écologie (Fortier *et al.*, 2020). Son déclin reflète la crise écologique actuelle, faisant de l'apiculture une activité à la jonction de ces problématiques. Dans ce contexte, l'apiculture corse constitue un cas d'étude pertinent. Marquées par une faible intensification agricole, les terres cultivées représentent 20 % de la surface de l'île, en raison notamment de son relief et de son histoire agropastorale (DRAAF de Corse *et al.*, 2024). Les colonies d'abeilles y exploitent donc majoritairement une flore spontanée et non cultivée.

L'île de Beauté, d'une superficie de 8 722 km², présente une géographie singulière. Elle allie un climat à la fois méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux, et alpin en zone montagnarde, caractérisé par une forte pluviométrie (Rome & Giorgetti, 2006, 2007; Jeanmonod & Gamisans, 2013). L'expression bien connue « *Une montagne dans la mer* » n'a pas été attribuée à la Corse par hasard. Le territoire est recouvert à 39 % de milieu montagneux s'élevant au-dessus de 600 m d'altitude et où 120 sommets dépassent les 2 000 m d'altitude parmi lesquels le Monte Cinto (2 710 m) (Rome & Giorgetti, 2006, 2007). Ce relief atypique permet la présence de microclimats au sein de l'île.

Du littoral jusqu'aux zones subalpines, la succession des étages de végétation de Corse est progressive. En tant qu'île méditerranéenne, la Corse partage les caractéristiques écologiques propres à cette région. Sont présents sur l'île, les étages thermoméditerranéen (chaud et sec, végétation thermophile), mésoméditerranéen (moins chaud et sec, végétation du maquis) et supraméditerranéen (moins chaud et plus arrosé, végétation forestière de chêne pubescent ou de pin sylvestre) (Jeanmonod & Gamisans, 2013). La Corse constitue une exception parmi les territoires méditerranéens, car l'étage montagnard se divise en deux : l'un eurosibérien, avec des forêts de sapins et de hêtres, et l'autre typiquement méditerranéen, dominé par les pins laricio (Gonin *et al.*, 2012).

Apis mellifera mellifera, l'abeille noire d'Europe de l'Ouest, possède en Corse un écotype particulier, façonné par l'insularité et les conditions écologiques locales. Elle se distingue par des critères morphologiques (abdomen sombre, langue longue, poil court, tomentum large et index cubital élevé) et génétiques spécifiques (Battesti, 1990; Nafteux, 2004). La mise en application de l'arrêté ministériel du 1^{er} juillet 1982 (Larger, 1982) protège le patrimoine apicole local en interdisant l'importation de reines, de colonies et de matériel apicole en Corse. Seize ans plus tard, l'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC) Miel de Corse - Mele di Corsica est créée et l'abeille noire d'écotype Corse en est le pilier. L'AOC Miel de Corse - Mele di Corsica se décline en 6 catégories s'étalant sur l'année en suivant la floraison : Printemps, Maquis de Printemps (dominance d'*Erica arborea*), Miellats du Maquis, Maquis d'Été (dominance d'*Anthyllis hermannia*), Châtaigneraie et Maquis d'Automne (dominance d'*Arbutus unedo*). L'Appellation d'Origine Protégée (AOP) voit le jour deux ans plus tard et renforce les contrôles gage de qualité liée à l'origine. La force de l'AOP réside dans son cahier des charges : les miels doivent, d'une part, répondre aux caractéristiques visuelles, olfactives et gustatives définies et, d'autre part, leur composition pollinique doit correspondre aux associations végétales définies également.

1.2. Rendement apicole et ses facteurs clés : météorologie et ressource mellifère

La ressource florale et les variations météorologiques apparaissent comme les facteurs majeurs influençant la production de miel par les abeilles, dont *Apis mellifera mellifera*. Lors du butinage, chaque abeille tend à se spécialiser dans la collecte d'un seul type de ressource (nectar, miellat, pollen, eau ou propolis) et manifeste une fidélité florale, optimisant la pollinisation et l'efficacité de la récolte (Amaya-Márquez, 2009; Grüter *et al.*, 2011; Wright *et al.*, 2018). Le nectar et le miellat, riche en glucides, sont transformés en miel, source d'énergie pour la colonie (Nicolson & Thornburg, 2007). Le pollen, ressource protéique et lipidique est conservé dans les alvéoles de la ruche, sans transformation. Une diversité floristique variée permet une disponibilité continue des ressources mellifères (Mramba, 2025). En revanche, une faible diversité floristique peut induire une compétition pour les ressources, intra- et/ou interspécifique (Ropars, 2020).

Au-delà de la disponibilité florale, les conditions météorologiques influencent directement l'activité de butinage. En effet, elle est optimale entre 20 et 30 °C, sous une humidité relative comprise entre 50 et 70 % (Vincze *et al.*, 2025), et dès lors que les vents sont inférieurs à 3,5 m/s (Ngo *et al.*, 2021). Même de faibles précipitations peuvent perturber le vol des abeilles en limitant leur capacité à se déplacer efficacement et en augmentant le risque de mortalité (Clarke & Robert, 2018), notamment lorsqu'elles sont associées à des baisses brutales de température. Le rayonnement solaire, en particulier, a un effet fortement positif sur l'activité des butineuses, en stimulant à la fois la floraison, la production de nectar et l'activité de vol (Burrill & Dietz, 1981).

Si certaines conditions environnementales favorisent l'activité des abeilles, le changement climatique risquent de perturber cette dynamique. En méditerranée, un climat plus chaud et plus sec, avec des sécheresses accrues (Ali *et al.*, 2023), est attendu, et cela fragilisera la stabilité des écosystèmes. Les effets sont déjà visibles avec l'avancement des stades phénologiques (Gordo & Sanz, 2009) et, une désynchronisation dans les interactions trophiques. Lors d'épisodes combinant sécheresse et fortes chaleurs, la durée de floraison peut être réduite de trois semaines, entraînant une chute de 60 % du poids des ruches, traduisant un stress alimentaire et une baisse des réserves (Flores *et al.*, 2019).

Depuis quelques années, sur l'île comme ailleurs, les apiculteurs subissent de plein fouet les effets de la crise environnementale. En Corse, les rendements des années 2000 ne ressemblent plus à ceux

d'aujourd'hui : le Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica a observé une baisse de plus de 50 % depuis 2004 (**Fig. 1**). L'élevage de reines, la réactivité de transhumance, les récoltes, le traitement contre les maladies (dont le *Varroa destructor*) sont planifiés en amont. Cependant, les aléas climatiques peuvent interférer avec ce planning. Cela demande ainsi une certaine réactivité et des stratégies d'adaptations (Orhant, 2022) pour maintenir des rendements suffisants et pérenniser l'activité. A cela s'ajoute une grande diversité des pratiques exercées par les apiculteurs, qui peut également influencer le rendement en miel.

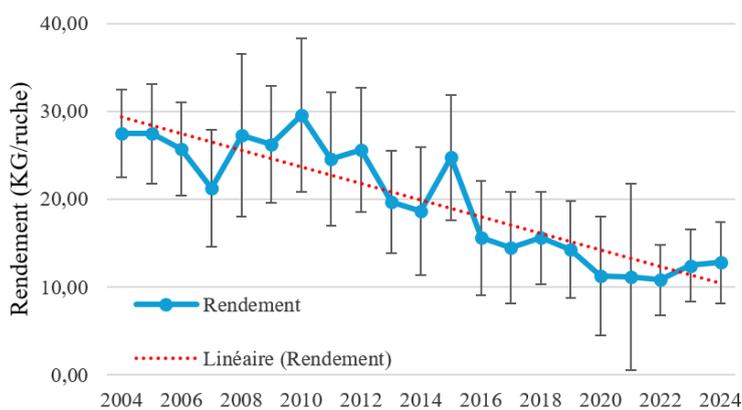


Fig. 1. Evolution des rendements totaux en miel (gamme confondu) en Corse (source : Syndicat AOP Miel de Corse - Mele di Corsica, 2025)

Créé en 2021, le CSTA a pour objectif de mener des études scientifiques concernant les causes de la baisse de la production de miel en AOP. Dans ce cadre, quatre stages de fin d'étude en agronomie et /ou environnement ont été réalisés au sein de l'ODARC, explorant plusieurs axes d'études. Un premier axe, à dominante sociologique, s'intéresse aux perceptions des professionnels, aux pratiques apicoles et aux stratégies d'adaptation face aux changements environnementaux (Orhant, 2022; Sannier, 2022). Un deuxième axe, initié en 2022, porte sur le suivi du rendement en lien avec les ressources mellifères et les conditions météorologiques. Il a permis de mettre en évidence une relation linéaire négative entre le rendement et la proportion de maquis à bruyère sur la saison 2022 (Bourreau, 2022), ainsi une corrélation positive entre la richesse floristique et le rendement (Belliard, 2023). Ces études ont permis de poser des bases méthodologiques efficaces et apporter les premiers éléments de réponse.

Le présent travail s'inscrit dans la continuité des recherches menées depuis 2022 sur les liens entre l'environnement et la production apicole en Corse, dans le cadre d'une collaboration étroite avec les apiculteurs en AOP Miel de Corse – Mele di Corsica. Cette étude porte spécifiquement sur la saison printanière, correspondant à la production des miels en AOP de Printemps et de Maquis de Printemps. Elle vise à mieux comprendre comment les ressources mellifères et les variations météorologiques influencent la production de miel au printemps, en considérant à la fois leurs effets directs sur le rendement et de l'effet indirect exercé par la météorologie sur la disponibilité en ressources mellifères. Pour cela, une analyse approfondie a été conduite à partir des données collectées entre 2022 et 2025, incluant des variables météorologiques, des indices de biodiversité floristiques et les rendements en miel. Toutefois, la méthode employée jusqu'ici, basée sur le poids brut des ruches, présente certaines limites liées à la variabilité du poids initial d'une ruche à l'autre. Pour y remédier, une correction sera appliquée de manière à ajuster cette variable réponse essentielle. Parallèlement, l'analyse sur les données botaniques, jusque-là centrée sur des indices de biodiversité et une lecture paysagère, sera enrichie par une nouvelle approche d'exploitation des données botaniques.

Les objectifs de ce rapport s'articulent autour de deux échelles d'analyse. A l'échelle printanière, il s'agit d'examiner l'influence de la biodiversité floristique sur le rendement, d'évaluer l'effet des variations météorologiques sur cette biodiversité, et de comprendre dans quelle mesure ces facteurs combinés influencent le rendement. A l'échelle journalière, l'étude se concentre plus spécifiquement sur l'influence des variables météorologiques quotidiennes sur les fluctuations du rendement.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Sites d'études et période de suivi

L'étude a été menée sur 10 sites (M1 – M10) répartis dans différentes zones géographiques de Corse (**Fig. 2**), situé entre 50 et 600 m d'altitude et soumis à un climat méditerranéen doux et humide, avec des températures moyennes annuelles de 14 à 17 °C, des pluies abondantes mais irrégulières et des étés secs. Tous les sites se trouvent dans l'étage mésoméditerranéen, caractérisé par le maquis, une formation végétale basse et dense avec une dominance d'arbrisseaux poussant sur des sols acides. Certains emplacements ont été modifiés au cours de l'étude : en 2023, le site M3 a été déplacé vers M3', et en 2025, le site M8 a été déplacé vers M8_25 (Fig. 2), en raison de l'indisponibilité des terrains initiaux.

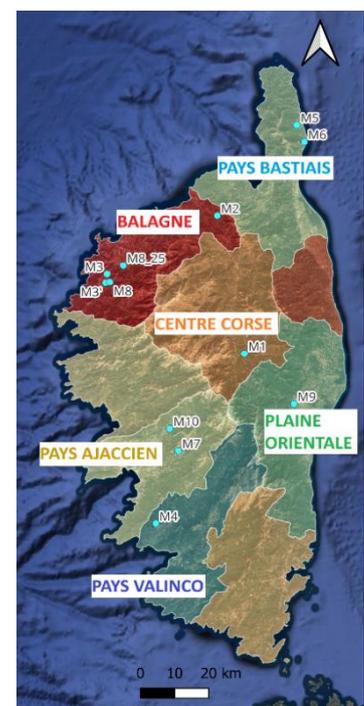


Fig. 2. Cartographie des 10 sites d'étude et des microrégions de Corse.

2.2. Collecte et traitement des données météorologiques et du rendement en miel

Afin d'évaluer l'influence du climat sur le rendement en miel, tous les sites d'étude sont équipés de trois balances connectées et d'une station météorologique depuis 2022 (BeeGuard, France). Ces appareils, en lien avec la plateforme BeeGuard, permettent de collecter les données relatives au poids total de la ruche ainsi que les variables climatiques (température, pluviométrie, pourcentage d'humidité, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent) sur un pas de temps de 1 heure. Cela nous permet de corriger les éventuelles interventions des apiculteurs, comme l'ajout ou le retrait des hausses. À la suite, nous avons fait le choix de sélectionner la plage horaire qui correspond à la période d'activité des abeilles, c'est-à-dire entre 8 et 20 heures d'après nos observations. Les rendements ont été ensuite estimés à partir de ses variations horaires du poids des ruches. Les différences de poids ont été cumulées à l'échelle journalière et printanière. Certains rendements n'ont pas pu être estimés en raison de l'absence de données, lié à des pannes du matériel. Enfin, la pression atmosphérique a été ajustée au niveau de la mer afin de limiter les biais liés à l'altitude.

2.3. Collecte des données floristiques et évaluation de la biodiversité florale

L'évaluation de la ressource florale autour du rucher repose sur un protocole de relevé botanique phytosociologique mis au point en 2022 par une précédente stagiaire (Bourreau, 2022), avec le soutien du Conservatoire Botanique National de Corse.

Les relevés botaniques ont été réalisés une seule fois par site, au printemps (avril-mai), dans un rayon de 500 m autour de chaque rucher. Ce rayon a été choisi pour des raisons pratiques, car il permettait d'évaluer d'un plus grand nombre de ruchers dans le temps imparti, tout en assurant la faisabilité du protocole sur l'ensemble des sites. Le protocole s'est déroulé de la manière suivante :

- Une première analyse du paysage a été effectuée à l'aide d'une carte photo-satellite fournie par le logiciel QGIS (Version 3.34.3, Hyderabad, Inde), afin de repérer les différents milieux homogènes (Annexe 1).
- Sur le terrain, un inventaire exhaustif des espèces florales a été réalisé en binôme sur chaque milieu homogène en suivant le principe de l'aire minimale d'échantillonnage, élargie progressivement jusqu'à ce qu'aucune nouvelles espèces ne soit observé.
- L'identification des espèces a été permise grâce à la flore locale Flora Corsica (Jeanmonod & Gamisans, 2013). Pour chaque espèce, les coefficients d'abondance-dominance (Braun-Blanquet, 1932) ont été relevés. La proportion en fleur des espèces mellifères emblématiques des miels (*Erica* sp., *Asphodelus* sp., *Cistus* sp.) a également été relevée.
- L'observation sur le terrain a également permis d'ajuster les surfaces des milieux en fonction de leur homogénéité écologique. Ces surfaces sont ensuite calculées dans QGIS.

Pour évaluer la disponibilité en ressource florale mellifère au printemps, la sélection des espèces mellifères a été réalisée selon trois critères définis : (i) les espèces majoritairement retrouvées dans les miels AOP de la gamme Printemps et Maquis de Printemps, (ii) les espèces dont la floraison a lieu au printemps et (iii) les espèces n'appartenant pas au clade des ptéridophytes.

Afin de calculer la surface occupée par chaque espèce sélectionnée, les coefficients d'abondance sont convertis en valeurs médianes de leur classe respective (Annexe 2). Ces valeurs sont ensuite pondérées en fonction de la surface du milieu, puis additionnées afin d'obtenir la surface totale occupée par l'espèce à l'échelle du site. La proportion de cette surface par rapport à la surface totale du site, exprimée en pourcentage, représente l'abondance relative de chaque espèce. Enfin, la somme des surfaces occupées par toutes les espèces a été calculée afin d'obtenir l'abondance totale, exprimé en pourcentage de la surface du site.

A partir de ces surfaces et du pourcentage de floraison de chaque espèce, nous avons mis en place dans la présente étude un Indice du Potentiel Mellifère (IPM). Cet indice considère le stade phénologique florale comme un proxy de la disponibilité en ressource en fleur :

$$IPM_{\text{espèce}} = \frac{\text{surface_occupées_espèce (m}^2\text{)} * \text{Floraison_espèce (\%)}}{\text{surface_totale_site}}$$

Ensuite, l'IPM total de chaque site est obtenu en combinant les IPM de toutes les espèces, reflétant ainsi la surface totale en floraison sur le site.

Enfin, plusieurs indices de biodiversité florale sont calculés pour chaque site : richesse spécifique, indice de Shannon et indice d'équitabilité de Pielou, afin de compléter le jeu de données.

2.4. Analyses statistiques

Plusieurs analyses ont été effectuées au cours de cette étude afin de mieux comprendre les relations entre le climat, les communautés végétales et le rendement en miel journalier et printanier (2 198 et 36 observations, respectivement). L'ensemble des analyses a été réalisé à l'aide du logiciel R 4.4.2 (R Core Team, 2024). Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

Afin d'identifier les différents profils environnementaux, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur 34 observations à l'aide du package *FactoMineR*, à partir de variables météorologiques et de biodiversité. Deux observations (M6_2025 et M2_2025) présentant des valeurs manquantes pour la variable de précipitation ont été exclues. Les variables fortement corrélées ($|r| > 0,7$) ont été retirées et les données ont été centrées et réduites. Une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a ensuite été appliquée aux matrices de dissimilarité pour explorer le regroupement naturel des sites, le nombre de groupe ayant été déterminé par l'examen visuel des

dendrogrammes (package *factoextra*) et l'exploration des différentes partitions. Des tests statistiques paramétriques ou non paramétriques ont été effectués pour comparer les moyennes des variables explicatives entre groupes, permettant de caractériser les spécificités de chacun.

Afin de caractériser les sites selon leur composition végétale au printemps, deux analyses de type Non-Metric Multidimensional Scaling (nMDS) ont été réalisées : l'une sur les abondances relatives de 123 espèces, et l'autre sur les IPM de 78 espèces qui sont présentes dans au moins quatre sites. Le nMDS, réalisé avec le package *vegan* et basé sur une matrice de distance de Bray-Curtis, permet de visualiser les relations entre les sites selon leur composition végétale et celle en floraison. L'analyse a été effectuée sur 35 observations, après retrait des valeurs manquantes, présentes uniquement dans le site M3 en 2022. Le dendrogramme issu de la CHA appliquée aux matrices de dissimilarité a été examiné par inspection graphique, et différentes partitions ont été explorées pour déterminer un nombre approprié de groupes. Les espèces indicatrices de chaque groupe ont été identifiées par la méthode IndVal (Dufrene & Legendre, 1997), combinant spécificité (exclusivité à un groupe) et fidélité (fréquence dans le groupe). Leur significativité a été testée par permutation ($n = 1000$).

Une analyse des variances (ANOVA) a permis de comparer les rendements printaniers entre les groupes issus des trois classifications. Les conditions d'applications ont été vérifiées, notamment la normalité des résidus et de l'homogénéité des variances.

Afin d'analyser dans quelle mesure les communautés végétales sont expliquées par les variables météorologiques, une Analyse De Redondance (RDA) a été réalisée à l'aide du package *vegan*. La pertinence de cette approche linéaire a été confirmée par une *Detrended Correspondence Analysis* (DCA), les longueurs d'axe étant inférieures au seuil de trois, condition requise pour l'application d'une RDA. Une transformation de la matrice d'abondance a été réalisée selon la méthode d'Hellinger, afin de réduire l'influence des absences et des valeurs extrêmes. La significativité globale du modèle, des axes contraints et des variables explicatives a été testée par permutations ($n = 1000$). Enfin, la colinéarité entre variables explicatives et la qualité de l'ajustement (*goodness of fit*) ont été examinées. Les espèces dont l'ajustement cumulé sur les deux premiers axes était inférieur à 0,1 ont été retirées.

Les relations potentiellement non linéaires entre le rendement journalier des ruches et les variables météorologiques ont été analysées au moyen d'un Modèle Additif Généralisé (GAM). Le modèle incluait un effet aléatoire sur le site et l'année (site×année). Les résidus ont été examinés graphiquement afin de vérifier les conditions d'applications du modèle (normalité, homoscedasticité et indépendance). Le GAM a été ajusté sous R avec le package *mgcv*.

3. Résultats

3.1. Variabilité du rendement entre les sites et les années

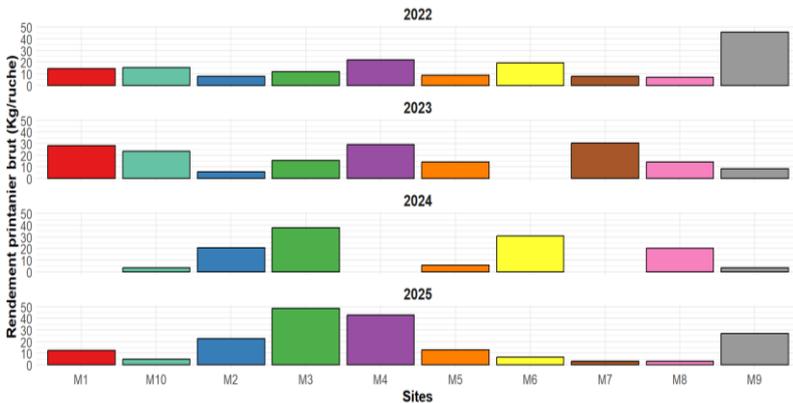


Fig. 3. Rendement printanier brut (kg/ruche) par site et par année.

L'analyse préliminaire du rendement printanier révèle une forte variabilité interannuelle ainsi qu'une variabilité intersites, avec des rendements moyens allant de 2,99 à 48,63 kg/ruche (Fig. 3), pour une moyenne de 17,78 kg et un écart type de 12,77 kg.

3.2. Analyse des communautés végétales

Pour mieux comprendre la relation entre la diversité floristique autour des ruchers et le rendement en miel, une analyse de la diversité bêta a été réalisée à partir des IPM et des abondances relatives, afin de caractériser et de comparer les ruchers selon leur communauté végétale.

3.2.1. Caractérisation des ruchers en fonction de IPM

Une analyse nMDS et une CHA a été menée à partir des IPM afin de mieux caractériser les communautés végétales en floraison autour des ruchers (Fig. 4), à l'aide de l'IndVal (Annexe 3).

La majorité des sites (Groupe c, n= 23) sont dominés par une floraison typique du maquis méditerranéen, en particulier du maquis à *Erica arborea*, avec une végétation arbustive dense comprenant *Genista corsica*, *Cytisus villosus*, *Asphodelus ramosus*, *Cistus creticus*. Le site M9 (Groupe b, n = 4) se distingue par sa localisation en Plaine Orientale, où prédominent les espèces cultivées telles que *Citrus clementina*.

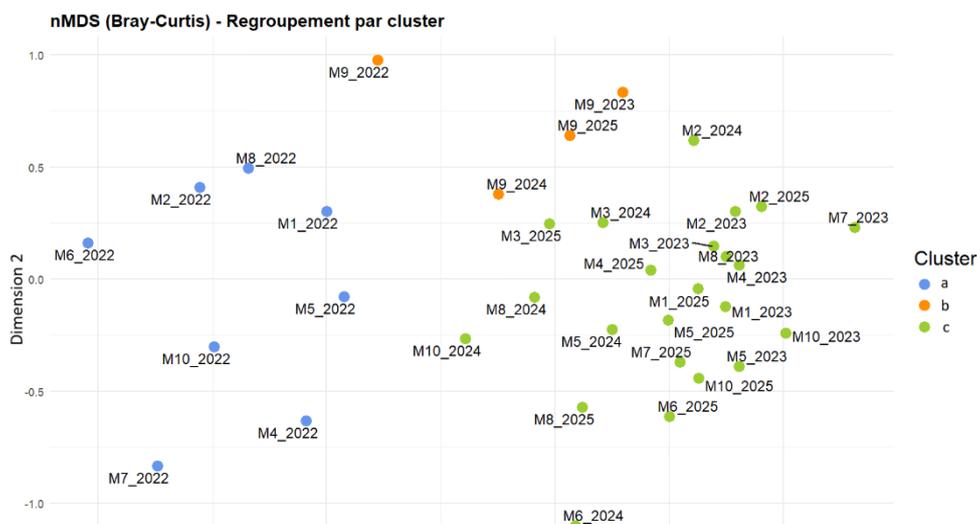


Fig. 4. Représentation de l'analyse nMDS (basée sur les distances de Bray-Curtis) des sites selon leur IPM. Les couleurs correspondent aux groupes identifiés par la CHA.

Une particularité a été observée en 2022 (Groupe a, n = 8) : la proportion de fleurs était faible sur la plupart des sites. Seules certaines herbacées non bulbeuses ont fleuri, telles que *Trifolium campestre*, *Silene gallica* et *Plantago lagopus*, ce qui explique leurs valeurs IndVal élevées.

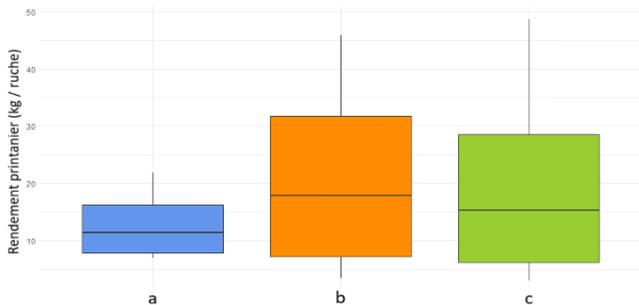


Fig. 5. Diagramme en boîte comparant les rendements printaniers (kg/ruche) entre les groupes issus de la CHA de la nMDS des IPM.

Enfin, l'ANOVA comparant les rendements printaniers entre ces trois groupes ne montre pas de différences significatives (Fig. 5), bien que le Groupe a (regroupant les sites de 2022) présente en moyenne un rendement plus faible et moins variable que les deux autres groupes.

3.2.2. Caractérisation des ruchers en fonction de l'abondance relative

L'approche nMDS couplée à la CHA appliquée aux abondances relatives des espèces mellifères a mis en évidence quatre groupes distincts (Fig. 6), correspondant à des zones géographiques (Fig. 2) :

- Groupe 1 : Zone de petite montagne (Centre Corse et Pays Ajaccien) (n = 10)
- Groupe 2 : Littoral (Balagne et Pays Valinco) (n = 14)
- Groupe 3 : Pays Bastiais (n = 7)
- Groupe 4 : Plaine Orientale (n = 4)

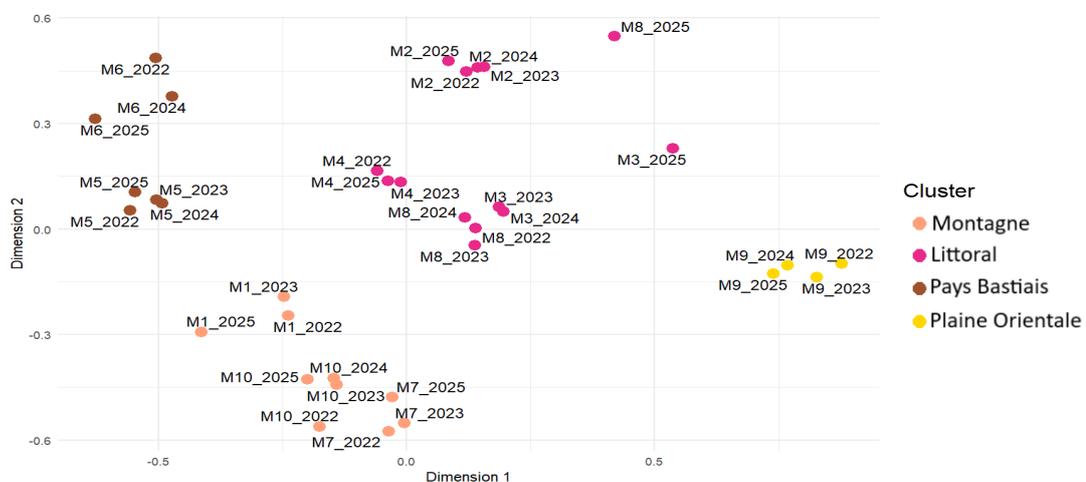


Fig. 6. Représentation de l'analyse nMDS (basée sur les distances de Bray-Curtis) des sites selon l'abondance relative. Les couleurs correspondent aux groupes identifiés par la CHA et leur lien avec la géographie Corse.

L'analyse IndVal a permis d'identifier, pour chaque groupe, les espèces les plus fidèle et spécifiques, présentant une valeur indicatrice significative (Annexe 4) :

- Le groupe 1 (Zone petite montagne) : 21 espèces, parmi lesquelles *Cytisus scoparius*, *C. villosus*, *Trifolium incarnatum subsp. molinerii*, *Crataegus monogyna* et *Salix atrocinerea* se distinguent par leur forte valeur indicatrice.

- Le groupe 2 (Littoral) : cinq espèces, caractérisées par *Olea europaea* et des espèces méditerranéennes comme *Calicotome spinosa* et *Cistus monspeliensis*, *Quercus ilex* et *Ferula communis*.
- Le groupe 3 (Pays Bastiais) : neuf espèces, représentée par des espèces méditerranéennes aromatiques, arbustives et des herbacées, telles que *Salvia rosmarinus*, *Erica scoparia*, *Anthyllis hermanniae*, *Lotus hirsutus* et *Genista corsica*.
- Le groupe 4 (Plaine Orientale) : 11 espèces principalement cultivées ou herbacées, notamment *Citrus* sp. (dont *Citrus clementina*), *Vitis vinifera*, *Viburnum* sp., *Papaver somniferum* subsp. *setigerum* et *Rumex pulcher*.

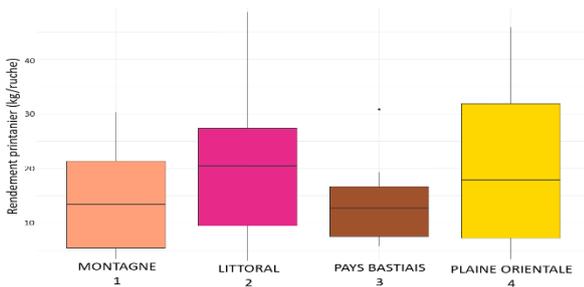


Fig. 7. Diagramme en boîte comparant les rendements printaniers (kg/ruche) entre les groupes issus de la CHA de la nMDS des abondances relatives.

Une analyse de variance réalisé sur ces quatre groupes a permis de comparer les rendements. Il est à noter que le groupe 3, correspondant aux sites du Pays Bastiais, présente un rendement moyen accompagné d'une variabilité plus faible, tandis que le groupe 4, situé en Plaine Orientale, affiche la plus grande variabilité de rendement (**Fig. 7**). Le groupe 2, correspondant aux ruchers du littoral, semble

présenter le rendement moyen le plus élevé. Cependant, l'ANOVA n'a révélé aucune différence significative de rendement entre les groupes.

3.3. Relations entre la variation climatique, la végétation et le rendement printanier

3.3.1. Influence de la météorologie sur la biodiversité floristique

Une RDA a été réalisée afin d'examiner l'influence des variables météorologiques printanières sur les abondances relatives des espèces mellifères (Fig. 8). Le modèle global est significatif ($p < 0.05$) et explique 23 % de la variance totale, dont 57 % est porté par l'axe RDA1 et 38 % par RDA2, soit un cumul de 95 % de la variance sous contrainte.

Le modèle retenu est le plus parcimonieux et inclut les variables météorologiques explicative suivantes : l'altitude, la vitesse moyenne du vent et la température moyenne. Au niveau des espèces mellifères, 91 espèces ont été retenues après une analyse de leur ajustement aux axes.

Les deux axes, RDA1 et RDA2, sont significatifs, selon le test de permutation. L'analyse des variables explicatives révèle que l'altitude et la vitesse moyenne du vent contribuent significativement à la structuration des communautés végétales, tandis que la température moyenne n'exerce pas d'effet significatif direct.

L'axe RDA1 reflète un gradient altitudinal croissant de la droite vers la gauche. Les abondances de *Cistus monspeliensis*, *Olea europaea*, *Citrus clementina*, *Salvia rosmarinus*, *Asphodelus ramosus*, *Pistacia lentiscus* et *Vitis vinifera* sont plus élevées aux basses altitudes, tandis que *Cytisus villosus*, *Quercus ilex*, *Erica arborea*, *Alnus glutinosa* et *Cytisus scoparius* deviennent plus abondante aux altitudes supérieures. Cet axe oppose principalement les sites de la zone de petite montagne à ceux de la Plaine Orientale. Les sites du Littoral et ceux du Pays Bastiais occupent une position plutôt centrée, leur structuration étant également expliquée par l'axe RDA2.

L'axe RDA2 traduit également un gradient altitudinal plus modéré, croissant du haut vers le bas, associé à des vitesses du vent plus élevées en altitudes. Cet axe oppose, en bas, des abondances plus élevées de *Cistus creticus*, *Stachys glutinosa*, *Asphodelus ramosus* et *Trifolium arvense*, à celles de *Quercus suber* et *Citrus clementina* plus abondantes vers le haut. Les sites du Littoral se distinguent des autres par des vitesses du vent et des altitudes plus élevées, expliquées par le site M2 situé à 400 m d'altitude, associé à des vitesses moyennes du vent plus importantes (Annexe 5).



Fig. 8. RDA des abondances relatives d'espèces mellifères en fonction des variables météorologiques (Altitude, Vitesse moyenne du vent (Vvent_moyS) et Température moyenne (Tps_ext_moyS)). Les couleurs représentent les quatre groupes issus de la nMDS basée sur l'abondance relative. Les cercles regroupent les sites identiques à différentes années, proches sur la projection RDA.

Nous observons également que les sites, indifféremment de l'année, se positionnent proches dans la projection RDA. Ce regroupement suggère une faible variabilité interannuelle de la composition végétale et des conditions météorologiques.

Le rendement printanier (rendement_S) a été ajouté comme une variable passive dans la RDA. Sa projection vers le haut à droite suggère une association avec les sites situés à basse altitude. Le vecteur de la vitesse moyenne du vent, étant perpendiculaire au vecteur du rendement, n'indique pas de relation directe entre ces deux variables. Un rendement plus élevé semble lié aux sites de la Plaine Orientale et du Pays Bastiais. Les espèces *Citrus clementina*, *Salvia rosmarinus* et *Vitis vinifera*, suivent la direction du vecteur du rendement, tandis que *Quercus ilex* et *Citrus villosus* se projettent dans la direction opposée, indiquant une relation négative avec le rendement.

3.3.2. Classification des sites suivant leurs profils environnementaux

Afin de mieux cerner le profil environnemental annuel des sites d'étude, une ACP suivie d'une CHA a été réalisée, en utilisant les variables météorologiques printanières, les indices de biodiversité, l'abondance relative totale et l'IPM total des espèces mellifères (Annexe 5). Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 50 % de la variance totale et ont permis d'identifier trois groupes (Fig. 9). Chaque groupe, présentant un profil environnemental distinct, ne semble pas suivre de logique temporelle ou spatiale particulière (Annexe 6).

Le groupe A (jaune) regroupe 15 sites présentant des températures moyennes plus élevées (18 °C) et une variation thermique plus importante (5 °C). La vitesse moyenne du vent y est également plus élevée (7 km/h) par rapport aux autres groupes. La richesse floristique (182 espèces), l'IPM (13,74 %) et la pluviométrie (64 mm) de ce groupe sont relativement faibles, bien que ces derniers ne soient pas statistiquement significatifs.



Fig. 9. Analyse en Composante Principale (ACP). (I) Projection des observations sur les axes 1 et 2 de l'ACP. Les couleurs représentent les différents groupes issus de la CHA. (II) Cercle de corrélation des variables explicatives.

Le groupe B (vert, 13 sites) se caractérise par une pluviométrie élevée (154 mm), une richesse spécifique importante (271 espèces) et un indice de Pielou plus élevé (0,88). Les températures

moyennes (16 °C) et la vitesse du vent (4 km/h) y sont plus faibles, malgré l'absence de significativité statistique.

Le groupe C (rose, 6 sites) est marqué par de faibles valeurs de vitesse du vent (2,3 km/h) et de plus faible température moyenne (14 °C). Il se distingue également par un IPM élevé (55 %) ainsi qu'une abondance relative plus importante (95 %). Une grande richesse spécifique (249 espèces) et une pluviométrie modérée (73 mm) sont aussi à souligner, même si elles ne présentent pas de significativité statistique.

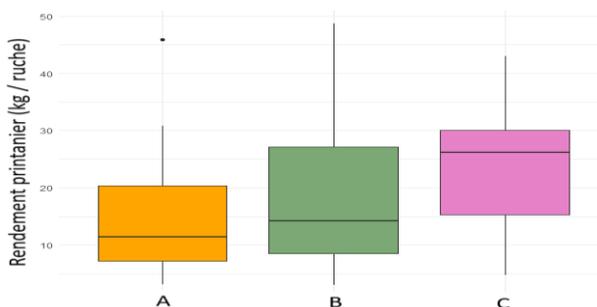


Fig. 10. Diagramme en boîte comparant les rendements printaniers (kg/ruche) entre les groupes issus de la CHA de l'ACP.

L'ANOVA a été effectuée dans le but de comparer le rendement printanier entre ces trois groupes (Fig. 10). Elle n'a révélé aucune différence significative entre ces trois groupes. Néanmoins, il semblerait que la moyenne de rendement printanier du groupe A soit plus faible, tandis que celle du groupe C est plus élevée.

3.4. Influence de la météorologie sur le rendement journalier

Dans cette dernière analyse, un GAM a été effectué pour étudier la variation du rendement journalier en fonction des conditions météorologiques.

Le GAM explique 20,7 % de la variance du rendement (R^2 ajusté = 0,187), ce qui indique une contribution modérée des variables explicatives. L'ensemble des variables testées présentent un effet significatif ($p < 0,05$). Le modèle inclut les variables suivantes : la variable binaire « jour avec/sans pluie », la température moyenne, l'écart type de la température, l'humidité moyenne, la pression atmosphérique ajustée, la vitesse moyenne du vent, l'écart type de la vitesse du vent, ainsi qu'un effet aléatoire appliqué sur le site×année. La pluviométrie journalière a été retirée du modèle en raison de sa mauvaise adaptation, probablement liée à la forte proportion de jours sans pluie.

Tableau 1. Effet de la variable binaire « Jour avec/sans pluie » (J_{pp}) dans le modèle GAM global expliquant le rendement journalier. J_{pp} a été transformée en variable catégorielle ($as.factor()$) : la modalité de référence est « sans pluie » ($J_{pp} = 0$), et le terme « $as.factor(J_{pp}) 1$ » correspond à la modalité « avec pluie » ($J_{pp} = 1$).

	Estimation	Erreur standard	P-value
Intercept	0,28825	0,03691	8,95e-15 ***
as.factor(J_{pp}) 1	-0,078	0,03642	0,0334 *

Le facteur binaire indiquant la présence ou non de la pluie présente un effet significatif sur le rendement journalier. Ainsi, les jours de pluie sont associés à une diminution moyenne d'environ 0,078 kg par ruche par rapport aux jours sans pluie (Tableau 1).

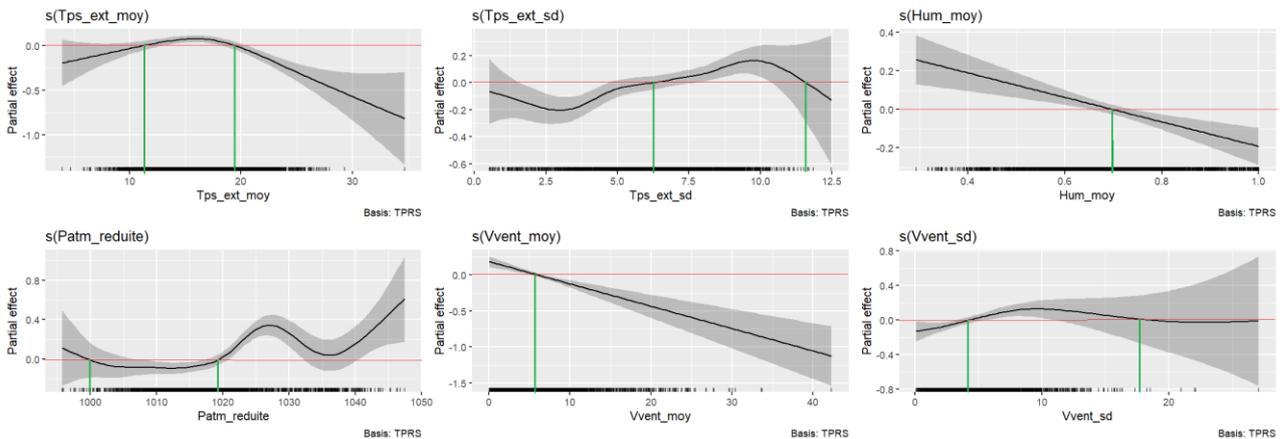


Fig. 11. Effets partiels des variables météorologiques sur le rendement journalier (kg/ruche) selon le modèle GAM global : température moyenne (*Tps_ext_moy*) ; écart-type de la température (*Tps_ext_sd*) ; humidité moyenne (*Hum_moy*) ; pression atmosphérique ajustée (*Patm_reduite*) ; vitesse moyenne du vent (*Vvent_moy*) ; écart-type de la vitesse du vent (*Vvent_sd*). La droite rouge indique la limite entre un rendement positif et négatif. Les lignes vertes projettent sur l'axe des abscisses l'intersection entre la droite de référence (rouge) et de la courbe de l'effet partiel.

Des relations non linéaires avec le rendement sont observées pour la température moyenne, l'écart type de la température, la pression atmosphérique, l'écart type de la vitesse du vent, tandis que l'humidité moyenne et la vitesse moyenne du vent présentent des relations linéaires (**Fig. 11**).

Selon le modèle, les conditions météorologiques favorables à un rendement journalier positif sont :

- une température moyenne comprise entre 11 et 19,5 °C,
- une variabilité journalière des températures comprise entre 6,25 et 12 ° C,
- une humidité moyenne inférieure à 70%,
- une pression atmosphérique en dehors de l'intervalle 1000 - 1019 hPa, avec une incertitude plus grande avant 1000 hPa.
- une vitesse moyenne du vent inférieur à 5 km/h,
- une variabilité de la vitesse du vent comprise entre 14 et 17,5 km/h.

L'effet aléatoire de site×année est significatif et capture la variabilité spécifique du rendement journalier à chaque combinaison site-année. Ce résultat montre que les observations issues d'un même groupe site×année sont plus similaires entre elles qu'avec celles d'autres groupes, révélant une variabilité spécifique non expliquée par les effets fixes. La normalité de cet effet aléatoire a été vérifiée par un graphique quantile-quantile (Annexe 7).

4. Discussion

Pour rappel, les objectifs de ce rapport se structurent en deux volets, à l'échelle printanière et journalière. Le premier volet vise à analyser : (i) l'influence de la biodiversité floristique sur le rendement printanier, (ii) l'effet de la météorologie sur cette biodiversité floristique et, indirectement, le rendement printanier, enfin (iii) le rôle des profils environnementaux dans les variations du rendement printanier. Le second volet porte sur l'analyse de l'effet de la météorologie journalière sur le rendement journalier.

4.1. Rendement printanier et ses déterminants écologiques

4.1.1. Variabilité du rendement printanier

Le rendement printanier, variable à expliquer, présente une grande variabilité entre les différents sites et d'une année sur l'autre. Le rendement moyen oscille ainsi autour de 17 kg/ruche mais avec un fort écart type allant jusqu'à ± 12 kg/ruche (Fig. 3). Les différences intersites pourraient s'expliquer par la variation de la composition floristique locale ou la disponibilité en ressource mellifère, tandis que la variabilité interannuelle pourrait être inféodée aux conditions climatiques.

4.1.2. Rendement printanier en lien avec la dynamique de la floraison

L'analyse des communautés végétales en floraison à l'aide de l'IPM (Fig. 4) a permis de mettre en évidence trois groupes distincts. Le groupe *a* composé uniquement les sites de 2022, le groupe *b* incluant uniquement les données du site M9, et enfin le groupe *c* qui réunit l'ensemble des autres sites et années. Cette différenciation apparaît davantage plus temporelle que spatiale : les sites de 2022 se détachant clairement du reste, même le site M9 sur l'année 2022 (du groupe *b*) se rapprochant plus du groupe *a* que du groupe *c* dans l'analyse nMDS.

L'ensemble des apiculteurs et apicultrices présent.e.s dans le groupe *c*, c'est-à-dire tous à l'exception de M9, ont installé leurs ruchers dans des zones caractérisées par une floraison typique du maquis méditerranéen, dominée par *Erica arborea*. La présence de cette espèce s'avère déterminante puisqu'elle constitue un critère essentiel pour l'obtention miel de Maquis de Printemps sous AOP.

Néanmoins, bien que cet ensemble de professionnel.le.s travaille sur la récolte de cette catégorie de miel, l'année 2022 (groupe *a*) présente une floraison très différente. En effet, il a été décrit qu'elle était dans ces dates majoritairement composée d'espèces herbacées plutôt que d'espèce du maquis méditerranéen. Cette différence temporelle coïncide avec une forte sécheresse, comme en témoigne les travaux antérieurs effectués au sein de l'ODARC (Bourreau, 2022). Cela s'est traduit, au niveau des relevés phytosociologiques par une faible proportion de fleurs, voire une absence de floraison d'*Erica arborea*, sur la majorité des sites cette année-là. Le cas de 2022 illustre ainsi, à petite échelle, les effets du changement climatique en Méditerranée, caractérisés par une augmentation des

températures et une intensification des périodes de sécheresse (Ali *et al.*, 2023). En cas de stress hydrique, la production florale est réduite et la saison de floraison se raccourcit, ce qui affecte la disponibilité en ressources mellifère (nectar et pollen) (Clarke & Robert, 2018). Néanmoins, malgré la faible floraison du maquis, les rendements printaniers de miel ne diffèrent pas significativement des autres groupes, ce qui suggère que cette réduction de floraison n'a pas été suffisante pour impacter significativement la production en miel. Cette observation peut s'expliquer par le comportement des abeilles : en effet *A. m. mellifera* peut parcourir jusqu'à 9 km (Beekman & Ratnieks, 2000). Or, notre échantillonnage ne couvre que 500 m autour du rucher, représentant qu'une fraction de la ressource florale disponible. En cas de pénurie locale, les butineuses compensent en explorant des zones plus éloignées. De plus, une pénurie de ressources entraîne également une compétition accrue entre les colonies d'abeilles et les autres pollinisateurs (Ropars, 2020). Par ailleurs, la fidélité florale à une espèce peut les inciter à se concentrer sur celle-ci plutôt qu'à diversifier leur butinage, les amenant à parcourir de plus longues distances.

Enfin, le cas de M9 (groupe *b*) est particulier. Il s'agit du seul rucher situé sur la Plaine Orientale, seule zone d'étude en milieu agricole, au cœur de vergers de clémentiniers et de vignes. Bien que le cahier des charges de l'AOP privilégie le butinage sur les fleurs sauvages, le miel de clémentinier constitue la seule production issue d'une culture agricole intégrée à l'AOP. Néanmoins, la mortalité des colonies y est plus fréquente que dans d'autre micro-région, un phénomène qui pourrait être lié à l'usage de filets para-grêle et qui a fait l'objet d'une investigation (Bostoën, 2022).

Au-delà de sa simple présence, l'Indice de Potentiel Mellifère (IPM) est particulièrement intéressant car il intègre la part de surface réellement fleurie de chaque espèce sur un site et une année donnée. Ainsi, l'IPM diffère de l'abondance relative d'une espèce, en reflétant non seulement sa présence, mais aussi son activité florale réelle. Cet indice permet d'évaluer la dynamique des milieux, notamment en cas de fermeture progressive de la végétation. Par exemple, des pieds d'*Erica arborea* situés sous un couvert dense de chênes (*Quercus* sp.) fleuriront moins que ceux évoluant en milieu ouvert ou arbustif. De plus, l'IPM permet de prendre en compte l'impact indirect de la maladie sur certaines plantes. Par exemple, l'asphodèle (*Asphodelus ramosus*), plante herbacée bulbeuse, peut être affectée par des champignons, ce qui peut réduire la proportion de fleurs disponibles et par conséquent, les ressources mellifères pour les abeilles.

Une analyse de type RDA a été explorée dans le but d'identifier d'éventuelles relations entre les conditions météorologiques et la composition des communautés végétales en floraison. Cependant, les modèles explorés n'ont pas permis, à ce jour, d'expliquer de manière satisfaisante la variabilité des IPM et a été jugé difficilement interprétable. Idéalement, ce type d'analyse aurait pu mettre en évidence certaines tendances, telles que la particularité observée en 2022. Avec un jeu de données

plus étendu dans le temps, il serait possible de tester plus précisément ces hypothèses et d'évaluer l'influence réelle des variables climatiques sur la floraison des espèces mellifères.

4.1.3. Influence des facteurs environnementaux sur la production printanière en miel

L'analyse des communautés végétales, en termes d'abondances relative, a mis en évidence quatre groupes en lien avec la répartition géographique (Fig. 6) : le groupe de petite montagne, caractérisé par des espèces herbacées et arbustives typique du maquis, le Littoral, dominé par des espèces méditerranéennes ligneuses et d'herbacées, le Pays Bastiais, caractérisé par des espèces aromatiques et arbustive typique du maquis, et la Plaine Orientale, dominé par des espèces cultivées dont les vergers de clémentinier. Ces compositions montrent qu'au sein du même étage mésoméditerranéen, des associations locales peuvent se dessiner.

De plus, une analyse RDA (Fig. 8) a été réalisée en combinaison avec la classification nMDS des abondances relatives. Les facteurs structurants significativement les communautés des espèces mellifères sont l'altitude et la vitesse moyenne du vent. L'altitude constitue un gradient bioclimatique localement stable. De même, la vitesse moyenne du vent qui est principalement modulée par la topographie (vallées, exposition littorale) (Maharani *et al.*, 2009), demeure également constante à l'échelle d'un site. Cette stabilité explique leur rôle structurant sur les communautés floristiques, elles-mêmes peu variables à l'intérieur d'un site. Les regroupements par site confirment cette faible variabilité floristique et météorologique intra-site. En revanche, d'autres variables météorologiques, comme la températures moyenne, présentent une variabilité intersites et interannuelle plus marquées, mais aussi uniquement observée sur la saison du printemps. Or, les communautés floristiques du printemps sont aussi influencées par le climat annuel ou interannuel (Weiss *et al.*, 2004). Cela explique pourquoi elles n'ont pas été retenues comme facteurs structurants significatifs.

Le gradient altitudinal sur l'axe RDA1 montre des abondances variables selon l'altitude (50 à 600 m). Cependant, il est difficile de rapprocher ces variations de la littérature, puisque toutes ces espèces se trouvent dans l'étage mésoméditerranéen. L'axe RDA2 intègre ce gradient altitudinal et un gradient de vitesses de vent. Cependant, la distribution des espèces sur l'ordination RDA ne reflète pas fidèlement l'effet écologique du vent. Certaines espèces méditerranéennes adaptées aux conditions venteuses, reconnaissables par des traits phénotypiques (lignification, nombreuses ramifications, feuilles fines et coriaces), coïncident avec le gradient de vitesse du vent élevé, comme *Cistus monspeliensis*. En revanche, d'autres espèces telles que le *Salvia rosmarinus* ou *Erica arborea* ne suivent pas ce gradient de vent. Trois hypothèses peuvent expliquer ce positionnement : (i) l'effet de la dominance de l'altitude dans la RDA, (ii) le fait que ces espèces, bien qu'adaptées aux vents, apparaissent plus abondantes sur les sites où il est plus faible, probablement en raison de facteurs non

pris en compte dans ce modèle, (iii) une part importante de la variabilité environnementale demeure inexpliquée par le modèle, puisque la RDA ne capture que 23 % de la variance totale sous contrainte. Enfin, le rendement printanier a été intégré comme variable passive dans l'analyse afin de se focaliser sur une interprétation écologique. Les résultats suggèrent qu'un meilleur rendement est généralement associé aux basses altitudes, dominées par des espèces cultivées (*Citrus clementina*), aromatiques (*Salvia rosmarinus*) et du maquis (*Cistus monspeliensis*). L'examen des rendements printaniers bruts (**Fig. 3**) confirme cette tendance, avec des valeurs plutôt élevées notamment sur les sites M9 (Plaine Orientale), M6 et M5 (Pays Bastais). Néanmoins, le site M4 (Pays Valinco) présente également de meilleurs rendements printaniers, non reflétés par le vecteur du rendement. Selon l'analyse RDA, les productions en miel de M4 semblent liées à des espèces typiques du maquis méditerranéen (*Asphodelus ramosus*, *Olea europaea*, *Cistus monspeliensis*), ainsi qu'à une influence de vent légèrement plus fort. *Erica arborea*, espèce dominante dans le miel AOP de Maquis de Printemps, présente une projection plus faible que d'autres espèces et celle-ci n'est pas directement liée au rendement. Cela peut s'expliquer par une abondance relative globalement homogène entre les sites et par une faible corrélation avec les gradients environnementaux considérés (altitude et vent). Son rôle apicole n'est donc pas directement mis en évidence par ce modèle.

Malgré les différences floristiques, l'ANOVA n'a pas révélé de différence significative du rendement printanier entre les quatre groupes. Deux hypothèses peuvent être avancées : d'une part, malgré leurs contrastes floristiques, ces communautés offrent chacune un potentiel mellifère globalement équivalent, ce qui se traduit par une absence d'effet sur les variations du rendement printanier, d'autres part, le jeu de données est relativement limité ($n = 35$) pour mettre en évidence un effet.

Ainsi, il serait pertinent de poursuivre l'étude en élargissant le nombre de sites suivis. En effet, l'échantillonnage actuel reste limité et peu représentatif de la diversité des conditions floristiques en Corse. Par exemple, la Plaine Orientale et le Centre Corse ne sont représentés que par un seul site chacun, contre trois en Balagne. Cette disparité génère probablement un biais d'échantillonnage, d'autant plus important que la Plaine Orientale constitue un cas particulier par sa flore butinée. La puissance statistique de l'ANOVA s'en trouve réduite, par ce déséquilibre marqué entre les groupes.

4.1.4. Variabilité du rendement printanier selon les profils environnementaux

L'ACP combiné à la CHA a mis en évidence trois profils environnementaux différents, expliqués notamment par des paramètres météorologiques et les indices de biodiversité (Fig. 9). Bien que l'ANOVA n'ait relevé aucune différence significative de rendement printanier entre ces groupes, l'analyse des diagrammes en boîte suggère l'existence d'une légère tendance (Fig. 10).

Le groupe A, caractérisé par des conditions plus chaudes et venteuses, apparaît associé à une richesse floristique et un IPM total plus faible. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'effet combiné des températures élevées et du vent accentuant le stress hydrique des plantes, limitant ainsi la floraison et la disponibilité en ressource nectarifère (Descamps *et al.*, 2021). C'est d'ailleurs dans ce groupe que l'on retrouve les sites de 2022, année marquée par une forte sécheresse. Toutefois, dans ce cas précis, les valeurs moyennes (18 °C et 7 km/h) restent modérées et ne traduisent pas une sécheresse extrême. Subtilement, ce groupe est néanmoins celui qui présente la tendance de rendement printanier la plus faible.

Le groupe B, marqué par des conditions plus fraîches et humides, présente au contraire une richesse spécifique élevée et une abondance relative totale importante. Ces conditions climatiques suggèrent que des régimes pluviométriques importants associés à des températures modérées favorisent la biodiversité floristique (Yao *et al.*, 2022), renforçant la disponibilité en ressource mellifère. Le rendement y reste plutôt modéré, probablement en raison de la forte pluviométrie qui limite directement le butinage.

Le groupe C, combine des conditions relativement fraîches et peu venteuses, associé à un IPM total et une abondance relative totale plus élevés. Ce profil traduit un environnement relativement équilibré, où la ressource florale mellifère est bien représentée, dans un contexte climatique modéré (température douce, pluviométrie présente mais non excessive, faible vent) (Vincze *et al.*, 2025). L'analyse des diagrammes en boîtes suggère que ce profil constitue une bonne combinaison favorable à un rendement printanier plus élevé (Fig. 10).

Si certaines variables explicatives présentent des moyennes différentes significativement entre les groupes (Annexe 6), l'ampleur de ces contrastes reste modérée. Par exemple, des températures moyennes de 18 °C, 16 °C et 14 °C (groupe A, B et C, respectivement) ne définissent pas forcément des conditions de températures très contrastées. Cela invite à garder un regard critique sur l'interprétation : si les groupes apparaissent distincts dans le jeu de données, leurs conditions environnementales demeurent relativement similaires dans la réalité. Cette proximité pourrait expliquer la difficulté à mettre en évidence une différence nette de rendement en miel entre les groupes, puisque les conditions météorologiques et floristiques restent globalement similaires.

4.2. Rendement journalier

L'analyse GAM a montré que les conditions météorologiques expliquent une part modérée (20 %) mais significative de la variation du rendement journalier (Fig. 11). Ce résultat confirme que la météorologie influence directement l'activité de butinage et, donc, l'apport de nectar dans les colonies (Vincze *et al.*, 2025).

L'objectif de cette analyse était de mieux comprendre l'influence des conditions météorologiques sur l'activité des abeilles par le biais du rendement journalier en miel et d'apporter un éclairage spécifique au contexte corse. Celui-ci se caractérise par des conditions méditerranéennes, une flore sauvage remarquable et la présence d'*Apis mellifera mellifera* d'écotype corse. Les résultats du présent rapport montrent à la fois des convergences et des divergences avec la littérature, suggérant une réponse locale spécifique des colonies aux variations météorologiques.

La présence de pluie dans la journée est associée à une baisse moyenne de 78 g/ruche/jour. Ce résultat est cohérent avec le fait que la pluie limite directement l'activité de butinage (impossibilité de vol, fermeture des fleurs) (Lawson & Rands, 2019) et entraîne une baisse du rendement.

La plage thermique optimale observée dans nos résultats (11 à 19,5 °C) diffère de celle reportée dans la littérature. Selon Vincze *et al.* (2025), les abeilles peuvent butiner entre 10 et 40 °C, avec la plage optimale est comprise entre 20 et 30 °C. Nos données, basées sur quatre années de suivi, manquent probablement de recul, ou bien il est possible que les abeilles noires d'écotype corse présentent une plage thermique optimale différentes, l'insularité constituant un contexte particulier.

Les rendements deviennent négatifs lorsque l'amplitude thermique quotidienne dépasse 12 °C. Les abeilles maintiennent la température du couvain entre 33 et 36 °C afin d'assurer un développement optimal des larves (Stabentheiner *et al.*, 2010). Les fortes variations thermiques obligent à alterner chauffage et ventilation, augmentant la consommation de miel et réduisant ainsi le rendement. A l'inverse, une faible amplitude thermique est associée à un rendement négatif, un phénomène qui semble peu étudié dans la littérature scientifique.

Une humidité moyenne élevée (> 70%) est défavorable. Si une certaine humidité favorise la sécrétion de nectar, un excès est probablement lié à des conditions pluvieuses peu propices au butinage. Ce résultat est conforme à d'autres études qui suggèrent une plage optimal d'humidité relative entre 50 et 70 % (Vincze *et al.*, 2025).

Des valeurs de pressions atmosphériques situées en dehors de la plage 1000 – 1019 hPa sont associées à un rendement journalier positif. Cela pourrait être lié à d'autres paramètres météorologiques : en effet, les hautes pressions (anticyclones) correspondent généralement à des conditions stables, ensoleillées et à un ciel dégagé (Jiménez-Estève & Domeisen, 2022). Ces conditions sont connues pour favoriser l'activité de butinage des abeilles, bien que ce lien reste indirect et doive encore être confirmé. A l'inverse, les situations de basse pression sont généralement associées à une forte nébulosité, à une pluviométrie accrue ou encore à des vents soutenus, créent des conditions défavorables à l'activité de butinage, ce qui peut amener les abeilles à intensifier leur activité en amont afin d'anticiper l'interruption temporaire des ressources (He *et al.*, 2016).

Enfin, le vent exerce un double effet : une vitesse moyenne modérée (< 5 km/h) favorise le rendement, ainsi qu'une variabilité de la vitesse comprise entre 14 et 17,5 km/h. Cela traduit probablement un compromis entre d'une part, la nécessité d'un vent léger qui facilite le vol des abeilles (Balfour & Ratnieks, 2025), et d'autre part, un brassage de l'air favorisant la dispersion des composés volatils attractifs (Crall *et al.*, 2020).

Toutefois, les paramètres météorologiques de ce modèle ne constituent pas l'unique facteur explicatif. L'effet aléatoire site×année, significatif dans le modèle, souligne l'importance des facteurs locaux et de variables non prises en compte, tels que la radiation solaire, reconnue comme un déterminant majeur (Burrill & Dietz, 1981), la disponibilité journalière des ressources mellifères, l'état sanitaire des colonies ou encore les pratiques apicoles (El Agrebi *et al.*, 2021). Autrement dit, deux sites soumis aux mêmes conditions météorologiques peuvent présenter des rendements très différents en raison de ces caractéristiques spécifiques. Il apparaît donc essentiel, dans le cadre de futurs travaux, d'identifier et d'intégrer ces paramètres afin d'améliorer le champ d'investigation et la pertinence des modèles.

5. Conclusion

Cette étude vise à mieux comprendre comment l'environnement influence le rendement de miel de Corse en AOP sur la saison du printemps, en croisant les données de disponibilité en ressources mellifères et les conditions météorologiques. Menée en Corse depuis quatre ans, ce travail s'appuie principalement sur la végétation spontanée du territoire, dont la dynamique dépend davantage des conditions météorologiques que des pressions agricoles telles que l'usage des pesticides. De nouvelles approches analytiques ont été mise en place afin d'apporter plus de justesse, notamment avec le calcul du rendement basé sur la variation de poids de ruches plutôt que leur poids brut. L'analyse des données floristiques repose sur deux indicateurs : l'abondance relative et l'Indice Potentiel Mellifère relatif (IPM), un nouvel indicateur élaboré spécifiquement dans le cadre de cette étude. De plus, ce rapport explore un lien encore peu étudié dans ce type de données : l'influence de la météorologie sur la dynamique des ressources mellifères.

Les deux analyses menées sur la biodiversité floristique ont permis d'identifier différents groupes, définis par les abondances relatives et les IPM des espèces mellifères. Cependant, dans ces deux analyses, la comparaison de la variation de rendement printanier entre ces groupes n'a révélé aucune différence significative. Ces résultats n'expliquent pas à eux seuls la variabilité du rendement printanier, laquelle est probablement liée à des facteurs non intégrés à l'analyse, la taille restreinte de l'échantillon (n = 35) ainsi qu'à certains biais de représentativité entre groupes.

Le croisement des données météorologiques et des abondances relatives des espèces mellifères a mis en évidence que le rendement printanier était associé à des sites aux basses altitudes, où dominant des

espèces mellifères fructifères (*Citrus clementina*), aromatiques (*Salvia rosmarinus*) et certaines espèces du maquis (dont *Cistus monspeliensis*). Par ailleurs, trois profils environnementaux (variables météorologiques, indice de biodiversité et IPM) se distinguent, avec un rendement printanier légèrement plus favorable dans les conditions tempérées et peu venteuse. Toutefois, l'absence de différences significatives de rendement entre ces profils suggère que ces milieux présentent un potentiel mellifère comparable malgré leurs différences, ou que leur contraste reste insuffisant pour influencer directement le rendement.

Néanmoins, à l'échelle journalière, l'analyse révèle un lien significatif entre la météorologie et les variations de rendement. Les conditions favorables correspondent à des températures entre 11 et 19,5 °C, une amplitude thermique entre 6,25 et 12 °C, une humidité relative inférieure à 70 %, une pression atmosphérique supérieure à 1019 hPa, des vents inférieurs à 5 km/h, et d'une amplitude comprise entre 14 et 17 km/h. Le rendement diminue en moyenne de 78 g lors d'une journée de pluie. Ces résultats restent en cohérence avec des observations dans d'autres études, suggérant que l'abeille noire d'écotype corse adopte des comportements de butinage similaire à d'autres localités.

Ce travail, fondé sur quatre années de données, a permis d'améliorer la méthodologie d'analyse et d'approfondir les connaissances sur les abeilles et leur environnement, spécifique à la Corse. Néanmoins, certains facteurs susceptibles d'expliquer les variations de rendement, notamment les pratiques apicoles locales, n'ont pas été intégrées à l'étude. À terme, un suivi de plus longue durée sera nécessaire afin d'évaluer avec davantage de précision l'effet du changement climatique sur la filière apicole insulaire, de mieux intégrer la variabilité interannuelle et de dégager des tendances robustes.

6. Bibliographie

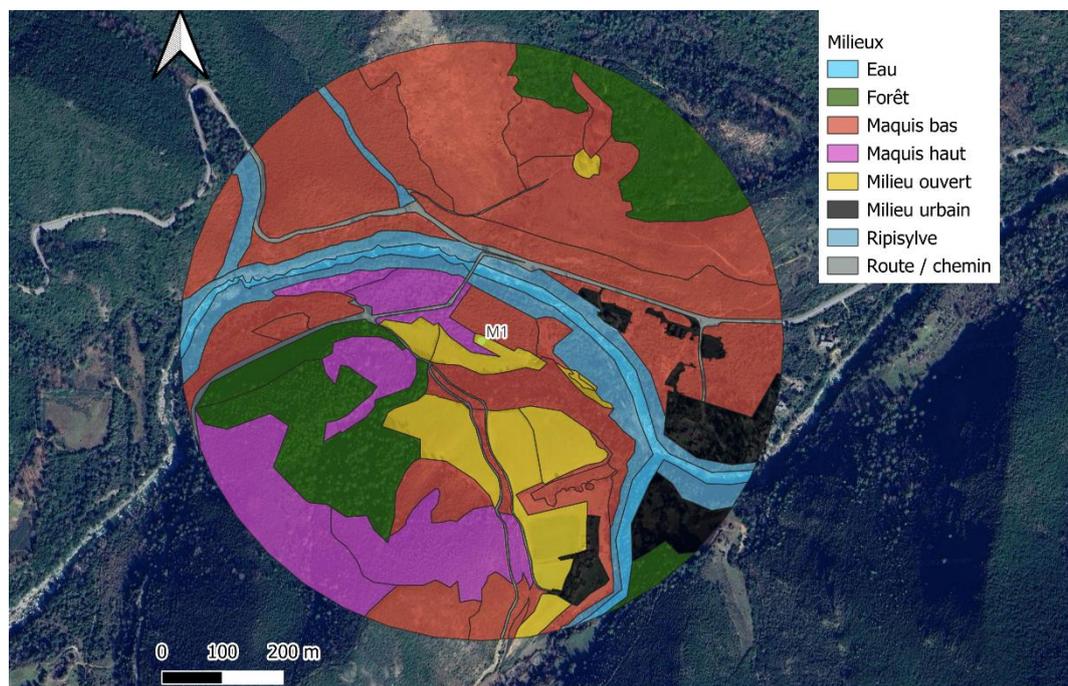
- ALI, E., CRAMER, W., CARNICER, J., GEORGOPOULOU, E., HILMI, N., LE COZANNET, G., ET AL. (2023) Mediterranean Region. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability* pp. 2233–2272, 1st edition. Cambridge University Press.
- AMAYA-MÁRQUEZ, M. (2009) Floral constancy in bees: a revision of theories and a comparison with other pollinators. *Revista Colombiana de Entomología*, 35, 206–216. Universidad del Valle.
- BALFOUR, N.J. & RATNIEKS, F.L.W. (2025) Wind alters plant-pollinator community structure, bee foraging rate & movements between plants. *Behavioral Ecology*, 36, araf067.
- BATTESTI, M.-J. (1990) Contribution à la mélissopalynologie méditerranéenne : les miels corses. Université d'Aix-Marseille 3.
- BEEKMAN, M. & RATNIEKS, F.L.W. (2000) Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. *Functional Ecology*, 14, 490–496.
- BELLIARD, P. (2023) Évaluer les potentialités des miellées printanières de Corse : disponibilité des ressources mellifères et impact des variations climatiques sur le rendement en miel. In p. 40. Rapport de stage, Office du Développement Agricole et Rural de Corse, Altiani.
- BENHABRI, M. (2021) Le déclin des insectes. *Les notes scientifiques de l'office*.

- BOSTOËN, S. (2022) L'usage des filets paragrêle en plaine orientale : raisons, pratiques de pose et alternatives. Observatoire Conservatoire des Invertébrés de Corse, Corte.
- BOURREAU, M. (2022) Etude des potentialités nectarifère et pollinifères de milieux spontanés de corse : Relations avec le rendement en miel et le rôle des variations climatiques. In p. 70. Mémoire de stage, Office du Développement Agricole et Rural de Corse, Altiani.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1932) Pflanzensoziologie: grundzüge der vegetationskunde. *Springer-Verlag*.
- BURRILL, R.M. & DIETZ, A. (1981) The response of honey bees to variations in solar radiation and temperature. *Apidologie*, 12, 319–328. Springer Science and Business Media LLC.
- CLARKE, D. & ROBERT, D. (2018) Predictive modelling of honey bee foraging activity using local weather conditions. *Apidologie*, 49, 386–396. Springer Science and Business Media LLC.
- CRALL, J.D., BROKAW, J., GAGLIARDI, S.F., MENDENHALL, C.D., PIERCE, N.E. & COMBES, S.A. (2020) Wind drives temporal variation in pollinator visitation in a fragmented tropical forest. *Biology Letters*, 16, 20200103.
- DESCAMPS, C., QUINET, M. & JACQUEMART, A.-L. (2021) Climate change–induced stress reduce quantity and alter composition of nectar and pollen from a bee-pollinated species (*Borago officinalis*, Boraginaceae). *Frontiers in Plant Science*, 12, 755843.
- DRAAF DE CORSE, ODARC & CHAMBRE DE L'AGRICULTURE CORSE (2024) Chiffres clés de l'agriculture Corse - Bilan de campagne 2023. DRAAF de Corse.
- DUFRENE, M. & LEGENDRE, P. (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345–366.
- DUPRÉ, L., FORTIER, A. & ALPHANDÉRY, P. (2021) Le sacrifice des pollinisateurs. *Vocabulaire critique & spéculatif des transitions*.
- EFESE (2016) Le service de pollinisation. *EFESE - Evaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques*.
- EL AGREBI, N., STEINHAEUER, N., TOSI, S., LEINARTZ, L., DE GRAAF, D.C. & SAEGERMAN, C. (2021) Risk and protective indicators of beekeeping management practices. *Science of The Total Environment*, 799, 149381.
- 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. Elsevier BV.
- FORTIER, A., DUPRÉ, L. & ALPHANDÉRY, P. (2020) Les mondes apicoles entre agriculture et environnement. *Études rurales*, 8–26.
- GONIN, P., LARRIEU, L. & MARTEL, S. (2012) L'Indice de biodiversité potentielle (IBP) en région méditerranéenne. *forêt méditerranéenne*, 133–142.
- GORDO, O. & SANZ, J.J. (2009) Long-term temporal changes of plant phenology in the Western Mediterranean. *Global Change Biology*, 15, 1930–1948. Wiley.
- GRÜTER, C., MOORE, H., FIRMIN, N., HELANTERÄ, H. & RATNIEKS, F.L.W. (2011) Flower constancy in honey bee workers (*Apis mellifera*) depends on ecologically realistic rewards. *Journal of Experimental Biology*, 214, 1397–1402. The Company of Biologists.
- HE, X., TIAN, L., WU, X. & ZENG, Z. (2016) RFID monitoring indicates honeybees work harder before a rainy day. *Insect Science*, 23, 157–159.
- JEANMONOD, D. & GAMISANS, J. (2013) Flora Corsica 2ème édition Société Botanique du Centre-Ouest.
- JIMÉNEZ-ESTEVE, B. & DOMEISEN, D.I.V. (2022) The role of atmospheric dynamics and large-scale topography in driving heatwaves. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Royal Meteorological Society (Great Britain)*, 148, 2344–2367.
- 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, 303–313.

- LARGER, J.F. (1982) Interdiction d'introduction en Corse de reines d'abeilles, de colonies et de matériels apicoles en provenance de la France continentale. In *code rural* p. .
- LAWSON, D.A. & RANDS, S.A. (2019) The effects of rainfall on plant–pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, 13, 561–569.
- MAHARANI, Y.N., LEE, S. & LEE, Y.-K. (2009) Topographical effects on wind speed over various terrains : a case study for Korean peninsula. The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering - Taiwan.
- MRAMBA, R.P. (2025) The role of plant diversity and density in the availability of floral resources for effective pollination and honey production by the honey bee (*Apis mellifera*) in arid areas. *Discover Plants*, 2. Springer Science and Business Media LLC.
- NAFTEUX, C. (2004) Etude de la biodiversité d'une population d'abeille domestiques (*Apis mellifera mellifera*) : contribution à la caractérisation de la population d'abeille de Corse. In p. 38. Mémoire de D.E.S.S., Université de Corse - Faculté des sciences et techniques.
- NGO, T.N., RUSTIA, D.J.A., YANG, E.-C. & LIN, T.-T. (2021) Automated monitoring and analyses of honey bee pollen foraging behavior using a deep learning-based imaging system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106239.
- NICOLSON, S.W. & THORNBURG, R.W. (2007) Nectar chemistry. In *Nectaries and Nectar* pp. 215–264. Springer, Dordrecht.
- ORHANT, L. (2022) Les facteurs liés à la chute de la production de Miel de Corse AOP : le cas des pratiques apicoles. In p. 33. Rapport de stage, Office du Développement Agricole et Rural de Corse, Altiani.
- POTTS, S.G. (2016) The assessment report on pollinators, pollination and food production: summary for policymakers. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- R CORE TEAM (2024) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- ROME, S. & GIORGETTI, J. (2006) DU CLIMAT DE LA MONTAGNE CORSE ET SES ALEAS. In *Les risques liés au temps et au climat (Actes du colloque)* pp. 486–491. Épernay.
- ROME, S. & GIORGETTI, J.-P. (2007) La montagne corse et ses caractéristiques climatiques. *La Météorologie*, 8, 39.
- ROPARS, P.L. (2020) Les communautés d'abeilles sauvages dans les habitats protégés méditerranéens : diversité, interactions et co- occurrence avec l'abeille domestique. Écologie, Université d'Aix-Marseille.
- SANNIER, H. (2022) Effets des changements climatiques sur la production de miel en Corse : irrégularités des miellées et adaptations des apiculteurs. In p. 40. Rapport de stage, Office du Développement Agricole et Rural de Corse, Altiani.
- STABENTHEINER, A., KOVAC, H. & BRODSCHNEIDER, R. (2010) Honeybee Colony Thermoregulation – Regulatory Mechanisms and Contribution of Individuals in Dependence on Age, Location and Thermal Stress. *PLoS ONE*, 5, e8967.
- VINCZE, C., LEELÖSSY, Á., ZAJÁ CZ, E. & MÉSZÁROS, R. (2025) A review of short-term weather impacts on honey production. *International Journal of Biometeorology*, 69, 303–317. Springer Science and Business Media LLC.
- WEISS, J.L., GUTZLER, D.S., ALLRED COONROD, J.E. & DAHM, C.N. (2004) Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*, 57, 507–534.
- WRIGHT, G.A., NICOLSON, S.W. & SHAFIR, S. (2018) Nutritional Physiology and Ecology of Honey Bees. *Annual Review of Entomology*, 63, 327–344. Annual Reviews.
- YAO, Z., XIN, Y., YANG, L., ZHAO, L. & ALI, A. (2022) Precipitation and temperature regulate species diversity, plant coverage and aboveground biomass through opposing mechanisms in large-scale grasslands. *Frontiers in Plant Science*, 13, 999636.

7. Annexe

Annexe 1 : Exemple de la cartographie des milieux du site M1 en 2025.



Annexe 2 :

Tableau de conversion : coefficient d'abondance / dominance et valeurs médianes de recouvrement

Coefficient d'abondance/dominance	Recouvrement (%)	Valeurs médianes (%)
+	peu abondante	0,5
1	0 – 5	2,5
2	5 – 25	15
3	25 – 50	37,5
4	50 – 75	62,5
5	75 – 100	87,5

Annexe 3 : Espèces fortement indicatrices des communautés végétales en floraison (avec IPM) identifiées par l'analyse IndVal

Cluster	Nombre d'espèce (IndVal significatif)	Espèces les plus fortement indicatrices
1	5	IPM_ <i>Trifolium.campestre</i> (0.72), IPM_ <i>Silene.gallica</i> (0.71), IPM_ <i>Plantago.lagopus</i> (0.59)
2	2	IPM_ <i>Citrus.sp.</i> (1.00), IPM_ <i>Citrus.clementina</i> (1.00)
3	5	IPM_ <i>Erica.arborea</i> (0.81), IPM_ <i>Asphodelus.ramosus</i> (0.79), IPM_ <i>Genista.corsica</i> (0.65), IPM_ <i>Cytisus.villosus</i> (0.62), IPM_ <i>Cistus.creticus</i> (0.59)

Annexe 4 : Espèces fortement indicatrices des communautés végétales (avec l'abondance relative) identifiées par l'analyse IndVal

Cluster	Nombre d'espèce (IndVal significatif)	Espèces les plus fortement indicatrices
1	21	<i>Cytisus scoparius</i> (1.00), <i>Cytisus villosus</i> (0.84), <i>Trifolium incarnatum</i> (0.80), <i>Crataegus monogyna</i> (0.76), <i>Salix atrocinerea</i> (0.70)
2	5	<i>Olea europaea</i> (0.68), <i>Calicotome spinosa</i> (0.57), <i>Cistus monspeliensis</i> (0.50)
3	9	<i>Salvia rosmarinus</i> (0.97), <i>Erica scoparia</i> (0.91), <i>Anthyllis hermanniae</i> (0.86), <i>Lotus hirsutus</i> (0.79), <i>Genista corsica</i> (0.70)
4	11	<i>Citrus sp.</i> (1.00), <i>Viburnum opulus</i> (1.00), <i>Citrus clementina</i> (1.00), <i>Vitis vinifera</i> (0.99)

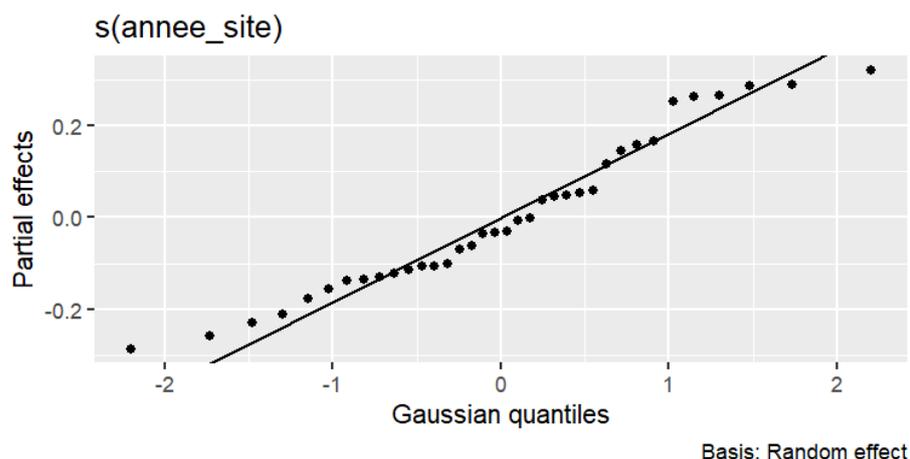
Annexe 5 : Matrice des variables météorologiques et de biodiversité floristique (échelle printanière) utilisée pour l'ACP

	surface_tot	IPM_tot_rel	Richesse	Pielou	Tps_ext_mo	Tps_ext_sd	Patm_moyre	Patm_sd_re	Vvent_moyS	Vvent_sd_s	Pp_cumS	J_pptot	altitude
M1_2022	62,61	5,42	228	0,82	18,09	5,16	1008,41	13,90	6,74	2,97	96,72	15	248
M1_2023	75,65	53,03	376	0,87	15,57	3,45	1001,00	15,49	4,97	4,64	371,71	39	248
M1_2025	139,27	72,03	355	0,86	13,31	4,71	1015,44	6,04	2,73	1,54	85,08	64	248
M10_2022	70,60	0,89	190	0,82	19,83	5,39	1015,92	4,75	3,57	2,13	86,61	20	293
M10_2023	78,03	72,25	287	0,85	15,28	5,06	1014,19	3,76	2,89	1,56	61,00	21	293
M10_2024	81,57	4,66	319	0,85	15,66	5,08	1013,62	5,59	3,18	1,54	17,19	17	293
M10_2025	109,68	19,25	279	0,84	12,95	3,03	1013,49	5,94	2,93	2,40	158,39	22	293
M2_2022	79,66	2,34	120	0,82	21,58	5,07	1035,25	5,03	12,44	4,52	31,00	5	400
M2_2023	83,18	72,84	213	0,85	16,84	4,94	1033,61	4,16	13,35	5,02	49,20	21	400
M2_2024	81,17	29,54	259	0,87	17,13	5,00	1032,95	5,99	13,00	4,44	8,09	10	400
M3_2022	36,40	7,70	200	0,87	18,55	4,82	1016,22	5,33	6,03	4,11	74,48	7	249
M3_2023	53,44	44,63	270	0,89	16,31	4,82	1016,40	6,02	8,32	5,54	108,85	34	148
M3_2024	66,77	30,34	275	0,89	15,70	4,74	1015,53	5,73	7,13	4,18	128,06	24	148
M3_2025	26,12	13,26	251	0,87	14,65	4,21	1016,04	5,67	5,85	4,40	192,43	33	148
M4_2022	85,58	2,39	96	0,83	16,23	4,89	1017,20	7,33	3,07	1,97	101,10	18	211
M4_2023	81,55	70,92	196	0,88	14,56	3,34	1020,08	8,64	2,23	1,95	64,70	18	211
M4_2025	88,38	49,20	184	0,88	15,63	3,75	1017,99	8,23	1,77	1,15	63,02	6	211
M5_2022	44,24	3,98	204	0,89	18,84	5,10	1010,89	10,26	4,44	4,50	93,35	10	56
M5_2023	46,31	36,81	241	0,88	16,71	4,24	1012,17	5,33	4,53	4,90	146,93	29	56
M5_2024	51,31	22,51	290	0,90	16,44	3,71	1005,33	10,33	3,46	4,07	229,16	27	56
M5_2025	81,35	34,16	257	0,88	15,91	3,96	1016,17	7,05	2,87	2,90	253,76	41	56
M6_2022	26,97	0,24	99	0,89	18,56	5,94	1015,99	5,49	4,96	4,77	171,20	16	189
M6_2024	37,23	10,63	156	0,90	16,27	4,56	1015,12	5,90	7,86	6,17	13,82	10	189
M7_2022	73,61	0,57	118	0,82	18,69	4,99	1022,42	2,14	5,59	1,37	1,35	2	583
M7_2023	72,79	44,74	195	0,85	14,32	4,53	1060,56	24,84	1,20	2,14	4,38	2	583
M7_2025	83,77	34,13	184	0,84	16,33	6,57	1023,55	7,75	3,40	1,23	40,78	2	583
M8_2022	59,42	5,35	184	0,82	18,85	4,64	1007,96	15,99	10,32	5,19	125,70	17	165
M8_2023	60,10	52,12	300	0,87	15,74	4,42	1012,12	12,72	5,56	6,49	136,49	25	165
M8_2024	62,64	10,52	321	0,87	16,38	4,44	1013,95	11,97	0,74	1,13	159,06	23	165
M8_2025	77,77	43,02	190	0,88	15,05	6,02	1004,90	19,95	2,86	2,27	46,51	14	165
M9_2022	41,23	25,48	161	0,88	18,51	5,06	1015,23	5,33	7,48	3,91	63,02	16	70
M9_2023	50,02	39,08	246	0,89	15,54	5,04	1008,40	11,92	2,56	3,63	98,74	21	70
M9_2024	52,47	38,77	269	0,90	16,35	4,40	1013,14	6,07	3,25	2,95	103,80	35	70
M9_2025	57,12	40,91	242	0,88	16,45	4,82	1014,56	5,96	0,71	0,91	28,31	20	70

Annexe 6 : Variables discriminantes entre les classes issues de la CHA de l'ACP.

Variable	Classe 1	Classe 2	Classe 3
surface_tot_espelli_rel	63.15 (Wilcoxon) – (p > 0.05)	58.55 (t-test) – (p > 0.05)	94.95 (t-test) + (p < 0.05)
IPM_tot_rel	13.74 (Wilcoxon) – (p < 0.05)	35.32 (Wilcoxon) + (p > 0.05)	54.73 (Wilcoxon) + (p < 0.05)
Richesse	182.07 (t-test) – (p < 0.05)	271.38 (Wilcoxon) + (p < 0.05)	249.33 (t-test) + (p > 0.05)
Pielou	0.85 (Wilcoxon) – (p > 0.05)	0.88 (Wilcoxon) + (p < 0.05)	0.86 (Wilcoxon) – (p > 0.05)
Tps_ext_moyS	18.00 (t-test) + (p < 0.05)	15.91 (Wilcoxon) – (p > 0.05)	14.34 (t-test) – (p < 0.05)
Tps_ext_sd_s	5.15 (Wilcoxon) + (p < 0.05)	4.48 (t-test) – (p > 0.05)	4.07 (t-test) – (p > 0.05)
Patm_moyreduiteS	1018.96 (Wilcoxon) + (p > 0.05)	1011.52 (Wilcoxon) – (p > 0.05)	1023.63 (Wilcoxon) + (p > 0.05)
Patm_sd_reduiteS	7.00 (Wilcoxon) – (p > 0.05)	9.55 (Wilcoxon) + (p > 0.05)	9.57 (Wilcoxon) + (p > 0.05)
Vvent_moyS	7.03 (Wilcoxon) + (p < 0.05)	4.06 (Wilcoxon) – (p > 0.05)	2.29 (Wilcoxon) – (p < 0.05)
Vvent_sd_s	3.59 (t-test) + (p > 0.05)	3.69 (t-test) + (p > 0.05)	1.79 (Wilcoxon) – (p > 0.05)
Pp_cumS	64.91 (Wilcoxon) – (p > 0.05)	154.14 (Wilcoxon) + (p < 0.05)	72.76 (Wilcoxon) – (p > 0.05)

Annexe 7 : Vérification de la normalité de l'effet aléatoire site×année du modèle GAM



Résumé

La filière apicole AOP de Corse subit une baisse de rendement de 50 % depuis 2004, dans un contexte environnemental contraint, probablement en lien avec la disponibilité des ressources et la variabilité climatique. Cette étude évalue l'influence de facteurs environnementaux à partir de données de rendement et de météorologie (printanières et journalières), ainsi que de relevés phytosociologiques décrivant la biodiversité floristique. Les résultats montrent que le rendement printanier n'est significativement influencé ni par la biodiversité floristique seule, ni par les profils environnementaux établis. Toutefois, il semble associé aux basses altitudes et à l'abondance d'espèces fructifères, aromatiques et caractéristiques du maquis. Par ailleurs, une part significative de la variance du rendement journalier est expliquée par les variables météorologiques. Les conditions optimales de butinage identifiées sont : températures moyennes entre 11 et 19,5 °C, amplitude thermique entre 6,25 et 12 °C, humidité relative < 70 %, vitesse de vent < 5 km/h, écart type de la vitesse de vent entre 14 et 17,5 km/h, et pression atmosphérique > 1019 hPa. Une baisse moyenne de 78 g est constatée lors des jours de pluie. Cette étude constitue une première approche dont la robustesse pourrait être renforcée par l'élargissement du jeu de données (en années et en sites), ainsi que par l'intégration de facteurs clés susceptibles d'influencer le rendement, tels que les pratiques apicoles.

Mots clés : Apiculture Corse, Météorologie, Ressources mellifères, Rendement

Abstract

Since 2004, the Corsican PDO beekeeping sector has experienced a 50% decline in honey yields, within a constrained environmental context, probably associated to resource availability and climatic variability. This study assesses the influence of environmental factors using spring and daily honey yield and meteorological data, complemented by phytosociological surveys describing spring floristic biodiversity. The results show that spring honey yields is not significantly affected by floristic biodiversity alone or by established environmental profiles. However, it appears to be associated with low altitudes and the abundance of fruit-bearing, aromatic and characteristic maquis species. Furthermore, a significant proportion of the variance in daily yield is explained by meteorological variables. Optimal foraging conditions were identified as mean temperatures of 11-19.5°C, thermal amplitude of 6.25-12°C, relative humidity below 70%, wind speed below 5 km/h, wind speed standard deviation of 14-17.5km/h, and atmospheric pressure above 1019hPa. A mean decrease of 78g is observed on rainy days. As a preliminary approach, this study's robustness could be enhanced by expanding the dataset (across years and sites) and incorporating key factors likely to influence honey yield, such as beekeeping practices.

Keywords: Beekeeping in Corsica, Meteorology, Honey resources, Yield