

Estimation de la date présumée d'une mortalité massive aigue d'abeilles à partir de la masse d'un échantillon de cadavres d'abeilles adultes : étude pilote

Pauline Lavainne¹, Charlotte Rüger¹, Jean-Philippe Amat¹, Viviane Hénaux¹, Eric Morignat¹,
Christophe Roy²

Auteurs correspondants : eric.morignat@anses.fr, charlotte.ruger@anses.fr

¹ Anses Laboratoire de Lyon, Unité Epidémiologie et Appui à la Surveillance, Lyon, France

² Clinique Vétérinaire, 15400 Riom-es-Montagnes, France

Résumé

Dans le cadre de mortalité massive aigue d'abeilles, la démarche d'investigation s'appuie sur des examens cliniques et une enquête environnementale. La date de la mort peut apporter une information pertinente à ces volets de l'investigation mais n'est pas toujours facile à estimer. Dans la perspective de développement d'un outil permettant d'estimer la date de la mort des abeilles, nous avons conduit une étude pilote pour modéliser l'évolution de la masse de lots d'abeilles après leur mort et déterminé certains facteurs qui influencent cette évolution. Les résultats ont montré des effets de la sous-espèce des abeilles et de la saison pendant laquelle l'expérience était menée sur la masse des abeilles au moment de leur mort et après déshydratation. Le modèle et les variables utilisées sont discutés ainsi que l'influence potentielle de facteurs non pris en compte dans cette étude sur la cinétique d'évolution de la masse des abeilles après la mort.

Mots-clés

Mortalité massive aigue, abeille, régression non linéaire

Abstract

Estimation of the presumed date of an acute mass bee mortality from the mass of a sample of adult bee corpses: pilot study

In the case of acute mass bee mortality, the investigative approach is based on clinical examinations and an environmental survey. The date of death can provide relevant information for these aspects of the investigation, but is not always easy to estimate. With a view to developing a tool for estimating the date of death of bees, we conducted a pilot study to model the evolution of the mass of batches of bees after their death, and determined some of the factors influencing this evolution. The results showed the effects of bee subspecies and the season in which the experiment was conducted on bee mass at the time of death and after dehydration. The model and variables used are discussed, along with the potential influence of factors not taken into account in this study on the kinetics of bee mass evolution after death.

Keywords

Acute massive mortality, bees, non linear regression

Introduction

Les insectes pollinisateurs tels que les abeilles sont essentiels à la production de nombreuses cultures agricoles et au maintien de la biodiversité. Cependant, ces populations sont en déclin depuis plusieurs années, pour de multiples causes : dangers biologiques divers (e.g. parasite du couvain¹ (varroa), virus, champignon ...), pratiques apicoles, agricoles et industrielles, modification du paysage, évolutions climatiques, etc. (Haubruge et al., 2006 ; Dainat et al., 2012 ; Avis de l'Anses, 2015² ; Elias, 2022). L'exposition aux produits phytosanitaires est l'une des causes les plus dénoncées et fait l'objet de nombreuses études scientifiques. Les butineuses peuvent être directement exposées à ces produits au moment de leur application ou en collectant le pollen et le nectar. Elles contaminent ensuite le reste de la colonie en ramenant ces réserves alimentaires au sein de la ruche (Zóttowska et al., 2011). Les abeilles peuvent également être exposées à d'autres substances chimiques comme les intrants apicoles (ex : traitements anti-varroa) ou encore en récoltant de l'eau issue des effluents des élevages environnants, eau pouvant contenir des substances actives de médicaments vétérinaires administrés aux animaux ou des biocides employés pour l'assainissement des bâtiments (Vidau et al., 2020). Ces contaminations peuvent ainsi contribuer à la perte de la colonie (Tomé et al., 2019).

En cas de découverte et de signalement d'une mortalité massive aigue d'abeilles dans un rucher, une enquête phytosanitaire et vétérinaire peut être menée par les services de l'Etat afin d'identifier les causes de cette mortalité (Instruction technique DGAL/SASPP/2018-444 du 12 juin 2018³). Selon les premiers résultats de l'enquête, une molécule ou un ensemble de molécules peut être recherché dans les cadavres des abeilles. Cependant, en cas d'intoxication, les molécules toxiques et leurs métabolites se dégradent en quelques jours et ne sont plus détectables dans le corps des abeilles (Schott et al., 2017, Vidau et al., 2017). Ainsi, la connaissance de la date de la mort des abeilles est importante dans l'interprétation des résultats de l'enquête et permettrait également en cas de mortalité remontant à plus d'une semaine d'éclairer les investigateurs sur la pertinence de recourir ou non aux analyses toxicologiques, très coûteuses. Cependant, la fréquence de visites des ruches étant

variable (hebdomadaire, mensuelle ou même trimestrielle selon la période de l'année), la date précise de la mort n'est souvent pas connue par l'apiculteur lors de la découverte d'une mortalité massive. Outre l'examen clinique des abeilles mortes et des abeilles symptomatiques, il serait utile aux cliniciens de disposer d'approches facilement mobilisables sur le terrain permettant d'estimer la date de mort. L'objet du présent travail était d'étudier la faisabilité d'une datation de la mort fondée sur l'évaluation de la masse des cadavres présents dans la ruche, en cas de mortalité massive aigue.

Une fois mortes, les abeilles se déshydratent progressivement et se décomposent jusqu'à ce que leur masse soit réduite à celle de leur exosquelette. Nous n'avons toutefois trouvé aucune étude scientifique sur l'évolution de la masse d'une abeille morte et les facteurs l'influençant. Nous avons émis l'hypothèse que la masse diminue au cours du temps jusqu'à atteindre un plateau correspondant à la masse de l'exosquelette. Il est attendu que certains facteurs (tels que la sous-espèce des abeilles⁴, la saison et les conditions climatiques notamment la température et l'humidité) jouent un rôle sur la vitesse de déshydratation des cadavres d'abeilles durant les jours et semaines suivant leur mort.

Une étude pilote a ainsi été mise en place afin de suivre l'évolution dans le temps de la masse des abeilles après leur mort et de déterminer l'influence de certains facteurs. Cette étude est une étape préalable en vue de l'élaboration d'un outil exploitable en conditions réelles qui permettrait aux apiculteurs et aux investigateurs cliniciens d'estimer la date de mort des abeilles à partir de la masse d'un lot d'abeilles mortes prélevées dans la ruche le jour de leur découverte, les caractéristiques des colonies, la saison ou l'environnement.

Matériel et méthode

Dispositif d'étude

L'étude a été menée par neuf vétérinaires apiculteurs exerçant dans des départements différents. A chaque apiculteur a été rattaché un site d'étude au sein duquel l'expérience a été réalisée sur plusieurs lots d'abeilles mortes. Au total,

massives aiguës d'abeilles adultes avec hypothèse d'intoxication par des produits et pratiques phytopharmaceutiques, biocides et médicamenteuses.

⁴ Par commodité, nous parlerons de race dans le présent article

¹ Œufs et larves

² Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective du 15 juillet 2015 : Co-exposition des abeilles aux facteurs de stress

³ Instruction technique DGAL/SASPP/2018-444 du 12 juin 2018 relative à la surveillance des mortalités

49 lots ont été suivis dans le temps. Chaque lot était constitué d'abeilles provenant d'une même colonie et euthanasiées par inhalation toxique de dioxyde de carbone ou de soufre. Ces lots étaient composés de 300 abeilles pour la majorité (45) et de 1000 abeilles pour quatre lots. Les lots ont été euthanasiés entre le 4 avril 2018 et le 1^{er} septembre 2019. Après le dénombrement des cadavres, chaque lot a été disposé dans un sac en nylon grillagé (afin de le protéger des prédateurs, des lessivages et des UV), pesé (à l'aide d'une balance électronique à 0,1 g de précision), puis placé dans une ruche ou ruchette vide (**Figure 1**). D'autres pesées ont ensuite été réalisées tous les jours durant une semaine puis tous les sept jours jusqu'au 119^{ème} jour post-mortem.

- **Descriptif du jeu de données**

Sur les 49 lots d'abeilles suivis, cinq ont été exclus de l'analyse pour non-respect des conditions expérimentales. Ainsi 44 lots provenant de huit sites d'études ont été retenus.

Les abeilles suivies appartiennent à trois « races » : les abeilles noires (27 lots), les abeilles hybrides (14 lots) et les abeilles Buckfast (trois lots). Les lots d'abeilles hybrides et Buckfast ont été regroupés dans la suite de l'analyse du fait du faible nombre de lots d'abeilles Buckfast et que les hybrides de cette étude descendent d'une lignée d'abeilles Buckfast selon les apiculteurs.

Les abeilles ont été euthanasiées pour deux motifs différents : sanitaire (la colonie étant malade ; 35

lots), ou zootechnique (prélèvement d'abeilles pour comptage de *Varroa* ; neuf lots). Une analyse de variance du poids des abeilles en fonction de la race et de la cause de la mort réalisée en amont de notre étude n'avait pas mis en évidence de différence significative de la masse au moment de la mort entre ces deux groupes.

Les expériences ayant été menées sur une grande partie de l'année, une variable saison a été créée afin de distinguer les expériences réalisées sur la période « printemps-été »⁵ pour les lots euthanasiés entre le 4 avril et le 31 août (35 lots), de celles d'« automne » pour les lots d'abeilles euthanasiés entre le 1^{er} et le 23 septembre (neuf lots). Ces dernières entrent en hivernage en fin d'été jusqu'en mars, avril selon les régions. Pendant cette période, les abeilles ont une activité réduite et vivent plus longtemps (140 jours) que les abeilles émergeant au printemps (15-38 jours) (Winston 1987). Bien que le passage des abeilles d'été à celles d'« automne » s'effectue progressivement dans le temps avec une coexistence de ces deux catégories pendant quelques semaines, une date séparant les deux catégories a dû être choisie. Le 31 août a été retenu car il n'existe plus de miellées exploitables au-delà de cette date en France, à quelques exceptions près mais qui ne correspondent pas aux sites d'études. La masse moyenne d'une abeille, exprimée en mg, a été calculée comme la différence de masse entre le lot d'abeilles mortes et la masse du sac vide, divisée par le nombre d'abeilles constituant le lot.

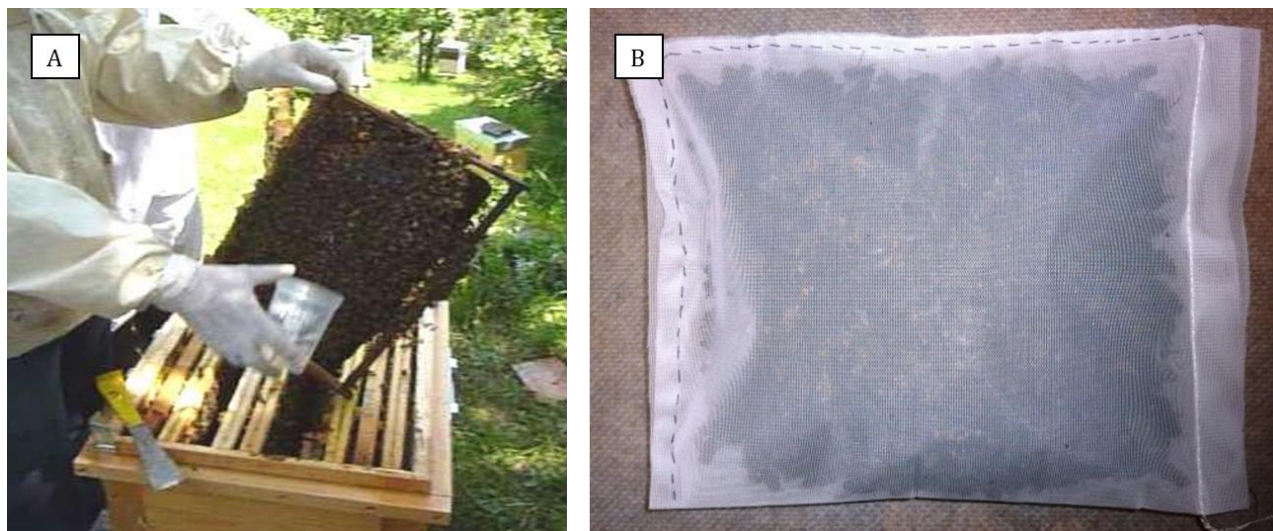


Figure 1. Prélèvement d'un lot d'abeilles (A), Sac en nylon grillagé contenant un lot d'abeilles (B)

⁵ Par commodité, nous parlerons d'expérience de printemps dans la suite de l'article.

• **Modèle**

Un modèle de régression non linéaire à effets mixtes (Pinheiro et Bates, 2000) a été utilisé pour modéliser et expliquer l'évolution temporelle de la masse des abeilles après leur mort :

$$Masse_{ij} = Asym_i + (Masse_{i0} - Asym_i) e^{-e^{lcr_i t_{ij}}} + \varepsilon_{ij} ,$$

avec

- $Masse_{ij}$, la masse moyenne d'une abeille du lot i le jour j ,
- $Masse_{i0}$, la masse moyenne d'une abeille le jour de la mort pour le lot i ,
- $Asym_i$, la masse asymptotique moyenne, correspondant à la masse minimale moyenne d'une abeille du lot i après dessèchement complet,
- lcr_i , le logarithme de la constante de vitesse représentant la variation de la masse moyenne d'une abeille du lot i jusqu'à l'atteinte de la masse asymptotique moyenne,
- $i \in [1; 44]$ et $j \in [1; 119]$ qui correspondent respectivement au lot et au jour post-mortem,
- ε_{ij} les résidus du modèle pour lesquels on fait l'hypothèse qu'ils suivent une distribution normale de moyenne nulle et de variance σ^2 .

Chacun des trois paramètres du modèle ($Masse_{i0}$, $Asym_i$, et lcr_i) se décompose sous la forme d'un effet fixe β et d'un effet aléatoire b (représentant la variance inter-lots). Ces derniers suivent une distribution normale de moyenne nulle et de variance respectivement $\sigma_{Poids_0}^2$, σ_{Asym}^2 et σ_{lcr}^2 .

$$\begin{pmatrix} Asym_i \\ Masse_{i0} \\ lcr_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \gamma_1 I[saison = printemps] \\ \gamma_2 I[race = noire] \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{i1} \\ b_{i2} \\ b_{i3} \end{pmatrix}$$

L'effet fixe β_1 représente la masse moyenne asymptotique en automne et γ_1 l'écart entre β_1 et la masse moyenne asymptotique au printemps. L'effet fixe β_2 représente la masse moyenne le jour de la mort pour les abeilles hybrides et γ_2 l'écart entre β_2 et la masse moyenne le jour de la mort pour les abeilles noires.

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R version 4.1.0 (R Core Team, 2021) et le package nlme (Pinheiro et al., 2021) a été utilisé pour l'ajustement des modèles de régression non linéaire.

Résultats

Plusieurs diagnostics basés sur l'examen de la distribution des effets aléatoires et des résidus du modèle ont permis de vérifier les hypothèses du modèle. Les résultats du meilleur modèle indiquent un effet significatif de la race des abeilles sur la masse à la mort et un effet significatif de la saison d'expérimentation sur la masse à l'asymptote. Ce modèle conduit à des estimations de la masse moyenne des cadavres le jour de leur mort de 134,7 mg (IC 95 % [130,4 ; 138,9]) pour les abeilles de race hybride et une masse inférieure de 16,5 mg [12,3 ; 20,7] pour les abeilles noires (Tableau 1). Après dessèchement, les cadavres atteignent une masse minimale moyenne de 55,4 mg en automne [52,6 ; 58,2] et une masse significativement inférieure de 19,7 mg [16,9 ; 22,5] au printemps quelle que soit la race des abeilles. Les variances des masses le jour de la mort et à l'asymptote sont respectivement de 11,9 mg et 5,4 mg alors que la variance résiduelle du modèle est de 4,2 mg. L'évolution en fonction du temps de la masse moyenne des quatre catégories d'abeilles, définies par la race et la période d'expérimentation, est montrée sur la figure 2.

Tableau 1. Paramètres du modèle

Paramètre	Estimateur	Std.error
β_1 (Masse à l'asymptote en automne)	55,4	1,4
γ_1 (Différence de masse à l'asymptote entre automne et printemps)	-19,7	1,4
σ_{Asym}^2 (Variabilité de la masse à l'asymptote)	5,5	
β_2 (Masse à la date de mort pour abeilles hybrides)	134,7	2,2
γ_2 (Différence de masse à la mort entre abeilles noires et hybrides)	-16,5	2,1
$\sigma_{Poids_0}^2$ (Variabilité de la masse à la date de mort)	11,3	
β_3 (Variation de la masse moyenne d'une abeille)	-2,7	0,1
σ_{lcr}^2 (Variabilité de la variation de la masse moyenne d'une abeille)	0,3	
σ^2 (Variance des résidus)	4,1	

La **figure 3** illustre l'effet de la variance inter-lots des paramètres pour les abeilles hybrides au printemps ($n = 11$ lots) : la courbe bleue représente l'évolution de la masse moyenne d'un cadavre de cette race d'abeilles au cours du temps (11 lots confondus) et les courbes rouges, vertes, roses et grises représentent l'évolution au cours du temps de la masse moyenne estimée par le modèle pour chacun des 11 lots. Ainsi, la masse moyenne le jour de la mort est estimée à 134,7 mg, avec une variation entre 116,1 et 179,3 mg selon les lots d'abeilles étudiés. De la même façon, la masse moyenne asymptotique est estimée à 35,7 mg au printemps pour les abeilles hybrides mais varie entre 25,1 et 56,7 mg selon les lots étudiés.

Les valeurs de pesées réalisées sur trois lots avec différents niveaux d'ajustement sont représentées par des points de couleurs. Globalement les prédictions des masses moyennes des cadavres sont relativement bonnes à l'instar de la courbe de pesées rose. Pour certains lots, les prédictions sont moins bonnes, avec notamment l'observation sur trois lots d'un effet « rebond » correspondant à une augmentation ponctuelle de la masse sur quelques semaines, désynchronisée de l'évolution globale de la masse du lot d'abeilles (courbe rouge avec un rebond après 60 jours). Sur les 44 lots suivis dans le temps, neuf ont eu cette augmentation ponctuelle de la masse qui a duré entre deux et sept semaines, généralement quand les cadavres avaient atteint leur masse minimale, entre le 30^{ème} et 100^{ème} jour post-mortem, mais parfois avant (deux lots).

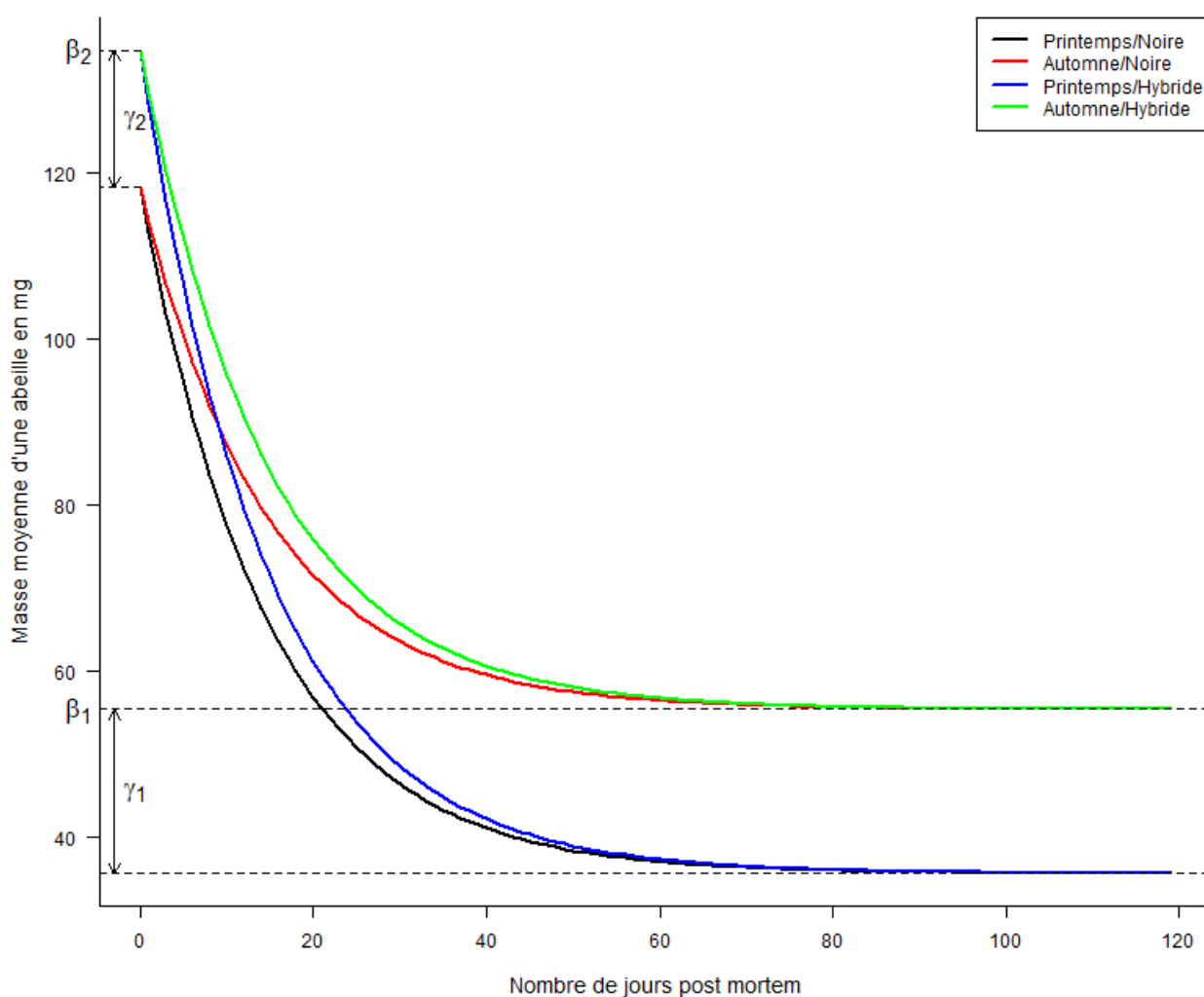


Figure 2. Prédiction de la masse moyenne du cadavre d'une abeille, en fonction de la période d'expérimentation (printemps vs automne) et de sa race (abeilles noires vs hybrides)

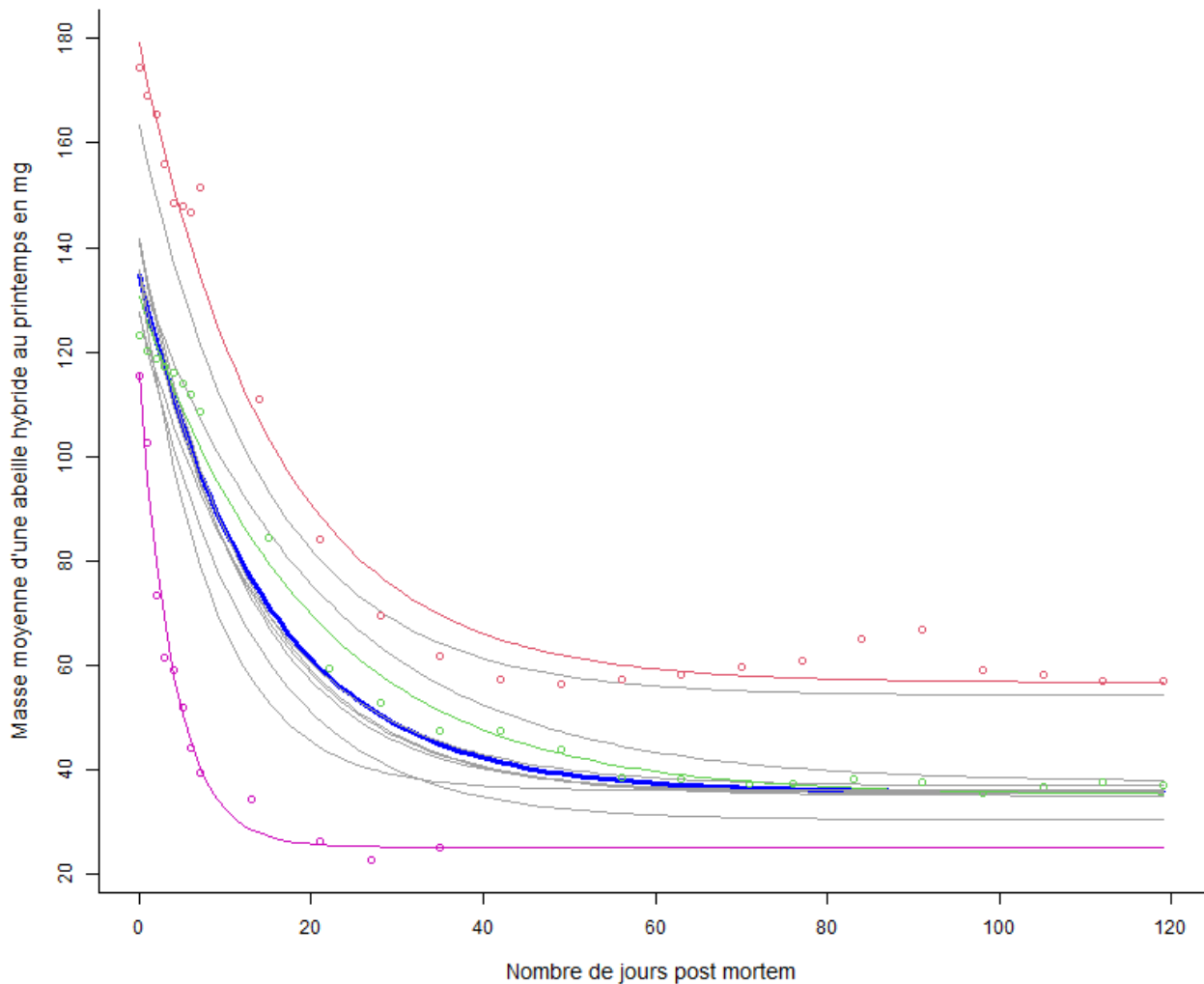


Figure 3. Prédiction de la masse moyenne d'une abeille hybride au printemps en fonction du temps pour onze lots étudiés. La courbe de la masse moyenne des abeilles hybrides au printemps est représentée en bleu. Pour trois lots, les courbes et les valeurs de pesées sont précisées en rouge, vert et rose. Pour les huit autres lots, seules les courbes de la masse moyenne sont représentées, en gris

Discussion et perspectives

Cette étude pilote visait à évaluer l'évolution de la masse des cadavres d'abeilles dans le temps et à déterminer certains facteurs qui influencent cette évolution. L'identification de ces facteurs et la connaissance de leurs effets permettraient le développement d'un outil pour dater la mort d'un lot d'abeilles à partir de la masse de leurs cadavres.

Notre étude a montré l'influence de la race des abeilles sur la masse à la mort, avec une différence de près de 16 mg ($\pm 12\%$) entre les abeilles hybrides et les abeilles noires. Nos résultats n'ont cependant pas montré de différence de masse selon la race après déshydratation. A noter qu'une catégorisation plus fine des races, en distinguant notamment les abeilles hybrides des abeilles Buckfast, avec des effectifs suffisamment importants, permettrait d'estimer plus précisément la masse à la mort.

Nos résultats ont également mis en évidence une masse asymptotique moyenne significativement plus élevée d'environ 20 mg chez les abeilles pour lesquelles l'expérience était réalisée en automne par rapport à celles de printemps. La déshydratation des cadavres pourrait être incomplète dans un environnement plus humide (en automne/hiver) comparé à un environnement plutôt sec (été), justifiant ainsi une masse plus importante des abeilles en automne, hiver.

La forme de la relation entre la masse des cadavres d'abeilles et le temps, à savoir une diminution dans le temps suivi d'un plateau, a orienté le choix du modèle vers une régression non linéaire. L'estimation de la masse à l'origine et de la masse asymptotique confère à ce modèle un avantage par rapport à l'utilisation d'un modèle de régression linéaire. En outre, l'échantillon d'étude étant constitué de plusieurs lots d'abeilles, il était nécessaire de prendre en compte la variabilité inter-lots en intégrant des effets aléatoires. Les lots

étant imbriqués dans des sites nous avons voulu distinguer la variance inter-sites et la variance inter-lots dans les sites en intégrant deux effets aléatoires, mais ce modèle n'a pas convergé, vraisemblablement en raison d'un manque de puissance. Même si ce problème de convergence a conduit à considérer dans le modèle uniquement la variance inter-lots, une modélisation de ces données avec un modèle linéaire a montré que la variance inter-sites était trois fois plus élevée que la variance inter-lots au sein d'un site (résultats non présentés).

La variance inter-lots élevée associée aux paramètres du modèle indique que les variables incluses dans le modèle (la race, la saison et le temps) n'expliquent qu'une partie de la variabilité de la masse des cadavres et que certains facteurs explicatifs importants ne sont actuellement pas pris en compte. Ce résultat est une limite importante pour le développement d'un outil opérationnel de prédiction de la date de mort des abeilles et souligne la nécessité de conduire des travaux complémentaires pour identifier et caractériser les autres facteurs influençant cette variabilité.

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées sur de tels facteurs. Ainsi, la masse des abeilles à la mort peut dépendre de l'état sanitaire du rucher. Des abeilles issues d'une colonie en mauvaise santé aurait une masse inférieure à celle d'abeilles provenant d'une colonie saine. Par exemple, il a été démontré que les nymphes infestées par varroa présentaient une masse plus faible que les nymphes saines (Keszthezlyi, 2021). Dans cette étude, une différence significative de la masse le jour de la mort entre les abeilles malades et les abeilles euthanasiées pour cause zootechnique n'a pas été mise en évidence. Cela peut s'expliquer par un manque de puissance résultant du faible nombre de lots d'abeilles euthanasiées pour cause zootechnique (neuf lots). Une différence de masse au moment de la mort peut aussi s'expliquer par des différences dans les heures de mise à mort des lots d'abeilles, et plus particulièrement par le délai avec la dernière période de butinage. En effet, les abeilles butineuses avec un jabot gorgé de nectar sont plus lourdes que les abeilles avec un jabot vide. L'influence de ce facteur pourrait être mesurée en ajustant le protocole expérimental (lots prélevés et euthanasiés à différentes heures de la journée), même si la plage horaire de butinage est également liée aux conditions météorologiques. Enfin, la diversité des abeilles (nourrices, butineuses, etc.)

qui peuvent composer les lots serait aussi une piste à explorer puisque les abeilles ont des masses différentes selon leur âge et leur fonction. Cette diversité est liée notamment à la position dans la ruche du cadre sur lequel les abeilles ont été prélevées, les cadres en périphérie de la ruche étant constitués majoritairement de butineuses et les cadres centraux de nourrices. La difficulté avec les facteurs susmentionnés est que les apiculteurs ne pourraient pas les renseigner dans un outil de datation de la mort (faute de connaître le moment de la mort et le type d'abeilles retrouvées et pesées), mis à part l'état sanitaire de la ruche qui pourrait être déterminé si la colonie a été suivie peu de temps avant la découverte de la mortalité massive.

Des facteurs météorologiques, tels que la pluie, l'humidité, le vent ou une température extrême sur plusieurs jours consécutifs, peuvent potentiellement expliquer des variations de masse le jour de la mort, mais également pendant la phase de perte de masse et lorsque la masse minimale du cadavre a été atteinte. Des précipitations importantes induisant un accroissement du taux d'humidité dans la ruche pourraient notamment expliquer les phénomènes de « rebond » observés pendant cette dernière phase de plateau (courbe rouge de la **figure 3**). Les matériaux qui composent les ruches sont également un facteur à prendre en compte et pourraient conduire à amplifier ces effets. En effet, l'évacuation de l'humidité peut être différente entre des ruches en bois et des ruches en plastique. Des différences peuvent également exister entre des ruches avec fond partiellement ou totalement grillagé.

Dans cette étude, la perte de masse est modélisée à partir de l'euthanasie des abeilles. Or, en pratique sur le terrain, la perte de masse peut être antérieure à la date de mort du fait de facteurs biotiques ou abiotiques. Concernant les produits phytosanitaires, cette période de déshydratation peut varier selon la toxicité de la substance active (effet Knock down⁶ ou non) et de la dose reçue, aussi cette hypothèse mériterait d'être vérifiée par des études de toxicité en laboratoire de plusieurs substances actives à plusieurs niveaux de dose.

Par ailleurs, notre étude fait l'hypothèse d'une mortalité massive d'abeilles sur un temps réduit, or une mortalité étalée dans le temps des abeilles de la colonie peut conduire à une estimation erronée de la date de mort.

⁶ Effet Knock down : effet sur le système nerveux entraînant des troubles de la coordination des mouvements

Un manque de puissance en raison de la taille de l'échantillon et du protocole d'étude (passage d'un rythme de pesée journalier à hebdomadaire après sept jours d'étude) ne permettait pas d'intégrer la température et l'humidité dans nos modèles pour en étudier les effets sur le poids. Certaines hypothèses concernant l'influence des facteurs météorologiques (température, humidité) pourraient être testées expérimentalement dans des conditions contrôlées en laboratoire, mais également sur le terrain en utilisant des ruches connectées avec capteurs de température et d'hygrométrie.

Pour finir, cette étude étant basée sur le volontariat, les apiculteurs pouvaient provenir de différentes régions et la majorité des lots a été suivie en Auvergne-Rhône-Alpes. Il est difficile de mesurer les conséquences de ce déséquilibre d'échantillonnage en faveur de cette région par rapport aux autres. D'autres facteurs présentent également des modalités non-équilibrées, comme les races d'abeilles (17 lots d'abeilles hybrides vs 27 lots d'abeilles noires) et les saisons d'étude (neuf lots suivis en automne vs 35 au printemps). Néanmoins, ces facteurs étant pris en compte dans le modèle, la conséquence devrait être limitée à une moins bonne précision des résultats pour les modalités les moins représentées.

Conclusion

Cette étude pilote a permis de modéliser l'évolution dans le temps de la masse des abeilles après leur mort et a montré les effets de la race et de la période de la mort respectivement sur leur masse à la mort et leur masse après déshydratation. Une source importante de variabilité de la masse des abeilles a été prise en compte dans le modèle par l'intermédiaire des effets aléatoires. Il est impératif d'identifier les facteurs qui sont à l'origine de cette variabilité et de mesurer leur influence, afin de pouvoir envisager le développement d'un outil permettant aux apiculteurs de connaître le délai écoulé entre la mortalité massive aigüe des abeilles et leur découverte. Cela nécessite de réaliser des études plus complètes menées sur le terrain et en conditions de laboratoire, avec l'appui d'experts de la filière.

Remerciements

Nous tenons à remercier les vétérinaires apiculteurs qui se sont portés volontaires pour participer aux expériences (D. Audureau, J.N. Bart, P. Gilles, O. Hartnagel, J.F. Knoop, C. Lantuejoul, Tondreau, C. Roy, L. Vilagines) ainsi que MP. Chauzat, M. Laurent et MP. Rivière du Laboratoire l'Anses de Sophia-Antipolis pour les discussions qui ont facilité

l'interprétation des résultats et l'émission d'hypothèses sur les facteurs impactant l'évolution de la masse des cadavres d'abeilles.

Références bibliographiques

Haubruge *et al.* 2006. Le dépérissement de l'abeille domestique. *Apis mellifera L.*, 1758

Zóltowska *et al.* 2011. Hydrolases of developing worker brood and newly emerged worker of *Apis mellifera carnica*. *Journal of Apicultural Science*, 55 : 27-36.

Dainat. 2012. Colony collapse disorder in Europe. *Environmental Microbiology Reports* (2012) 4(1), 123–125

Schott *et al.* 2017. Temporal dynamics of whole body residues of the neonicotinoid insecticide imidacloprid in live or dead honeybees. *Scientific Reports*, 7(1) : 6288.

Vidau *et al.* 2017. La réalité du terrain : Comment évaluer l'effet des pesticides en situation d'exposition multiple. Consulté le 13/09/2022. https://itsap.asso.fr/pages_thematiques/pesticides/realite-terrain-evaluer-leffet-pesticides-situation-dexposition-multiple/

Tomé *et al.* 2019. Frequently encountered pesticides can cause multiple disorders in developing worker honey bees. *Elsevier, Environmental Pollution*, 256.

Vidau *et al.* 2020. Exploration des effets non intentionnels des produits biocides et antiparasitaires utilisés en élevage sur la santé des colonies d'abeilles mellifères - Restitution du projet BAPESA

Winston, M.L. 1987. *The biology of the honey bee.*

Pinheiro, J. C. & Bates, D. M. *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS.* Springer Verlag edn, (Springer, 2000).

Keszthezlyi *et al.* 2021. CT-supported analysis of the destructive effects of *Varroa destructor* on the pre-imaginal development of honey bee, *Apis mellifera*. *Apidologie* 52 (2021), 155-162

Elias. 2022. Honeybee Crisis in North America. *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation* (2022), 521-537

Pour citer cet article : Lavainne P., Rüger C., Amat J-P., Hénaux V., Morignat E., Roy. C. 2022. « Estimation de la date présumée d'une mortalité massive aigüe d'abeilles à partir de la masse d'un échantillon de cadavres d'abeilles adultes : étude pilote » Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation 101 (4) : 1-9.

Le Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation est une publication conjointe de la Direction générale de l'alimentation et de l'Anses.

Directeur de publication : Benoit Vallet

Directeur associé : Maud Faipoux

Directrice de rédaction : Emilie Gay

Rédacteur en chef : Julien Cauchard

Rédacteurs adjoints : Hélène Amar, Jean-Philippe Amat, Céline Dupuy, Viviane Hénaux, Renaud Lailier, Célia Locquet

Comité de rédaction : Anne Brisabois, Benoit Durand, Françoise Gauchard, Guillaume Gerbier, Pauline Kooh, Marion Laurent, Sophie Le Bouquin Leneveu, Céline Richomme, Jackie Tapprest, Sylvain Traynard

Secrétaire de rédaction : Virginie Eymard

Responsable d'édition :
Fabrice Coutureau Viceaire

Assistante d'édition :
Flore Mathurin

Anses - www.anses.fr

14 rue Pierre et Marie Curie

94701 Maisons-Alfort Cedex

Courriel : bulletin.epidemiologie@anses.fr

Dépôt légal : parution/ISSN 1769-7166