

L'observance des schémas thérapeutiques recommandés contre *le Varroa destructor* améliore la survie des colonies d'abeilles mellifères pendant l'hiver

Julie Hernandez ^{un b f} Jan Hattendorf ^{c g} Alexandre Aebi ^{un d} Vincent Dietemann ^{b e}
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.12.025>

Faits saillants :

Nous avons vérifié la conformité des apiculteurs aux recommandations de lutte contre les acariens *Varroa destructor*.

Le taux d'infestation et la mortalité des colonies d'abeilles mellifères ont été mesurés afin d'évaluer l'impact de la conformité.

La non-conformité a entraîné des taux d'infestation d'acariens plus élevés et la mortalité des colonies.

Une colonie avait jusqu'à 25 fois plus de risques de mourir lorsqu'elle n'était pas traitée comme recommandé.

La communication de l'impact des écarts par rapport aux recommandations améliore la conformité.

Abstract

L'acarien ectoparasite *Varroa destructor* affecte négativement la santé et la survie des colonies d'abeilles mellifères, obligeant ainsi les apiculteurs à traiter leurs colonies chaque année. Un régime de lutte contre les acariens largement utilisé est basé sur deux molécules organiques : l'acide formique et l'acide oxalique. Pour assurer une efficacité optimale, plusieurs applications de ces acides à des moments prédéfinis sont recommandées. Ces recommandations s'appuient principalement sur des expériences menées dans des conditions contrôlées. Il n'existe pas d'études évaluant l'efficacité dans des conditions naturelles sur le terrain.

Nous avons recruté 30 apiculteurs dans le cadre d'une étude longitudinale dans trois cantons suisses et suivi la gestion et la santé de leurs colonies pendant deux ans. Nous avons évalué la conformité aux recommandations de lutte contre les acariens et mesuré les taux d'infestation par *V. destructor*, les indices de productivité des colonies (taille du couvain et récolte de miel) et la mortalité des colonies dans 300 colonies.

Nous avons observé un risque 10 fois plus élevé de mort des colonies lorsque les apiculteurs s'écartaient légèrement du régime de traitement recommandé par rapport aux apiculteurs conformes (odds ratio : 11,9, IC à 95 % : 2,6-55,2, $p = 0,002$). Le risque de mort des colonies a été multiplié par 25 dans les ruchers avec des écarts substantiels par rapport aux recommandations (odds ratio : 50,4, IC à 95 % : 9,7-262,5, $p < 0,0001$). Les écarts ont entraîné une augmentation des niveaux d'infestation par *V. destructor* avant l'hivernage, ce qui était probablement responsable de la mortalité des colonies. Après avoir communiqué aux apiculteurs le lien apparent entre une faible observance et une faible survie des colonies à la fin de la première année, nous avons observé une meilleure observance et une meilleure survie des colonies au cours de la deuxième année.

Nos résultats mettent en évidence l'impact positif de l'observance du schéma thérapeutique recommandé par *V. destructor* sur la santé des colonies d'abeilles mellifères et la nécessité de mieux communiquer les conséquences d'un écart par rapport aux recommandations afin d'améliorer l'observance. La conformité a également diminué à l'occasion, ce qui laisse entrevoir des contraintes de mise en œuvre du concept qui

pourraient être identifiées et éventuellement traitées en détail à l'aide des sciences sociales pour promouvoir davantage la santé des abeilles mellifères.

Mots-clés

Apis mellifera ; Lutte antiparasitaire ; *Varroa destructor* ; Conformité ; Mortalité des colonies Gestion ; apicole

1. Préambule

Au cours des 15 dernières années, l'augmentation de la mortalité des colonies d'abeilles domestiques de *Ouest, Apis mellifera*, un insecte important sur le plan économique, a favorisé d'intenses recherches sur les facteurs affectant sa santé (Steinhauer et al., 2018; Smith et coll., 2013). Les causes possibles des pertes de colonies identifiées comprennent les parasites et les agents pathogènes (Smith et al., 2013; van Engelsdorp et Meixner, 2010). En particulier, l'acarien ectoparasite envahissant *Varroa destructor* est considéré comme la principale menace biotique pour *A. mellifera* d'origine européenne (Guichard et al., 2020 ; Traynor et coll., 2020) . Cet acarien fonctionne comme vecteur de virus (Berthoud et al., 2010; Conte et al., 2010), réduisant la durée de vie des abeilles ouvrières adultes (Dainat et al., 2012) et la capacité des colonies à survivre, en particulier pendant l'hiver (Rosenkranz et al., 2010; Traynor et coll., 2020). En l'absence de lutte contre les acariens, on prévoit qu'une colonie s'effondrera dans un délai d'un à trois ans (Ritter, 1981; Korpela et coll., 1992; Fries et Rosenkranz, 1996; Conte et al., 2007), obligeant les apiculteurs à appliquer chaque année une lutte efficace contre les acariens pour maintenir leurs stocks et leur productivité (Rosenkranz et al., 2010). La mise en œuvre de mesures de contrôle vise à réduire les niveaux d'infestation par *V. destructor* des abeilles dites « d'hiver », qui sont des individus à longue durée de vie qui sont considérés comme essentiels pour assurer la survie de la colonie pendant l'hiver (van Dooremalen et al., 2012).

Plusieurs études récentes ont montré que les apiculteurs peuvent réduire la mortalité des colonies hivernales en appliquant des traitements varroacides (Oberreiter et Brodschneider, 2020 ; Jacques et coll., 2017; Haber et coll., 2019; Giacobino et coll., 2015; Giacobino et coll., 2016; Giacobino et al., 2017; Haber et coll., 2019). Cependant, les pertes de colonies demeurent excessives et fluctuent de façon imprévisible (Charrière et Neumann, 2010; Oberreiter et Brodschneider, 2020 ; Brodschneider et coll., 2018; Gray et coll., 2020). Cette observation est attribuable à d'autres facteurs que *V. destructor* (Smith et al., 2013), mais peut également être due à des échecs dans la lutte contre les acariens en raison d'une mise en œuvre incorrecte, qui n'a pas encore été étudiée systématiquement. Une mise en œuvre incorrecte est particulièrement probable pour les méthodes dites de « lutte alternative », car elles reposent sur plusieurs applications d'acides organiques à des moments particuliers, ce qui laisse une marge de déviation (Dietemann et al., 2012). Plusieurs applications sont nécessaires pour atteindre une efficacité de traitement suffisante, équivalente à celle des produits précédemment utilisés contenant des composés actifs synthétiques, tels que les pyréthrinoïdes (p. ex., le tau-fluvalinate et la fluméthrine) et les phosphorothioates (p. ex., le coumaphos) (Rosenkranz et coll., 2010). Leur application à des moments particuliers de la saison apicole est due à la dépendance de l'efficacité à des facteurs environnementaux, qui affectent la distribution des principes actifs au sein de la colonie (Rosenkranz et al., 2010; Beyer et coll., 2018). Bien que cette dépendance soit problématique pour déterminer le temps d'application, elle est un avantage car, lorsqu'ils sont utilisés correctement, ces ingrédients s'évaporent et ne s'accumulent pas dans les ruches (Imdorf et al., 1996; Bogdanov et coll., 2002). Cette absence d'accumulation de résidus garantit que les produits de la ruche ne sont pas contaminés (Rosenkranz et al., 2010) et diminue le risque de développement d'une résistance chez les acariens. En effet, après plusieurs décennies d'utilisation, les méthodes alternatives n'ont pas conduit au développement d'une résistance chez les acariens, alors que cette résistance est apparue quelques années après l'utilisation de produits synthétiques (Elzen et al., 2000 ; Maggi et coll., 2011; Milani, 1999). En raison de ces avantages, ainsi que de leur efficacité prouvée

lorsqu'ils sont testés dans des conditions de recherche contrôlées (Fries et coll., 1991; Imdorf et al., 1996), des concepts à base d'acides organiques sont recommandés pour lutter contre *V. destructor* dans plusieurs pays : Suisse (Imdorf et al., 2003), (Charrière et al., 1997), Autriche (Oberreiter et Brodschneider, 2020 ; Brodschneider et al., 2019), le Danemark, la Suède, les Pays-Bas, l'Allemagne (Genersch et al., 2010; van der Steen et Vejsnæs, 2021). Cependant, il n'est pas clair dans quelle mesure les écarts par rapport au régime de traitement recommandé contribuent aux pertes récurrentes de colonies hivernales enregistrées dans ces pays (Gray et al., 2020).

Les études antérieures visant à déterminer le rôle de la lutte contre *V. destructor* dans le maintien de la santé des colonies étaient de courte durée (Giacobino et al., 2015, Giacobino et al., 2016, Giacobino et al., 2017; Haber et coll., 2019) et s'est appuyé sur les estimations de ce rôle par les apiculteurs plutôt que sur des mesures standardisées par le biais d'un suivi adéquat au niveau de la colonie (Beyer et al., 2018 ; Jacques et coll., 2017; Haber et coll., 2019) . De plus, aucune de ces études n'a examiné si les traitements varroacidiques ont été mis en œuvre conformément aux recommandations (Oberreiter et Brodschneider, 2020) ou s'ils ont établi un lien direct entre le traitement et les niveaux d'infestation par *V. destructor* (Oberreiter et Brodschneider, 2020) ou la mortalité des colonies (Giacobino et al., 2015, Giacobino et al., 2016, Giacobino et al., 2017; Haber et coll., 2019). Afin de mieux lier la mise en œuvre correcte dans l'application du concept alternatif de lutte contre les acariens (c'est-à-dire l'application du bon nombre de traitements à base d'acides organiques au bon moment) avec leur objectif de réduire les taux d'infestation de *V. destructor* et les pertes de colonies, nous avons recruté 30 apiculteurs amateurs suisses. Nous leur avons demandé d'enregistrer le nombre d'applications de traitement qu'ils ont effectuées et l'heure à laquelle elles ont été appliquées, ainsi que de donner accès à leurs colonies à des assistants de terrain formés pour la collecte d'échantillons et de données. Ces assistants ont enregistré les taux d'infestation de *V. destructor* dans chacune des 10 colonies par rucher, la survie de la colonie pendant deux hivers consécutifs et la quantité de couvain élevé dans les colonies. Ce dernier paramètre, ainsi que la quantité de miel récoltée par rucher (López-Urbe et Simone-Finstrom, 2019), ont facilité l'évaluation des effets secondaires négatifs potentiels des traitements sur la survie des couvées (Tihelka, 2018 ; Elzen et coll., 2004) et l'identification des incitatifs économiques susceptibles d'avoir une incidence sur le respect des recommandations. Une fois que les pertes de colonies de la première année ont été liées à la conformité, nous avons communiqué les résultats aux apiculteurs afin de surveiller les améliorations présumées de la conformité et de la mortalité des colonies au cours de la deuxième année. Nous avons testé les hypothèses suivantes : (i) le non-respect du concept de contrôle recommandé diminue l'efficacité du traitement, ce qui entraîne une augmentation des taux d'infestation par *V. destructor* chez les travailleurs d'hiver et la mortalité des colonies; (ii) Montrer aux apiculteurs le lien entre la conformité et la mortalité des colonies peut accroître la conformité à l'avenir; (iii) La réduction du nombre d'applications de traitement réduit les effets secondaires négatifs sur les colonies et conduit à une augmentation de la taille du couvain; et (iv) le manque de conformité réduit la productivité des ruchers. À partir des résultats, nous avons tiré des suggestions pour améliorer l'observance par les apiculteurs du régime de traitement recommandé pour lutter contre *V. destructor*, dans le but de favoriser la santé des abeilles mellifères gérées.

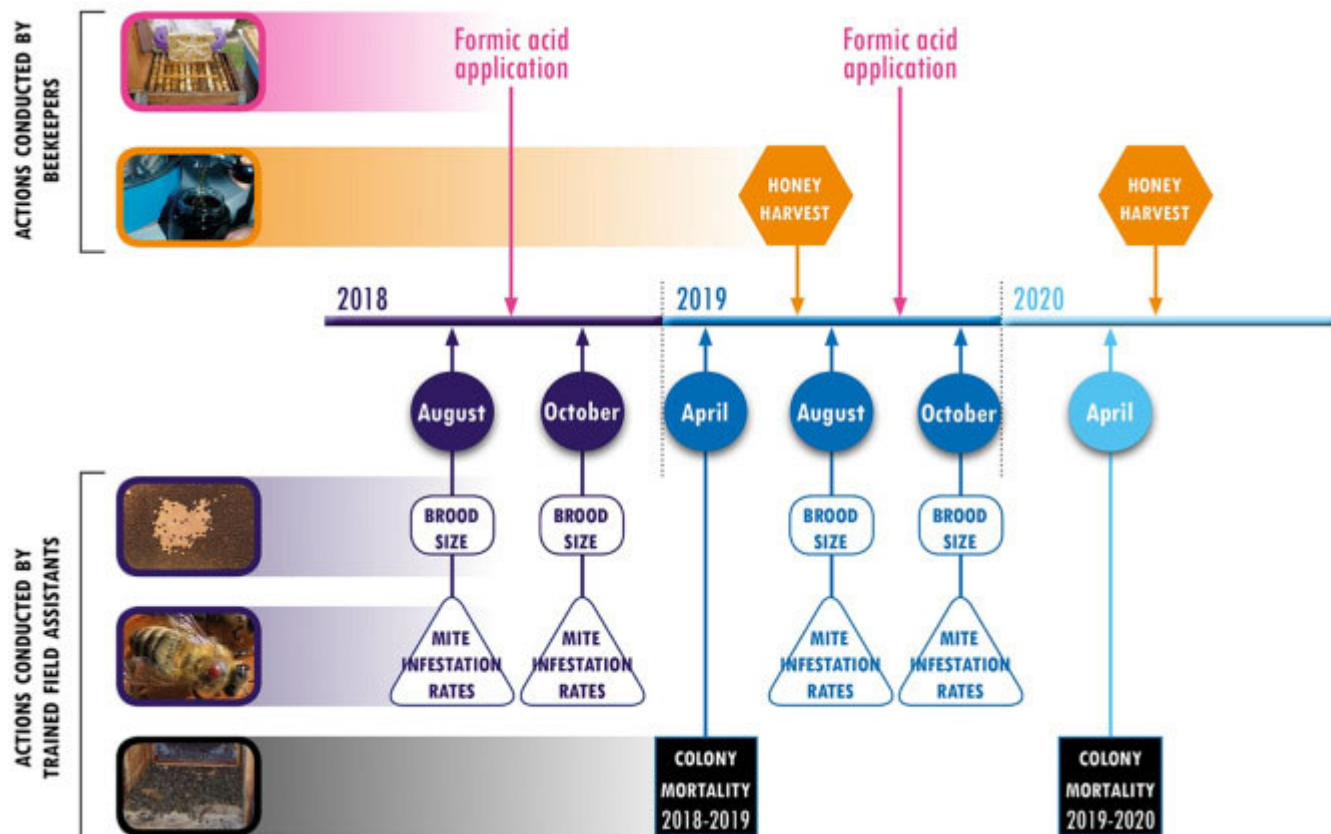
2. Matériel et méthodes

2.1. Inscription des apiculteurs, zone d'étude et période expérimentale

Le suivi des colonies a été réalisé pendant deux ans (d'août 2018 à avril 2020) dans 30 ruchers situés dans les cantons du Jura, de Berne et de Vaud, en Suisse. Les apiculteurs éligibles ont été identifiés par des appels à participer à l'étude relayés par les associations d'apiculteurs des cantons et par deux réunions d'information. Les apiculteurs âgés de 18 à 70 ans pouvaient participer. Le recrutement a été arrêté après que 30 participants aient été recrutés pour l'étude. Les 30 ruchers abritaient chacun 10 colonies. Le type d'apiculture pratiqué par ces volontaires était typique des apiculteurs suisses et, par conséquent, cet échantillon peut être considéré comme représentatif de la communauté apicole de ce pays. Les apiculteurs ont d'abord accepté de suivre le régime de traitement recommandé à *V. destructor*. Après la première

année d'étude, la relation entre la survie de la colonie et la lutte contre les acariens a été communiquée aux apiculteurs lors d'une séance de réunion et par courriel.

Les 300 colonies (*Apis mellifera carnica*) utilisées dans cette étude ont été gardées dans des systèmes de ruches Dadant et Swiss Bürki et dirigées par des reines âgées de 1 à 1,5 an. Tous les ruchers faisaient l'objet d'un suivi trois fois par an. La première visite a eu lieu au début du mois d'août, avant la récolte du miel d'été et le traitement à l'acide formique. S'en est suivie une deuxième visite en octobre avant l'hivernage et le traitement à l'acide oxalique et une troisième au début du mois d'avril de l'année suivante, lorsque les colonies sont sorties de la période d'hivernage et ont commencé leur développement (Fig. 1).



1. [Télécharger : Télécharger l'image haute résolution \(312Ko\)](#)
2. [Télécharger : Télécharger l'image en taille réelle](#)

La fig. 1. Résumé de la collecte de données indiquant qui, parmi les apiculteurs ou les chercheurs, a effectué une action ou une mesure donnée.

2.2. Data collection

2.2.1. Taille du couvain plafonné

Lors des visites d'août et d'octobre, la quantité de couvain coiffé produit dans les colonies a été quantifiée afin de surveiller les effets secondaires des traitements appliqués. Cette quantification a été obtenue à l'aide de la méthode ColEval (Hernandez et al., 2020). Brièvement, une estimation calibrée du pourcentage de surface des rayons occupés par le couvain coiffé a été effectuée et, par la suite, convertie en nombre de cellules.

2.2.2. Récolte du miel

La masse de miel récoltée par rucher a été enregistrée chaque année par les apiculteurs (Fig. 1) et utilisée comme indicateur de la productivité et de la santé des colonies.

2.2.3. Taux d'infestation par *V. destructor*

Lors des visites d'août et d'octobre (Fig. 1), des ouvrières adultes (moyenne : 300, écart-type : 50) ont été échantillonnées dans les cadres de couvain ouverts de chaque colonie pour l'évaluation du taux d'infestation par *V. destructor* (Dietemann et al., 2013; Lee et al., 2010a, Lee et al., 2010b). Les échantillons ont été placés dans des sacs en plastique à fermeture éclair et conservés sur de la glace avant d'être amenés au laboratoire pour être conservés à -20 °C jusqu'à l'analyse. Avant l'analyse, les échantillons ont été pondérés pour déterminer le nombre d'abeilles mellifères qu'ils contenaient. Chaque échantillon a ensuite été lavé à l'eau savonneuse pour déloger les acariens en vue de leur comptage, selon un protocole standard (Dietemann et al., 2013). À partir de ces données, le nombre d'acariens pour 100 ouvrières a été calculé (Dietemann et al., 2013).

2.2.4. Mortalité des colonies

La mortalité des colonies a été enregistrée en avril, après la période d'hivernage (Fig. 1). En cas de perte de colonies, les apiculteurs remplaçaient les colonies mortes par des noyaux préparés au printemps de la saison précédente, et de nouveaux numéros d'identification de colonies leur étaient attribués.

2.3. Régime de lutte contre le destructeur *V.*

En Suisse, le schéma thérapeutique recommandé pour *V. destructor* comprend trois applications de produits. La première application d'acide formique immédiatement après la récolte du miel, entre le 25 juillet et le 10 août, utilise des distributeurs à long terme. S'ensuit une deuxième demande entre le 25 août et le 15 septembre. Entre novembre et décembre, lorsque les colonies cessent d'élever le couvain, l'application d'acide oxalique est recommandée. Si plus de cinq acariens tombent par jour sur les planches inférieures de l'urticaire quatre semaines après ce traitement, une deuxième application d'acide oxalique est nécessaire (Apiservice, 2021). Plusieurs distributeurs d'acide formique sont disponibles sur le marché suisse [Apidea, FAM, Liebig, MAQS ou Nassenheider PRO (Apiservice, 2021)]. Ces modèles montrent une efficacité similaire (Imdorf et al., 2003), et les apiculteurs participants étaient libres d'utiliser n'importe lequel d'entre eux. De même, plusieurs modes d'application d'acide oxalique tout aussi efficaces sont disponibles [pulvérisation, ruissellement ou sublimation (Rosenkranz et al., 2010 ; van der Steen et Vejsnæs, 2021)], et les apiculteurs étaient également libres de choisir leur mode préféré.

2.4. Classification de l'observance selon le schéma thérapeutique recommandé pour *V. destructor*

Pour déterminer l'influence de la conformité sur les taux d'infestation par *V. destructor*, la taille du couvain, la récolte de miel et la mortalité des colonies, les apiculteurs ont été invités à enregistrer le nombre d'applications d'acide formique et oxalique, ainsi que les dates auxquelles elles ont été effectuées, par le biais d'une application mobile (ApiNotes©). Le nombre et le moment où les demandes de traitement ont été présentées ont été utilisés pour déterminer les catégories de conformité. La catégorie « conforme » comprenait les apiculteurs qui ont correctement suivi le concept de contrôle (c'est-à-dire qui ont appliqué le bon nombre de traitements au moment opportun). La catégorie « presque conforme » regroupait les apiculteurs qui ont appliqué le nombre requis de traitements, mais à des moments inappropriés. La catégorie « non conforme » caractérisait les apiculteurs qui appliquaient moins de traitements que recommandés.

2.5. Analyse statistique

Notre hypothèse principale était que les colonies appartenant à des apiculteurs dociles connaissent une mortalité plus faible que celles appartenant à des apiculteurs presque conformes et à des apiculteurs non conformes. Nous avons effectué une série de simulations pour évaluer les exigences en matière de taille d'échantillon. Les simulations ont révélé que 30 ruchers de 10 colonies chacun (300 colonies au total) étaient suffisants pour détecter une différence réelle de 20 % de mortalité des colonies par an chez les apiculteurs conformes par rapport à la proportion de 40 % chez les apiculteurs presque conformes avec une puissance de 80 % à un niveau de confiance de 95 %, en supposant un coefficient de corrélation intra-grappe (c.-à-d. colonies regroupées dans des ruchers) de 0,2 et un nombre similaire d'apiculteurs dans

chaque catégorie de conformité. La capacité de détecter une différence entre les groupes conformes et non conformes était supérieure à 95 %, en supposant une mortalité réelle des colonies de 50 %.

Afin d'analyser l'effet de la conformité sur les variables mesurées et de vérifier nos hypothèses, nous avons utilisé des équations d'estimation généralisées et des modèles d'équations structurelles (Overall et Tonidandel, 2004 ; Lefcheck, 2016; Pugesek et Tomer, 2003). Nous avons combiné ces modèles parce que les équations d'estimation généralisées s'appuient sur des modèles de régression bien connus, qui tiennent compte des observations groupées (c'est-à-dire des colonies dans les ruchers) et fournissent des estimations fiables même si certaines hypothèses sont légèrement violées, alors que les modèles d'équations structurelles, bien que reposant sur des hypothèses plus complexes, tiennent compte des relations complexes entre les variables. Dans ces modèles d'équations structurelles, la même variable peut être à la fois une variable indépendante et une variable dépendante, ce qui permet d'identifier d'éventuelles relations causal-effet. Il devient ainsi possible d'analyser le taux d'infestation de *V. destructor* à la fois comme critère d'évaluation de la mise en œuvre du concept de lutte et comme cause de mortalité des colonies. Des modèles d'équations d'estimation généralisées avec une structure de corrélation échangeable (Overall et Tonidandel, 2004) ont donc été utilisés pour analyser l'effet de la non-conformité (catégories quasi conforme et non conforme) sur la mortalité des colonies, les taux d'infestation de *V. destructor* et le nombre de cellules de couvain coiffées en octobre, en prenant comme référence la catégorie conforme. Ces modèles ont utilisé des estimateurs robustes de la variance sandwich pour tenir compte des corrélations au sein des grappes (c.-à-d. les colonies regroupées dans les ruchers). Pour les résultats binaires (variable de mortalité), nous avons estimé les rapports de cotes à l'aide d'une fonction logit-link. Les résultats continus (nombre d'acariens par abeille adulte et nombre de cellules de couvain coiffées) ont été transformés logarithmique avant l'analyse. Les changements de conformité au fil des ans ont été évalués à l'aide d'un modèle d'équation d'estimation généralisée pour les données ordinales groupées.

La masse de miel récoltée n'a pas suivi de distribution théorique. Par conséquent, l'impact de la conformité sur cette variable a été analysé à l'aide d'une version conditionnelle du test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

Ces analyses ont été menées dans la version 4.0.3 de R à l'aide des packages « geepack » et « coin » (R Core Team (2019)).

Étant donné que l'application d'acides organiques peut influencer simultanément sur les taux d'infestation de *V. destructor* et la taille du couvain des colonies par des voies directes et indirectes, nous avons utilisé des modèles d'équations structurelles généralisées (Lefcheck, 2016; Pugesek et Tomer, 2003) pour quantifier la force des relations dans un même réseau et examiner chacune de ces voies simultanément tout en tenant compte des corrélations entre plusieurs variables de réponse (Grace et al., 2015). Nous présentons les résultats à l'aide d'un diagramme de chemin, ainsi que les coefficients estimés pour chaque chemin. La conformité a été codée par un indicateur indicatif en utilisant « conforme » comme catégorie de référence, et la mortalité des colonies a été modélisée comme une variable binaire avec une fonction de lien logit. Toutes les autres variables ont été supposées avoir des termes d'erreur à peu près normalement distribués. Le modèle a été ajusté pour tenir compte de l'année en tant qu'effet fixe et pour les colonies imbriquées dans les ruchers en tant qu'effets aléatoires. Comme les modèles d'équations structurelles généralisées ne fournissent pas de coefficients normalisés, nous avons fourni les coefficients non normalisés. Leur interprétation est la même que dans la régression linéaire ou logistique ; C'est-à-dire que le coefficient sur le chemin d'une variable numérique vers une variable binaire représente le logarithme de l'odds ratio associé à chaque unité d'augmentation de la variable au début du chemin. Le modèle a été implémenté dans la version 15.0 de Stata à l'aide de la commande « gsem » (StataCorp, 2017). Aucune imputation des données manquantes n'a été effectuée.

Nous avons évalué la validité de diverses hypothèses du modèle (erreurs normalement distribuées, relations linéaires approximatives, homoscedasticité, pas de valeur aberrante influente) par des inspections visuelles de graphiques de diagnostic de régression (tracés résiduels vs effet de levier et QQ).

3. Résultats

3.1. Catégories de conformité

Sur les 30 apiculteurs inscrits à cette étude, deux n'ont pas fourni suffisamment d'informations en 2018 et trois en 2019. Ces cas ont donc été exclus de l'analyse. Tous les apiculteurs ont appliqué des traitements d'hiver à l'acide oxalique au bon moment. L'observance a donc été limitée au nombre et au moment des traitements à l'acide formique effectués (tableau 1).

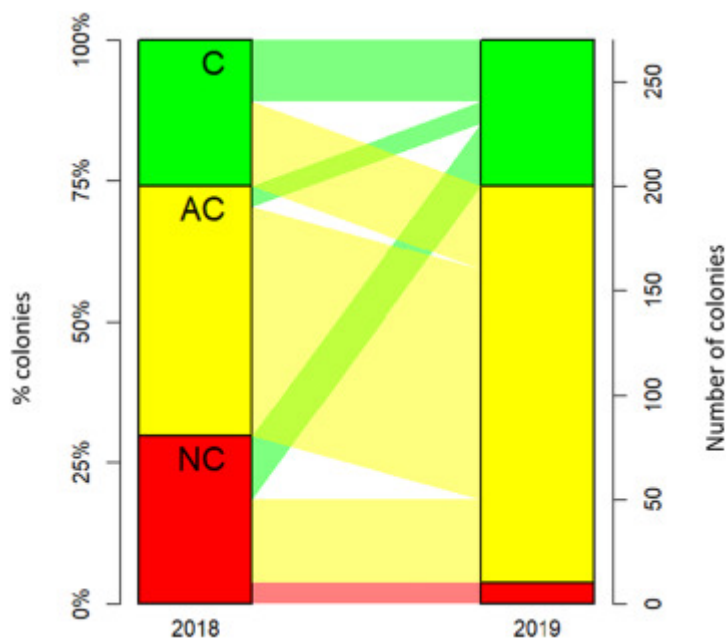
Tableau 1. Catégories de conformité définies en fonction du nombre de traitements à l'acide formique effectués et de leur temps d'application.

Catégories de conformité	Nombre et moment des applications d'acide formique
Conforme	Deux applications dans le délai recommandé ^{un}
Presque-conforme	Deux applications mais au moins une en dehors de la période recommandée ^{un}
Non conforme	Moins de deux applications

un

La première demande entre le 25 juillet^{ième} et le 10 août^{ième} et la deuxième demande entre le 25 août^{ième} et le 15 septembre^{ième}.

En 2018, 25 % des colonies ont été traitées conformément aux recommandations, 43 % ont été traitées de manière quasi conforme et 32 % ont été traitées de manière non conforme (Fig. 2). En 2019, un pourcentage significativement plus élevé de colonies ont été traitées selon des schémas thérapeutiques conformes et presque conformes : 26 % dans les catégories conformes, 70 % dans les catégories presque conformes et seulement 4 % dans les catégories non conformes ($p = 0,005$, Fig. 2). Cette amélioration s'explique principalement par le fait que les apiculteurs non conformes de 2018 sont devenus conformes ou presque conformes en 2019 et s'est produit malgré le fait que plus de la moitié des apiculteurs conformes de 2018 ont réduit leur niveau de conformité à presque conforme au cours de la deuxième année (figure 2).



1. [Download : Download high-res image \(93KB\)](#)

2. Download : Download full-size image

La fig. 2. Changements dans les catégories de conformité entre 2018 et 2019 exprimés en pourcentage et en nombre de colonies traitées selon les divers régimes de conformité.

3.2. Effet de la conformité sur la mortalité des colonies d'abeilles mellifères, les taux d'infestation par *V. destructor*, la taille du couvain et la récolte de miel

3.2.1. Effet de la conformité sur la mortalité des colonies d'abeilles mellifères

Dans l'ensemble, 28 % des colonies sont mortes en 2018 et 15 % en 2019 (tableau 2, tableau 3). Avec 2 % de colonies perdues, les apiculteurs dociles ont connu un taux de mortalité significativement inférieur à celui des apiculteurs presque conformes à 20 % (odds ratio : 11,9, IC à 95 % : 2,6 à 55,2, $p = 0,002$) et aux 55 % d'apiculteurs non conformes (odds ratio : 50,4, IC à 95 % : 9,7 à 262,5, $p < 0,0001$; Tableau 2, tableau 3). Pour les apiculteurs non conformes, la probabilité de perte de colonies a augmenté rapidement avec le taux d'infestation en octobre, avec une probabilité de décès de 50 % pour une infestation de 10 acariens pour 100 abeilles ouvrières adultes (figure 3).

Tableau 2. La mortalité des colonies, le taux d'infestation par *Varroa destructor* pour 100 abeilles ouvrières adultes, le nombre de cellules de couvain plafonné, l'âge de la reine et la récolte de miel pour chaque catégorie de conformité au total et pour chaque année séparément.

Table 2

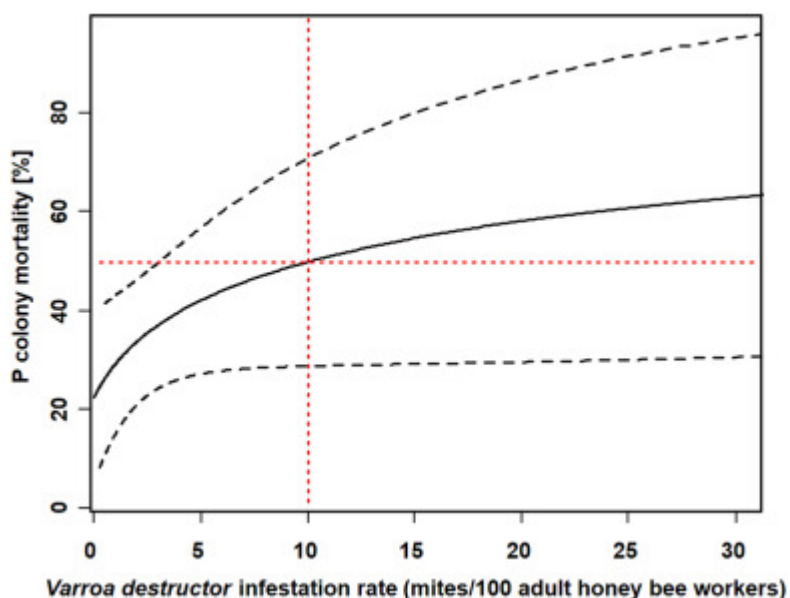
Colony mortality, *Varroa destructor* infestation rate per 100 adult honey bee workers, capped brood cell number, queen age, and honey harvest for each compliance category in total and for each year separately.

	Total			2018			2019		
	Compliant	Almost-compliant	Non-compliant	Compliant	Almost-compliant	Noncompliant	Compliant	Almost-compliant	Non-compliant
N colonies	140	310	100	70	120	90	70	190	10
Colony mortality ^a [%]	2	20	55	3	19	60	1	21	10
<i>V. destructor</i> August [mean (SD)]	3.3 (5.0)	4.6 (8.6)	3.8 (4.3)	3.8 (5.9)	3.0 (5.3)	3.6 (4.2)	2.7 (3.6)	5.7 (10.0)	6.0 (4.0)
<i>V. destructor</i> October [mean (SD)]	2.5 (3.9)	4.9 (9.8)	6.8 (9.8)	2.4 (2.6)	5.7 (13.5)	7.5 (10.4)	2.6 (5.0)	4.4 (6.1)	2.6 (3.1)
Relative difference [%]	-26	5	77	-37	92	110	-5	-23	-57
Brood cells August [mean (SD)]	8694 (4981)	9058 (5176)	8966 (5112)	10,397 (4665)	9863 (4845)	8685 (5252)	6991 (4726)	8556 (5323)	11,460 (2675)
Brood cells October [mean (SD)]	2055 (1556)	1702 (1600)	1446 (1550)	2154 (1589)	1526 (1308)	1158 (1247)	1954 (1526)	1813 (1754)	3920 (1754)
Relative difference [%]	-76	-81	-84	-79	-85	-87	-72	-79	-66
Honey harvest (kg per apiary) [mean(SD)]	194.2 (101.4)	180.5 (137.6)	68.0 (87.2)	130.7 (55.9)	83.9 (38.2)	63.0 (94.4)	257.7 (99)	240.9 (143.4)	98.3 (NA)
Queen age (years) [mean (SD)]	1.0 (0.6)	1.0 (0.6)	0.9 (0.7)	0.9 (0.5)	1.0 (0.6)	0.8 (0.7)	1.0 (0.6)	1.0 (0.6)	0.9 (0.5)

^a One colony with missing data in 2018 for almost-compliant category.

Tableau 3. Analyse de l'effet de l'observance par les apiculteurs du concept recommandé de lutte contre *le varroa destructeur* sur la mortalité des colonies, les taux d'infestation par *V. destructeur* (en acariens pour 100 ouvrières adultes en octobre) et la quantité de couvain (en nombre de cellules de couvain coiffées en octobre) à l'aide de modèles d'équations d'estimation généralisées.

Colony mortality	Dead colonies	Odds ratio	95% CI	p
Compliant	3/140	ref		
Almost-compliant	62/309	11.9	2.6–55.2	0.002
Non-compliant	55/100	50.4	9.7–262.5	<0.0001
2018	72/279	ref		
2019	41/270	0.76	0.3–1.7	0.49
<i>V. destructeur</i> infestation rates				
	log(mites + 1)	Difference	95% CI	p
Compliant	0.9	ref		
Almost-compliant	1.2	0.3	–0.2–0.7	0.21
Non-compliant	1.5	0.6	0–1.2	0.07
2018	1.2	ref		
2019	1.1	0.0	–0.3–0.3	0.89
Number of capped brood cells				
	log(cells + 1)	Difference	95% CI	p
Compliant	6.7	ref		
Almost-compliant	5.6	–1.1	–2.3–0.1	0.07
Non-compliant	5.2	–1.3	–2.5–0	0.04
2018	5.6	ref		
2019	6.1	0.4	–0.7–1.5	0.47

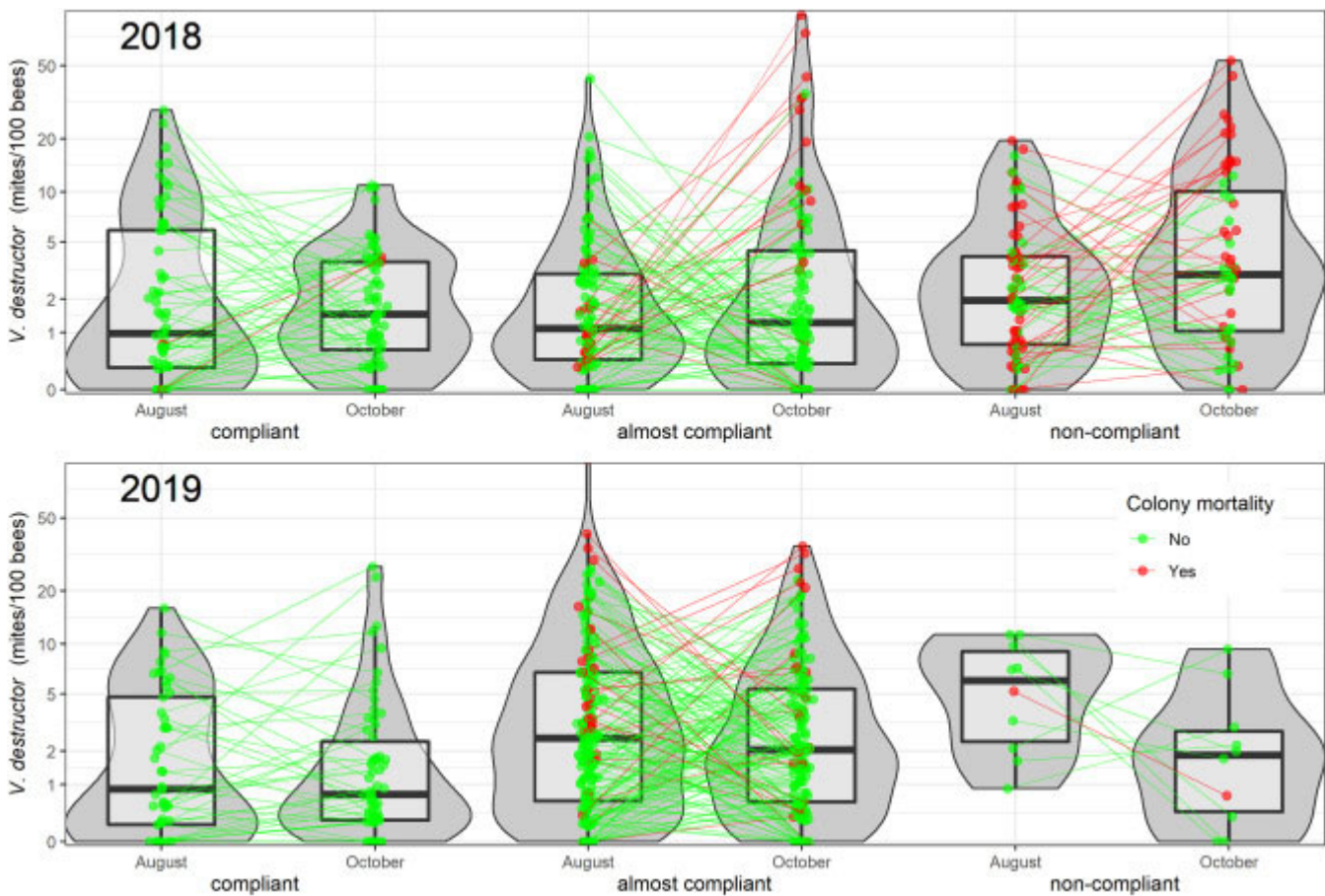


1. [Download : Download high-res image \(101KB\)](#)
2. [Download : Download full-size image](#)

La fig. 3. La probabilité de mortalité des colonies dépend du taux d'infestation par *Varroa destructor* en octobre. La figure est une visualisation des valeurs prédites résultant d'une régression logistique chez les apiculteurs non conformes rétro-transformés à l'échelle de probabilité. Les lignes pointillées représentent la bande de confiance à 95 % autour de la ligne de prédiction.

3.2.2. Effet de la conformité sur les taux d'infestation par *V. destructor*

Dans l'ensemble, les apiculteurs conformes ont enregistré un taux d'infestation d'acariens inférieur de 26 % en octobre par rapport à août, et cet effet a été plus prononcé en 2018 qu'en 2019. En revanche, le taux moyen d'infestation a augmenté dans les deux autres catégories de conformité (tableau 2, figure 4). Le modèle statistique comparant les taux d'infestation entre les catégories de conformité est présenté dans le tableau 3. Nous avons observé un nombre logarithmique marginalement significatif plus faible d'acariens dans les colonies d'apiculteurs conformes par rapport à la catégorie non conforme (différence_{log_scale} 0,6, IC à 95 % 0-1,2, $p = 0,07$). La différence entre les apiculteurs conformes et les apiculteurs presque conformes n'était pas significative (différence_{log_scale} 0,3, IC à 95 % -0,2 à 0,7, $p = 0,21$).



1. [Download : Download high-res image \(2MB\)](#)
2. [Download : Download full-size image](#)

La fig. 4. Taux d'infestation par *Varroa destructor* en août et octobre, avant et après les traitements, respectivement, et mortalité des colonies au cours de l'hiver suivant selon les catégories de conformité en 2018 et 2019. Les diagrammes de violon montrent la courbe de densité de probabilité des valeurs du taux d'infestation, et les boîtes à moustaches indiquent la médiane des données (ligne horizontale épaisse) et l'écart interquartile (boîte).

3.2.3. Effet de la conformité sur la taille du couvain

C'est en octobre que nous avons observé le plus grand nombre moyen de cellules de couvain coiffées dans les colonies d'apiculteurs dociles (tableau 2). Cette valeur était légèrement significativement plus élevée que la valeur moyenne mesurée dans les colonies de quasi-conformes (différence_{échelle logarithmique} = 1,1, IC à 95 % :

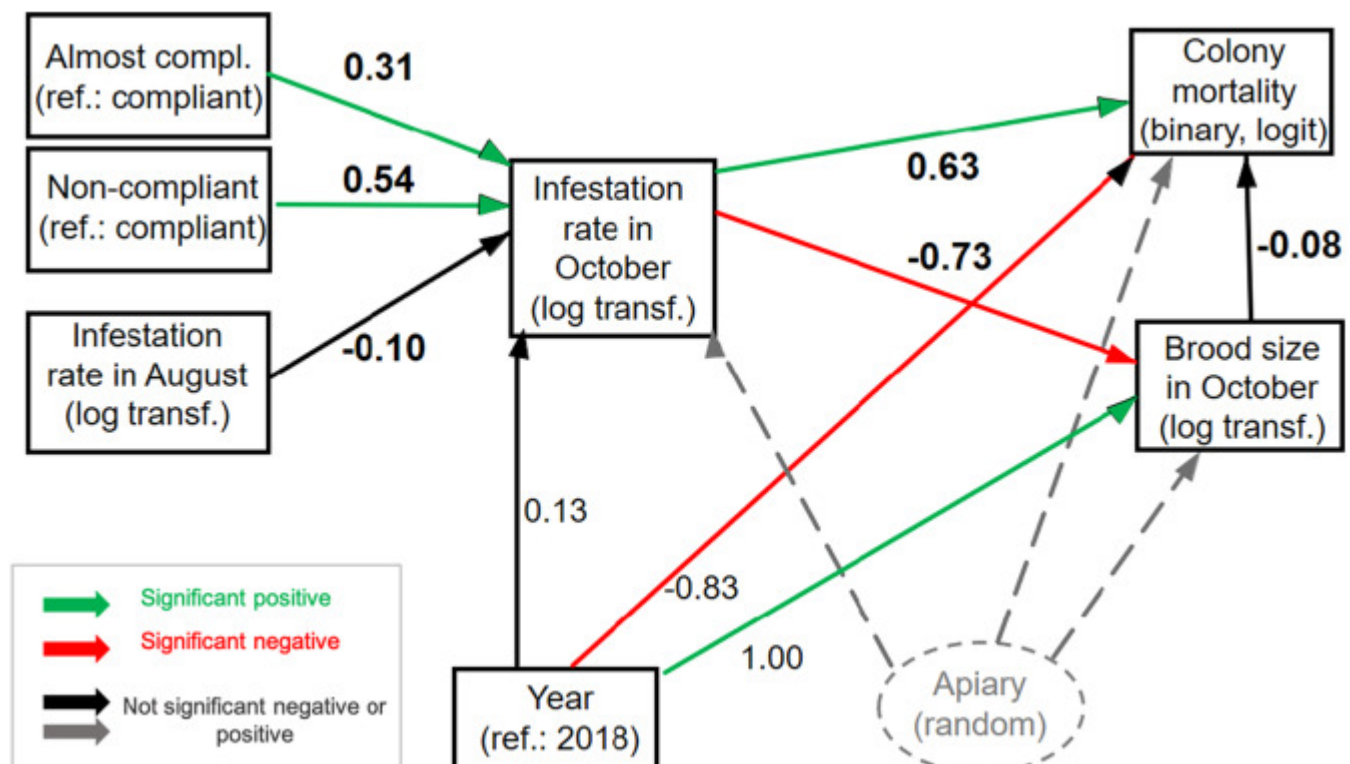
-0,1 à 2,3, $p = 0,07$; [Tableau 2, tableau 3](#)) et significativement plus élevé que dans les colonies de non-conformistes (différence_{échelle logarithmique} = 1,3, IC à 95 % : 0,0 à 2,5, $p = 0,04$; [Tableau 2, tableau 3](#)).

3.2.4. Effet de la conformité sur la productivité rucher

La récolte de miel différait significativement entre les groupes de conformité, avec des rendements moyens de 194, 180 et 68 kg dans les groupes conformes, presque conformes et non conformes, respectivement (test de Kruskal-Wallis, chi carré = 6, $p = 0,04$).

3.2.5. Analyse de la trajectoire des effets directs et indirects simultanés de la conformité sur les taux d'infestation de *V. destructor*, la mortalité des colonies et la taille du couvain

Le modèle de trajectoire de l'équation structurelle a été défini en fonction des relations entre les variables mesurées, comme le montre la [figure 5](#) (voir également l'annexe 1). Le taux d'infestation en octobre n'était pas lié à celui du début du mois d'août avant l'application des traitements, mais il était affecté par la catégorie d'observance. La quasi-conformité et la non-conformité ont été associées à un effet positif significatif sur les taux d'infestation par *V. destructor* en octobre (0,31 unité logarithmique pour les cas presque conformes et 0,6 unité logarithme pour les cas non conformes). Le taux d'infestation de *V. destructor* par logarithme transformé en octobre a eu un impact positif significatif sur la mortalité des colonies. La probabilité de mort de la colonie augmentait de 1,88 avec chaque unité logarithmique d'augmentation du taux d'infestation par *V. destructor* en octobre. De plus, le taux d'infestation mesuré en octobre a eu un effet négatif significatif sur le nombre de cellules de couvain (-0,73 log unité). Au cours de ce mois, la taille des couvées n'a pas eu d'effet significatif sur la mortalité des colonies (annexe 1). L'année n'a pas eu d'effet significatif sur les taux d'infestation par les acariens en octobre, mais un effet significatif sur la mortalité des colonies et la taille du couvain.



1. [Télécharger](#) : Télécharger l'image haute résolution (298KB)
2. [Télécharger](#) : Télécharger l'image en taille réelle

La fig. 5. Effets directs et indirects des catégories de conformité sur les taux d'infestation par les acariens *Varroa destructor*, la mortalité des colonies et la quantité de couvain générée par le modèle d'équation structurelle. Le coefficient de régression normalisé pour chaque chemin est indiqué à côté de la

flèche correspondante. Le modèle a été ajusté pour tenir compte du regroupement des colonies à l'intérieur des ruchers (effet aléatoire) et de l'année (effet fixe).

4. Discussion

Nous avons montré que l'observance du régime de traitement recommandé par *V. destructor* réduisait les taux d'infestation dans les colonies, ce qui augmentait considérablement la survie des colonies et la productivité des ruchers. Les effets secondaires négatifs potentiels de l'application du traitement sur le couvain n'ont pas diminué de manière significative la survie de la colonie d'hiver, mais la taille du couvain a été considérablement affectée négativement par l'absence de traitement conforme. Le fait de communiquer aux apiculteurs participants l'impact négatif de la non-conformité sur la survie et la productivité des colonies a permis d'accroître la conformité d'une fraction des apiculteurs non conformes au cours de l'année suivante. Cependant, une diminution de la conformité a été observée chez la moitié des apiculteurs précédemment conformes.

4.1. Effets de la conformité sur les taux d'infestation de *V. destructor*, la taille du couvain et la mortalité des colonies

Nous avons montré un lien étroit entre l'observance du concept de contrôle recommandé de *V. destructor* et la mortalité des colonies. Les résultats du modèle d'équation généralisée ont montré que si les schémas thérapeutiques ne s'écartaient que légèrement du concept recommandé (c.-à-d. qu'ils étaient presque conformes), une colonie avait 10 fois plus de risques de mourir qu'un traitement conforme (20 % contre 2 % de pertes de colonies) et 25 fois plus de risques si l'apiculteur n'était pas conforme (c'est-à-dire qu'il avait appliqué moins de deux traitements) (55 % contre 2 % de pertes de colonies, odds ratio 11 et 50, respectivement, [tableau 3](#)). La diminution de l'infestation par les acariens après l'application du traitement (c.-à-d. entre août et octobre) était plus élevée dans le groupe conforme, ce qui confirme l'efficacité supérieure du concept de contrôle recommandé. Cette infestation plus faible a probablement contribué à la diminution des pertes de colonies dans ce groupe. Bien que la modélisation par équations généralisées n'ait montré qu'une diminution marginalement significative de l'infestation en octobre par rapport aux groupes conformes et non conformes ([tableau 3](#)), la modélisation par équations structurelles a montré un effet d'interaction significatif ([figure 5](#)). Cet effet indique qu'une augmentation des taux d'infestation par *V. destructor* en octobre en raison d'écarts par rapport aux recommandations est directement liée à une augmentation de la mortalité des colonies ([figure 5](#)). Le coefficient négatif entre les taux d'infestation par les acariens en août et en octobre ([figure 5](#), [annexe 1](#)) dans la modélisation par équation structurelle et le taux d'infestation plus élevé dans les régimes de traitement non conformes par rapport aux régimes conformes (7 contre 2,5 chez les acariens pour 100 travailleurs adultes, [tableau 2](#)) indiquent que les applications d'acide formique découplent le nombre d'acariens en août de celui d'octobre. Le nombre d'acariens mesuré en octobre a été principalement déterminé par le niveau de conformité ([Fig. 5](#)). En cas de non-conformité, un taux d'infestation de 10 acariens pour 100 ouvrières adultes en octobre a entraîné une probabilité de 50 % de mortalité de la colonie pendant l'hiver ([figure 3](#)). Ce résultat est conforme à la littérature antérieure, selon laquelle les taux de mortalité des colonies infestées dans l'intervalle de 10 à 20 acariens pour 100 ouvrières en automne pourraient atteindre 20 % à 50 % en moyenne ([Genersch et al., 2010](#) ; [Liebig, 2001](#) ; [Guzmán-Novoa et al., 2010](#)).

L'analyse de l'effet de l'infestation par *V. destructor* sur la quantité de couvain et la mortalité des colonies avec les deux modèles a fortement soutenu l'hypothèse selon laquelle des ouvrières d'hiver en bonne santé, qui n'ont pas été parasitées au cours de leur développement pré-imaginal, sont cruciales pour assurer la survie de la colonie pendant l'hiver. C'était particulièrement le cas avec le modèle d'équations structurelles, qui permet de déduire les relations causal-effet possibles en raison de la prise en compte des relations complexes entre les variables. Ainsi, nos résultats représentent la preuve la plus tangible, à ce jour, que les ouvrières mellifères d'hiver en bonne santé sont essentielles pour assurer la survie des colonies pendant l'hiver. Cependant, l'effet peut être plus faible que notre estimation, car nous ne

pouvons pas exclure la possibilité que la taille du couvain elle-même ait également eu un impact négatif direct sur les taux d'infestation.

L'effet positif d'une observance élevée sur la survie des colonies s'est produit malgré les effets secondaires négatifs potentiels de l'acide formique sur la survie du couvain (Gregorc et al., 2004; Strachecka et coll., 2012). De plus, un nombre réduit d'applications de traitement par des apiculteurs non conformes n'a pas entraîné une augmentation de la quantité de couvain dans leurs colonies par rapport aux apiculteurs conformes (tableau 2, tableau 3). Au lieu de cela, ils ont connu une diminution significative de la quantité de couvain en octobre. Cette diminution est probablement attribuable au nombre plus élevé d'acariens qui infestent les colonies (tableau 3, figure 5). Ainsi, l'impact négatif de l'infestation par *V. destructor* est plus fort que celui de l'acide formique sur le couvain, ce qui renforce l'hypothèse selon laquelle les effets secondaires négatifs des applications répétées d'acide formique (Tihelka, 2018) peuvent dépasser leurs effets positifs. De plus, la quantité de couvain en octobre n'a montré aucune association notable avec la mortalité (figure 5). Il n'y a donc aucun avantage à s'abstenir d'appliquer deux traitements à l'acide formique comme recommandé.

L'importance de facteurs autres que l'infestation par *V. destructor* dans la mortalité des colonies a été mise en évidence par les effets significatifs de l'année facteur sur la taille du couvain et la mortalité des colonies. L'année du facteur inclut l'effet des variables non mesurées dans notre étude. Par exemple, les variations interannuelles des conditions météorologiques peuvent avoir une incidence sur l'acquisition de ressources et l'élevage des couvées (Beyer et al., 2018; Bagheri et Mirzaie, 2019; Nürnberger et al., 2019), ce qui peut à son tour affecter la dynamique des populations de *V. destructor*, l'efficacité du traitement et donc la mortalité des colonies (Nürnberger et al., 2019; Calovi et coll., 2021). Cependant, aucun effet de l'année sur les taux d'infestation n'a été observé au cours de notre étude (Fig. 5), ce qui indique l'implication d'autres variables. Bien que nos résultats aient clairement montré l'importance de réduire les taux d'infestation par *V. destructor* avec des méthodes de contrôle correctement mises en œuvre pour réduire les pertes de colonies, nous n'avons pas pris en compte le rôle d'autres causes possibles de mortalité. D'autres variables seront prises en compte dans une étude de suivi en étendant nos mesures et observations aux années suivantes et en étudiant les facteurs d'utilisation des terres (par exemple, l'utilisation de pesticides, la gestion agricole et la disponibilité des ressources) à proximité des ruchers, ainsi que l'effet d'autres agents pathogènes tels que les virus, les bactéries et les champignons, dans le but d'acquérir une vision plus holistique des diverses causes de pertes de colonies.

4.2. Promouvoir la conformité et les limites du concept de contrôle

Le manque d'observance observé chez une partie des apiculteurs participants peut être dû au fait qu'ils sont moins expérimentés et qu'ils n'ont pas une connaissance suffisante du schéma thérapeutique recommandé. Plusieurs études ont démontré que la formation et les pratiques d'un apiculteur sont les principaux facteurs favorisant la santé des colonies d'abeilles mellifères (Jacques et al., 2017; Thoms et coll., 2019). Pour améliorer ces situations, les autorités ou les associations de nombreux pays s'efforcent de fournir des informations et des formations aux apiculteurs (par exemple, la Suisse, l'Allemagne, l'Autriche, la Suède, le Danemark et les Pays-Bas; van der Steen et Vejsnæs, 2021). Nos résultats, cependant, montrent qu'en dépit de l'information et de la formation facilement accessibles, la conformité peut être sujette à l'auto-interprétation. Dans le cadre de notre expérience, l'observance a été renforcée grâce à une forte implication personnelle des apiculteurs et à un accès facile à des données concrètes montrant les conséquences de leurs actes, même lorsqu'ils se produisent plusieurs mois après l'acte lui-même. L'implication personnelle dans le cadre d'un projet de recherche, avec l'accès à des données acquises de manière systématique, peut être considérée comme une formation informelle (Adams, 2018), et constitue un moyen efficace d'améliorer la santé des colonies. Cependant, une telle approche peut ne pas être applicable à l'ensemble de la communauté apicole. L'amélioration de l'observance peut être favorisée en incluant des résultats comme les nôtres comme exemple de la conséquence de la déviation des recommandations (c.-à-d. un risque accru de mortalité) dans la formation formelle afin de rendre cette dernière moins théorique et plus pertinente à l'expérience personnelle (Adams, 2018).

Une incitation supplémentaire à promouvoir le respect des recommandations peut être de nature économique, à travers la principale motivation de la plupart des apiculteurs (c'est-à-dire la récolte du miel) (López-Uribe et Simone-Finstrom, 2019). Les apiculteurs dociles ont bénéficié de récoltes trois fois plus élevées que les apiculteurs non conformes, tandis que les récoltes des apiculteurs presque conformes n'ont été que légèrement inférieures à celles des apiculteurs conformes (tableau 2). Le fait de démontrer l'effet économique positif de la mise en œuvre du régime de lutte tel que recommandé est susceptible d'inciter les apiculteurs à améliorer leurs stratégies de lutte contre *V. destructor*, malgré la complexité du régime recommandé.

Bien que le niveau général de conformité ait considérablement augmenté de 2018 à 2019 (figure 2; Annexe 2), la proportion d'apiculteurs entièrement conformes est demeurée stable au cours des deux années. Cela s'explique par le fait que l'augmentation de la conformité des apiculteurs auparavant moins conformes a été compensée par une diminution du niveau de conformité des apiculteurs initialement conformes (figure 2, annexe 2). Il est peu probable que cette diminution soit attribuable à un manque de connaissances ou à une mauvaise acceptation du concept, puisque ces participants étaient conformes dès la première année. Cette diminution peut être due à des contraintes dans la mise en œuvre du schéma thérapeutique complexe. Ces contraintes devraient être identifiées pour favoriser la santé des colonies, peut-être à l'aide des sciences sociales, mais on peut supposer qu'elles proviennent de la nécessité d'appliquer des traitements à un moment donné, déterminé par les températures ambiantes (Rosenkranz et al., 2010 ; Steube et al., 2021). Ce calendrier peut entrer en conflit avec d'autres engagements, en particulier pour les apiculteurs amateurs dont l'activité principale peut avoir la priorité sur le soin de leurs colonies d'abeilles mellifères. La fréquence de ces conflits peut être exacerbée par les changements climatiques avec l'augmentation des périodes de températures extrêmes ou l'écart croissant par rapport aux conditions météorologiques habituelles (Steube et al., 2021), qui ne permettent pas l'application d'acide formique au moment opportun, lorsqu'il peut réduire efficacement les dommages causés aux abeilles mellifères d'hiver. Ce phénomène est suggéré par les rapports anecdotiques recueillis au cours de cette étude. Nous avons parfois observé une réticence à appliquer le deuxième traitement à l'acide formique, qui a été décrit comme trop stressant pour les colonies. Les vagues de chaleur estivales récurrentes ont été un facteur de complication, ce qui a rendu la deuxième application d'acide formique plus difficile à réaliser lorsque les bonnes conditions prévalaient (l'application au-dessus de 29 °C a entraîné des effets secondaires négatifs excessifs (Rosenkranz et al., 2010 ; Steube et al., 2021). Pour surmonter ce problème, certains apiculteurs participants ont mis en œuvre des méthodes biotechniques (mise en cage des reines, interruption du couvain et hyperthermie (Büchler et al., 2020 ; Apiservice, 2021) pour éviter la deuxième application d'acide formique, tandis que d'autres ont agi directement sur le mode de diffusion de la deuxième application d'acide formique en modifiant la quantité d'évaporation, affectant éventuellement l'efficacité du traitement. Cela révèle clairement l'appropriation personnelle du concept de traitement contre *V. destructor*. Ce phénomène a également été observé en Autriche avec l'application de régimes de traitement inattendus contre *V. destructor* par les apiculteurs, ce qui a des effets néfastes sur la santé des colonies (Oberreiter et Brodschneider, 2020). D'autres recherches sont nécessaires pour mieux comprendre les motivations et les contraintes auxquelles sont confrontés les apiculteurs qui conduisent à un manque de conformité et à une augmentation des pertes de colonies.

Étant donné que, quelle que soit l'intention de se conformer, toutes les contraintes ne peuvent pas être surmontées, l'identification des éléments du concept qui sont les plus cruciaux pour assurer la santé des colonies peut conduire à une « prochaine meilleure stratégie » comme compromis entre une mise en œuvre réaliste sur le terrain et la promotion de la santé des colonies. Ici, nous avons montré que les écarts par rapport au temps d'application du traitement recommandé (presque conforme) entraînaient moins de pertes de colonies que le renoncement à l'une des applications d'acide formique (non conforme) et permettaient des récoltes de miel presque aussi élevées que celles des apiculteurs conformes. La formulation du concept pourrait donc être adaptée en donnant la priorité à l'exécution de deux applications d'acide formique, même si le moment approprié ne peut pas être respecté avec précision. Il s'agit d'une solution à court terme pour atténuer les pertes de colonies dues à *V. destructor*. Cependant, le suivi de la mise en œuvre précise des méthodes de lutte contre *V. destructor* sur le terrain peut contribuer à développer de nouveaux concepts suffisamment efficaces et mieux adaptés à un contexte en constante

évolution, qu'il s'agisse des changements climatiques ou de l'évolution des tendances sociales et des contraintes personnelles.

Nos résultats soulignent également la nécessité de tenir compte de la façon dont les traitements contre *V. destructor* sont mis en œuvre (c'est-à-dire la conformité aux instructions du fabricant ou le respect des recommandations) lors de l'enquête auprès des apiculteurs afin de déterminer le rôle de la gestion dans la santé des colonies. Tous les apiculteurs de notre étude auraient déclaré un traitement contre l'acarien, mais les données ont montré de grandes variations dans la mise en œuvre du traitement et dans son efficacité.

5. En conclusion

Bien que *V. destructor* ne soit pas la seule cause de la perte de colonies (Steinmann et al., 2015; Smith et coll., 2013; Van Esch et al., 2020), nos résultats soutiennent l'idée que la mise en œuvre correcte de traitements varroacidiques améliore considérablement la survie des colonies pendant l'hiver. Nous avons également montré qu'une meilleure communication des conséquences négatives des écarts par rapport aux schémas thérapeutiques recommandés peut conduire à une meilleure observance et appelle à de nouveaux paradigmes dans la formation des apiculteurs. L'intégration des principes des sciences sociales dans la formation peut favoriser l'acceptation et le respect des recommandations. Les sciences sociales peuvent également contribuer à identifier les contraintes inhérentes à la complexité des méthodes de contrôle alternatives, qui semble limiter la conformité. Dans le cas où de telles contraintes sont inévitables, nos résultats suggèrent que l'exécution des applications de traitement à des dates sous-optimales entraîne moins de pertes de colonies d'abeilles mellifères que l'abandon complet d'un traitement. Alternativement, les contraintes à la mise en œuvre du traitement peuvent être réduites grâce à la mise au point de traitements plus simples mais efficaces contre *V. destructor*.

Financement

Cette recherche a été réalisée en collaboration avec la Fondation Rurale Interjurassienne (FRI), la Direction Générale de l'Agriculture, de la Viticulture et des affaires vétérinaires (DGAV), ProConseil, et financée par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) et par les cantons de Vaud, du Jura et de Berne.

Déclaration de données

Les ensembles de données générés et analysés au cours de la présente étude ne sont pas accessibles au public en raison de leur utilisation dans la recherche primaire en cours, mais des sous-sections peuvent être mises à disposition auprès de l'auteur correspondant sur demande raisonnable.

Déclaration d'intérêts concurrents

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Remerciements

Nous tenons à remercier tous les apiculteurs participants pour nous avoir fourni les données et les assistants de terrain (Gérald Buchwalder, Véronique Froidevaux, François Brunet et Cédric Reymond) qui ont aidé à collecter les données.

Annexe A. Données supplémentaires

Télécharger : [Télécharger le document Word \(207KB\)](#)

Matériel supplémentaire

Références

1. [Adams, 2018](#)

E.C. Adams

Comment devenir apiculteur : apprentissage et compétences dans la gestion des abeilles mellifères

Cult. Geogr., 25 (2018), p. 31-47, [10.1177/1474474016682345](#)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

2. [Apiservice , abeilles ch · le portail de l'apiculture en S, 2021](#)

Apiservice , abeilles ch · le portail de l'apiculture en S

Lutte contre le varroa [WWW Document]. Abeillesch · Portail Apic. En Suisse

(2021)

<https://www.abeilles.ch/themes/sante-des-abeilles/lutte-contre-le-varroa.html>

(consulté le 21.05.21)

[Google Scholar](#)

3. [Bagheri et Mirzaie, 2019](#)

S. Bagheri, M. Mirzaie

Un modèle mathématique de la dynamique des colonies d'abeilles mellifères pour prédire l'effet du pollen sur l'échec des colonies

PLoS One, 14 (2019), article e0225632, [10.1371/journal.pone.0225632](#)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

4. [Berthoud et al., 2010](#)

H. Berthoud, A. Imdorf, M. Haueter, S. Radloff, P. Neumann

Les infections virales et les pertes hivernales des colonies d'abeilles *mellifères* (*Apis mellifera*)

J. Apic. Res., 49 (2010), p. 60-65, [10.3896/IBRA.1.49.1.08](#)

[View PDF](#)

Your institution provides access to this article.

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

5. [Beyer et coll., 2018](#)

M. Beyer, J. Junk, M. Eickermann, A. Clermont, F. Kraus, C. Georges, A. Reichart, L. Hoffmann

Pertes de colonies d'abeilles mellifères en hiver, stratégies de lutte contre *le Varroa destructor* et rôle des conditions météorologiques : résultats d'une enquête menée auprès d'apiculteurs

Res. Vet. Sci., 118 (2018), p. 52-60, [10.1016/j.rvsc.2018.01.012](#)

[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

6. [Bogdanov et al., 2002](#)

S. Bogdanov, J.-D. Charrière, A. Imdorf, V. Kilchenmann, P. Fluri

Détermination des résidus dans le miel après traitements à l'acide formique et à l'acide oxalique dans des conditions de terrain

Apidologie, 33 (2002), p. 399-409, [10.1051/apido:2002029](#)

[View article](#)

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

7. [Brodschneider et coll., 2018](#)

R. Brodschneider, A. Gray, N. Adjlane, A. Ballis, V. Brusbardis, J.-D. Charrière, R. Chlebo, M.F. Coffey, B. Dahle, D.C. Graaf, M.M. de Dražić, G. Evans, M. Fedoriak, I. Forsythe, A. Gregorc, U. Grzęda, A. Hetzroni, L. Kauko, P. Kristiansen, M. Martikkala, R. Martín-Hernández, C.A. Medina-Flores, F. Mutinelli, A. Raudmets, V.A. Ryzhikov, N. Simon-Delso, J. Stevanovic, A. Uzunov, F. Vejsnæs, S. Wöhl, M. Zammit-Mangion, J. Danihlík

Taux de perte multi-pays des colonies d'abeilles mellifères au cours de l'hiver 2016/2017 à partir de l'enquête COLOSS

J. Apic. Res., 57 (2018), p. 452-457, [10.1080/00218839.2018.1460911](#)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

8. [Brodschneider et coll., 2019](#)

R. Brodschneider, J. Brus, J. Danihlík

Comparaison de l'apiculture et de la mortalité hivernale des colonies d'abeilles mellifères (*Apis mellifera*) en Autriche et en Tchéquie

Agric. Ecosyst. Environ., 274 (2019), p. 24-32, [10.1016/j.agee.2019.01.002](#)

[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

9. [Büchler et al., 2020](#)

R. Büchler, A. Uzunov, M. Kovačić, J. Prešern, M. Pietropaoli, F. Hatjina, B. Pavlov, L. Charistos, G. Formato, E. Galarza, D. Gerula, A. Gregorc, V. Malagnini, M. Meixner, N. Nedić, Z. Puškadija, J. Rivera-Gomis, M.R. Jenko, M.I.S. Škerl, J. Vallon, D. Vojt, J. Wilde, A. Nanetti

L'interruption du couvain d'été comme stratégie de gestion intégrée pour une lutte efficace contre le varroa en Europe

J. Apic. Res., 59 (2020), p. 764-773, [10.1080/00218839.2020.1793278](https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1793278)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

10. [Calovi et al., 2021](#)

M. Calovi, C.M. Grozinger, D.A. Miller, S.C. Goslee (en anglais seulement)

Les conditions météorologiques estivales influencent la survie hivernale des abeilles mellifères (*Apis mellifera*) dans le nord-est des États-Unis

Rép. Sci., 11 (2021), p. 1553, [10.1038/s41598-021-81051-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-81051-8)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

11. [Charrière et al., 1997](#)

J.-D. Charrière, A. Imdorf, P.F.M. Fluri(EidgFuer(FAM)

[Avec des distributeurs d'acide formique contre *Varroa jacobsoni*]

Agrar. Suisse. (1997)

[Google Scholar](#)

12. [Charrière et Neumann, 2010](#)

J.-D. Charrière, P. Neumann

Enquêtes pour estimer les pertes hivernales en Suisse

J. Apic. Res., 49 (2010), p. 132-133

[View article](#)

[Réf. croisée](#)[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

13. [Conte et al., 2007](#)

Y.L. Conte, G. de Vaublanc, D. Crauser, F. Jeanne, J.-C. Rousselle, J.-M. Bécard

Colonies d'abeilles mellifères ayant survécu à *Varroa destructor*

Apidologie, 38 (2007), p. 566-572, [10.1051/apido:2007040](https://doi.org/10.1051/apido:2007040)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

14. [Conte et al., 2010](#)

Y.L. Conte, M. Ellis, W. Ritter

Varroa et santé des abeilles mellifères : le varroa peut-il expliquer une partie des pertes de colonies ?

Apidologie, 41 (2010), p. 353-363, [10.1051/apido/2010017](https://doi.org/10.1051/apido/2010017)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Google Scholar](#)

15. [Dainat et al., 2012](#)

B. Dainat, J.D. Evans, Y.P. Chen, L. Gauthier, P. Neumann

Mortes ou vivantes : le virus des ailes déformées et *le Varroa destructor* réduisent la durée de vie des abeilles mellifères d'hiver

Appl. Environ. Microbiol., 78 (2012), p. 981-987, [10.1128/AEM.06537-11](https://doi.org/10.1128/AEM.06537-11)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

16. [Dietemann et coll., 2012](#)

V. Dietemann, J. Pflugfelder, D. Anderson, J.-D. Charrière, N. Tchejanovski, B. Dainat, J. de Miranda, K. Delaplane, F.-X. Dillier, S. Fuch, P. Gallmann, L. Gauthier, A. Imdorf, N. Koeniger, J. Kralj, W. Meikle, J. Pettis, P. Rosenkranz, D. Sammataro, D. Smith, O. Yañez, P. Neumann

Varroa destructor : pistes de recherche pour une lutte durable

J. Apic. Res., 51 (2012), p. 125-132, [10.3896/IBRA.1.51.1.15](https://doi.org/10.3896/IBRA.1.51.1.15)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

17. [Dietemann et al., 2013](#)

V. Dietemann, F. Nazzi, S.J. Martin, D.L. Anderson, B. Locke, K.S. Delaplane, Q. Wauquiez, C. Tannahill, E. Frey, B. Ziegelmann, P. Rosenkranz, J.D. Ellis

Méthodes standard pour la recherche sur le varroa

J. Apic. Res., 52 (2013), p. 1-54, [10.3896/IBRA.1.52.1.09](https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.09)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Google Scholar](#)

18. [Elzen et coll., 2000](#)

P.J. Elzen, J.R. Baxter, M. Spivak, W.T. Wilson

Lutte contre *le Varroa jacobsoni* Oud. Résistant au fluvalinate et à l'amitraz à l'aide de Coumaphos

Apidologie, 31 (2000), p. 437-441, [10.1051/apido:2000134](https://doi.org/10.1051/apido:2000134)

[View article](#)

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

19. [Elzen et coll., 2004](#)

P.J. Elzen, D. Westervelt, R. Lucas

Traitement à l'acide formique pour la lutte contre *Varroa destructor* (*Mesostigmata: Varroidae*) et l'innocuité pour *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) dans les conditions du sud des États-Unis

J. Econ. Entomol., 97 (2004), p. 1509-1512, [10.1603/0022-0493-97.5.1509](https://doi.org/10.1603/0022-0493-97.5.1509)

[View article](#)

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

20. [Fries et Rosenkranz, 1996](#)

I. Frites, P. Rosenkranz

Nombre de cycles de reproduction de *Varroa jacobsoni* dans les colonies d'abeilles mellifères (*Apis mellifera*)

Exp. Appl. Acarol., 20 (1996), p. 103-112, [10.1007/BF00051156](https://doi.org/10.1007/BF00051156)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

21. [Fries et coll., 1991](#)

I. Frites, A. Aarhus, H. Hansen, S. Korpela

Comparaison des méthodes de diagnostic pour la détection de faibles niveaux d'infestation de *Varroa jacobsoni* dans les colonies d'abeilles mellifères (*Apis mellifera*)

Exp. Appl. Acarol., 10 (1991), p. 279-287

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

22. [Genersch et al., 2010](#)

E. Genersch, W. von der

Ohe, H. Kaatz, A. Schroeder, C. Otten, R. Büchler, S. Berg, W. Ritter, W. Mühlen, S. Gisder, M. Meixner, G. Liebig, P. Rosenkranz

Le projet allemand de surveillance des abeilles : une étude à long terme pour comprendre les pertes hivernales périodiques élevées des colonies d'abeilles mellifères

Apidologie, 41 (2010), p. 332-352, [10.1051/apido/2010014](https://doi.org/10.1051/apido/2010014)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

23. [Giacobino et al., 2015](#)

Un. Giacobino, A. Molineri (N.-B.) Cagnolo, J. Merke, E. Orellano, E. Bertozzi, G. Masciangelo, H. Pietronave, A. Pacini, C. Salto, M. Signorini

Facteurs de risque associés à l'échec des traitements contre le varroa dans les colonies d'abeilles mellifères sans période sans couvain

Apidologie, 46 (2015), p. 573-582, [10.1007/s13592-015-0347-0](https://doi.org/10.1007/s13592-015-0347-0)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

24. [Giacobino et coll., 2016](#)

Un. Giacobino, A. Molineri, N. Bulacio Cagnolo, J. Merke, E. Orellano, E. Bertozzi, G. Masciangelo, H. Pietronave, A. Pacini, C. Salto, M. Signorini

Principales pratiques de gestion pour prévenir les niveaux élevés d'infestation de *Varroa destructor* dans les colonies d'abeilles mellifères au début de la saison de production du miel

Prev. Vet. Med., 131 (2016), p. 95-102, [10.1016/j.prevetmed.2016.07.013](https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.07.013)

[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

25. [Giacobino et al., 2017](#)

Un. Giacobino, A. Pacini, A. Molineri, N. Bulacio Cagnolo, J. Merke, E. Orellano, E. Bertozzi, G. Masciangelo, H. Pietronave, M. Signorini

Environnement ou gestion apicole : qu'est-ce qui explique le mieux la prévalence des colonies d'abeilles mellifères avec des niveaux élevés de *Varroa destructor* ?

Res. Vet. Sci., 112 (2017), p. 1-6, [10.1016/j.rvsc.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.01.001)

[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

26. [Grace et coll., 2015](#)

J.B. Grace, S.M. Scheiner Jr., R.S. D

Modélisation par équations structurelles : construction et évaluation de modèles causaux :
Chapitre

8 (2015), p. 168-199

[View article](#)

[Réf. croisée](#)[Google Scholar](#)

27. [Gray et coll., 2020](#)

Un. Gray, N. Adjlane, A. Arabe, A. Ballis, V. Brusbardis, J.-D. Charrière, R. Chlebo, M.F. Coffey, B. Cornelissen, C.A. da Costa, B. Dahle, J. Danihlík, M.M. Dražić, G. Evans, M. Fedoriak, I. Forsythe, A. Gajda, D.C. de Graaf, A. Gregorc, I. Ilieva, J. Johannesen, L. Kauko, P. Kristiansen, M. Martikkala, R. Martín-Hernández, C.A. Medina-Flores, F. Mutinelli, S. Patalano, A. Raudmets, G.S. Martin, V. Soroker, J. Stevanovic, A. Uzunov, F. Vejsnaes, A. Williams, M. Zammit-Mangion, R. Brodschneider

Taux de perte hivernale des colonies d'abeilles mellifères pour 35 pays participant à l'enquête COLOSS pour l'hiver 2018-2019, et effets d'une nouvelle reine sur le risque de perte hivernale des colonies

J. Apic. Res., 59 (2020), p. 744-751, [10.1080/00218839.2020.1797272](https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1797272)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

28. [Gregorc et coll., 2004](#)

Un. Gregorc, A. Pogacnik, I. Bowen

Mort cellulaire chez les larves d'abeilles domestiques (*Apis mellifera*) traitées à l'acide oxalique ou formique

Apidologie, 35 (2004), p. 453-460, [10.1051/apido:2004037](https://doi.org/10.1051/apido:2004037)

[View article](#)

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

29. [Guichard et al., 2020](#)

M. Guichard, V. Dietemann, M. Neuditschko, B. Dainat

Trois décennies de sélection d'abeilles mellifères qui survivent aux infestations par l'acarien parasite *Varroa destructor* : résultats

Limites et stratégie. (2020), [10.20944/preprints202003.0044.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202003.0044.v1)

[View article](#)

[Google Scholar](#)

30. [Guzmán-Novoa et al., 2010](#)

E. Guzmán-Novoa, L. Eccles, Y. Calvete, J. MCGowan, P.G. Kelly, A. Correa-Benítez

Varroa destructor est le principal responsable de la mort et de la réduction des populations d'abeilles mellifères (*Apis mellifera*) hivernées en Ontario, au Canada

Apidologie, 41 (2010), p. 443-450, [10.1051/apido/2009076](https://doi.org/10.1051/apido/2009076)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

31. [Haber et coll., 2019](#)

L'I.A. Haber, N.A. Steinhauer, D. vanEngelsdorp

Utilisation de méthodes chimiques et non chimiques pour lutter contre le *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) et les pertes de colonies hivernales associées dans les exploitations apicoles des États-Unis

J. Econ. Entomol., 112 (2019), p. 1509-1525, [10.1093/jee/toz088](https://doi.org/10.1093/jee/toz088)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

32. [Hernandez et coll., 2020](#)

J. Hernandez, A. Maisonnasse, M. Cousin, C. Beri, C. Le Quintrec, A. Bouetard, D. Castex, D. Decante, E. Servel, G. Buchwalder, F. Brunet, E. Feschet-Destrella, K. de Bellescize, G. Kairo, L. Frontero, M. Pédehontaa-Hiaa, R. Buisson, T. Pouderoux, A. Aebi, A. Kretzschmar

ColEval: EVALUation de la structure des abeilles domestiques pour les enquêtes sur le terrain

Insectes, 11 (2020), p. 41, [10.3390/insectes11010041](https://doi.org/10.3390/insectes11010041)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

33. [Imdorf et coll., 1996](#)

Un. Imdorf, J.-D. Charrière, C. Maquelin, V. Kilchenmann, B. Bachofen

Lutte alternative contre le varroa

Am. Bee J., 136 (1996), p. 189-193

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

34. [Imdorf et coll., 2003](#)

Un. Imdorf, J.-D. Charrière, V. Kilchenmann, S. Bogdanov, P. Fluri

Stratégie alternative en Europe centrale pour la lutte contre *Varroa destructor* dans les colonies d'abeilles mellifères

Apiacta, 38 (2003)

[Google Scholar](#)

35. [Jacques et al., 2017](#)

Un. Jacques, M. Laurent, E. Consortium, M. Ribí

Une étude épidémiologique paneuropéenne révèle que la survie des colonies d'abeilles mellifères dépend de l'éducation des apiculteurs et de la lutte contre les maladies

PLoS One, 17 (2017)

[Google Scholar](#)

36. [Korpela et coll., 1992](#)

S. Korpela, A. Aarhus, I. Frites, H. Hansen

Varroa jacobsoni Oud. dans les climats froids : croissance de la population, mortalité hivernale et influence sur la survie des colonies d'abeilles mellifères

J. Apic. Res., 31 (1992), p. 157-164, [10.1080/00218839.1992.11101278](https://doi.org/10.1080/00218839.1992.11101278)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

37. [Lee et coll., 2010a](#)

K.V. Lee, R.D. Lune, E.C. Burkness, W.D. Hutchison, M. Spivak

Plans pratiques d'échantillonnage de *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) dans les colonies et les ruchers d'*Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae)

J. Econ. Entomol., 103 (2010), p. 1039-1050, [10.1603/EC10037](https://doi.org/10.1603/EC10037)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

38. [Lee et coll., 2010b](#)

K. Lee, G. Reuter, M. Spivak

Plan d'échantillonnage standardisé pour détecter la densité du varroa dans les colonies et les ruchers

Am. Bee J., 150 (2010), p. 1151-1155

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

39. [Lefcheck, 2016](#)

W... Lefcheck (en anglais seulement)

piecewiseMEB : modélisation d'équations structurelles par morceaux en r pour l'écologie, l'évolution et la systématique

Méthodes Ecol. Evol., 7 (2016), p. 573-579, [10.1111/2041-210X.12512](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12512)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

40. [Liebig, 2001](#)

G. Liebig

Combien d'acariens varroa peuvent être tolérés par une colonie d'abeilles mellifères

Apidologie, 32 (2001), p. 482-484

[Google Scholar](#)

41. [López-Uribe et Simone-Finstrom, 2019](#)

M.M. López-Uribe, M. Simone-Finström

Numéro spécial : La recherche sur les abeilles mellifères aux États-Unis : état actuel et solutions aux problèmes apicoles

Insectes, 10 (2019), p. 22, [10.3390/insectes10010022](https://doi.org/10.3390/insectes10010022)

[View article](#)
[Google Scholar](#)

42. [Maggi et coll., 2011](#)

M.D. Maggi, S.R. Ruffinengo, Y. Mendoza, P. Ojeda, G. Ramallo, I. Floris, M.J. Eguaras

Sensibilité du *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) aux acaricides synthétiques en Uruguay : potentiel des varroas à développer une résistance aux acaricides

Parasitol. Res., 108 (2011), p. 815-821, [10.1007/s00436-010-2122-5](#)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

43. [Milani, 1999](#)

N. Milani

La résistance de *Varroa jacobsoni* Oud. aux acaricides

Apidologie, 30 (1999), p. 229-234, [10.1051/apido:19990211](#)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

44. [Nürnbergger et al., 2019](#)

F. Nürnbergger, S. Härtel, I. Steffan-Dewenter

Calendrier saisonnier dans les colonies d'abeilles mellifères : les changements phénologiques affectent les réserves de miel et les niveaux d'infestation par le varroa

Oecologia, 189 (2019), p. 1121-1131, [10.1007/s00442-019-04377-1](#)

[View article](#)

[Google Scholar](#)

45. [Oberreiter et Brodschneider, 2020](#)

H. Oberreiter, R. Brodschneider

Enquête COLOSS autrichienne sur les pertes hivernales des colonies d'abeilles mellifères 2018/19 et analyse des pratiques de gestion des ruches

Diversité, 12 (2020), p. 99, [10.3390/d12030099](#)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

46. [Overall et Tonidandel, 2004](#)

J.E. Dans l'ensemble, S. Tonidandel

Robustesse des tests de signification de l'équation d'estimation généralisée (GEE) par rapport à une mauvaise spécification du modèle de structure d'erreur

Biom. J., 46 (2004), p. 203-213, [10.1002/bimj.200210017](#)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

47. [Pugesek et coll., 2003](#)

B.H. Pugesek, A. Tomer, A. von Eye

Modélisation par équations structurelles : applications en biologie écologique et évolutive

Presses de l'Université de Cambridge (2003))

[Google Scholar](#)

48. [Équipe R Core, 2019](#)

Équipe R Core

R : Un langage et un environnement pour le calcul statistique. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche., s.d.

(2019)

[Google Scholar](#)

49. [Ritter, 1981](#)

W. Ritter

Varroa de l'abeille *Apis Mellifera*

Bee World, 62 (1981), p. 141-153, [10.1080/0005772X.1981.11097838](https://doi.org/10.1080/0005772X.1981.11097838)

[View article](#)

[Google Scholar](#)

50. [Rosenkranz et al., 2010](#)

P. Rosenkranz, P. Aumeier, B. Ziegelmann

Biologie et lutte contre *Varroa destructor*

J. Invertebr. Pathol., 103 (2010), pp. S96 à S119, [10.1016/j.jip.2009.07.016](https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016)

[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

51. [Smith et coll., 2013](#)

K.M. Smith, E.H. Loh, M.K. Rostal, C.M. Zambrana-Torrel, L. Mendiola, P. Daszak

Agents pathogènes, ravageurs et facteurs économiques : facteurs du déclin et de la perte des colonies d'abeilles mellifères

EcoHealth, 10 (2013), p. 434-445, [10.1007/s10393-013-0870-2](https://doi.org/10.1007/s10393-013-0870-2)

[View article](#)

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

52. [StataCorp, 2017](#)

L.L.C. StataCorp (en anglais seulement)

Logiciel statistique Stata : version 15 College Station, TX, 2017

(2017)

www.stata.com/features/documentation consulté le 1er mars 2018

[Google Scholar](#)

53. [Steinhauer et al., 2018](#)

N. Steinhauer, K. Kulhanek, K. Antúnez, H. Humain, P. Chantawannakul, M.-P. Chauzat, D. vanEngelsdorp

Facteurs de perte de colonies

Curr. Opin. Insect Sci., Écologie Parasites/Parasitoïdes/Lutte biologique, 26 (2018), pp. 142-148, [10.1016/j.cois.2018.02.004](https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.004)

[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

54. [Steinmann et coll., 2015](#)

N. Steinmann, M. Corona, P. Neumann, B. Dainat

L'hivernage est associé à une expression réduite des gènes immunitaires et à une plus grande sensibilité à l'infection virale chez les abeilles mellifères

PLoS One, 10 (2015), article e0129956, [10.1371/journal.pone.0129956](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129956)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

55. [Steube et al., 2021](#)

X. Steube, P. Beinert, W.H. Kirchner

Efficacité et dépendance à la température du traitement à l'acide formique à 60 % et 85 % contre *Varroa destructor*

Apidologie (2021), [10.1007/s13592-021-00859-5](https://doi.org/10.1007/s13592-021-00859-5)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Google Scholar](#)

56. [Strachecka et coll., 2012](#)

A.J. Strachecka, J. Paléologue, G. Borsuk, K. Olszewski

L'influence de l'acide formique sur le système protéolytique de la surface corporelle à différents stades de développement chez *Apis mellifera* L. workers

J. Apic. Res., 51 (2012), p. 252-262, [10.3896/IBRA.1.51.3.06](https://doi.org/10.3896/IBRA.1.51.3.06)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

57. [Thoms et coll., 2019](#)

C.A. Thoms, c.r. Nelson, A. Kubas, N. Steinhauer, M.E. Wilson, D. vanEngelsdorp

Intendance des apiculteurs, perte de colonies et gestion du *Varroa destructor*

Ambio, 48 (2019), p. 1209-1218, [10.1007/S13280-018-1130-Z](https://doi.org/10.1007/S13280-018-1130-Z)

[View article](#)

[Voir dans ScopusGoogle Scholar](#)

58. [Tihelka, 2018](#)

E. Tihelka

Effets des acaricides synthétiques et biologiques sur la santé des abeilles mellifères : une revue

Slov. Ves. Res., 55 (2018), [10.26873/SVR-422-2017](https://doi.org/10.26873/SVR-422-2017)

[View article](#)

[Google Scholar](#)

59. [Traynor et coll., 2020](#)

K.S. Traynor, F. Mondet, J.R. de Miranda, M. Techer, V. Kowallik, M.A.Y. Oddie, P. Chantawannakul, A. McAfee

Varroa destructor : un parasite complexe qui paralyse les abeilles mellifères dans le monde entier

Trends Parasitol., 36 (2020), p. 592-606, [10.1016/j.pt.2020.04.004](https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004)
[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

60. [van der Steen et Vejsnæs, 2021](#)

J. van der Steen, F. Vejsnæs

Lutte contre le varroa : un bref aperçu des méthodes disponibles

Monde des abeilles, 98 (2021), p. 50-56, [10.1080/0005772X.2021.1896196](https://doi.org/10.1080/0005772X.2021.1896196)

[View article](#)

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

61. [van Dooremalen et al., 2012](#)

C. van Dooremalen, L. Gerritsen, B. Cornelissen, J.J.M. Steen, F. van der Langevelde, T. van Blacquièrre

La survie hivernale des abeilles mellifères et des colonies d'abeilles mellifères dépend du niveau d'infestation par *Varroa destructor*

PLoS One, 7 (2012), article e36285, [10.1371/journal.pone.0036285](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036285)

[View article](#)

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

62. [Van Esch et al., 2020](#)

L. Van Esch, J.-L. De Kok, L. Janssen, B. Buelens, L. De Smet, D.C. de Graaf, G. Engelen

Analyse paysagère multivariée de la mortalité hivernale des abeilles mellifères en Wallonie

Belgique. Environ. Modèle. Assess., 25 (2020), p. 441-452, [10.1007/S10666-019-09682-W](https://doi.org/10.1007/S10666-019-09682-W)

[View PDF](#)

This article is free to access.

[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

63. [van Engelsdorp et Meixner, 2010](#)

D. vanEngelsdorp, M.D. Meixner

Examen historique des populations d'abeilles mellifères gérées en Europe et aux États-Unis et des facteurs qui peuvent les affecter

J. Invertebr. Pathol., 103 (2010), pp. S80 à S95, [10.1016/j.jip.2009.06.011](https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.011)

[Voir le PDF](#)[Voir l'article](#)[Voir dans Scopus](#)[Google Scholar](#)

- [Frontières de la lutte efficace contre les parasites problématiques dans l'apiculture](#)

2022, Revue internationale de parasitologie : Parasites et faune sauvage

Extrait de la citation :

De nouvelles preuves indiquent en outre que des colonies d'abeilles plus saines réduisent le risque de débordement pour les abeilles sauvages adjacentes (Burnham et al., 2021), bien qu'il s'agisse encore d'une ligne de recherche ouverte dans le domaine. De plus en plus de preuves contemporaines soutiennent l'affirmation selon laquelle le traitement des abeilles contre leurs parasites améliore la santé des colonies (Haber et al., 2019 ; Hansen, 2021 ; Hernandez et coll., 2022; Kulhanek et coll., 2021; Steinhauer et al., 2021), il s'agit d'une démonstration simple mais importante d'un principe intuitif. Nous pouvons donc identifier de multiples frontières dans le traitement efficace des parasites en apiculture : améliorer l'adoption des stratégies de lutte actuelles chez les apiculteurs en identifiant les obstacles à l'adoption de stratégies de lutte (voir

section 4.0) et développer de nouvelles stratégies de lutte lorsque les options actuelles sont inadéquates (voir sections 2.0).

Afficher le résumé

- [Traitements au chlorure de lithium dans les colonies d'abeilles mellifères en vol libre : efficacité, survie du couvain et distribution au sein de la colonie](#)
2023, Place de la Recherche
- [Perspectives, défis et perspectives de l'exploitation de la sélection naturelle pour résoudre le « problème du varroa » des abeilles mellifères](#)
2023, Applications évolutives
- [Groupes spatiaux de stratégies de lutte contre le Varroa destructor en Europe](#)
2023, Journal de la science parasitaire
- [Les mesures agroécologiques dans les prairies favorisent le développement des colonies d'abeilles mellifères et la survie hivernale](#)
2023, Écosphère
- [Quelques considérations sur les pertes de colonies d'hiver en Italie selon le questionnaire Coloss](#)
2022, Insectes

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034528821003696>