

Performances des colonies vues par les observatoires de ruchers

André Kretzschmar^{1,5}, Alban Maisonnasse^{2,5}, Claudia Dussaubat^{1,5}, Marianne Cousin^{3,5}, Cyril Vidau^{4,5}

¹ INRA, Unité Biostatistique et Processus Spatiaux, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9, France

² ADAPI, Maison des Agriculteurs, 22 Ave H. Pontier, 13626 Aix en Provence, France

³ INRA, Unité Abeilles & Environnement, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9, France

⁴ ITSAP – Institut de l'Abeille, 149 rue de Bercy, 13626 Aix en Provence, France

⁵ UMT PRADE, INRA, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9, France

Correspondance : andre.kretzschmar@inra.fr

Résumé

Le déclin des abeilles sauvages ou domestiques est un champ de controverse que les recherches doivent nourrir en proposant une articulation entre sciences et société.

Une des difficultés majeures de la description des dysfonctionnements des colonies d'abeilles est la grande variabilité afférente aux différents paramètres décrivant l'état et le fonctionnement des colonies. L'observatoire de la miellée sur Lavandes est une méthode pour prendre en compte cette variabilité en situation réelle. Pour se faire, l'observatoire sur Lavandes se fonde sur le suivi de 300 à 600 colonies par an (24 ruchers, 14 à 29 colonies par rucher) pendant 8 années (2009-2016). Ces ruchers sont des ruchers d'apiculteurs en situation de production.

Le gain de poids (« GP ») est la variable d'intérêt qui a été définie pour décrire le fonctionnement des colonies. Cette variable a été étudiée dans le cadre d'un modèle général qui s'écrit :

$$\text{Gain de poids} \sim \text{fonction}(\text{Ressources} + \text{Population} + \text{Etat sanitaire} + \text{variabilité})$$

La dimension de cet observatoire permet d'absorber la variabilité des performances des colonies (= « GP ») et de rechercher quels sont les facteurs qui gouvernent les variations annuelles, régionales ou locales de cette performance, avec un focus particulier sur les paramètres qui sont sous le contrôle de l'apiculteur.

Une fois la variation entre régions, années et ruchers, décrite, la description de la structure de la population des colonies met en évidence le rôle essentiel de la quantité de couvain operculé et ouvert à l'installation des colonies sur la miellée. Elle montre aussi le caractère pénalisant pour la performance d'un trop grand nombre d'abeilles et de l'espace occupé par les réserves. Cette analyse conclue que la performance des colonies est sous la dépendance d'une stratégie des colonies : « dynamique » ou « conservative ».

Le facteur sanitaire le plus important, pénalisant la performance, est la charge en varroas. Un seuil critique, dans le cadre de ces observations, est défini.

En outre, l'observatoire a permis d'étudier la diversité de l'exposition aux pesticides, par l'analyse des pollens récoltés par les colonies sur Lavandes, pendant trois années. Une expérience de transhumance dans des conditions d'exposition contrastées met en évidence la complexité de la réponse de la performance à cette exposition.

Et le rôle spécifique des cocktails de pesticides rencontrés dans les pollens observés sur l'observatoire est aussi décrit par la réponse des larves en développement.

Enfin, l'observatoire met en ligne ses résultats à l'adresse des apiculteurs.

Mots-clés : performance, observatoire, ruchers, population, abeilles

Introduction

Le déclin des abeilles est un sujet de controverse, autant sur son ampleur que sur son amplification et ses causes. Les controverses sont des sujets qui sont l'objet d'une expertise technique poussée et qui, en même temps, sont devenues des affaires, souvent embrouillées, mêlant les questions juridiques, morales, économiques et sociales, au point que ces affaires, « ces choses publiques », deviennent de plus en plus le cœur de la vie politique (<http://www.bruno-latour.fr/fr/node/31>)

La question de la performance des colonies (essentiellement les colonies dont l'apiculteur extrait du miel ; sont ignorées ici les productions de pollen, de gelée royale, de propolis, de cire et autres produits dérivés de l'exploitation de ruchers) est posée par les apiculteurs qui disent constater des défauts de performance s'aggravant dans le temps (par exemple : données ADAPI, 2003-2005). Ce constat, plus ou moins documenté, s'accompagne d'une panoplie de facteurs responsables de ces défauts de performance : sécheresse, pesticides, dépopulations ...

Pour répondre à cette question, l'expertise scientifique doit tenir compte de deux impératifs:

- 1) produire des résultats qui sont directement liés à l'activité apicole à l'échelle où sont constatés les défauts de performance
- 2) utiliser des méthodes qui donnent à ses résultats un caractère incontestable, toujours à l'échelle de la pratique apicole.

On résume l'ensemble de la situation en déclinant 3 aspects conjoints :

- un contexte : le déclin des abeilles et les dépopulations observées sur des colonies sur Lavandes (dires d'apiculteurs, début 2000)
- une difficulté : le climat de controverse qui semble exiger une réponse simple.
- une méthode : nourrir l'articulation entre sciences et société par l'observation de cas concrets susceptible de validation statistique convaincante.

C'est pour répondre à ces impératifs que nous avons développé des observatoires comprenant de nombreux ruchers professionnels en production et que nous avons proposé de reformuler la question des apiculteurs dans le cadre d'un modèle général de la performance.

Nous avons ensuite développé les méthodes de terrain et les protocoles nous permettant de nourrir ce modèle.

Le modèle général

Le premier facteur évoqué pour expliquer la perte de performance est la dépopulation des colonies. L'expérimentation en apiculture se heurte cependant à une difficulté : il n'y a pas de bonne méthode pour dénombrer les populations dans une colonie. D'autre part, ce n'est certainement pas le nombre d'abeilles qui est le meilleur indicateur ; il faut plutôt s'attacher à décrire la structure de la population (voir méthode ColEval ; Maisonnasse et al., 2016, ce document).

Pour pouvoir construire une analyse convaincante de l'état exact de la performance, nous avons proposé de considérer le gain de poids d'une colonie comme mesure de sa performance.

La performance, sur une miellée, est définie comme le gain de poids brut, mesuré à intervalle régulier, entre le moment où la colonie est déposée (= J0) sur un emplacement et le moment où l'apiculteur récolte les hausses, environ 30 jours plus tard (= J30).

Le modèle général se propose d'expliquer les variations dans le temps du gain de poids pour chaque colonie en faisant intervenir des facteurs qui sont communs à toutes les colonies d'un même rucher et des facteurs qui sont propres à chaque colonie.

Soit la formulation suivante :

$$\text{Gain de poids} \sim \text{fonction}(\text{Ressources} + \text{Population} + \text{Etat sanitaire} + \text{variabilité})$$

Autrement dit, le gain de poids résulte de familles de facteurs qui décrivent :

- la ressource dans l'environnement du rucher ; cette dernière dépend de facteurs climatiques variables en fonction des années et de paramètres à l'échelle régionale ou locale. Le climat doit être considéré aussi bien à l'échelle de la physiologie de la plante qui est source de nectar (lavande, tournesol, châtaignier, acacia...) qu'à l'échelle des besoins des abeilles pour assurer le butinage (absence de vent et de pluie, par exemple ; disponibilité en eau...)
- la structure de la population est décrite pour mettre en lumière le rôle distinct des différentes classes d'abeilles (dans la mesure où les méthodes disponibles permettent de faire la distinction entre ces classes). On distinguera en particulier le rôle des abeilles adultes parmi lesquelles on trouve les butineuses, de celui des abeilles « à naître » en évaluant le couvain ouvert et le couvain fermé. La structure de la population doit aussi tenir compte de l'organisation spatiale de la colonie à l'intérieur de la ruche, en tenant compte de la répartition des réserves en nectar, miel et pollen.
- l'état sanitaire est décrit par les principaux agents qui influencent la santé de la colonie : varroas, virus, *Nosema*, maladies bactériennes....
- enfin, comme tout phénomène biologique, la variable « gain de poids » est affectée d'une variabilité propre dont il faut tenir compte pour comprendre la significativité des variations annuelles ou géographiques.

La mise en place des observatoires

a) géographie et étendue

Dans le cas de l'observatoire des ruchers sur Lavandes, nous avons étudié la performance de 300 à 600 colonies par an, entre 2009 et 2016. L'observatoire s'étendait sur trois régions : Drôme provençale, Montagne de Lure et Plateau d'Albion et Plateau de Valensole. 8 ruchers étaient choisis par région et entre 14 et 29 colonies par rucher selon les années. Au total, ce sont 3294 colonies dont la performance a été étudiée (voir Carte, figure 1).

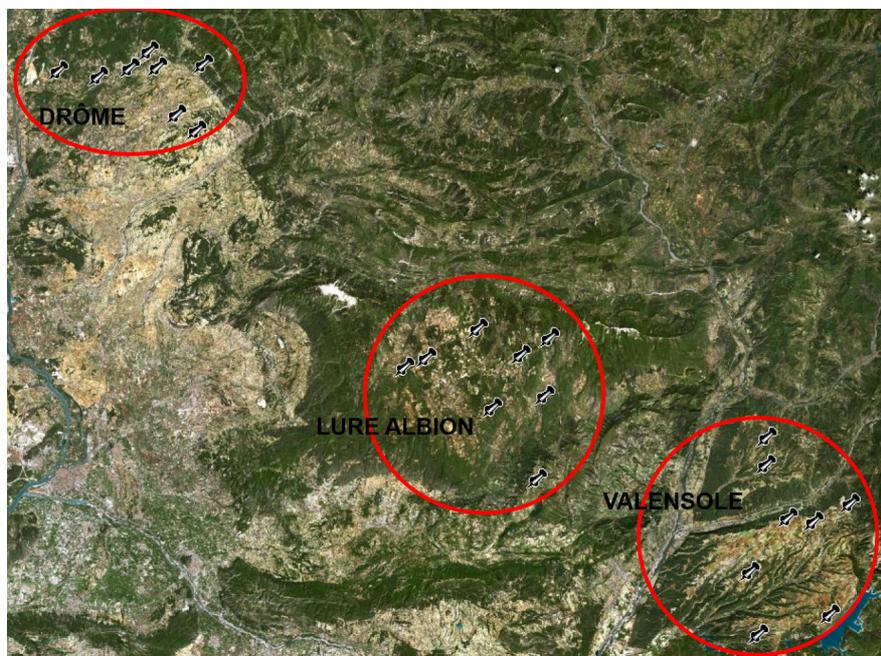


Figure 1. Carte de la localisation, en 2014, des ruchers de l'observatoire de la miellée sur Lavandes.

b) Méthodes d'analyses

Pour rendre compte de l'ensemble de ces résultats, nous avons utilisé des méthodes d'analyses descriptives puis des méthodes multivariées (type GLMM ; package {lme4} ; logiciel R ; 2013).

c) Avantages de la longue durée de l'observatoire des ruchers sur Lavandes

La validation de l'effet des facteurs de la performance et de sa variabilité dans le temps est possible grâce à la durée de cet observatoire.

Résultats fondamentaux

a) Il n'y a pas de décroissance de la performance observable dans les 8 dernières années. L'hypothèse principale qui a été évoquée par les apiculteurs est la décroissance de la performance dans le temps. On observe sur la figure 2 que les variations annuelles ne permettent pas de dégager une tendance à la baisse de la production.

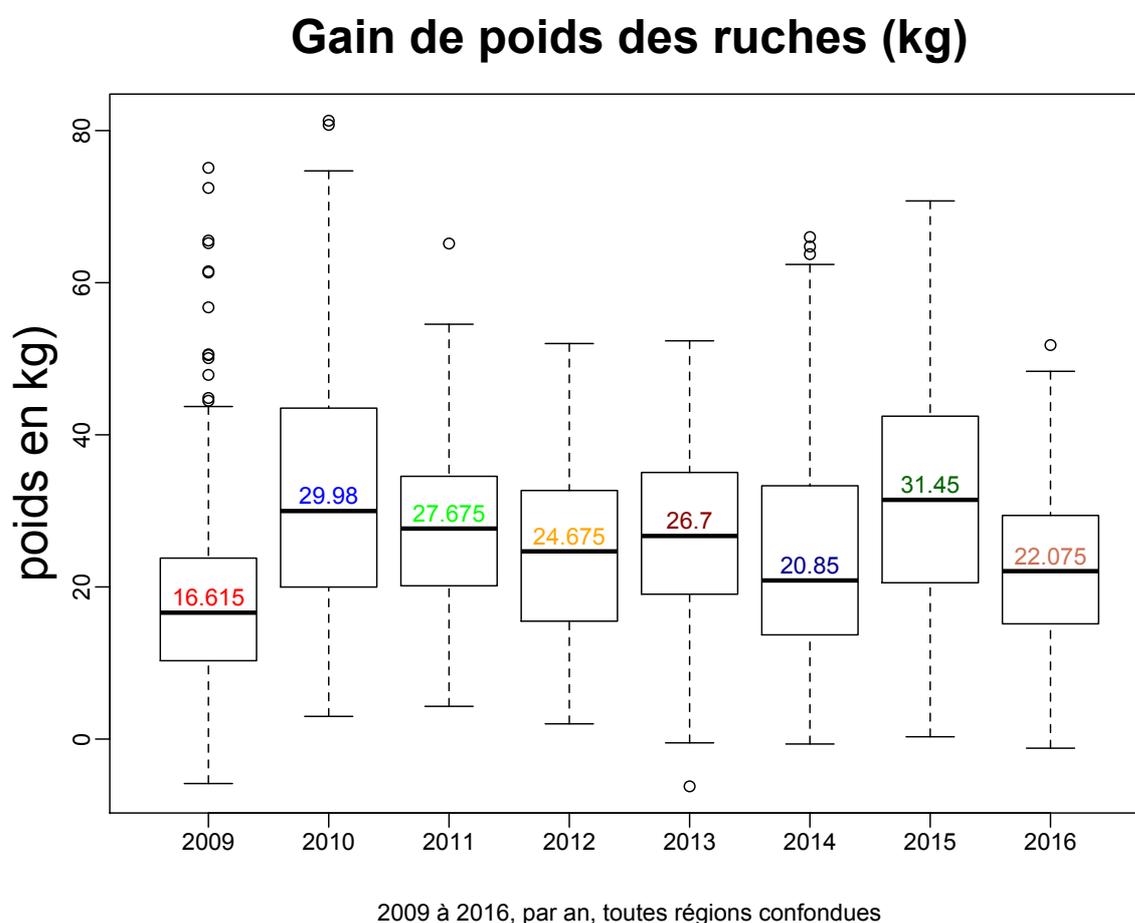


Figure 2 : Moyenne du gain de poids par année (toutes régions et tous ruchers confondus) pendant 8 années. Observatoire des ruchers sur Lavandes. Projet APIMODEL (INRA BioSP).

b) une variabilité importante, mais proche de la normale

Lorsque l'on considère toutes les données sur 8 années d'observation, la performance se comporte comme une variable normale (test du $\chi^2 = 0,225$ sur la répartition selon 20 quantiles égaux). Tout au plus pouvons-nous remarquer une légère sur-dispersion vers les valeurs supérieures à la moyenne : les ruches qui performant mieux que la moyenne semblent légèrement plus fréquentes (figure 3).

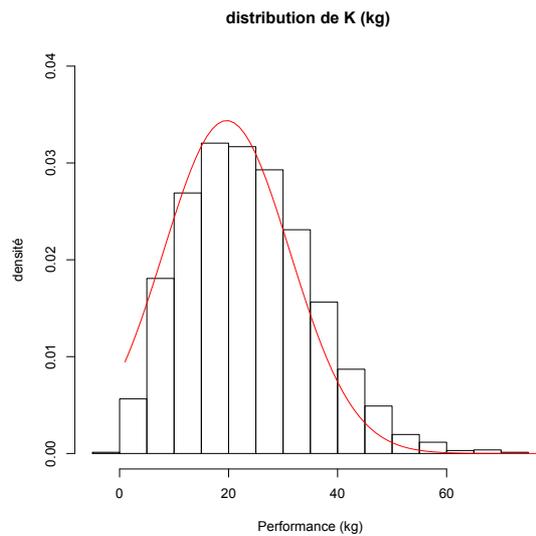


Figure 3. Distribution des valeurs de la performance (n=3294) et courbe de densité de probabilité de la loi normale correspondante (ligne rouge).

c) la variabilité annuelle et régionale donnent une image de la variabilité de la ressource. Lorsque l'on observe la variabilité annuelle (8 années) et régionale (3 régions distinctes), on comprend que les variations climatiques conjointes entre années et régions donnent un faciès très diversifié (figure 4) de la performance. Cette diversité reflète la diversité de la réponse des plantes (ici, les Lavandes) aux conditions environnementales (essentiellement climatiques) sous conditions des conditions agro-pédologiques.

Variation annuelle et régionale de la performance (2009-2016)

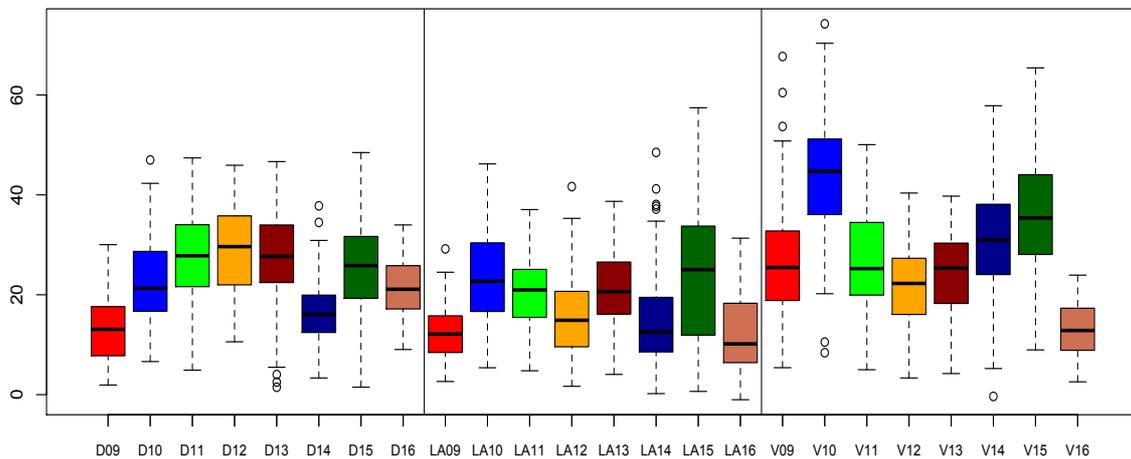


Figure 4. Variation de la performance (kg) par année (8 ans : 09 à 16) et par région (3 ; D=Drôme, LA=Lure-Albion, V= Valensole).

d) influence des facteurs « populationnels » à J0.

- la quantité de cellules de couvain operculé dans la colonie à la date de l'arrivée sur la miellée (J0) est un facteur très explicite de l'amélioration de la performance. La figure 5 montre comment la performance augmente régulièrement quand le nombre de cellules de couvain augmente par tranche de 2500 cellules. Le couvain operculé à J0 représente les abeilles à naître (en moyenne dans les 6 jours) qui vont participer au butinage au moment de la plus forte croissance du gain de poids (J10-J20).

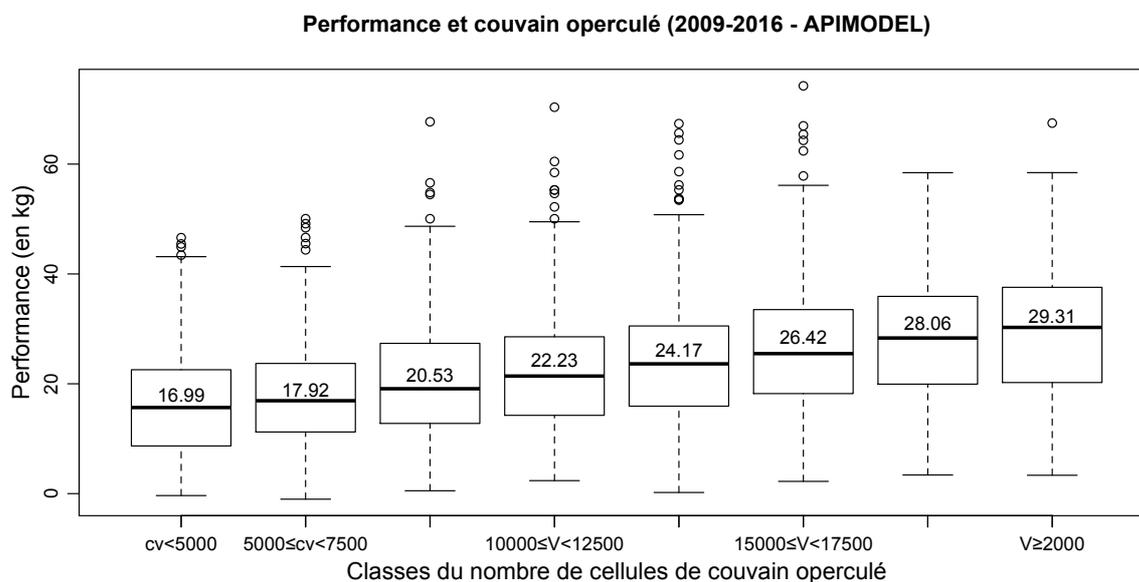


Figure 5. Effet du nombre de cellules de couvain operculé sur la performance des colonies (en kg)

- l'effet du couvain operculé est aussi un indice de la stratégie de la colonie. Si l'on examine les effets séparément des composantes de la structure de la colonie telles qu'elles sont décrites par ColEval, sur l'ensemble de colonies sur lesquelles cette méthode a été appliquée (n=1640), on constate que ces composantes jouent des rôles contrastants selon qu'elles sont prises indépendamment ou conjointement. En réalisant une analyse multi-variée sur l'effet de chaque composante puis sur leur effet conjointement (GLM mixte avec effet aléatoire sur les ruches sachant les rucher), on décèle que les colonies qui performent le mieux sont celles qui ont une proportion de couvain élevée alors que celles qui ont consacré beaucoup d'espace aux réserves (nectar et pollen) et qui ont une population d'abeilles très nombreuses ont de moins bonnes performances (tableau 1).

Table : Le poids de différents facteurs sur le gain de poids

Facteurs	nbabJ0	cvFJ0	cvOJ0	resJ0	varJ0	% Expl.
isolé	+14.9%	+29.2%	+14.8%	-5.1%	-5.05%	
		***	***			31.1%
	NS	***	NS			31.1%
	NS	***	NS	< 0***		35.3 %
	< 0**	***	**	< 0***	< 0***	42.5 %

Tableau 1. Effets des composantes à J0 de la structure de la colonie (ColEval) en 2013 ; effet séparé et effet conjoint (GLM mixte). nbabJ0 = nombre d'abeilles ; cvFJ0 = nombre de cellules de couvain

operculé ; cvOJ0 : nombre de cellules de couvain ouvert ; resJ0 : surface de réserve (miel, nectar, pollen) ; varJ0 : nombre de varroas pour 100 abeilles.

Ce résultat met en évidence une influence de la stratégie de la colonie sur la performance. Si la colonie présente un fort pouvoir de reproduction et que la vitalité de la reine impose une dynamique de population à fort taux de renouvellement, la performance de la colonie sera élevée. Au contraire, si la colonie est déjà très peuplée et que la reine a cédé de l'espace pour que des réserves soient stockées, la stratégie de la colonie apparaît comme plus conservatrice et sa performance sera moins élevée.

Mais il est important de dire que l'équilibre et le poids de ces différents facteurs varient chaque année. Il y a des années où la pression de la charge en varroa ne joue qu'un rôle mineur, non pas tant parce qu'elle est faible mais parce que son rôle est effacé par celui des réserves (analyse en cours de publication). Chaque année, l'équilibre de l'effet des différentes composantes décrites par ColEval est différent. Ce qui suggère que chaque année, les colonies qui performant le mieux développent une stratégie adaptée aux conditions climato- environnementales.

Les premiers enseignements de ces analyses année par année de l'effet des composantes de la structure de la colonie donnent à penser qu'il y aurait une structure spécifique optimale chaque année, réalisant la meilleure performance.

e) influence des facteurs « sanitaires » à J0

- la prépondérance de l'effet de la charge en varroas. L'effet néfaste de la charge en varroas sur la vigueur de la colonie et sur sa performance a été souvent décrit (Mondet et al., 2016, ce document). Dans l'observatoire de la miellée sur Lavandes, la charge en varroas phorétiques a systématiquement été mesurée au moment où les colonies arrivent sur la miellée. La figure 5 illustre l'effet de la charge en varroa à J0 en mettant en évidence une valeur seuil ; en de ça de 3 varroas pour 100 abeilles, il n'y a pas d'effet notable sur la performance. Par contre au-delà de ce seuil, la décroissance de performance est bien corrélée à la charge en varroas (figure 6).

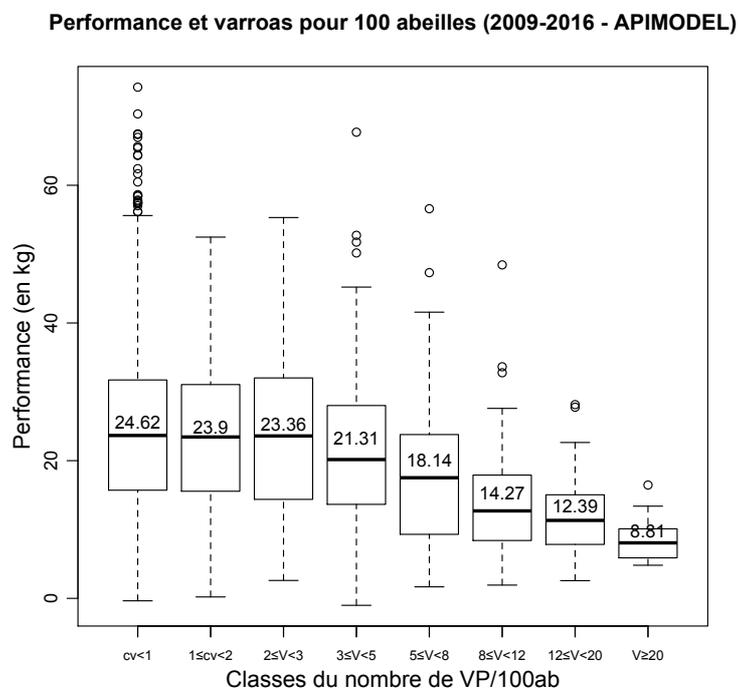


Figure 6. Effet de la charge en varroas à J0 sur la performance des colonies (en kg).

f) comment l'exposition aux pesticides de l'environnement affecte la performance. L'effet des pesticides, à doses létales ou sub-létales a été très amplement documenté par des expériences en laboratoire ou en conditions semi-contrôlées (Decourtye, 2016, ce document). Cependant l'observatoire des miellées sur Lavandes nous a permis d'aborder la question de l'effet de l'exposition des colonies aux pesticides contenus dans les pollens qui sont ramenés à la ruche au cours des 12 premiers jours de la miellée. Il s'agit de décrire un effet en situation concrète de rucher de production où l'exposition des abeilles au stress chimique est approchée par l'analyse des résidus de pesticides contenus dans les pollens. Il nous semble que cette situation autorise une description au plus près des conditions réelles.

- diversités des expositions aux pesticides.

Lors de trois années successives (2013, 2014 et 2015), les résidus de pesticides dans les pollens de trappe collectés dans quelques colonies (de 3 à 12) des ruchers de l'observatoire de la miellée sur Lavandes ont été analysés. La figure 7 donne un exemple de l'intensité de la contamination des pollens de trappes par les résidus de pesticides dans les pollens en fonction des régions. On voit que les ruchers de la Drôme ont des pollens dont la contamination varie de zéro à plus de 24 molécules. La caractéristique des Lavandes de la Drôme est d'être très étroitement associées à la culture de la vigne ; d'où la diversité des résidus dans les pollens (dont l'origine est, notons-le, à 90% originaire de plantes non cultivées). Il est remarquable, dans cette situation, que le rucher (DG) qui connaît la plus intense contamination des pollens, soit celui dans lequel on enregistre une des meilleures performances. Toutefois le devenir et l'état de santé de ces colonies n'est pas suivi au delà de la miellée de lavande ce qui nous empêche d'étudier l'éventuel impact à long terme de cette exposition.

Drôme 2013 : résidus et performance (kg)

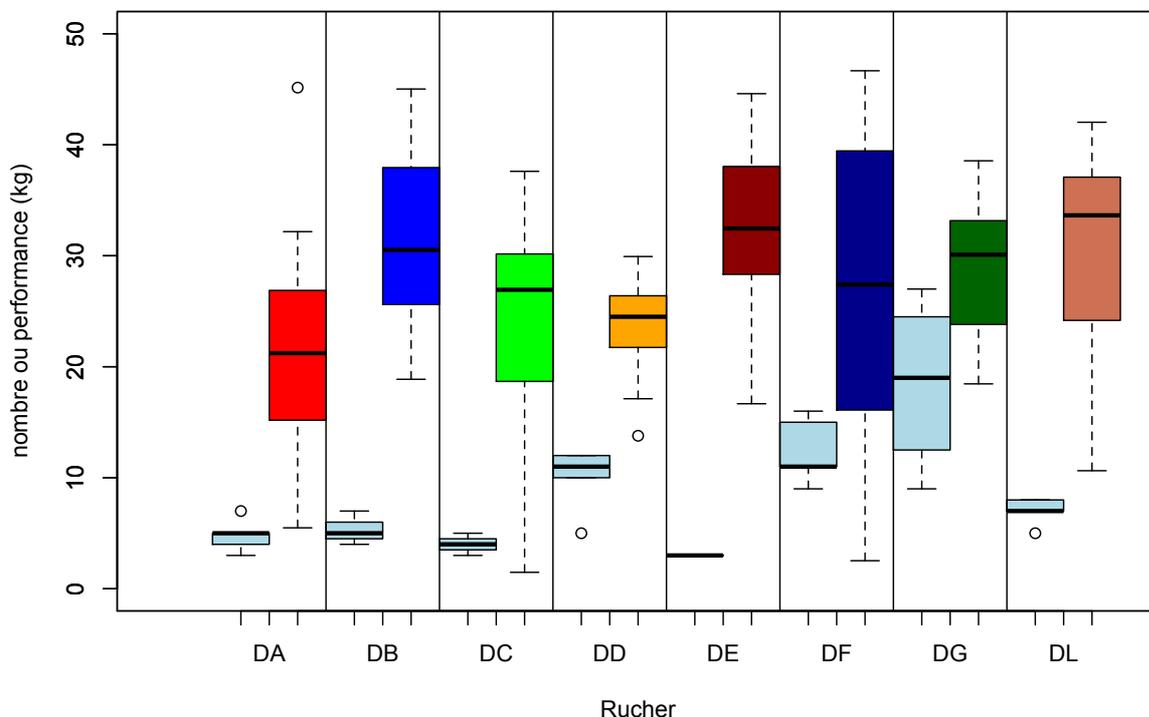


Figure 7. Comparaison entre le nombre de molécules trouvées dans les pollens de trappes (bleu ciel) et les performances des ruchers de la Drôme en 2013.

- expérience de délocalisation

Pour mieux approcher la question de la sensibilité des colonies, vue par leur performance, une expérience de délocalisation de colonies a été réalisée. 16 colonies d'un rucher dont les pollens ne sont pas contaminés ont été transhumées. 8 dans un rucher sans contamination ; 8 dans un rucher où les pollens sont contaminés par de nombreuses molécules.

Les pollens des ruches délocalisées sont relevés à intervalles de 4 jours, pendant 12 jours. On constate que les ruches délocalisées dans le rucher à haute contamination récoltent bien des pollens contaminés (figure 8).

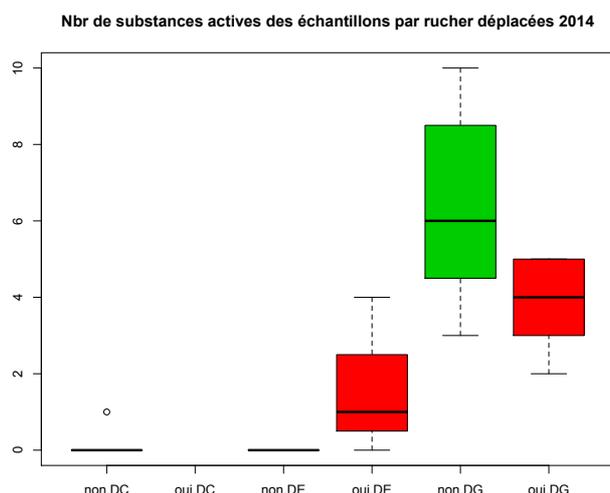


Figure 8. Les ruches (en rouge) ont été déplacées depuis le rucher DC dans le rucher DE (sans contamination) et le rucher DG (contamination intense).

Après la période de la miellée, on compare les performances des colonies déplacées et des colonies restées dans leur rucher (figure 9).

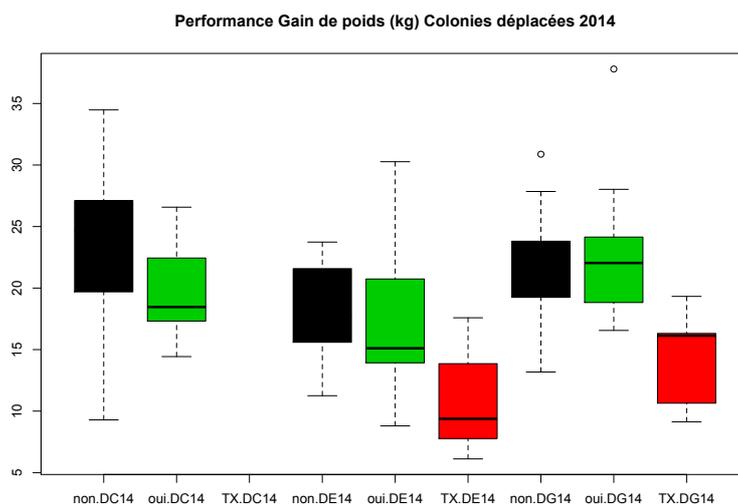


Figure 9. Les ruches qui n'ont pas été déplacées (en noir, sans trappe à pollen) décrivent le fonctionnement moyen de référence du rucher. Les ruches avec trappe à pollen (en vert) dans ces ruchers démontrent que la présence de trappes nuit à la performance. Les ruches déplacées (en rouge ; avec trappes) performant moins bien que la référence ; mais les ruches déplacées dans le rucher contaminé performant mieux que celles déplacées dans le rucher indemne de contamination.

Les colonies de références des ruchers DE et DG sont moins différentes que ne le sont les colonies déplacées dans DE et DG.

- réponse chez les larves

Cependant, il a été montré que les résidus de pesticides peuvent avoir une influence sur le développement des larves (Cousin et al., 2013). Ce travail démontre que la morphologie des œnocytes est profondément modifiée par la présence de résidus dans la nourriture des larves. Pour être au plus près des conditions réelles, nous avons incorporé dans l'aliment des larves élevées *in vitro*, des pollens non contaminés (provenant du rucher DE) et des pollens contaminés du rucher DG.

La figure 10 montre que la présence de résidus de pesticides dans les pollens rapportés à la ruche est susceptible d'avoir un effet significatif sur le développement des colonies.

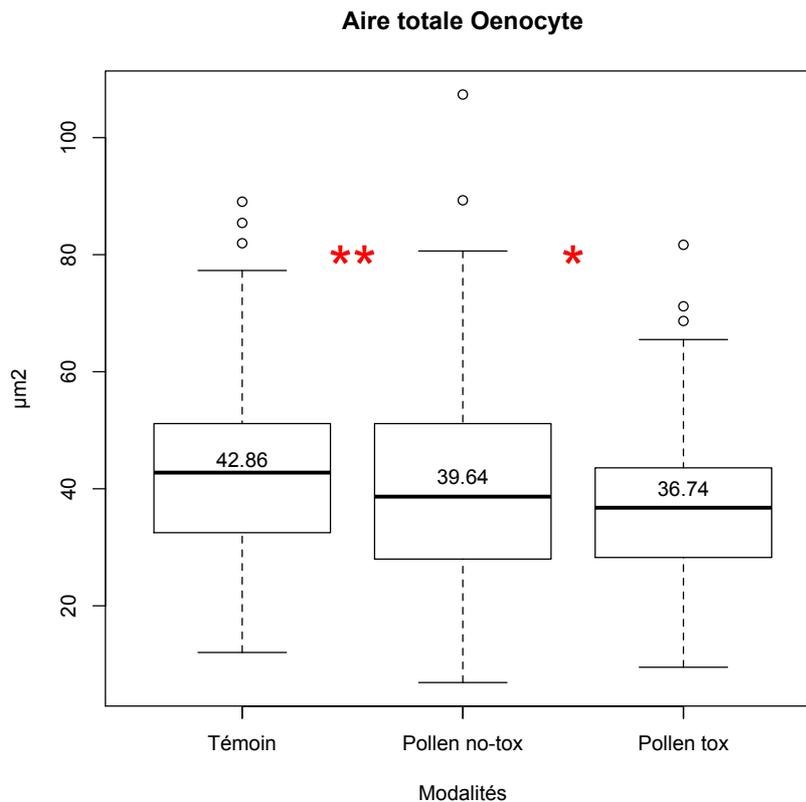


Figure 10. La déformation des œnocytes liée à la présence de résidus toxiques est mesurée par la variation de la surface de la cellule. Les œnocytes se rétrécissent en présence de pesticides, même à doses très faibles (sub-létales). Les larves nourries avec du pollen non contaminé ont des œnocytes plus contractés que les témoins ; les larves nourries avec des pollens contaminés ont des œnocytes significativement plus déformés que les précédentes.

Conclusion

Une question simple avait été posée par les apiculteurs : quelles sont les causes de la baisse de performance des colonies sur la miellée de lavande? La méthode expérimentale de l'observatoire, associant étude en conditions réelles, définition de variables mesurables et volume de données permettant de consolider les résultats, a montré que sur les 8 années de l'étude, cette baisse de performance n'est pas validée.

Il a été aussi possible de montrer que deux facteurs (couvain operculé et varroas), sur lesquels l'apiculteur peut agir, sont des paramètres essentiels et importants de la miellée. Cependant, comme

leurs poids respectifs (et celui des autres composantes de la structure de la population) varient chaque année, il faut poursuivre les analyses (et vraisemblablement l'observatoire) pour donner aux apiculteurs des indications sur la façon de préparer les colonies en fonction des prévisions des conditions de la miellée (en particulier en fonction des conditions climatiques).

L'effet des pesticides que les abeilles collectent dans l'environnement ne semble pas affecter directement la performance des colonies ; en tout cas, à la marge par rapport à l'effet positif du couvain operculé et à l'effet négatif de la charge en varroas. En revanche en condition contrôlée l'exposition à des doses sublétales de pesticides seraient à l'origine d'effets discrets sur le développement larvaire. Ce résultat, établi sur le suivi de très nombreuses colonies pendant une longue période de temps a de quoi rassurer : ce sont en effet les paramètres que contrôlent les apiculteurs qui ont le plus d'effet sur la performance. Les conditions climatiques et régionales qui contrôlent la ressource étant indépendantes, on peut se réjouir que les techniques apicoles aient une marge de manœuvre importante pour apporter sur les ruchers les colonies les mieux aptes à performer.

Les progrès viendront essentiellement de la capacité, à partir des résultats des observatoires de grandes dimensions et de longue durée, à modéliser la performance en fonction des facteurs que nous avons mis en évidence de façon à prédire, au regard de ce qu'il sera possible de prévoir sur la ressource, la meilleure configuration pour optimiser la performance.

Annexe : Les moyens mis à la disposition des apiculteurs et du public pour nourrir le débat sur des bases consolidées.

Un site est ouvert au public (apiculteurs ou non) pour mettre à disposition les informations que nous recueillons sur les différents observatoires et lors des expériences de terrain.

<https://w3.avignon.inra.fr/biosp>

Ce site est visité tout au long de l'année à raison d'environ 100 000 pages par an en moyenne.

Ce site contient :

- a) les informations sur les miellées de Lavandes de 2009 à 2016 : courbes de prise de poids ; analyses globales et présentation graphiques d'une synthèse sur chaque rucher ;
- b) la base de données APIMODEL (Lavandes- 8 années, Tournesol-2 années, Dyva,...) ; cette base, en libre accès, permet l'accès aux données brutes ; elle permet aux chercheurs ou aux curieux de faire leurs propres développements ;
- c) une méthode de description des colonies (ColEval) et un protocole d'apprentissage (en cours de perfectionnement) ;
- d) un film sur l'observatoire des ruchers sur lavandes (environ 30 mn)

Bibliographie

Cousin M. Silva-Zacarin E., Kretzschmar A., El Maataoui M., Brunet J.-L., Belzunces L P. (2013). Size changes in honey bee larvae oenocytes induced by exposure to paraquat at very low concentrations. Plos ONE 8(5) : e65693. doi :10.1371/journal.pone.0065693

Decourtye A. (2016) (titre de la présentation). ce document

Maisonnasse A. (2016) (titre de la présentation). ce document

Mondet F. (2016) (titre de la présentation). ce document

R Development Core Team. (2013) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

Remerciements

Ce travail a été financé depuis 2008 par les fonds du Programme Apicole Européen (FEAGA) géré par FranceAgriMer et, pour partie, par le Conseil Régional de Rhône-Alpes de 2013 à 2016.

Nos remerciements vont aux apiculteurs qui ont mis leurs ruchers à disposition et à l'ADAPI pour son soutien technique.