RAPPORT TECHNIQUE JURA SUISSE 2012 – 2015

Influence des cultures intercalaires à floraison tardive sur le développement et l'hivernage des colonies d'abeilles mellifères

En partenariat avec :

Avec les financements :

Table des matières

1 Résumé 2
2 Introduction 2
3 Matériel et méthodes 4
3.1 Déroulement de l'essai 4
3.2 Conditions météorologiques pendant l'essai 4
3.3 Critères évalués 4
3.4 Pollen 5
3.5 Intensité de vol 5
3.6 Poids des ruches 5
3.7 Varroa 5
3.8 Analyses chimiques 5
3.9 Mortalité au trou de vol 6
3.10 Développement des colonies 6
3.11 Statistique 6
4 Résultats 6
4.1 Pollen 7
4.2 Intensité de vol 7
4.3 Poids des ruches 8
4.4 Varroa 8
4.5 Analyse chimique 8
4.6 Mortalité au trou de vol 8
4.7 Développement des colonies 9
5 Discussion 9
6 Conclusion 11
7 Remerciements 11
8 Références 12
9 Tableaux & Figures 14

Auteurs

Marie Gallot[1,2], Jean-Daniel Charrière[1], Bernard Beuret[2] et Gérald Buchwalder[2]

[1]. Centre de recherche apicole, Agroscope, Schwarzenburgstrasse 161, 3003 Bern, Suisse

[2]. Fondation Rurale Interjurassienne, Courtemelon, Case postale 65, 2852 Courtételle, Suisse

1 Résumé

L'installation d'un couvert végétal automnal de phacélie à la suite des récoltes de céréales est pratique courante dans le milieu agricole. Or, certains apiculteurs suspectent un affaiblissement de colonies d'abeilles après le butinage sur ces cultures intercalaires et craignent un épuisement prématuré des abeilles d'hiver. L'essai présenté ici cherche à évaluer si le butinage tardif provoque un affaiblissement des colonies. Par ailleurs, l'essai vise à déterminer si les néonicotinoïdes rémanents dans les cultures intercalaires ont un impact sur les colonies d'abeilles lorsque le couvert végétal succède à une culture traitées avec ces insecticides.

L'étude montre que le butinage sur culture de phacélie n'a pas d'effet, ni délétère ni positif, sur les populations d'abeilles durant la floraison et dans les mois qui suivent. Les pertes hivernales ne sont pas augmentées. Les analyses chimiques montrent que des traces de néonicotinoïdes peuvent être présentes dans la terre, quel que soit le traitement du précédent cultural et se retrouvent dans le pollen rapporté à la ruche ainsi que dans le pain d'abeille. Ces conditions ne nous ont pas permis d'avoir une exposition différenciée entre deux groupes permettant de tester l'effet des néonicotinoïdes en précédent cultural sur les colonies. Malgré un précédent cultural traité à la clothianidine, cette substance ne se retrouve que rarement et en faible quantité dans le pollen et pas du tout dans les autres produits de la ruche.

2 Introduction

Depuis plusieurs années, des pertes de colonies supérieures à la normale sont régulièrement observées en Suisse de même que dans l'ensemble de l'Europe et en Amérique du Nord (Charrière and Neumann, 2010; Vanengelsdorp *et al*. 2010). Dans le Canton du Jura, en Suisse, un sondage des pertes hivernales entre 2009 et 2015 montre que les apiculteurs ont perdu en moyenne sur ces six derniers hivers plus de 24% de leurs colonies (fig. 1, S.Aebi *In Prep.*). Ce sondage montre également que l'on rencontre moins de pertes pour les ruches installées en montagne (Franches-Montagne) qu'en plaine (Ajoie, Jura bernois et Vallée de Delémont), où les zones cultivées sont plus étendues et l'exposition aux produits phytosanitaires plus importante. Les causes de ce déclin n'ont, à ce stade, pas pu être mises en évidences et différentes hypothèses sont avancées par les chercheurs. Il est clair pour l'instant, qu'il n'existe pas de facteur unique permettant d'expliquer les pertes à travers le monde mais plutôt une conjonction de causes, qui selon les régions et les années peuvent être différentes. Le varroa qui a colonisé l'Europe il y a près de 30 ans ainsi que les virus qu'il propage semblent jouer des rôles majeurs dans ces pertes (Genersch *et al.* 2010, Dainat *et al*. 2012). Dans certaines régions, d'autres causes sont également suspectées d'être responsables de pertes de colonies. Parmi celles-ci, la culture automnale de la phacélie est souvent évoquée par de nombreux apiculteurs.

Depuis l'introduction en 1998 de l'ordonnance sur les paiements directs (OPD, RS 910.13), qui exige l'installation d'un couvert végétal à la suite de cultures récoltées avant le 31 août, la culture de la phacélie comme couvert végétal automnal est devenue courante dans les pratiques agricoles. Cette culture permet la fixation des nitrates, couvre le sol, limite l'érosion, et ne demande pas d'entretien particulier (traitements phytosanitaires, fauche), car dès les premiers gels, la plante meurt et recouvre ainsi le sol. La phacélie n'est de surcroît pas une plante vectrice de maladie pour de futures cultures. Ces caractéristiques font de la phacélie un engrais vert/couvert végétal apprécié des agriculteurs que ce soit en culture traditionnelle ou biologique. Au niveau apicole, les connaissances actuelles sur la phacélie montrent que

c'est une culture intéressante tant du point de vue mellifère que pollinifère mais ces observations concernent la floraison en période estivale (Petkoff, 1958; Steffan-Dewenter and Tscharntke, 1996; Williams, 1997; Petanidou, 2003; Horn, 2009).

Dans un premier temps, les apiculteurs se sont réjouis à l'idée de voir fleurir des champs entiers de fleurs très attractives pour les abeilles et avec un probable effet stimulant sur la force des colonies, durant l'automne. De plus, la floraison de phacélie étant relativement longue, ils ont pensé qu'elle permettrait aux abeilles de compléter, en plus du sirop de nourrissement, les réserves glucidiques et de pollen et diversifierait leur nourriture hivernale.

Cependant, certains apiculteurs suspectent un affaiblissement des colonies d'abeilles provoqué par ce butinage tardif. En effet, une intense activité a été observée dans les ruchers lors de floraison de la phacélie, ce qui implique une dépense énergétique importante de la part des abeilles. A cette période, les abeilles d'hiver sont en grande partie déjà nées. Celles-ci devront vivre plus de 5 mois pour garantir la reprise de l'activité au printemps suivant et sont censées ralentir leur activité en automne pour préparer l'hivernage et la formation de la grappe. Or le butinage tardif pourrait causer l'épuisement prématuré de ces abeilles d'hiver. En outre, dans certaines régions, les apiculteurs ont constaté, dans les colonies mortes durant l'hiver, des cadres remplis de pollen violet typique de la phacélie et de nectar encore très liquide de phacélie, que les abeilles n'avaient pas eu le temps de travailler. Le stockage de pollen et de nectar imparfaitement transformés avant l'hiver pourrait provoquer une augmentation de l'humidité dans la ruche, un facteur supplémentaire nuisant au bon hivernage des colonies.

Une autre hypothèse formulée par les milieux apicoles est que les cultures intercalaires implantées rapidement après une céréale dont la graine a été traitée à l'aide de néonicotinoïdes représentent un danger potentiel pour les abeilles, du fait de la rémanence de ces molécules. Les néonicotinoïdes sont des neurotoxines perturbant le système nerveux central des insectes exposés (Matsuda *et al*. 2001) qui sont souvent pointées du doigt comme cause majeure des problèmes d'effondrement des colonies. Ces substances sont largement utilisées dans le traitement par enrobage des semences. Or, des résidus de ces insecticides se retrouvent dans le sol et peuvent être ensuite assimilés par les plantes utilisées en engrais vert. En effet, comme ce sont des molécules systémiques, la matière active pénètre dans les tissus de la plante, y compris le pollen et le nectar, et peut ainsi être rapporté dans les colonies (Bonmatin *et al*. 2005). Les abeilles pourraient ainsi être indirectement exposées à ces insecticides lors du butinage et lors de la consommation de leur réserve.

L'essai mis en place et présenté ici a pour but de répondre aux deux questions suivantes :

1.) Le butinage tardif d'engrais vert épuise-t-il prématurément les abeilles et contribue-t-il au dépeuplement des colonies d'abeilles durant l'hiver ?

2.) Les néonicotinoïdes ont-ils un impact sur les colonies d'abeilles butinant sur des cultures intercalaires succédant à une culture traitées avec ces insecticides?

3 Matériel et méthodes

3.1 Déroulement de l'essai

L'essai s'est déroulé en Ajoie, dans le Jura suisse, à une altitude d'environ 435 m. Trois groupes homogènes composés de dix colonies chacun ont été placés durant la période de floraison de la phacélie (début octobre à début novembre), dans différentes conditions. Un groupe témoin (T) a été placé sur la commune de Coeuve (JU) à une distance minimale de 2 km de champs de culture intercalaire en fleurs afin de limiter son accès à d'importantes floraisons automnales. Un deuxième groupe (P-) a été placé à Vendlincourt (JU) en bordure d'un champ de phacélie cultivé dans une exploitation pratiquant l'agriculture biologique. Les précédents culturaux n'ont donc pas été traités à l'aide de néonicotinoïdes. Le troisième groupe (P+) a été installé à Beurnevésin (JU), en bordure d'un champ de phacélie exploité en mode conventionnel, dont le précédent cultural était de l'orge d'automne, dont les semences avaient été enrobées à l'aide du produit Smaragd (matière active : clothianidine 22.3%). En fin de floraison de la phacélie, les colonies des deux groupes P+ et P- ont été ramenées sur le site témoin (T). L'essai a été mené durant trois années successives, entre 2012 et 2014 (tabl. 1). Les différents emplacements des colonies sont représentés par la figure 3. Les colonies ont été formées chaque année par des essaims artificiels placés sur des cires gaufrées et ont été conduites de manière identique en dehors de la période de test. Les populations du parasite *Varroa destructor* ont été contrôlées au moyen d'un traitement à l'acide formique en été et d'un traitement à l'acide oxalique en hiver.

3.2 Conditions météorologiques pendant l'essai

En 2012, l'été a été pluvieux et peu propice au développement des colonies d'abeilles. L'ensoleillement de l'automne était légèrement déficitaire par rapport à la moyenne. La fin d'année s'est ensuite déroulée relativement normalement, avec une température légèrement supérieure à la norme et une pluviosité proche de la norme. En octobre (mois durant lequel a eu lieu l'essai), la température moyenne a été de 9.7°C, équivalent à la norme sur les 30 dernières années. Le nombre de jours de pluie s'est élevé à 15 et la somme des précipitations a atteint la valeur de 105.7 mm. Le mois de novembre a vu de fortes pluies, la somme totale du mois valant 173 mm alors que la norme est à 87 mm.

Le printemps 2013 assez froid avec des pluies légèrement plus importantes que la norme. L'été 2013 a été assez sec et de très fortes miellées ont eu lieu, du 10 au 30 juillet 2013. La température moyenne mensuelle pendant le mois d'octobre 2013 était de 11.3°C soit 1.6°C de plus que la norme. Durant ce mois, il a plu pendant 21 jours, avec une somme des précipitations de 147.1 mm (la norme est de 12 jours de pluie et 101mm).

En 2014, de fortes pluies se sont abattues durant les mois de juillet et août, mais septembre a heureusement été moins pluvieux. La température durant la période d'essai a été un peu moins clémente qu'en 2013 avec une température moyenne mensuelle pendant le mois d'octobre et novembre 2014 de 9.7°C soit 2.6°C de plus que la température moyenne sur les 30 dernières années La somme des précipitations a atteint la valeur de 104.8 mm en octobre et 100.3 mm en novembre (fig. 2).

3.3 Critères évalués

Afin d'évaluer l'exposition des abeilles à la phacélie, nous avons mesuré la quantité et l'origine botanique du pollen récolté à l'entrée de la ruche, l'intensité de vol sur les parcelles P+ et P- ainsi que le poids des ruches. Afin d'évaluer l'exposition aux néonicotinoïdes, nous avons fait analyser les résidus éventuels dans la terre de chacune des parcelles, les plantes d'orge et de phacélie, le pollen, le pain d'abeilles, le

miel et les abeilles mortes (fig. 3). Les analyses chimiques se sont focalisées sur les insecticides de la famille des néonicotinoïdes (imidaclopride, thiamétoxame, clothianidine, thiaclopride et acétamipride). Pour ce qui est de l'analyse du miel et du pain d'abeille, en plus des substances mentionnées ci-avant, les résidus de métabolites de néonicotinoïdes suivants : 5-hydroxy-imidaclopride, oléfine, acide-6-chloronicotinique, de même que certains insecticides de la famille des pyrethrinoïdes, bifenthrine, cypermethrine, deltamethrine, lambda-cyhalothrine ont aussi été recherchés.

Afin d'évaluer l'impact du butinage tardif et des néonicotinoïdes sur le développement et l'hivernage des colonies, nous avons mesuré la mortalité des abeilles au trou de vol durant la floraison et la force des colonies avant et après l'hiver.

3.4 Pollen

Des trappes à pollen ont été installées à l'entrée de trois ruches par groupe (fig. 5). Tous les deux à quatre jours durant la période d'essai, lorsque les conditions météorologiques permettaient le butinage, des grilles à pollen munis d'orifices de 5 mm ont été installés pour récolter le pollen des butineuses retournant à la ruche. Le pollen récolté au soir était pesé, puis immédiatement congelé à -20° C. Des échantillons représentatifs de pollen frais ont été envoyés au laboratoire pour l'analyse chimique. Le reste des récoltes de pollen a été séché à 40°C pendant 12 heures. Afin de déterminer l'origine botanique du pollen, les pelotes ont été séparées manuellement selon leur couleur en différentes fractions. Chaque fraction a ensuite été pesée, puis une analyse palynologique a été réalisée.

3.5 Intensité de vol

La mesure de l'intensité de vol dans les parcelles P+ et P- permet de s'assurer que les abeilles ont effectivement butiné et exposé à la phacélie. Le nombre d'abeilles a été compté tous les deux à quatre jours selon les conditions météorologiques, durant 30 minutes en début d'après-midi. Le comptage a été effectué dans cinq périmètres de 1 m^2 délimitées par des cadres disposés dans les champs de phacélie des deux parcelles (fig. 6).

3.6 Poids des ruches

Les trente ruches de l'essai ont été pesées, juste avant le déplacement sur les sites de test, alors que le nourrissage d'hiver était déjà terminé, en cours de floraison de la phacélie puis au moment du retour sur le rucher témoin grâce à une balance électronique (www.capaz.de, fig. 7). Par ailleurs, le poids d'une ruche par parcelle a été mesuré en continu tout au long de l'année, grâce à ces mêmes balances.

3.7 Varroa

L'infestation des colonies par le parasite varroa a été régulièrement contrôlée au moyen de la chute des varroas comptés sur les fonds de ruche protégés des abeilles par un grillage. La lutte contre varroa a été effectuée chaque année par un traitement à l'acide formique au moyen de diffuseur « Nassenheider professionnel » et à un traitement hivernal à l'acide oxalique par sprayage en absence de couvain.

3.8 Analyses chimiques

Des analyses ont été réalisées sur les abeilles mortes prélevées dans les trappes à abeilles mortes (voir paragraphe suivant) tout au long de l'essai, le pollen de trappe, des échantillons de phacélie, d'orge ainsi que de terre récoltés dans les parcelles, le pain d'abeille, la nourriture prélevée dans les cadres et pour une année aussi dans le sirop de nourrissement. Les analyses de sol, plantes, pollen et abeilles ont été effectuées par le service central d'analyse de l'institut des sciences analytiques du centre national de la

recherche scientifique (CNRS) à Solaize et à Orléans, en France. Les échantillons de nourriture ont été analysés par Wessling AG, à Lyss (BE).

3.9 Mortalité au trou de vol

La mortalité des abeilles a été évaluée au moyen de trappes à abeilles mortes de type underbasket (Accorti *et al.*, 1991) disposées devant chaque ruche. Le nombre d'abeilles mortes qui y tombaient a été relevé tous les 2-3 jours durant toute la durée de l'essai. Les abeilles recueillies dans ces trappes sont à la fois des butineuses fatiguées et en fin de vie ou des abeilles mortes dans la ruche qui ont été expulsées par leurs pairs à l'extérieur de la ruche (fig. 7).

Comme les ruches des groupes P+ et P- ont subi un déplacement et une désorientation que n'ont pas subi les ruches du groupe T, la mortalité dans ces deux groupes y était plus élevée dans les jours suivant le déplacement. Pour éviter que ce phénomène n'influence les résultats, une période de 7 jours après le déplacement (jusqu'à la stabilisation du taux de mortalité) a été exclue de l'analyse. En ce qui concerne l'analyse des données des essais 2013, comme les observations étaient nombreuses, nous avons regroupé les données en blocs d'une semaine dans lesquels nous avons comparé la mortalité entre les différents groupes par analyse de variance. Si la différence de mortalité entre P+ et P- n'était pas significative au seuil 0.05 (test de Student), nous avons fusionné les données de ces 2 groupes pour les comparer à celles du groupe T par un test de Student.

3.10 Développement des colonies

Les mesures de population ont été effectuées avec la méthode dite du Liebefeld (Imdorf *et al.* 1987, évaluation du nombre d'abeilles, de la surface de couvain ouvert et de couvain operculé). La mesure de population avant l'essai a permis de répartir les trente colonies en trois groupes homogènes sur la base de leur nombre d'abeilles. Une deuxième mesure a été effectuée avant la fin de l'exposition à la phacélie et correspond à la force des colonies juste avant l'hivernage. Une troisième mesure a eu lieu aux mois de mars-avril de l'année suivante, afin de connaître la force des colonies à la sortie de l'hivernage. Les mesures ont été effectuées en période de vol pour traiter toutes les colonies le même jour, ce qui permet une mesure relative de la population de chaque colonie. La mortalité des colonies au cours de l'hiver a également été prise en compte.

3.11 Statistique

L'effet de la présence ou absence de phacélie sur les variables mesures de population et mortalité a été analysé par Anova et Post hock Tuckey test entre les groupes P+, P- et T. Lorsque la différence entre P+ et P- était non significative au seuil p=0.05 (test T de Student), les données de P+ et P- ont été regroupées en un groupe. Puis, la différence entre les colonies sur parcelle avec vs sans phacélie a été testée avec un test de T de Welch.

4 Résultats

L'essai de l'année 2012 a souffert de plusieurs faiblesses. Les essaims présentaient des populations moyennes inférieure à 10'000 abeilles en début d'essai, découlant des conditions météorologiques

difficiles, ce qui a passablement limité le développement des colonies. De plus, un problème de pillage juste avant le déplacement dans les parcelles a provoqué la mortalité de nombreuses butineuses dans tous les groupes. Ensuite, il s'est avéré que les abeilles du groupe T ont aussi eu accès et ont butiné sur des phacélies.

Pour ces diverses raisons, l'essai de 2012 doit être pris en considération avec précaution et considéré plutôt comme une étude pilote. Lors de ce premier essai, trois colonies (7, 14 et 22) de la variante T, la colonie 29 de la variante P- et la colonie 8 de la variante P+ n'ont pas survécu à l'hiver. Ces colonies mortes n'ayant pas de charge en varroa particulièrement élevée pouvant justifier leur mortalité, elles ont été gardées dans l'analyse. Seule la colonie 29 a été écartée de l'analyse car l'origine de sa disparition a été clairement établie (colonie pillée).

En 2013, la colonie 11(T) a été écartée de l'analyse car trop faible au début de l'essais (4000 abeilles). La colonie 1 (P+) a été écartée car les chutes journalières de Varroa sont restées inhabituellement élevées bien après le traitement à l'acide formique (entre 30 et 167 varroas/jours de chute naturelle), ce qui n'était pas le cas des autres colonies. La colonie 19 (P+) a été écartée car la chute naturelle de varroa était très élevée en janvier (7.2 varroas/jour) et celle-ci n'a pas survécu l'hiver.

En 2014, les colonies 28 (P+) et 30 (P-) ont été écartées de l'analyse car les chutes naturelles étaient anormalement haute après le traitement à l'acide formique (6 et 21 varroas/jour resp.). Elles ont donc subit un traitement supplémentaire à l'acide formique le 11 septembre et les chutes sont restées hautes au mois d'octobre. Ces deux colonies n'ont pas survécu l'hiver et la mortalité provenait clairement de l'infestation de varroa.

4.1 Pollen

En 2012, la majorité du pollen récolté par les colonies T était du lierre (82.2%), le reste étant de la phacélie (14.3%). Dans le groupe P-, les butineuses ont principalement récolté du pollen de Brassicacée, phacélie et lierre tandis que les butineuses du groupe P+ ont récolté de la phacélie en majorité. Le pourcentage moyen de pollen de phacélie sur l'ensemble du pollen récolté est de 14.3% pour le groupe T, 26% pour le groupe P- et 59.7% pour le groupe P+ (Fig. 9).

En 2013, les abeilles du groupes T ont récolté principalement du pollen de lierre tandis que les abeilles du groupe P- un peu de lierre et de phacélie et celles du groupe P+ presque uniquement du pollen de phacélie. Pour l'ensemble des pollens récoltés durant la période de déplacement sur les sites d'essai, le pourcentage total de pollen de phacélie se monte à 0.02% pour le groupe T, 44.3% pour le groupe P- et 93.4% pour le groupe P+. L'exposition à la phacélie a donc été quasiment nulle pour le groupe T. Les récoltes totale de pollen ne sont pas beaucoup plus élevée dans les groupes test P+ et P- que dans la parcelle témoin T.

En 2014, la récolte de pollen a été très faible toute au long de l'arrière-saison et pour les 3 groupes, probablement en raison des conditions météorologiques défavorables. Seules les abeilles du groupe P+ ont pu récolter un peu de pollen de phacélie durant la période d'essai (51.2% de phacélie sur l'ensemble des pollens récoltés).

4.2 Intensité de vol

Pour les trois années d'essai, l'intensité de vol a été plus ou moins similaire entre les groupes P- et P+. En 2013, la météo défavorable au début du mois d'octobre a poussé les abeilles à ne commencer la récolte qu'autour du 16 octobre. La figure 10 montre qu'elle a duré jusqu'à la fin du mois, avec un important pic d'intensité le 22 octobre, où le butinage du groupe P- a été important. En 2014, les abeilles ont bien butiné

en début d'essai, puis les précipitations abondantes du mois de novembre ont limité le vol des abeilles durant la fin de la période d'essai.

4.3 Poids des ruches

En moyenne au cours des essais 2012, 2013 et 2014, les colonies ont perdu du poids linéairement tout au long de l'essai (0.32 kg en 2012, 2.4 kg en 2013 et 2,2 kg en 2014.). En 2012, Les colonies du groupe P+ ont en moyenne perdu un peu plus de poids que les colonies des autres groupes. En 2013, les colonies du groupe T ont perdu en moyenne plus de poids et celles du groupe P+ en ont perdu le moins. En 2014, c'est exactement l'inverse qui s'est produit (fig. 11 et S1). Les abeilles n'ont donc pas récolté de grande quantité de nectar de phacélie durant la période d'essai, ou l'ont consommé de suite.

4.4 Varroa

Les chutes naturelles de varroa sont restée basses (<5 varroas par jour) à l'exception des colonies éliminées de l'essai et les chutes de traitement étaient dans la norme, avec en moyenne entre 95 et 145 varroas récoltées par colonie suite au traitement à l'acide oxalique comptée sur 2-3 semaines (fig.12).

4.5 Analyse chimique

En 2012, avant la mise en place de la phacélie, des traces de thiaclopride (0.007-0.019 ng/g) ainsi que de clothianidine (0.037-0.337 ng/g) étaient présentes dans le sol de la parcelle P+. De faibles traces de clothianidine ont également été détectées dans le sol de la parcelle P- (0.003 ng/g). Des résidus d'imidaclopride ont été détectés dans le sol des parcelle P+ et P- (0.121-0.356 ng/g). Durant l'essai 2012, les colonies ont été nourries tout au long de l'expérience à cause des conditions météorologiques difficiles. La nourriture présente dans les colonies était alors composée en partie de sirop de nourrissage peu transformé en miel. L'analyse chimique des résidus révèlée la présence de thiaclopride dans les échantillons de nourriture des trois groupes P+, P- et T (0.1-0.27 ng/g). Le sirop de nourrissage a pour cette raison également été analysé mais n'était lui pas contaminé. Par ailleurs, des résidus de clothianidine, imidaclopride et thiaclopride ont été trouvés dans le pollen des échantillons T et P+ (<1ng/g) (tab. 2).

En 2013, des résidus de clothianidine et d'imidaclopride ont été trouvés dans le sol de la parcelle P+ avant l'essai (0.003-0.043 ng/g). Des résidus d'imidaclopride ont également été trouvés dans un échantillon de sol de la parcelle P- (0.019 ng/g). De l'imidaclopride a été détecté dans le pain d'abeille des colonies du groupe P+. De plus, de faibles traces de thiaclopride ont été détectées dans les échantillons de pain d'abeilles de tous les groupes (<0.01 ng/g) (tab. 3).

En 2014, des quantités non négligeables d'imidaclopride ont été détectées dans le sol des parcelles P+ (29.2-53.9 ng/g) et P- (14.8 ng/g). Des résidus de clothianidine ont été détectés dans les plantes d'orge prélevées au stade végétatif dans la parcelle P+ (1.8-5.65 ng/g). Les échantillons de produits de la ruche (pollen de trappe, pain d'abeille, sirop-miel) et d'abeilles analysés par la suite étaient tous exempts de néonicotinoïdes, si l'on excepte de faibles traces (<0.5ng/g) de thiamethoxame dans du pollen récolté sur la parcelle P- (tab. 4).

4.6 Mortalité au trou de vol

La mortalité au trou de vol a été très importante en 2012 en début d'essai en raison de pillage, mais n'a pas été prise en considération car elle n'était à l'évidence due ni au butinage tardif, ni à l'exposition aux pesticides. Dès le problème de pillage résolu, nous avons comparé la mortalité dans les groupes aux différentes dates durant le déplacement (fig. 13 et 14). Le graphique 14 montre qu'il n'y avait pas de

tendance claire visible. Le groupe T a en moyenne un peu moins de mortalité que les deux autres groupes mais les mortalités sont dans les trois groupes à un niveau bas.

La mortalité au trou de vol est similaire en 2013 et en 2014, bien qu'il y ait moins de données récoltées durant l'essai 2014. Avant le déplacement, il n'y avait pas de différence de mortalité entre les groupes. Une fenêtre de 7 jours suivant le déplacement a été laissée de côté pour l'analyse afin d'éviter le biais dû au déplacement des colonies (coloré en bleu sur la figure 13). Au cours de l'essai, les abeilles du groupe T présentaient une mortalité assez faible le long de la période d'essai, tandis que la mortalité était plus élevée dans les groupes P- et P+ ($p<0.05$). Les médianes de ces deux groupes restent cependant inférieures à 20 abeilles mortes par jour.

4.7 Développement des colonies

En ce qui concerne la mortalité hivernale de l'essai 2012, trois colonies (7, 14 et 22) du groupe T et une colonie (8) du groupe P+ n'ont pas survécu à l'hiver. Ces colonies ne présentaient pas d'infestation importante de varroa en début d'hiver et n'ont pas subi de mortalité particulièrement élevée durant l'essai. En moyenne, les populations dans les différents groupes étaient homogènes avant et durant la période test. A la sortie de l'hiver, les colonies du groupe T étaient les plus faibles et celles du groupe P+ les plus fortes (fig. 15). En ce qui concerne le développement du couvain, celui-ci était homogène dans les trois groupes. On observe une tendance à avoir une diminution légèrement moins rapide de la surface de couvain dans le groupe P+ en automne (fig. 16).

A l'automne 2013, les colonies ont démarré avec des populations homogènes. Très vite pourtant, le nombre d'abeilles chute dans les groupes test et celles-ci finissent l'hiver avec des populations significativement plus faibles que les colonies T. Les pertes hivernales ont été calculées à partir du nombre d'abeilles avant l'hiver (pourcentage). Le groupe T a 22.4% de pertes hivernales tandis que les groupes test (P- et P+) accusent respectivement 33.6% et 38.3% de pertes hivernales. En ce qui concerne le couvain, les colonies du groupe T paraissent arrêter de produire du couvain plus tôt que les colonies des deux autres groupes. A la sortie de l'hiver, les colonies de groupe P+ qui sont aussi les plus faibles, présentent beaucoup moins de couvain que celles des autres groupes.

En 2014, les colonies présentent des populations homogènes tout au long de l'essai et également à la sortie de l'hiver. Les colonies du groupe P+ sont un peu plus fortes à la sortie de l'hiver si on les compare aux deux autres groupes, avec seulement 6.5% de pertes hivernales. La surface de couvain ouvert et fermé est restée homogène entre les groupes tout au long de l'essai (Fig. 16).

5 Discussion

En 2013 comme en 2014, les conditions nécessaires pour tester l'effet du butinage tardif étaient présentes. En effet, ces deux années, les abeilles ont butiné sur la phacélie malgré les précipitations automnales (voir résultats d'intensité de vol) et ont récolté du pollen de phacélie. Notons que la récolte de pollen a été très faible pour les colonies P- et T en 2014. Il n'y a pas eu de surplus de nectar de phacélie récolté sur les parcelles test ni en 2013, ni en 2014. Si du nectar a été récolté durant la période de floraison à la phacélie, celui-ci a dû être consommé aussitôt car les ruches ont perdu du poids en moyenne durant l'essai. Le poids moyen des colonies ne diffère pas en moyenne selon le groupe testé (T, P- ou P+). L'hypothèse du

stockage de nectar imparfaitement transformé avant l'hiver, augmentant l'humidité dans la ruche et nuisant aux colonies n'est donc pas mesurable dans cette expérience.

Le seul effet clair du butinage tardif des abeilles que nous avons observé est une mortalité plus forte des colonies P- et P+ au cours de l'essai. Une mortalité plus élevée peut être simplement due à une activité plus élevée de la ruche mais ceci n'a apparemment pas d'effet systématique sur la force des colonies puisque ces colonies ne passent pas moins bien l'hiver que celles du groupe témoin. Les colonies ayant subi une mortalité plus élevée sont aussi celles qui ont subi un déplacement sur les parcelles tandis que celles du groupe T sont restées à la même place. Si l'expérience devait être répétée dans le futur, toutes les ruches devraient être déplacées pour pouvoir exclure ce facteur comme cause de mortalité. Notons aussi que le nombre d'abeilles mortes récoltées au trou de vol ne représente de loin pas la totalité des mortalités de la colonie puisque la mortalité au champ n'est pas prise en compte.
Le développement des colonies est différent d'une année à l'autre ; il n'y a pas de schéma qui se répète. En 2013 ce sont les ruches P+ et P- qui se portent le moins bien à la sortie de l'hiver tandis qu'en 2014, les ruches P+ sont celles qui vont le mieux, mais les différences entre groupes sont faibles. Les ruches du groupe P+ sont également celles qui ont récolté le plus de pollen de phacélie cette année-là. Il n'y a pas de différence visible entre les groupes dans le développement du couvain.

Concernant l'exposition aux néonicotinoïdes, divisons d'abord ces substances en deux classes. Les insecticides néonicotinoïdes de la classe A **(**nitroguanidine neonicotinoid) sont la clothianidine, thiamétoxam et imidaclopride. Ceux-ci s'utilisent principalement en traitement des semences par enrobage et sont hautement toxiques pour les abeilles (DL_{50} de contact entre 24 et 81 ng/abeille). Les insecticides néonicotinoïdes de la classe B (pyridylmethylamine neonicotinoid) sont le thiaclopride et l'acétamipride. Ceux-ci s'utilisent par dispersion et sont moins toxiques pour les abeilles (DL_{50} de contact de 38'820 et 9'269 ng/abeilles respectivement).

Dans notre étude, les sols de trois parcelles contenaient des substances de la classe A en faible quantité en 2012 et 2013, et en forte quantité en 2014. Lors de cette dernière année d'essai, de l'imidaclopride a été retrouvé dans le sol des trois parcelles à des doses correspondant à celles que l'on détecte dans des cultures traitées. La contamination de la terre de la parcelle P- par des néonicotinoïdes de classe A lors des trois campagnes d'essais provient probablement d'une parcelle cultivée de manière conventionnelle située à proximité de la parcelle bio. Le sol de la parcelle bio a donc pu être contaminé par lessivage des sols par exemple.

Des traces de néonicotinoïdes de la classe A se retrouvent par la suite dans les produits de la ruche des groupes P+ et T en 2012 et 2013. Cependant les produits de la ruche dans le groupe P- étaient peu contaminés, mise à part un échantillon de pain d'abeille contenant des faibles traces de thiamétoxam et d'imidaclopride en 2013, et un échantillon de pollen contenant des faibles traces de thiamétoxam en 2014. Remarquons que tous les autres échantillons de produits de la ruche en 2014 étaient apparemment exempts de néonicotinoïdes.

Concernant les substances de classe B, on retrouve des résidus de thiaclopride à doses comparables dans du sirop-miel des 3 groupes de colonies en 2012 et dans du pain d'abeilles des 3 groupes (T, P- et P+), en 2013. La source de cette contamination n'est pas connue mais peut provenir de dérives provenant des parcelles adjacentes ou de butinage d'autres cultures traitées avant le début de l'essai.

Nous n'avons donc malheureusement pas pu disposer d'un groupe d'abeilles qui soit complètement exempt de tout contact avec des néonicotinoïdes. Nous avons un groupe P+ plus fortement exposé aux néonicotinoïdes et un groupe P- moins exposé. Dans ces conditions de contamination, il est difficile de percevoir l'impact des néonicotinoïdes sur les colonies d'abeilles, ce pour plusieurs raisons. Les scientifiques montrent que lors d'une exposition à faible dose sur une longue durée, dit chronique, l'effet des pesticides systémiques, est principalement sub-létal sur les abeilles (Van der Sluijs, *et al.* 2013). En d'autres mots, les abeilles ne meurent pas directement de l'exposition chronique aux néonicotinoïdes, mais leur comportement peut être modifié (Bortolotti *et al.* 2003). De tels effets ne sont pas forcément visibles sur les mesures de populations et de couvain ainsi que de mortalité au trou de vol. Il est en outre connu qu'une exposition chronique à plusieurs pesticides peut avoir un effet renforcé par synergie sur les colonies, effet encore très mal étudié actuellement (Van Lexmond *et al.* 2014). De plus, notons que les causes de déclin des colonies sont multiples et complexes. Il a été prouvé en laboratoire que l'exposition aux néonicotinoïdes perturbe la réponse immunitaire des abeilles (Di Prisco *et al.* 2013) et influence sa susceptibilité à certains agents infectieux tels que le varroa (Alburaki, *et al.* 2015) ou le parasite interne unicellulaire *Nosema ceranae* (Vidau *et al.* 2011 ; Doublet *et al.* 2015). Ajoutons encore que plusieurs autres variables peuvent jouer un rôle dans le développement des colonies, tels que le climat, l'offre en fleur, la diversité pollinique du bol alimentaire, etc. Des études supplémentaires ciblées sont donc nécessaires pour tester l'effet de la rémanence des néonicotinoïdes sur le déclin des colonies. Ces études devraient se baser sur des données de terrain, et non de laboratoire, être conduites sur le long terme, sans renouvellement des cires, et comprendre une parcelle témoin exempte de tous néonicotinoïdes, pour autant que ceci soit encore possible. Cette étude montre en effet la difficulté à disposer de vraies parcelles témoins, exemptes de pesticides étant donné que ceux-ci peuvent se retrouver partout, indépendamment du mode d'exploitation des parcelles.

Un outil statistique puissant serait également nécessaire pour discriminer les interactions subtiles entre les différents facteurs impliqués.

6 Conclusion

En ce qui concerne l'effet du butinage tardif sur les colonies d'abeilles, nous observons une mortalité au trou de vol plus importante chez les abeilles butinant sur culture intercalaire. Cependant cette mortalité ne semble pas influencer négativement le développement des colonies. Nous n'observons pas non plus d'effet bénéfique des cultures intercalaires, ni au niveau de la quantité de pollen récoltée qui ne diffère pas entre les groupes testés, ni au niveau de la force des colonies. En revanche, nous pouvons confirmer que les néonicotinoïdes provenant de cultures antécédentes ou adjacentes se retrouvent dans le sol et sont en partie assimilés par les plantes utilisées en engrais vert. Des résidus de pesticides sont ensuite parfois présent à de faibles teneurs dans le pollen que les abeilles rapportent à la ruche. L'utilisation d'un engrais vert tel que la phacélie augmente donc le risque de contamination de la colonie par des neurotoxiques sans que l'impact sur la colonie soit mesurable dans notre étude.

7 Remerciements

Nos remerciements vont aux financeurs de cette étude : la Fondation sur la Croix, La République et Canton du Jura, Le Canton de Berne, la Confédération Suisse (OFAG), Interreg France-Suisse, La Fondation Rurale Interjurassienne.

Nos remerciements vont également aux apiculteurs, civilistes et stagiaires qui ont prêté main forte pour s'occuper des colonies, contribué à la mise en valeur des données ou participé d'une manière ou d'une autre à l'étude : Maurice Gigon, Nicolas Krischer, Cédric Jacot, Valentin Theubet, Charles Rey, Julian Boschung, Kevin Blake, Charlotte Mertenat, Karim Nicod, Marc Antoine Jacot, Valentin Berger, Georges Gerber et Benoît Droz. Un merci particulier aux trois agriculteurs qui ont bien voulu participer au projet : Bernard Beer, agriculteur biologique à Vendlincourt , Claude André, agriculteur à Beurnevésin et Aurélien & Jean-Philippe Oeuvray agriculteurs à Coeuve, (parcelle témoin). Merci aussi à Verena Kilchenmann pour l'aide en laboratoire. Merci à Jean-Marc Bonmatin du CNRS, qui nous a aidé à interpréter les résultats d'analyse chimiques. Merci également à Jean-Daniel Charrière Agroscope-Liebefeld, pour tout le travail de supervision, appui scientifique et relecture du dossier et Marie Gallot pour son travail d'analyse et de rédaction des différents rapports.

8 Références

Accorti, M., Lutu, F., Tarducci, F. 1991. Methods for collecting data on natural mortality in bee. Ethology. *Ecology and Evolution.* 1: 123-126.

Aebi, S. Analyses des pertes hivernales dans le Jura. *In Prep.*

Alburaki, M., Boutin, S., Mercier, P-L., Loublier, Y., Chagnon, M., Derome, N. 2015. Neonicotinoid-Coated Zea mays Seeds Indirectly Affect Honeybee Performance and Pathogen Susceptibility in Field Trials. *PLoS ONE.* 10(5): e0125790. doi:10.1371/journal.pone.0125790

Bonmatin, JM., Moineau, I., Charvet, R., Colin, M.E., Fléché, C., Bengsch, E.R. 2005. Behaviour of imidacloprid in fields. Toxicity for honey bees. Environmental Chemistry, *Green Chemistry and pollutants in Ecosystems.* XXVI, 483-494.

Bortolotti, L., Montanari, R., Marcelino, J., Medrzycki, P., Maini, S., Porrini, C. 2003. Effects of sub-lethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees. *Bulletin of Insectology.* 56 (1): 63-67.

Charrière, J.D., Neumann, P. (2010) Surveys to estimate winter losses in Switzerland. *J. Apic. Res.* 49, 132-133.

Dainat, B et al., (2012) Dead or Alive: Deformed Wing Virus and Varroa destructor Reduce the Life Span of Winter Honeybees, *Applied and Environmental Microbiology*, 78 (4), 981-987.

Doublet, V., Labarussias, M., de Miranda, J. R., Moritz, R. F. A. and Paxton, R. J. 2015. Bees under stress: sublethal doses of a neonicotinoid pesticide and pathogens interact to elevate honey bee mortality across the life cycle. *Environmental Microbiology.* 17: 969–983. doi: 10.1111/1462-2920.12426

Genersch, E., von der Ohe, W., Kaatz, H., Schroeder, A., Otten, C., Büchler, R., Berg, S., Ritter, W., Mühlen, W., *et al.* 2010. The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie* 41, 332–352.

Horn H. (2009) Die wichtigsten Trachtpflanzen und ihre Sortenhonige. Teil 11: Phacelia (Phacelia tanacetifolia). *ADIZ.* 43, 7-9.

Imdorf A., Bühlmann G., Gerig L., Kilchenmann V. & Wille H. 1987. Überprüfung der Schätzmethode zur Ermittlung der Brutfläche und der Anzahl Arbeiterinnen in freifliegenden Bienenvölkern. *Apidologie.* 18 (2), 137-146.

Matsuda, K., Buckingham, SD., Kleier, D., Rauh, JJ., Grauso, M., Sattelle, D.B. 2001 Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. *Trends Pharmacol Sci.* 22:573–580.

Petanidou, T. 2003. Introducing plants for bee-keeping at any cost? Assessment of Phacelia tanacetifolia as nectar source plant under xeric Mediterranean conditions. *Plant Systematics and Evolution.* 238(1/4): 155-168.

Petkoff V. 1958 An investigation of the nectareousness of the melliferous plants: Sainfoin (Sanum foenum); Phacelia; Borage; Buckwheat (Fagopyrum esculentum). *Scientific Works.* 1, 211-246.

di Prisco, G., Cavaliere, V., Annoscia, D., Varricchio, P., Caprio, E., Nazzi, F., Gargiulo, G., Pennacchio, F. 2013. Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 110 (46): 18466–18471.

Steffan-Dewenter I.S., Tscharntke T. 1996. Profitieren Wildbienen oder Honigbienen von der Flächenstillegung in der Landwirtschaft? *Sonderdruck aus Natur und Landschaft.* 71, 255-261.

Van der Sluijs, J.P., Simon-Delso, N., Goulson, D., Maxim, L., Bonmatin, J.M and Belzunces, L. 2013. Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services§. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 5:293–305.

Vanengelsdorp D., Hayes J., Underwood R.M., Pettis J.S. 2010. A survey of honey bee colony losses in the United States, fall 2008 to spring 2009. *J. Apic. Res*. 49, 7-14.

Van Lexmond, M. B., Bonmatin, J.M., Goulson, D., Noome, D.A. 2014. Worldwide integrated assessment on systemic pesticides - Global collapse of the entomofauna: exploring the role of systemic insecticides. *Environ Sci Pollut Res*. 22(1):1-4

Vidau, C., Diogon, M., Aufauvre, J., Fontbonne, R., Viguès, B., Brunet, J-L., *et al*. 2011 Exposure to Sublethal Doses of Fipronil and Thiacloprid Highly Increases Mortality of Honeybees Previously Infected by Nosema ceranae. *PLoS ONE.* 6(6): e21550. doi:10.1371/journal.pone.0021550

Williams I.H., Christian D.G. (1991) Observations on Phacelia Tanacetifolia Bentham (Hydrophyllaceae) as a food plant for honey bees and bumble bees. *J. Apic. Res*. 30, 3-12.

9 Tableaux & Figures

Tableau 1 : Dates de déplacement des colonies sur les parcelles test durant les trois années d'essai.

Année de l'essai	Période de déplacement des groupes P+ et P- sur les parcelles test
2012	2 oct. - 8 nov.
2013	3 oct. - 11 nov.
2014	7 oct. - 20 nov.

Tableau 2 Tableau récapitulatif des analyses chimiques faites pour l'essai 2012. En plus des substances mentionnées dans le tableau, la présence de 5-hydroxy-imidaclopride, acide-6-chloronicotinique, oléfine, bifenthrine, cypermethrine, deltamethrine, lambda-cyhalothrine a été testée dans le miel et le pain d'abeille mais aucune de ces molécules n'a été détectée. (- : non détecté). LOD = Limit Of Detection, LOQ = Limit Of Quantification.

Essai 2012								
Matrice	Date de prélèvement	Parcelle	Num. échant.	Clothianidine (ng/g)	Thiamethoxame (ng/g)	Imidaclopride (ng/g)	Thiaclopride (ng/g)	Acetamipride (ng/g)
orge d'automne	26.06.2012	P-	A33	-	-	< 1	-	-
		P+ traité	A35	-	-	< 1	-	-
		P+ non-traité	A36	-	-	-	-	-
sol	23.07.2012	P-	A39	**0.003**	-	**0.121**	-	-
		P+ traité	A40	**0.337**	-	**0.356**	< 0.002	-
		P+ non-traité	A41	**0.037**	-	**0.118**	**0.019**	-
phacélie	05.10.2012	P-	A42	-	-	< 1	< 1	-
		P+	A45	-	-	-	-	-
	25.10.2012	P-	A44	-	-	-	-	-
		P+	A47	-	-	-	-	-
	09.11.2012	P-	A43	< 1	-	-	-	-
		P+	A46	< 1	-	-	-	-
pollen	11.10.2012	T	A14	-	-	<1	-	-
		P-	A13	-	-	-	-	-
		P+	A15	-	-	-	-	-
	19.10.2012	T	A17	< 1	-	< 1	< 1	-
		P-	A16	-	-	-	-	-
		P+	A18	< 1	-	-	-	-
	25.10.2012	T	A20	< 1	-	-	< 1	-
		P-	A19	-	-	-	-	-
		P+	A21	< 1	-	-	-	-
pollen phacélie	19.10.2012	P+	A31	< 1	-	< 1	-	-
	25.10.2012	P+	A32	< 1	-	< 1	< 1	-
pain d'abeille	25.09.2012	T	A1	-	-	-	-	-
		P-	A3	-	-	-	-	-
		P+	A2	-	-	-	-	-
	17.12.2012	T	A4	-	-	-	-	-
		P-	A6	-	-	-	-	-
		P+	A5	-	-	-	-	-
sirop-miel	25.09.2012	T	A9	-	-	-	**0.14**	-
		P-	A8	-	-	-	**0.10**	-
		P+	A7	-	-	-	**0.27**	-
	17.12.2012	T	A12	-	-	-	< 0.1	-
		P-	A11	-	-	-	< 0.1	-
		P+	A10	-	-	-	**0.13**	-
sirop	08.03.2013		S 213	-	-	-	-	-
abeilles	11.10.2012	T	A63	-	-	-	-	-
		P-	A57	-	-	-	-	-
		P+	A60	-	-	-	-	-
	19.10.2012	T	A64	-	-	-	-	-
		P-	A58	-	-	-	-	-
		P+	A62	-	-	-	-	-
	21.11.2012	T	A65	-	-	-	-	-
		P-	A59	-	-	-	-	-

		P+	A61	-	-	-	-	-
Seuil detection sol		LOD ¦ LOQ		0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002
Seuil detection plantes		LOD ¦ LOQ		0.06 ¦ 1	0.03 ¦ 1	0.01 ¦ 1	0.07¦ 1	0.03 ¦ 1
Seuil detection pollen		LOD ¦ LOQ		0.03 ¦ 1	0.01 ¦ 1	0.2 ¦ 1	0.01 ¦ 1	0.05 ¦ 1
Seuil detection pain d'abeille et sirop		LOD ¦ LOQ		0.08 ¦ 0.16	0.02 ¦ 0.05	0.04 ¦ 0.2	0.02 ¦ 0.1	0.01 ¦ 0.07
Seuil detection abeilles		LOD ¦ LOQ		0.07 ¦ 0.5	0.03 ¦ 0.5	0.1 ¦ 0.5	0.07 ¦ 0.5	0.03 ¦ 0.5

Tableau 3 Tableau récapitulatif des analyses chimiques faites pour l'essai 2013. En plus des substances mentionnées dans le tableau, la présence de 5-hydroxy-imidaclopride, acide-6-chloronicotinique, oléfine, bifenthrine, cypermethrine, deltamethrine, lambda-cyhalothrine a été testée dans le miel et le pain d'abeille mais aucune de ces molécules n'a été détectée. (- : non détecté). LOD = Limit Of Detection, LOQ = Limit Of Quantification (ng/g).

Essai 2013								
Matrice	Date de prélèvement	Parcelle	Num. échant.	Clothianidine (ng/g)	Thiamethoxame (ng/g)	Imidaclopride (ng/g)	Thiaclopride (ng/g)	Acetamipride (ng/g)
orge stade végétatif	21.11.2012	P-	A34	< 1	-	-	-	-
		P+	A37	< 1	-	-	< 1	-
		P+	A38	20	-	-	< 1	-
orge d'automne	12.07.2013	P-	A333	-	-	-	-	-
	15.07.2013	P+ traité	A355	-	-	-	-	-
		P+ non-traité	A366	-	-	-	-	-
sol	09.08.2013	P-	A399	-	-	**0.019**	-	-
		P+ traité	A400	**0.043**	-	**0.008**	-	-
		P+ non-traité	A411	**0.003**	-	**0.009**	-	-
phacélie	18.10.2013	P-	A422-1	-	-	-	-	-
		P+	A455-1	-	-	-	-	-
	07.11.2013	P-	A444-1	-	-	-	-	-
		P+	A477-1	-	-	-	-	-
pollen	11.10.2013	T	A144	-	-	-	-	-
		P-	A133	-	-	-	-	-
		P+	A155	-	-	-	-	-
	22.10.2013	T	A177	-	-	-	-	-
		P-	A166	-	-	-	-	-
		P+	A188	-	-	-	-	-
	30.10.2013	T	A200	-	-	-	-	-
		P-	A199	-	-	-	-	-
		P+	A211	-	-	-	-	-
pain d'abeille	24.09.2013	T	B1	-	-	-	< 0.1	-
		P-	B2	-	-	-	< 0.1	-
		P+	B3	-	-	-	< 0.1	-
	12.12.2013	T	B4	-	-	-	< 0.1	-
		P-	B5	-	< 0.05	< 0.2	-	-
		P+	B6	-	-	**9.8**	-	-
miel	24.09.2013	T	B9	-	-	-	-	-
		P-	B7	-	-	-	-	-
		P+	B8	-	-	-	-	-
	12.12.2013	T	B12	-	-	-	-	-
		P-	B10	-	-	-	-	-
		P+	B11	-	-	-	-	-
abeilles	11.10.2013	T	A633-1	-	-	-	-	-
		P-	A577-1	-	-	-	-	-
		P+	A600-1	-	-	-	-	-
	22.10.2013	T	A644-1	-	-	-	-	-
		P-	A588-1	-	-	-	-	-
		P+	A622-1	-	-	-	-	-
	04.11.2013	T	A655-1	-	-	-	-	-
		P-	A599-1	-	-	-	-	-
		P+	A611-1	-	-	-	-	-
Seuil detection sol			LOD ¦ LOQ	0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002	0.0007 ¦ 0.002
Seuil detection plantes			LOD ¦ LOQ	0.06 ¦ 1	0.03 ¦ 1	0.01 ¦ 1	0.07¦ 1	0.03 ¦ 1
Seuil detection pollen			LOD ¦ LOQ	0.03 ¦ 1	0.01 ¦ 1	0.2 ¦ 1	0.01¦ 1	0.05 ¦ 1
Seuil detection pain d'abeille			LOD ¦ LOQ	0.08 ¦ 0.16	0.02 ¦ 0.05	0.04 ¦ 0.2	0.02 ¦ 0.1	0.01 ¦ 0.07
Seuil detection miel			LOD	2	2	2	2	2
Seuil detection abeilles			LOD ¦ LOQ	0.07 ¦ 0.5	0.03 ¦ 0.5	0.1 ¦ 0.5	0.07 ¦ 0.5	0.03 ¦ 0.5

Tableau 4 Tableau récapitulatif des analyses chimiques faites pour l'essai 2014. En plus des substances mentionnées dans le tableau, la présence de 5-hydroxy-imidaclopride, acide-6-chloronicotinique, oléfine, bifenthrine, cypermethrine, deltamethrine, lambda-cyhalothrine a été testée dans le miel et le pain d'abeille mais aucune de ces molécules n'a été détectée. (- : non détecté). LOD = Limit Of Detection, LOQ = Limit Of Quantification (ng/g).

Essai 2014								
Matrice	Date de prélèvement	Parcelle	Num.échantillon	Clothianidine (ng/g)	Thiamethoxame (ng/g)	Imidaclopride (ng/g)	Thiaclopride (ng/g)	Acetamipride (ng/g)
orge au stade végétatif	14.11.2013	P+ non-traité	A377	**1.8**	-	-	-	-
		P+ traité	A388	**5.65**	-	-	-	-
triticale	25.06.2014	P-	A3333	-	-	-	-	-
orge d'automne	25.06.2014	P+	A3666	< 0.5	-	-	-	-
		P+	A3555	< 0.5	-	-	-	-
sol	06.08.2014	P-	A3999	-	-	**14.8**	-	-
		P+ traité	A4000	**15.2**	-	**53.9**	-	-
		P+ non-traité	A4111	**2.38**	-	**29.2**	-	-
phacélie	27.11.2014	P-	A4222	-	-	-	-	-
		P+	A4555	-	-	-	-	-
pollen	07.10.2014	T	A1444	-	-	-	-	-
		P-	A1333	-	< 0.5	-	-	-
		P+	A1555	-	< 0.5	-	-	-
	03.11.2014	T	A1777	-	-	-	-	-
		P-	A1666	-	-	-	-	-
		P+	A1888	-	-	-	-	-
pain d'abeille	26.09.2014	T	C7	-	-	-	-	-
		P-	C8	-	-	-	-	-
		P+	C9	-	-	-	-	-
	12.12.2014	T	C10	-	-	-	-	-
		P-	C11	-	-	-	-	-
		P+	C12	-	-	-	-	-
miel	26.09.2014	T	C13	-	-	-	-	-
		P-	C14	-	-	-	-	-
		P+	C15	-	-	-	-	-
	12.12.2014	T	C16	-	-	-	-	-
		P-	C17	-	-	-	-	-
		P+	C18	-	-	-	-	-
abeilles	20.11.2014	T-	A6333	-	-	-	-	-
		P-	A5777	-	-	-	-	-
		P+	A6000	-	-	-	-	-
Seuil detection sol			LOD ¦ LOQ	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5
Seuil detection orge immature			LOD ¦ LOQ	0.06 ¦ 1	0.03 ¦ 1	0.01 ¦ 1	0.07¦ 1	0.03 ¦ 1
Seuil detection plantes			LOD ¦ LOQ	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5
Seuil detection pollen			LOD ¦ LOQ	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5
Seuil detection pain d'abeille			LOD ¦ LOQ	0.08 ¦ 0.16	0.02 ¦ 0.05	0.04 ¦ 0.2	0.02 ¦ 0.1	0.01 ¦ 0.07
Seuil detection miel			LOD	2	2	2	2	2
Seuil detection abeilles			LOD ¦ LOQ	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5	0.2¦ 0.5	0.2 ¦ 0.5

Figure 1 Pertes hivernales dans le Canton du Jura (Suisse) entre 2009 et 2015. Le nombre de participants à l'enquête est indiqué à la base de chaque histogramme. L'étude concerne les pertes hivernales de colonies d'abeilles en Ajoie, Clos du Doubs, Delémont et environs, Franches-Montagnes et partie francophone du Canton de Berne.

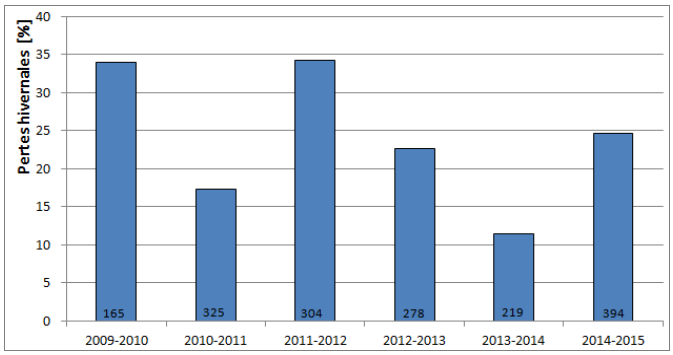
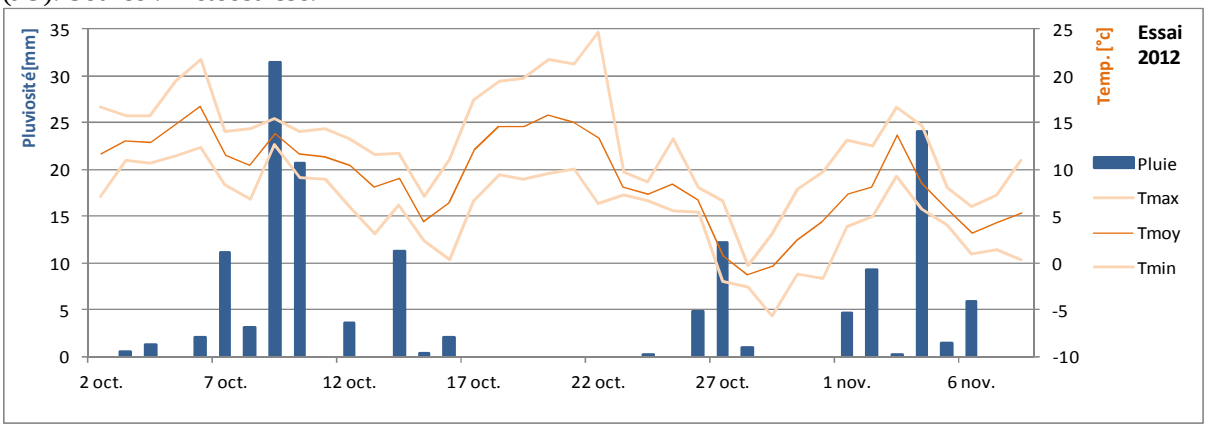
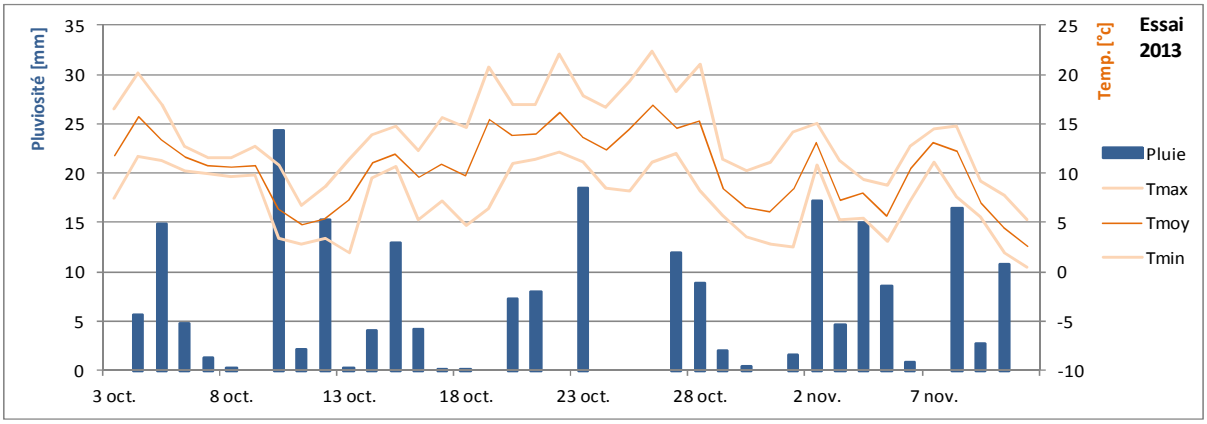


Figure 2 Courbe de température (minimum, maximum et moyenne, axe de droite). Pluviosité (axe de gauche) durant la période d'essai 2012, 2013 et 2014 (de haut en bas). Station météorologique de Fahy (JU). Source : Meteosuisse.





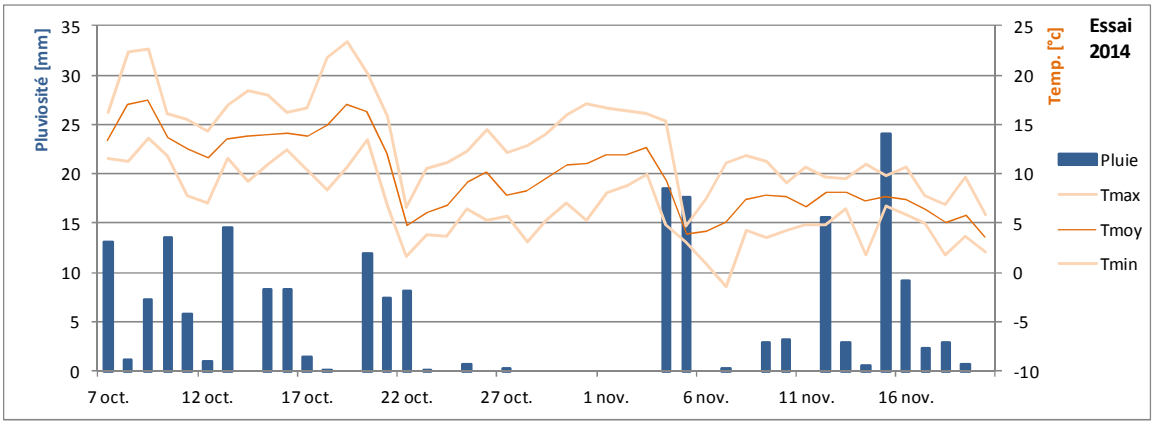
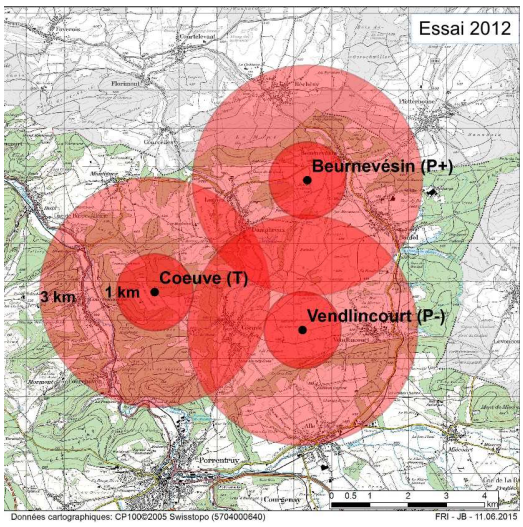
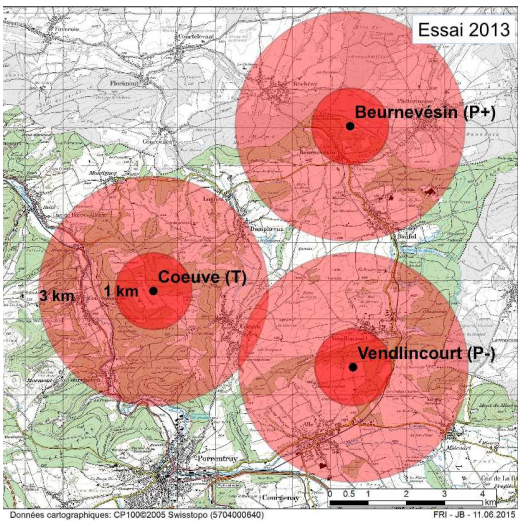


Figure 3 Cartes des emplacements des colonies en 2012, 2013 et 2014. Les zones colorées en rouge représentent les zones de vol à partir du rucher, à un rayon de 1km et 3km.





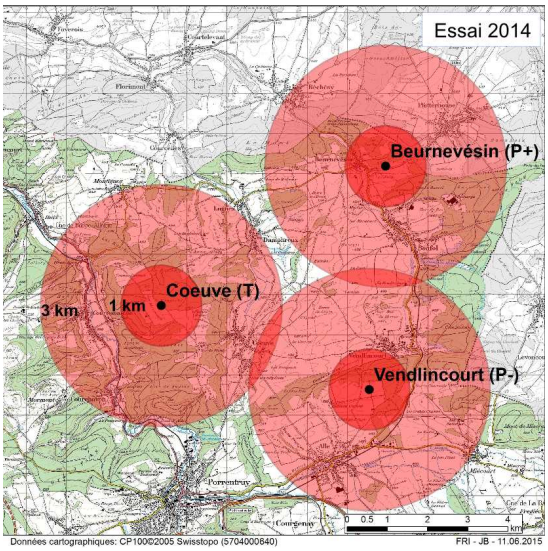


Figure 4 Résumé des différentes interventions, prélèvements et mesures prises au cours de l'essai 2013. La partie du haut montre le déroulement de l'essai 2013. Un zoom sur la période de déplacement des colonies est représenté dans la partie du bas.

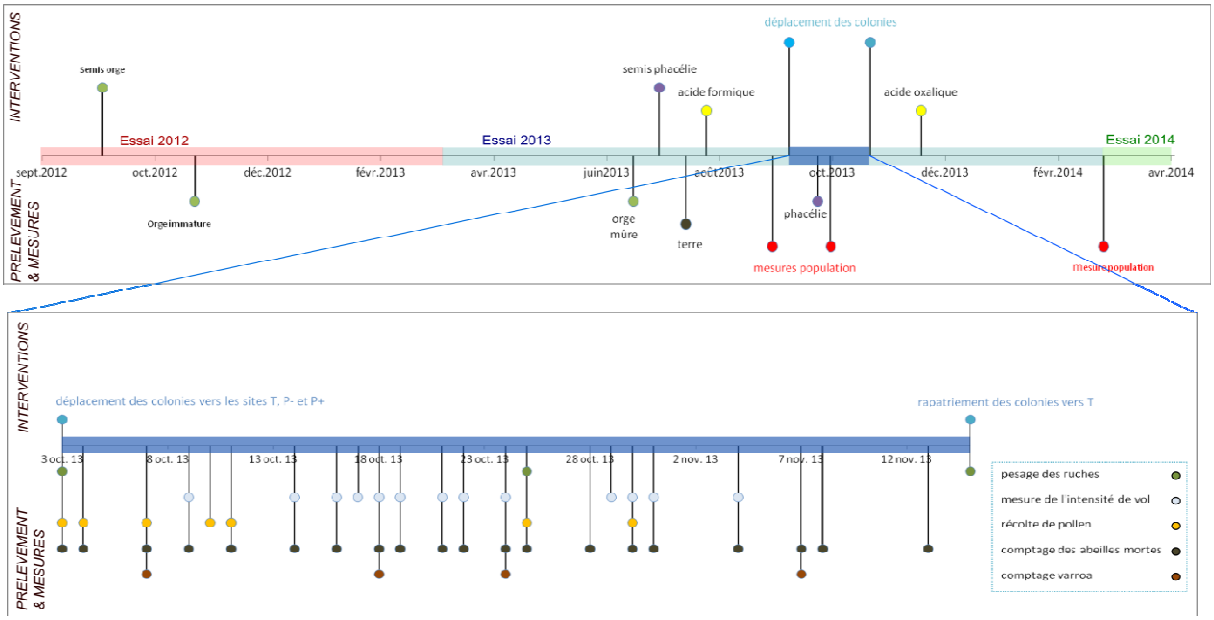


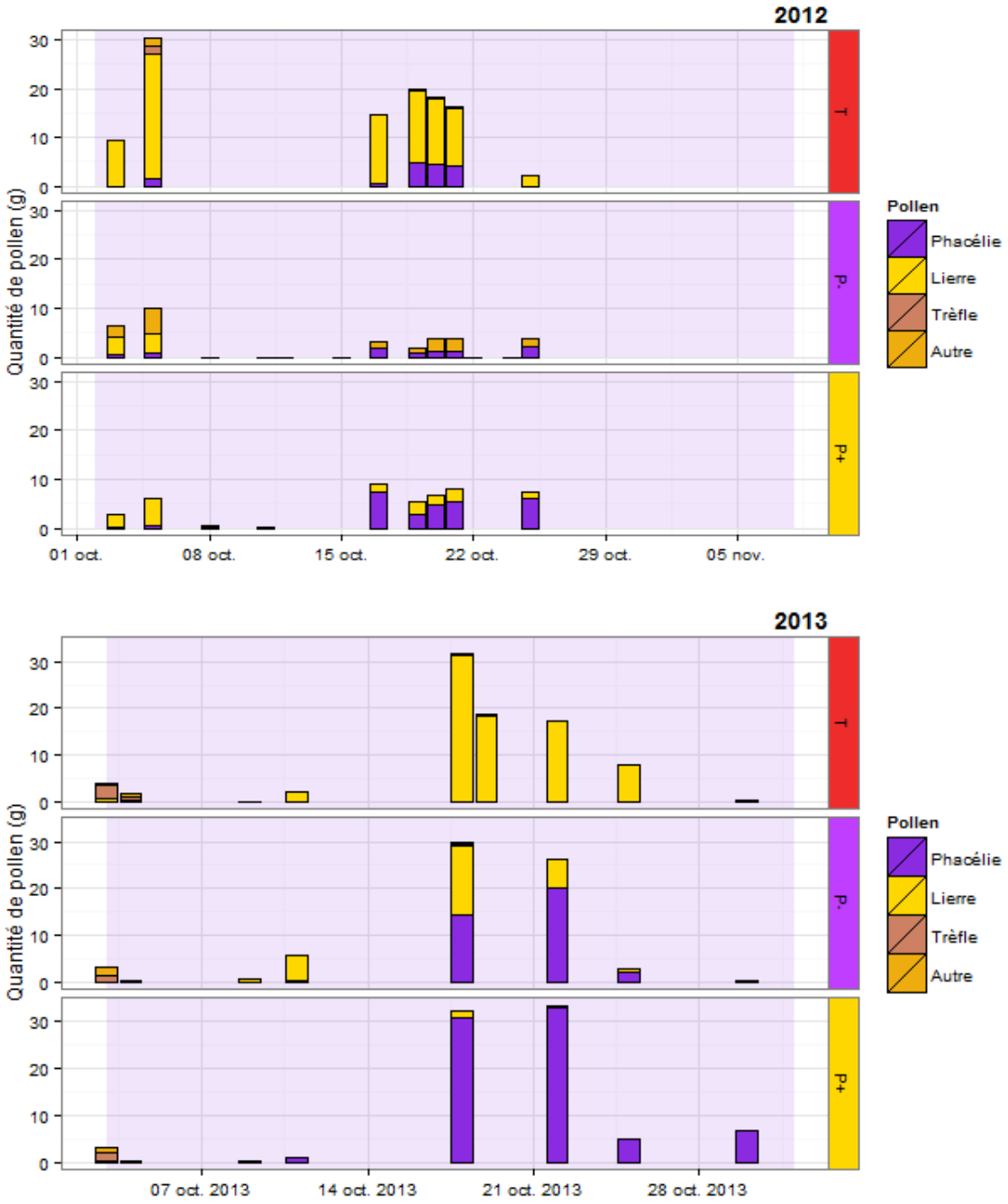
Figure 5 Trois ruches par groupe étaient équipées de trappes à pollen. Les butineuses, obligées de rentrer à travers la grille, sont délestées du pollen accroché à leur pattes arrières. Il est ensuite recueilli dans le tiroir situé sous la grille.

Figure 6 Cadre de 1 m^2 permettant d'évaluer l'intensité de vol durant l'essai. Cinq périmètres sont déterminés par parcelle.

Figure 7 Trois ruches étaient équipées de balance Capaz tout au long de l'essai afin de mesurer leur poids.

Figure 8 **Les trappes à abeilles mortes sont disposées devant chaque ruche et recueillent les abeilles mortes.**

Figure 9 Quantité moyenne de pollen récolté (g) par colonie dans les trappes pour les groupes T, P- et P+ durant l'essai 2012, 2013 et 2014 (de haut en bas). En violet, le pollen de phacélie. La période d'essai est ombrée en violet clair.



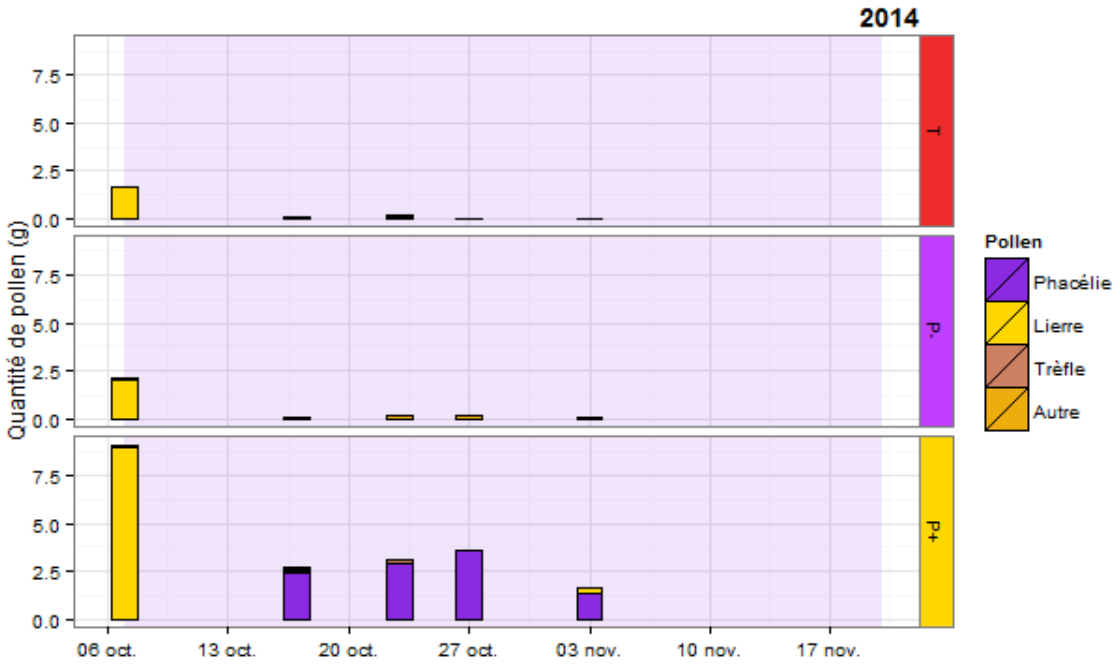
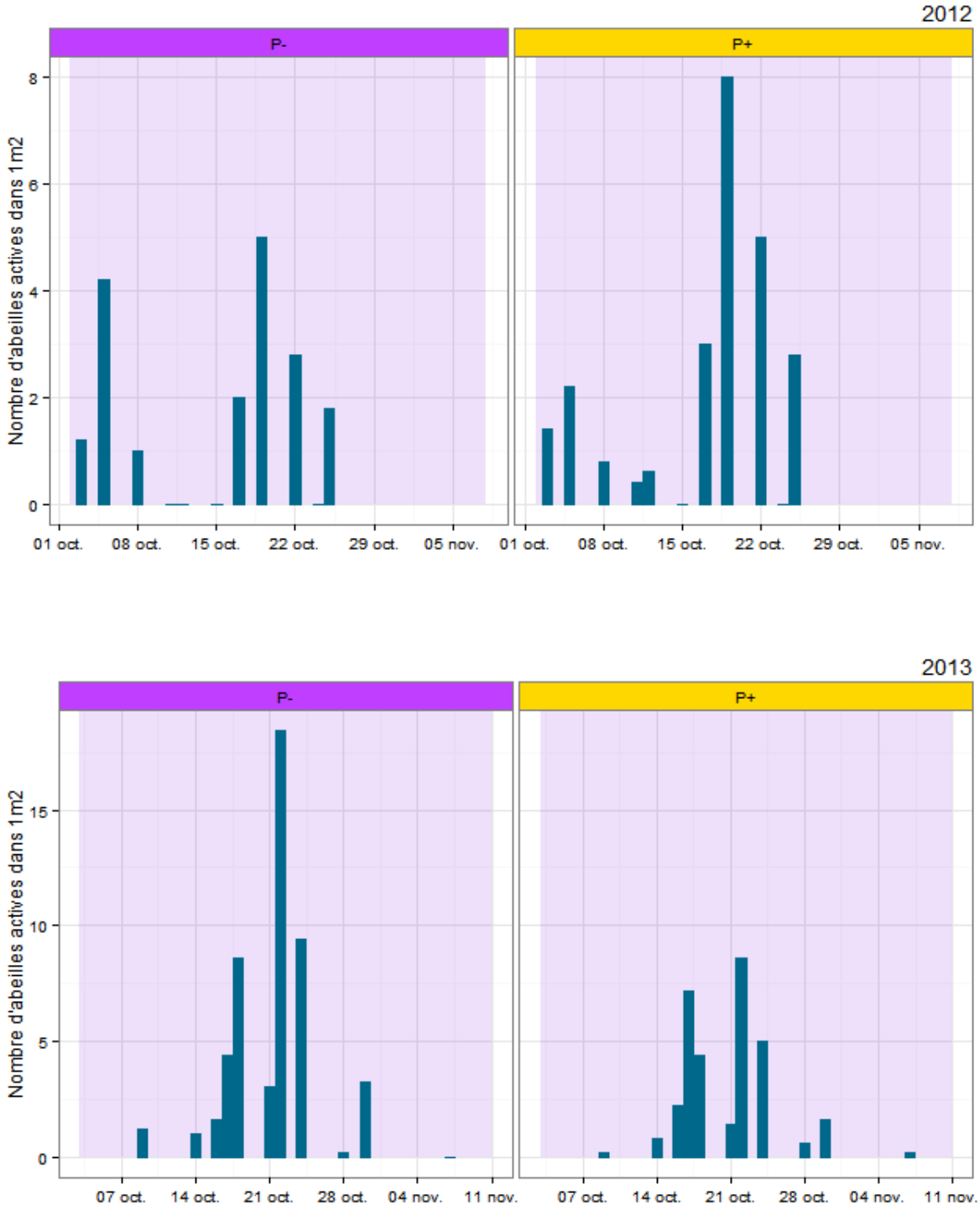

2014
Quantité de pollen (g)
7.5
5.0
2.5
0.0
T
P-
P+
06 oct.
13 oct.
20 oct.
27 oct.
03 nov.
10 nov.
17 nov.
Pollen
Phacélie
Lierre
Trèfle
Autre

Figure 10 Intensité de vol mesurée en nombre d'abeilles actives dans les périmètres d'étude (Moyenne sur les 5m^2) durant l'essai 2012, 2013 et 2014 (de haut en bas). Noter la différence d'échelle de l'axe des abscisses (nombre d'abeilles actives dans le carré d'étude) entre les graphiques. La période d'essai est ombrée en violet clair.



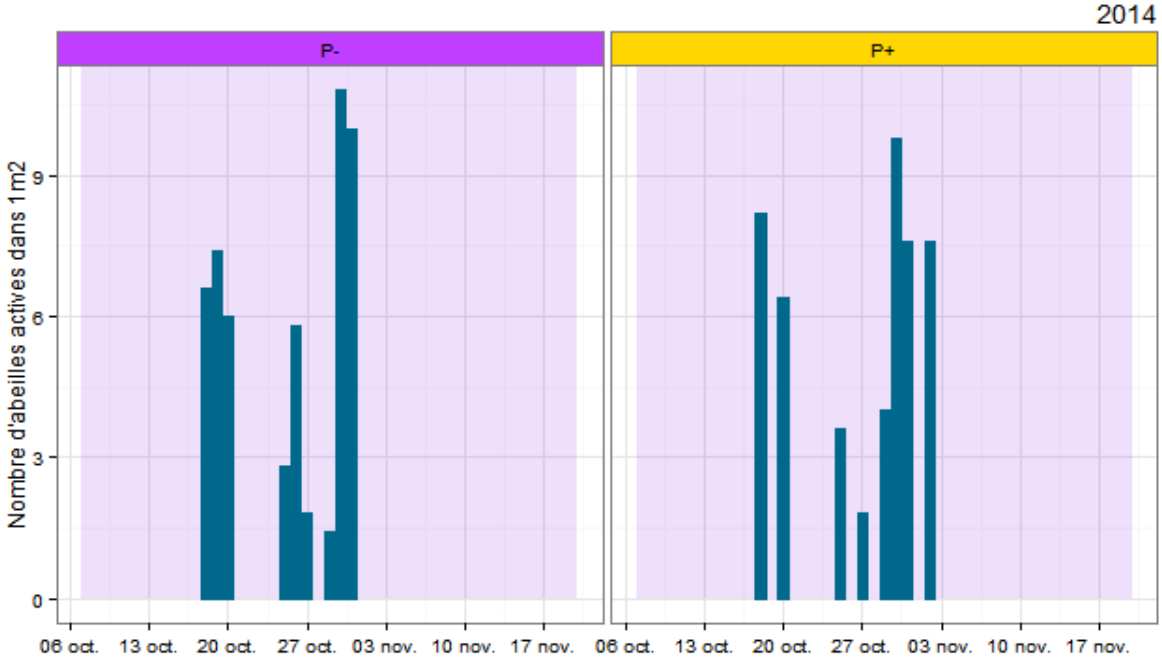


Figure 11 Variation du poids des ruches durant l'essai 2012 (entre le 22 oct. et le 8 nov.), 2013 (entre le 25 oct. et le 15 nov.) et 2014 (7 oct. au 20 nov.), de droite à gauche. La boîte (boxplot) contient 50% de l'ensemble des observations : 25% au-dessus de la médiane et 25% au-dessous. En moyenne durant cette période, les ruches des différents groupes ont perdu 2.4 kg en 2013 et 2,2 kg en 2014.

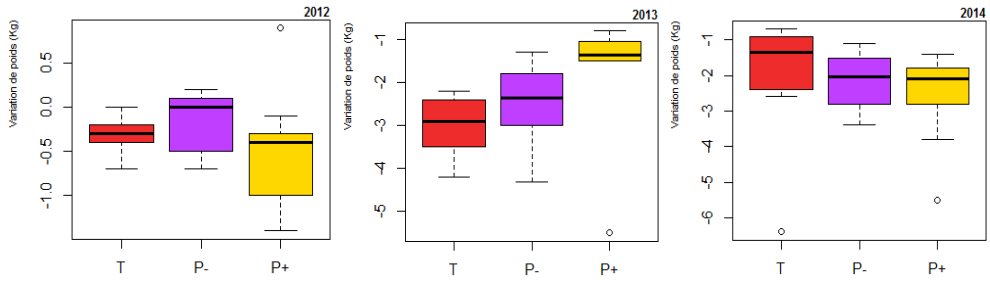


Figure 12 Chute journalière de varroa durant les essais 2013 et 2014. Le traitement à l'acide oxalique est indiqué par une flèche et la moyenne par groupe du nombre total de Varroa morts après ce traitement est indiqué à l'emplacement correspondant. En 2012 il n'y a eu que 2 comptages varroas, ceux-ci ne sont donc pas représentés ci-dessus. La période d'essai est ombrée en violet clair.

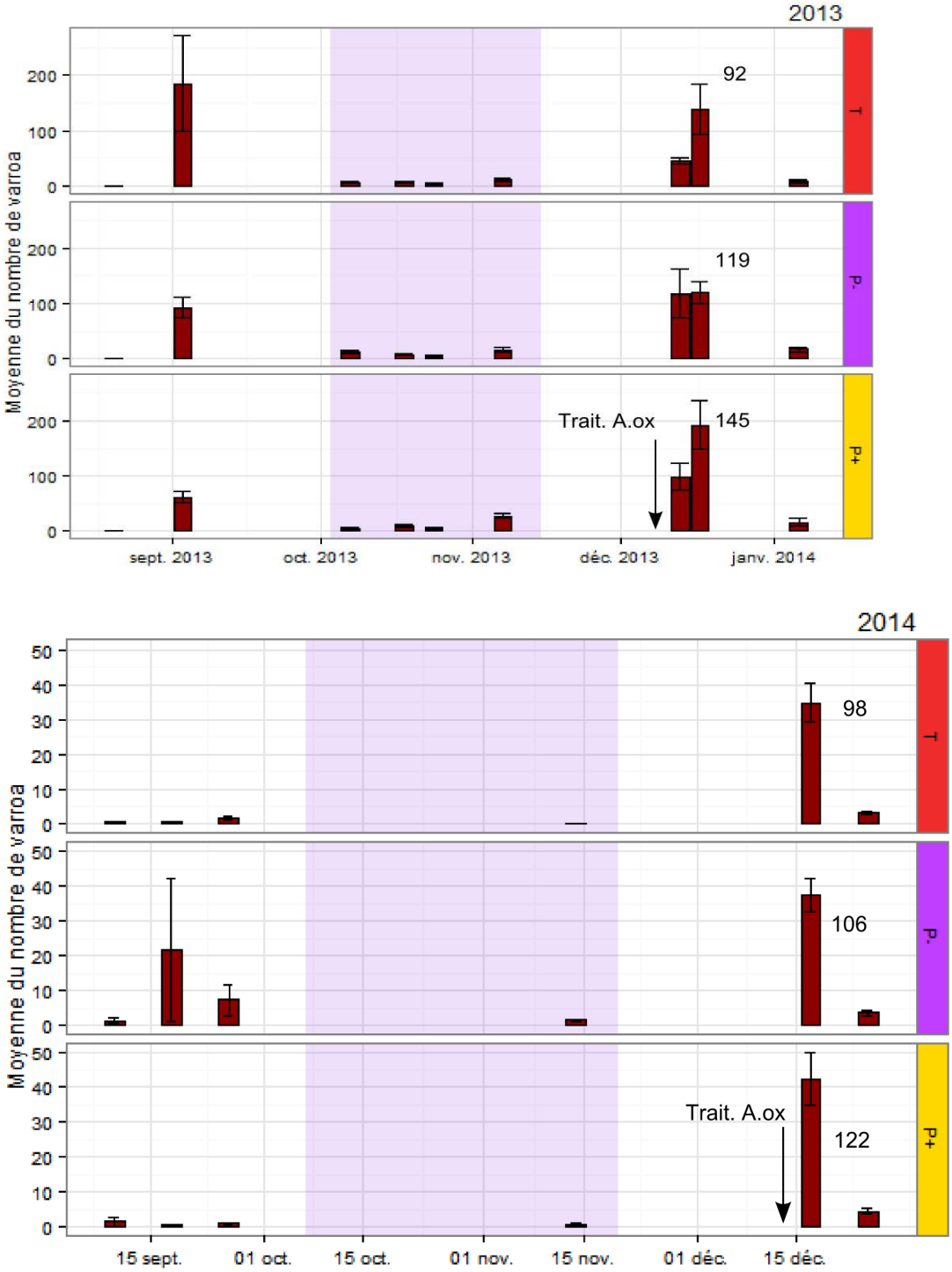
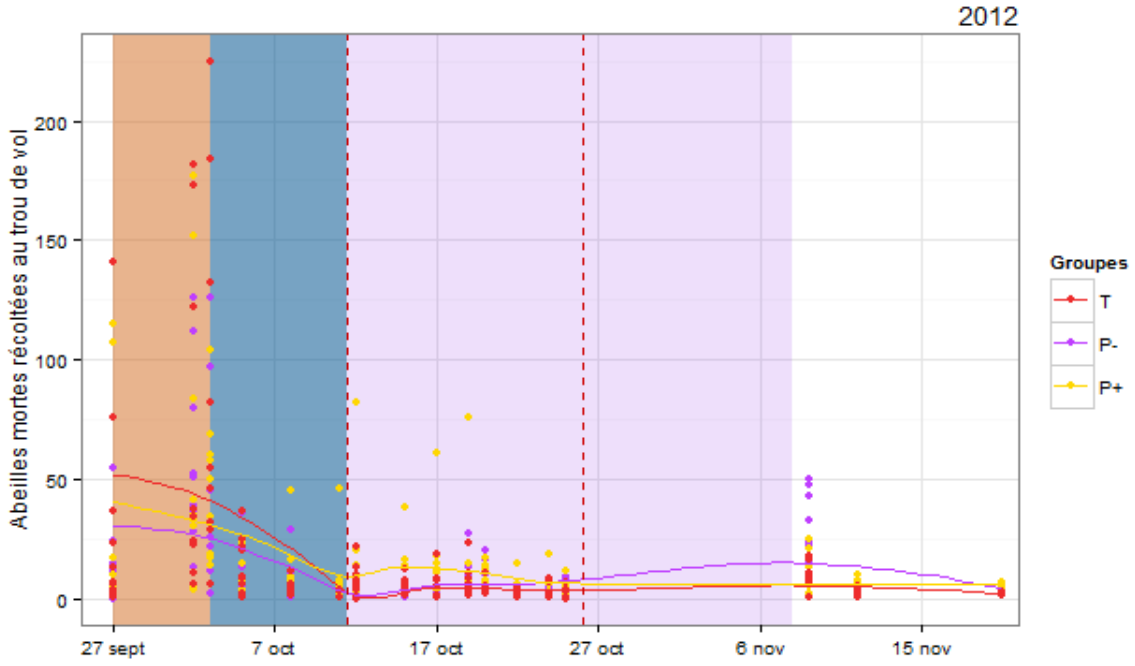
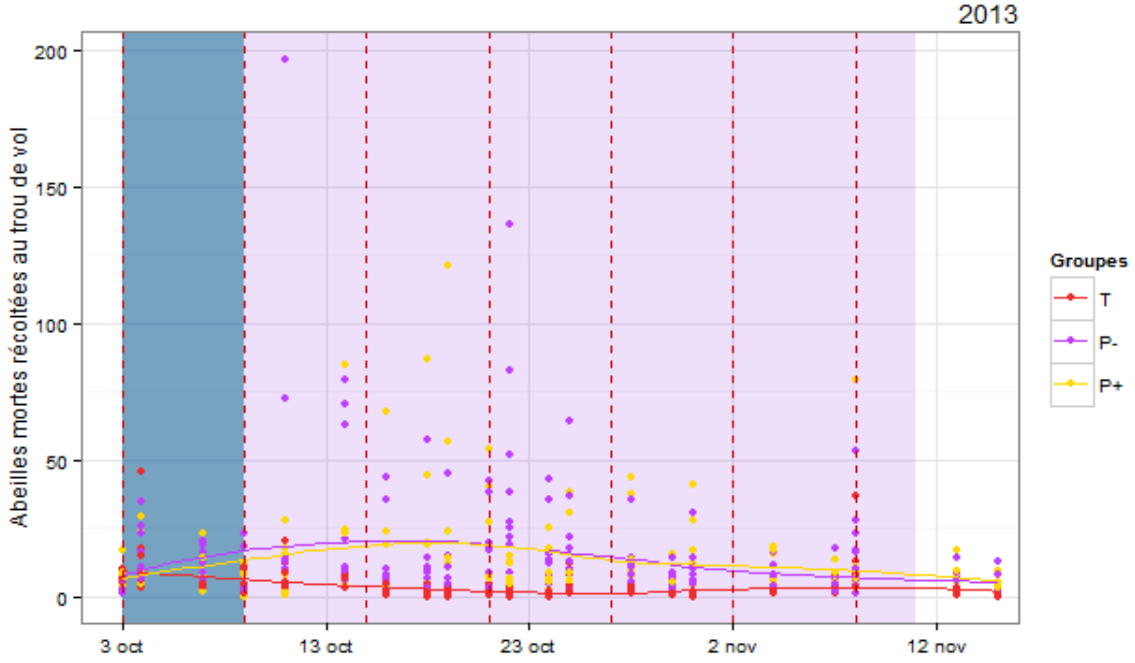
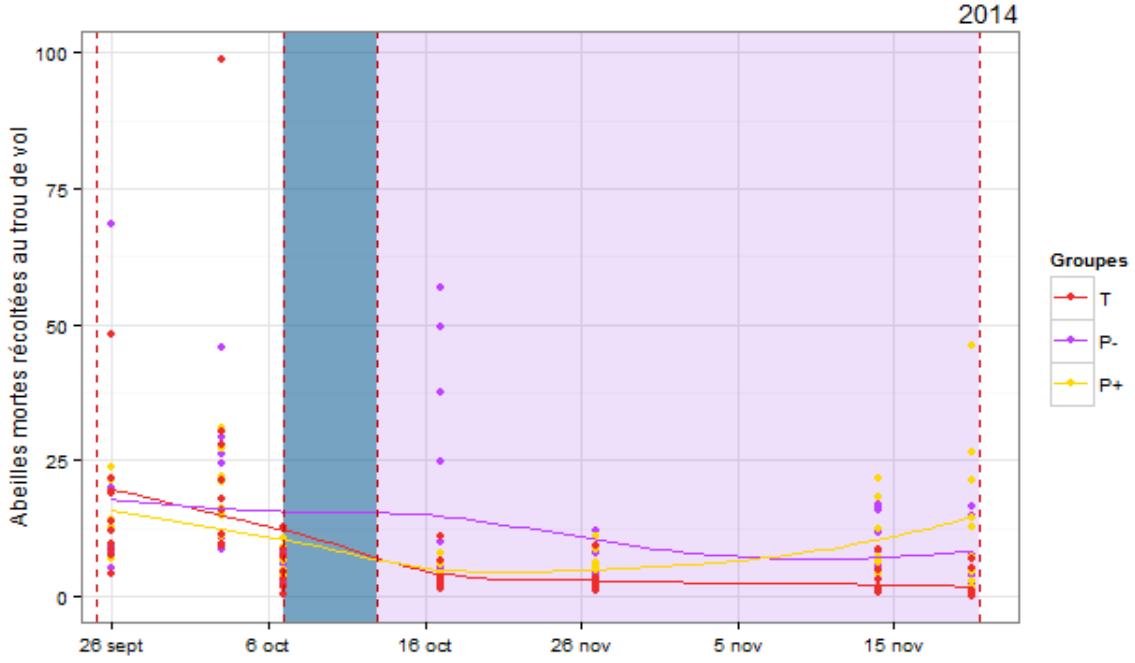


Figure 13 Mortalité au trou de vol. La partie ombrée de brun indique la période de 2012 qui n'a pas été considérée dans l'analyse à cause d'un problème de pillage. La partie ombrée de bleu indique la période post-déplacement, non considérée dans l'analyse. La partie ombrée de violet clair indique la période de déplacement utilisée pour la mise en valeur des données. Chaque point indique une mesure de mortalité au trou de vol. La courbe moyenne par groupe se base sur une régression polynomiale localisée. Les données contenues entre les lignes traitillées sont représentées dans la figure 14 (mis à part la partie ombrée de bleu).

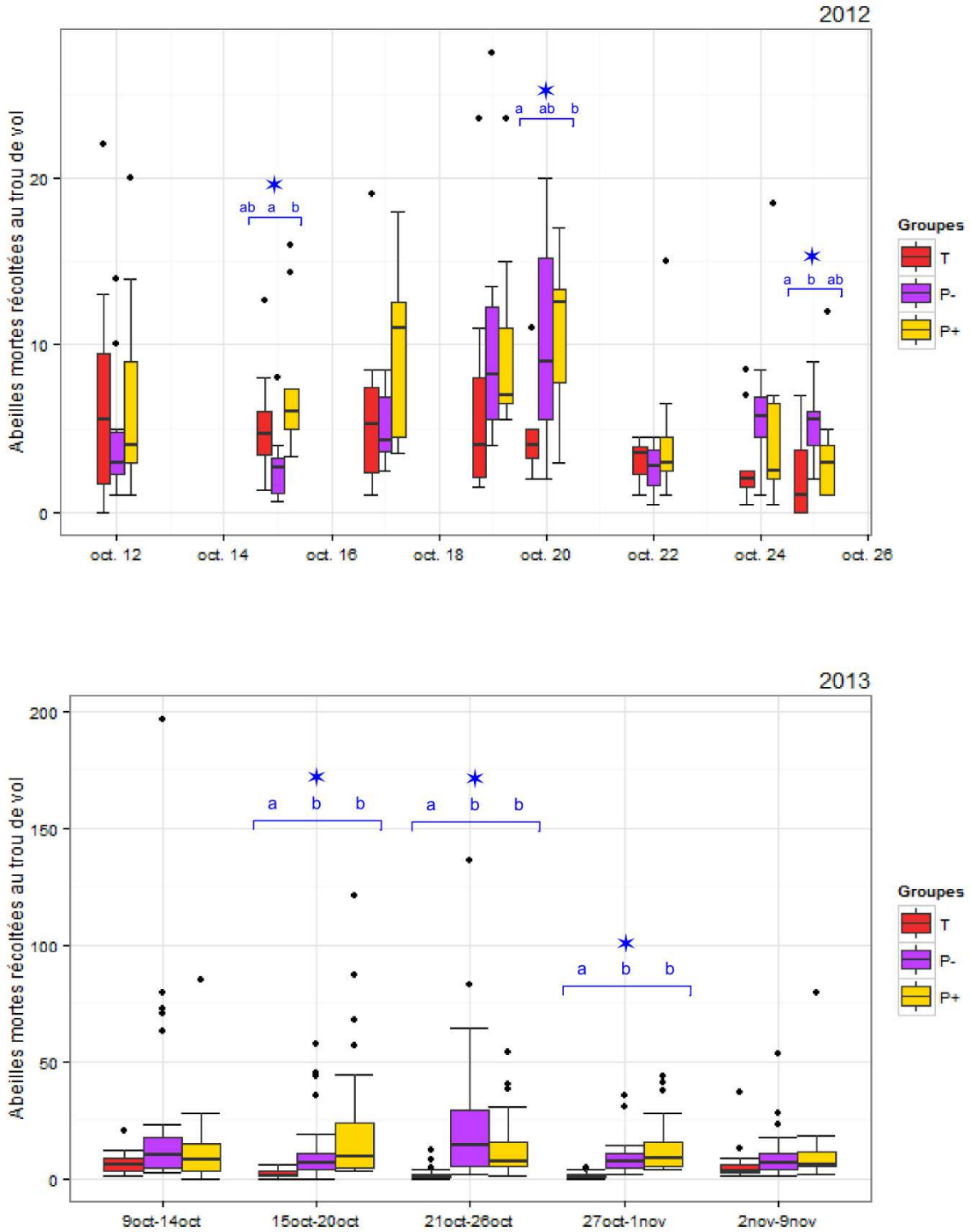



2013
Abeilles mortes récoltées au trou de vol
200
150
100
50
0
3 oct
13 oct
23 oct
2 nov
12 nov
Groupes
T
P-
P+


2014
Abeilles mortes récoltées au trou de vol
100
75
50
25
0
26 sept
6 oct
16 oct
26 nov
5 nov
15 nov
Groupes
T
P-
P+

.

Figure 14 Mortalité au trou de vol par jour. En 2013, vu le nombre de données, nous avons groupé les données par blocs de 7 jours. Les étoiles bleues indiquent alors une différence significative de mortalité entre les colonies sur culture intercalaire et celles du groupe témoin.



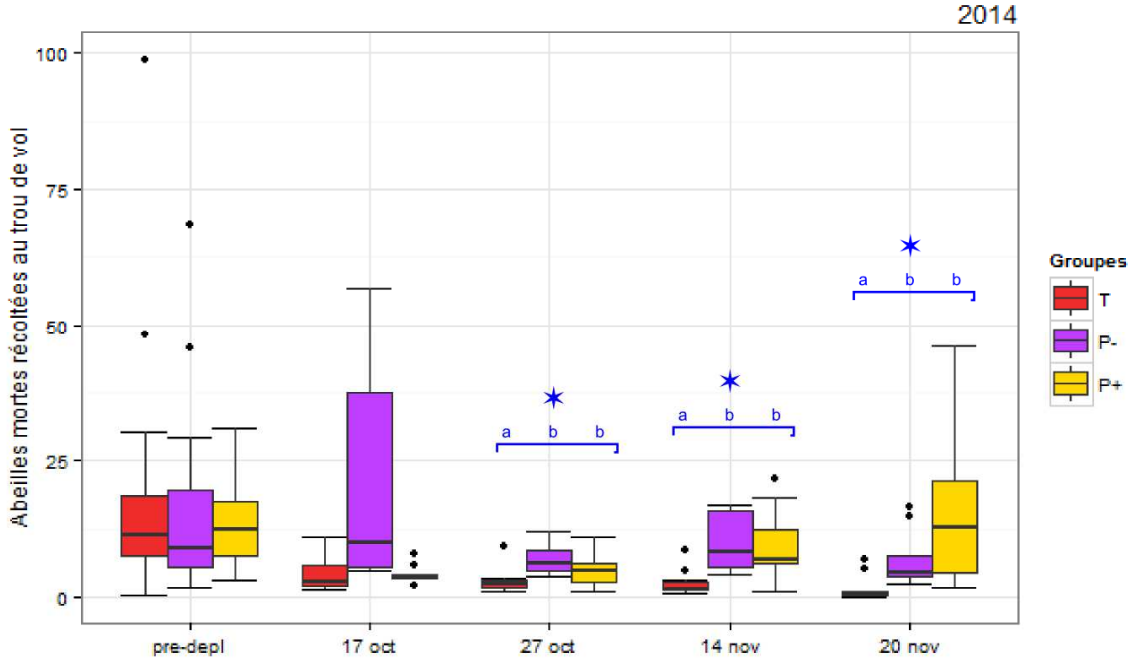
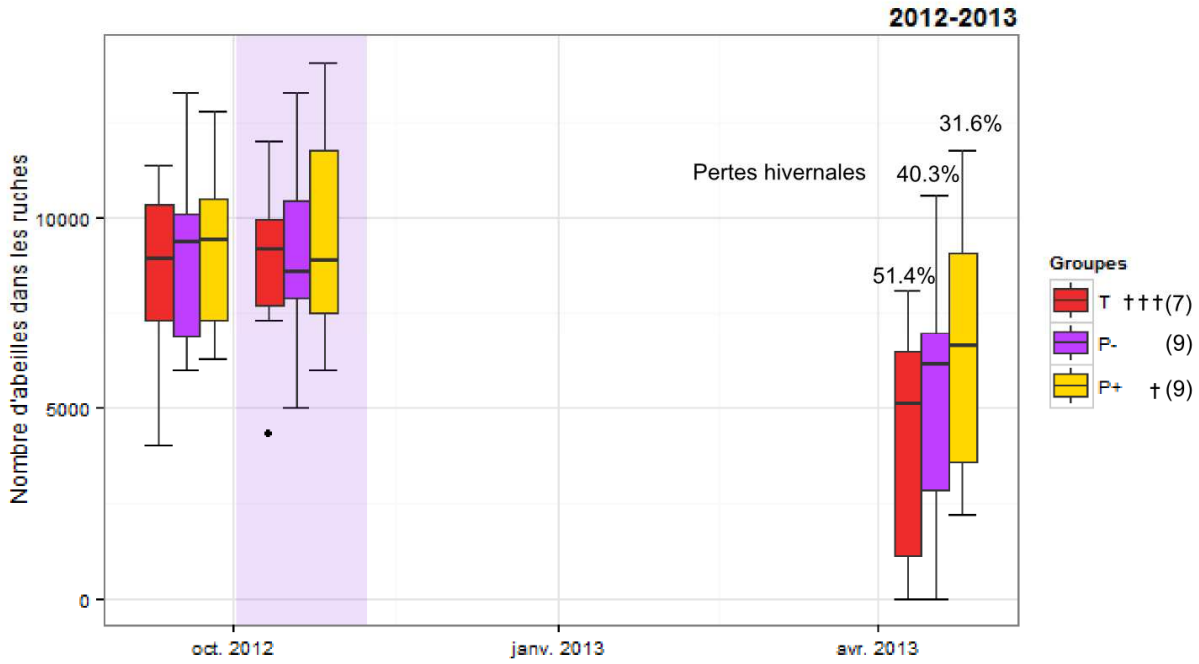
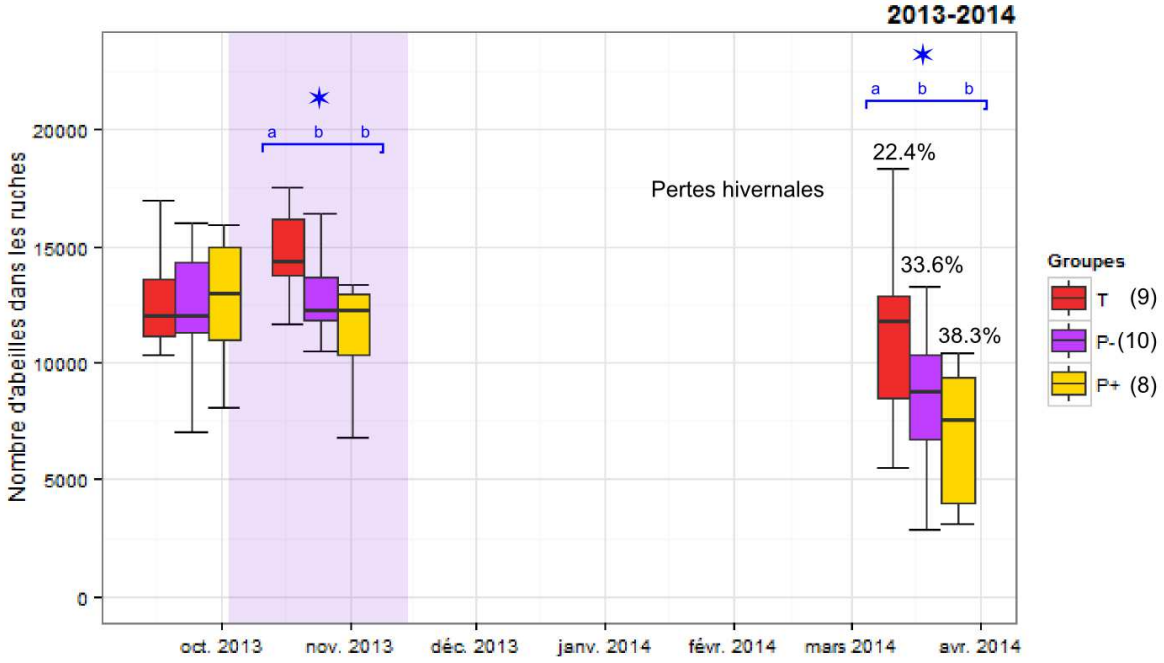


Figure 15 Nombre d'abeilles dans les ruches durant les essais 2012, 2013 et 2014 (de haut en bas). La partie ombrée de violet clair indique la période où les ruches se trouvaient sur les parcelles test. La mortalité hivernale est donnée en dessus de chaque boxplot. Le nombre de colonies considéré pour chaque groupe est donné entre parenthèse dans la légende du graphique. Le nombre de colonies mortes est indiqué par des croix. Les étoiles bleues indiquent des différences significatives ($p<0.05$).




2013-2014
Nombre d'abeilles dans les ruches
20000
15000
10000
5000
0
a b b
a b b
Pertes hivernales
22.4%
33.6%
38.3%
oct. 2013
nov. 2013
déc. 2013
janv. 2014
févr. 2014
mars 2014
avr. 2014
Groupes
T (9)
P- (10)
P+ (8)

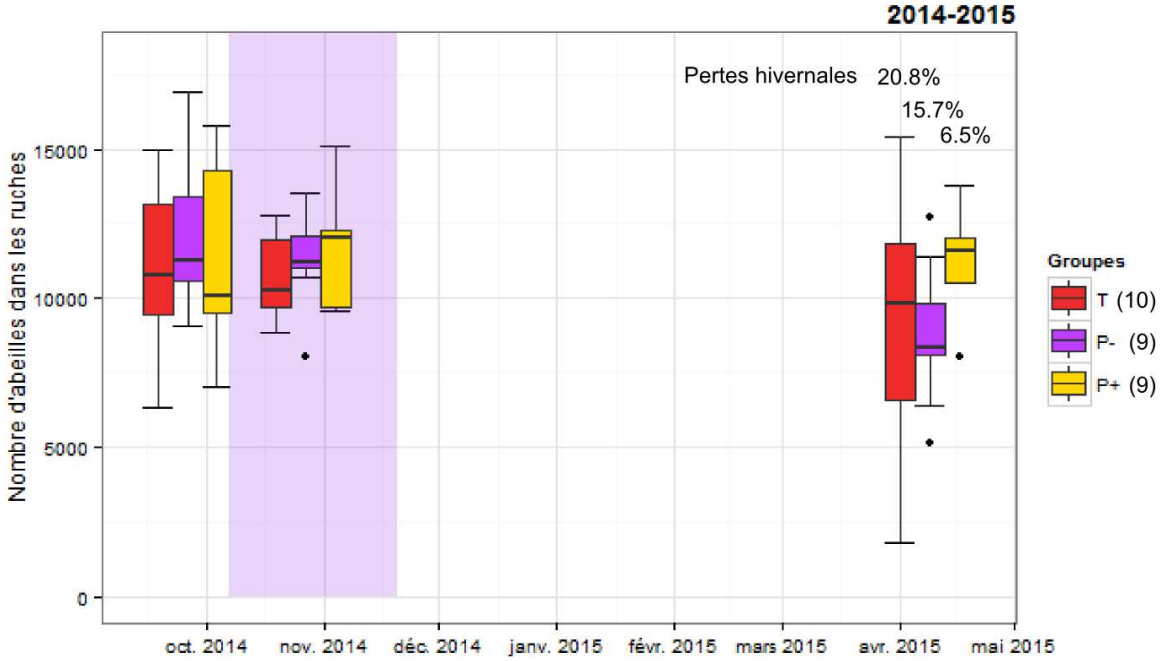
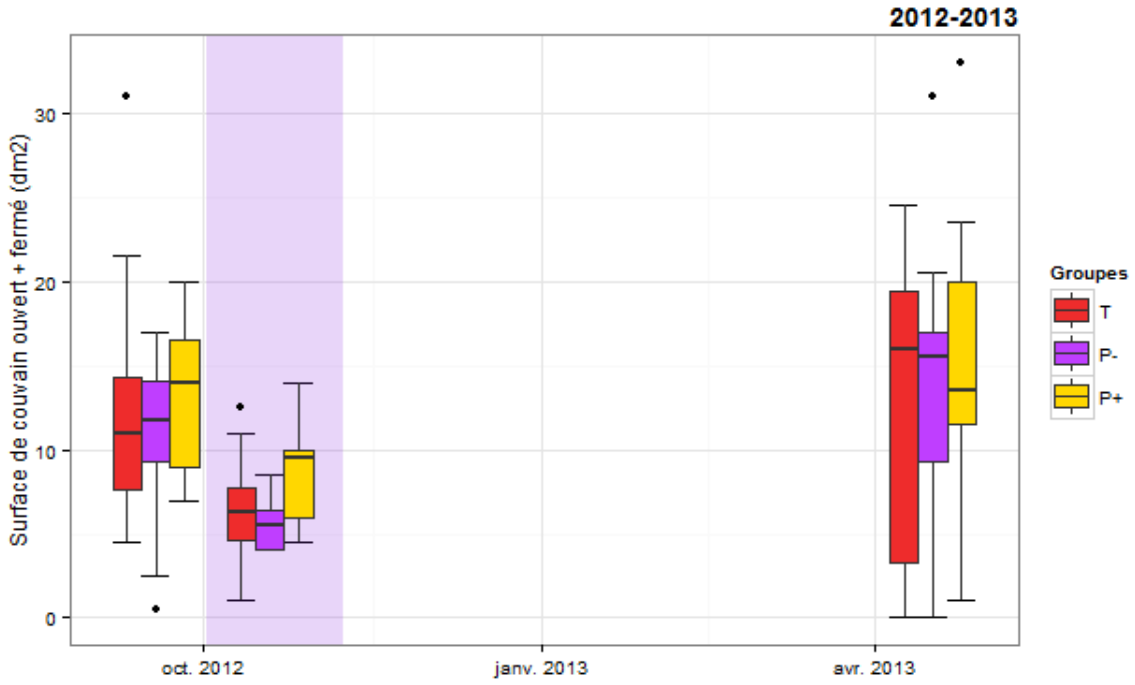
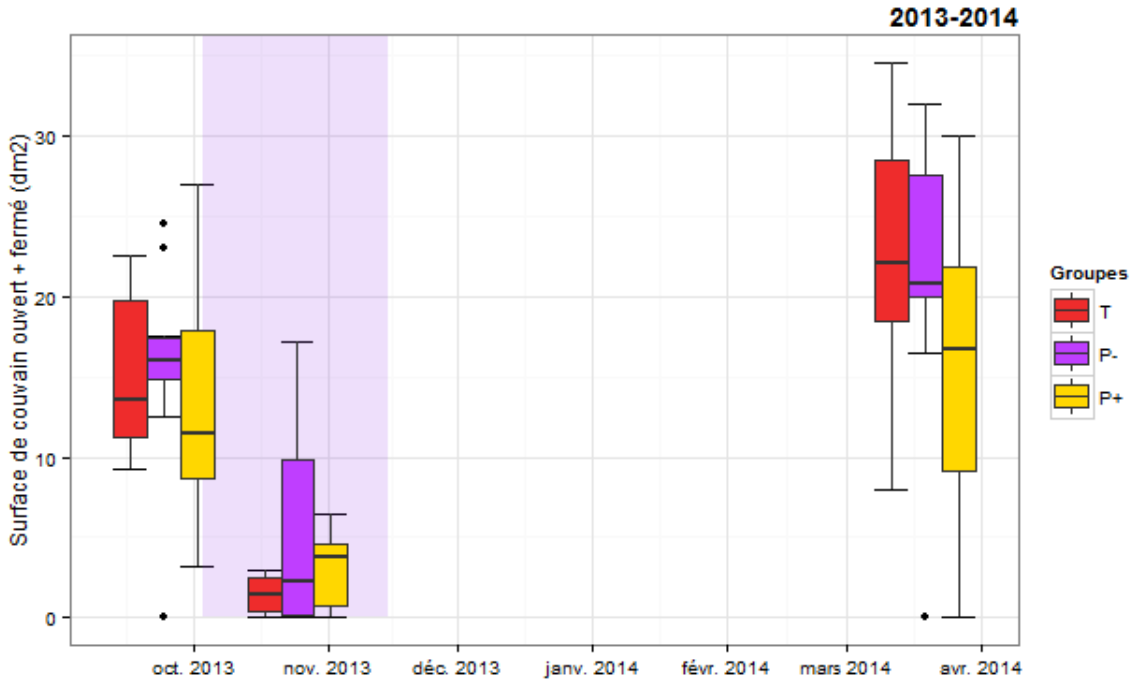
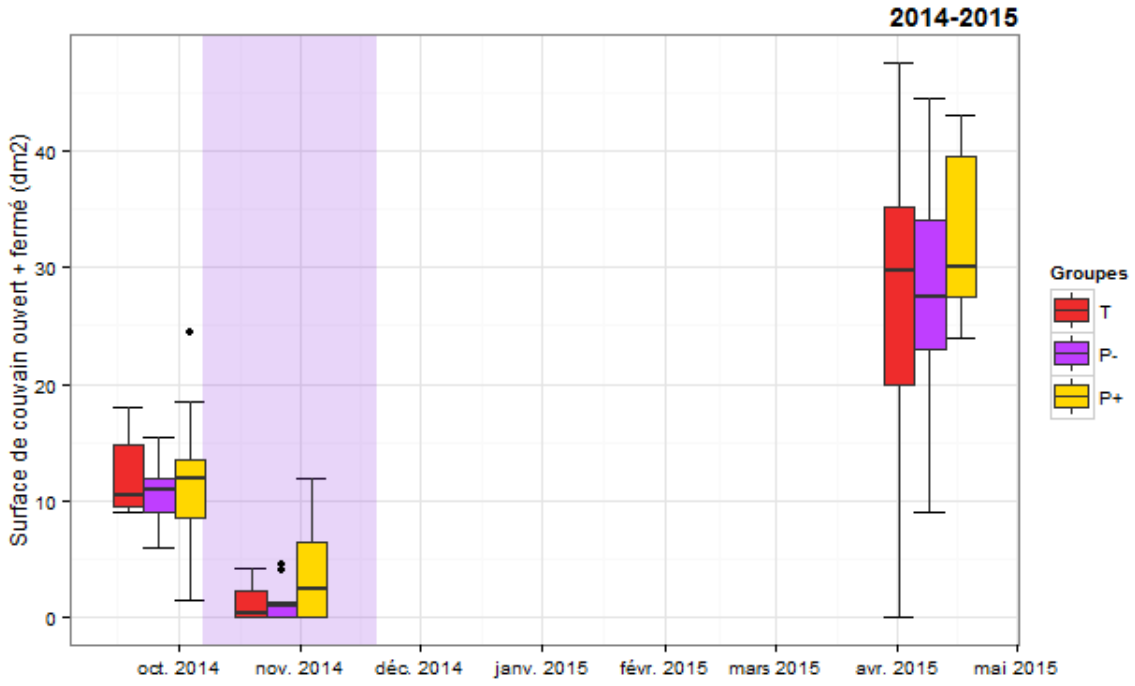

2014-2015
Nombre d'abeilles dans les ruches
15000
10000
5000
0
Pertes hivernales
20.8%
15.7%
6.5%
oct. 2014
nov. 2014
déc. 2014
janv. 2015
févr. 2015
mars 2015
avr. 2015
mai 2015
Groupes
T (10)
P- (9)
P+ (9)

Figure 16 Surface de couvain (somme du couvain ouvert et fermé) en dm^2 dans les ruches durant les essais 2012, 2013 et (de haut en bas). Il n'y a pas de différence significative entre les groupes au cours de l'essai.

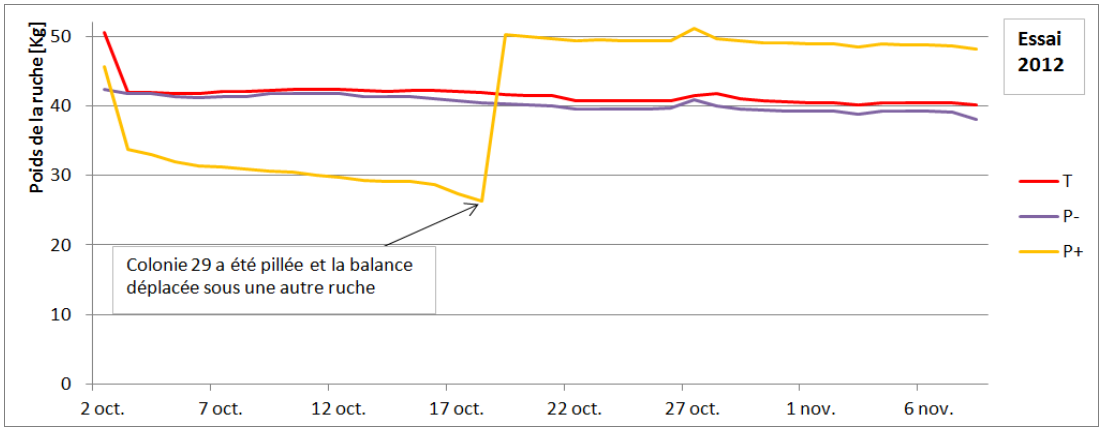


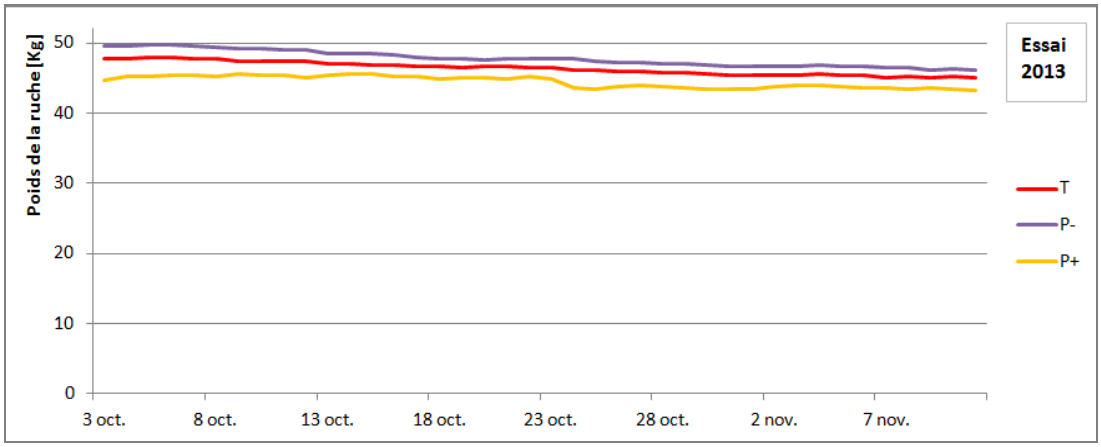

2013-2014
Surface de couvain ouvert + fermé (dm2)
0
10
20
30
oct. 2013
nov. 2013
déc. 2013
janv. 2014
févr. 2014
mars 2014
avr. 2014
Groupes
T
P-
P+

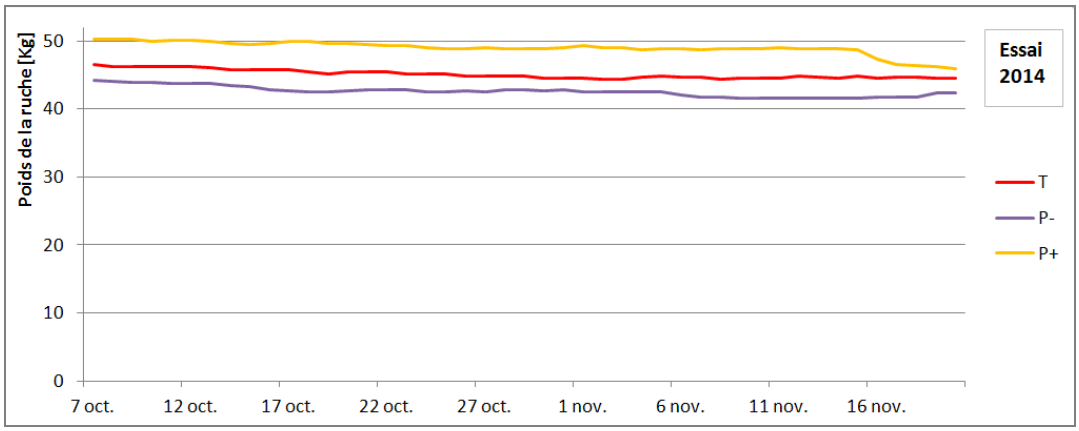

2014-2015
Surface de couvain ouvert + fermé (dm2)
0
10
20
30
40
oct. 2014
nov. 2014
déc. 2014
janv. 2015
févr. 2015
mars 2015
avr. 2015
mai 2015
Groupes
T
P-
P+

Annexes

Figure S1 : Mesure continue du poids des ruches en 2012, 2013 et 2014. En 2012, le poids des ruches 1 (T), 16 (P-) et 29 (P+) a été mesuré. On distingue nettement la période où la ruche 29 s'est faite piller (jusqu'au 3 octobre) et la date où la balance a été déplacée à la ruche 4 (19 octobre). En 2013, le poids des ruches 4 (T), 26 (P-) et 1 (P+) a été mesuré. En 2014, le poids des ruches 26 (T), 4 (P-) et 25 (P+) a été mesuré. Durant les trois essais, le poids diminue linéairement durant la période d'essai.






Poids de la ruche [Kg]
50
40
30
20
10
0
7 oct.
12 oct.
17 oct.
22 oct.
27 oct.
1 nov.
6 nov.
11 nov.
16 nov.
Essai 2014
T
P-
P+