
RAPPORT

ÀFFAIBLISSEMENT DES RUCHERS SUR LAVANDES
CONSTITUTION D'UN RÉSEAU D'OBSERVATION ET ÉTUDES DE TERRAIN

ANALYSES DES RÉSULTATS 2008-2010.

Coordinateur du projet : Luc Belzunces.
Co-coordonateur (protocole et analyse des données) : André Kretzschmar.
Rédacteur : André Kretzschmar
Partenaire : ADAPI.

1 Rappels rapides du contexte de l'étude

La production de miel de lavande représente 50% de la production de miel en PACA. Par ailleurs, les colonies apportées sur lavandes sont soumises à une convergence de contraintes qui rend cette miellée particulièrement difficile pour les populations d'abeilles :

- variation plutôt brutale du climat ; risque de difficultés à la mise en place (fin juin) ; sécheresse ;
- état sanitaire parfois problématique des cultures de lavandes (dépérissement, attaques parasitaires...) : variation très importante de la qualité de la ressource ;
- défaut de sources de pollen à cette période, abondance de nectar ; pénalisation de l'activité de ponte de la reine ; stockage de miel dans les corps de ruches ; limitation de l'espace disponible pour la ponte ;

L'ensemble de ces facteurs tend à potentialiser les fragilités des colonies qui, par ailleurs, restent susceptibles d'effets non intentionnels des traitements sur cultures de lavandes et sur d'autres cultures souvent associées territorialement (vigne en particulier).

La résultante de ces conditions est une décroissance de la production déclarée par l'ensemble des apiculteurs au cours des dix ou quinze dernières années, un mauvais état des colonies en fin de miellée et des cas de dépopulations brutales inexplicables. Ce phénomène est confirmé par les mesures réalisées par l'ADAPI (enquête 2006-2007). Autre fait issu de cette étude : on observe une très grande variabilité entre les colonies d'un même rucher, entre les ruchers, même proches, d'une même région et entre les régions de production.

2 La démarche à l'origine de ce contrat.

2.1 Protocole 2008. Identification des difficultés.

Une mesure immédiatement sensible des conséquences de ces contraintes devrait être l'évaluation de la décroissance des populations d'abeilles, par colonies, au cours de la miellée. Cette mesure se heurte à des difficultés majeures (la seule évaluation rigoureuse peut se faire par pesée lors du démontage nocturne de la ruche) : très longue à mettre en place, cette méthode de dénombrement des abeilles ne peut pas être effectuée sur de nombreuses colonies, ce qu'exige pourtant la grande variabilité observée. Pour pallier cette difficulté, le protocole mis en place en 2008 a donc associé :

- le suivi de la croissance pondérale des ruches de plusieurs ruchers qui constitue le stade initial de l'observatoire (3 régions (Drôme provençale, Zone de Lure Albion et plateau de Valensole, 16 ruchers, 6 ruches par rucher¹),
- le dénombrement des populations en cours de journée par photographies des cadres avec abeilles et des abeilles restées au fond du corps de ruche (méthode Liebefeld),
- et le dénombrement de la surface de couvain par photographies des cadres débarrassés des abeilles.

1. voir le détail des implantations des ruchers dans le rapport 2008

A ce protocole, s'ajoutaient des prélèvements réguliers d'abeilles d'intérieur pour des analyses multi-résidus a posteriori.

Plusieurs contraintes sont apparues au moment du traitement des données de cette année de mise en place du projet :

- les photographies de cadres avec abeilles se faisant pendant la journée, il y a une incertitude non mesurable sur la proportion de population observée par rapport à la population totale d'abeilles de la ruche : l'estimation du pourcentage de butineuses en dehors de la ruche au moment de l'observation n'est pas fiable et peut varier de 20 à 50 % (avis d'expérience des apiculteurs et des biologistes de l'abeille) ;
- le protocole de prise de vue est insuffisamment strict pour permettre un suivi identique de toutes les ruches ;
- la méthode de comptage de la surface de couvain operculé (ou du dénombrement de ces cellules) s'avère plus difficile que prévu ; une méthode de comptage à l'aide d'une grille a pu néanmoins être appliquée sur un certain nombre de ruches ;
- le traitement des données s'est orienté vers la détection des ruches dont la croissance pondérale était significativement faible par rapport à la moyenne des ruches d'une même région.

2.2 Résultats de la campagne 2008

Malgré les difficultés rencontrées, le traitement des données a permis de mettre en évidence le bien fondé du suivi de nombreuses ruches et de la mise en place d'un observatoire. Pour faire apparaître les ruches en dysfonctionnement, on a défini une variable de référence : le coefficient de régression calculé à partir de l'estimation des populations à trois dates successives ($J0$, $J12$, $J24$).

2.2.1 Analyse descriptive globale

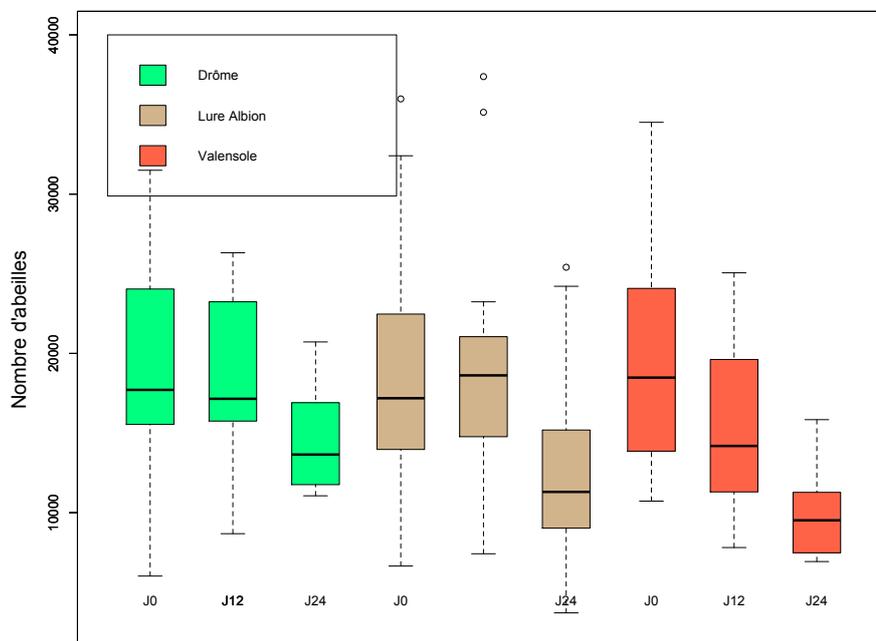
Toutes les données disponibles sur les populations d'abeilles ont été mises en forme. Les données sur couvain operculé sont issues de deux méthodes de comptage différentes (estimation *de visu* faite sur le terrain (estimation d'une surface de couvain en dm^2 et décompte à partir de l'analyse de photos à l'aide d'une grille). Nous avons établis que ces deux mesures pouvaient être utilisées dans les analyses² mais que le comptage sur grille est plus précis avec une erreur de mesure moindre.

Pour les données de populations (nombre d'abeilles, nombre d'alvéoles de couvain operculées, nombre d'abeilles mortes sur trappe, poids des ruches), le principal problème est celui des données manquantes, problème encore plus aigu pour les données environnementales. Une première série d'analyses descriptives a été faite ("boxplot", ACP³). En observant les résultats bruts des "boxplots" tracés sur les seules données de populations d'abeilles, les ruchers de la zone "Valensole" montrent une baisse de population (en effectifs) significative et constante entre $J0$, $J12$ et $J24$ et les ruchers de "Drome" et "Lure Albion" sont significativement plus dépeuplés en $J24$ par rapport aux deux dates précédentes (Fig. 1). Mais il s'agit de variation en effectifs bruts, ce qui signifie que ce résultat peut être dépendant du niveau de la population de départ.

2. voir détail du test en ANNEXE 1

3. voir le rapport 2008

2008 - Variation du nombre d'abeilles



2008 - Variation du nombre de cellules de couvain operculé

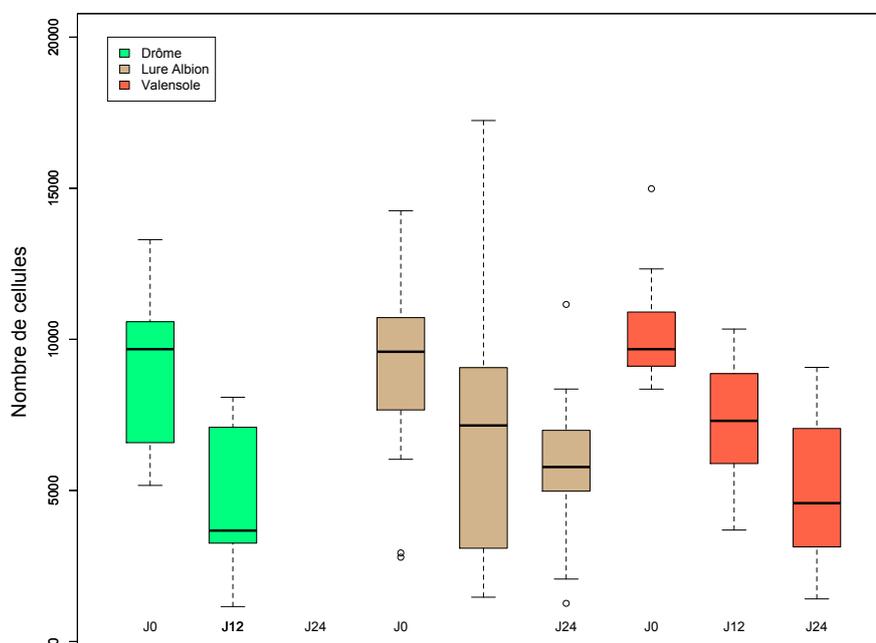


FIGURE 1 – Distribution du nombre d'abeilles et du nombre de cellules de couvain operculé aux 3 dates d'observation pour les trois zones de ruchers.

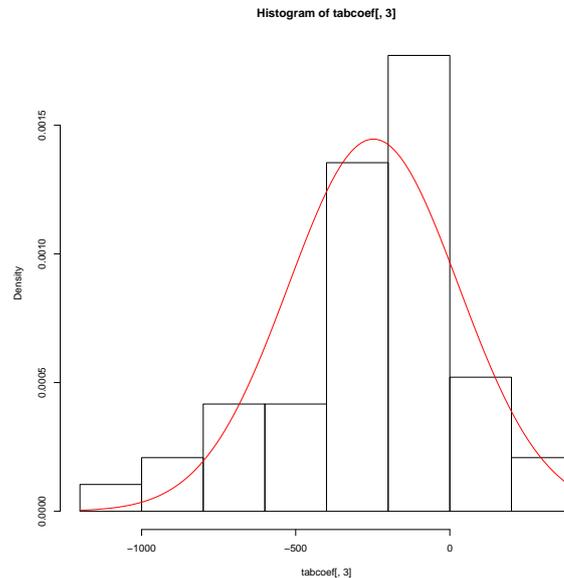


FIGURE 2 – Histogramme des valeurs des coefficients de régression et graphe (en rouge) de la distribution normale estimée

Ces résultats aident à identifier les valeurs extrêmes à l’échelle des ruches. C’est en effet ce que nous recherchons : sous l’hypothèse que les ruches qui ont les plus fortes pertes en nombre d’abeilles sont celles qui nous indiquent où aller chercher une interaction problématique – et si possible significative – avec l’environnement, il faut trouver quelles ruches présentent une décroissance plus aigüe que celle que l’on peut prédire en observant le comportement moyen de l’ensemble des ruches et la proportion du nombre de ces ruches dans le rucher.

Nous avons pris comme indice de décroissance, le coefficient de régression entre le temps (trois dates : 0, 12, 24 jours) et l’estimation des peuplements d’abeilles pour chacune de ces dates. Ces valeurs sont à considérer avec un peu de prudence : d’une part l’estimation des populations d’abeilles est sans doute sujette à une erreur importante, non-estimable (mesure en journée); d’autre part, il faut souligner que trois points pour le calcul d’un coefficient de régression, sont insuffisants pour estimer une erreur statistique.

2.2.2 Recherche des coefficients à valeurs extrêmes

On dresse un histogramme (en trait noir sur la figure) des 48 valeurs de coefficient obtenues (Fig. 2). Il apparaît clairement que la distribution montre une forte asymétrie du côté valeurs faibles : ce sont celles qui nous intéressent.

Pour “extraire” de l’histogramme observé ce qui relève de la distribution “normale” (et donc en déduire les valeurs extrêmes), on caractérise la distribution des coefficients observés par une procédure de bootstrap (1000 tirages avec remise). On obtient ainsi les paramètres de la distribution normale qu’on cherche (courbe rouge) :

$$\mu = -248.09; \sigma = (28.15)^2$$

Les valeurs extrêmes observées sont celles qui sont inférieures au quantile $q_{0.05}$ ou supérieur au quantile $q_{0.95}$. Ces deux valeurs sont respectivement : $q_{0.05} = -701.46$ et $q_{0.95} = 206.13$.

Cinq ruches répondent à ces critères : il s'agit des ruches J2, J3 et J6 de la zone Valensole et des ruches M1 et M2 de la zone de Lure Albion. Dans ces cinq cas, il s'agit donc de ruches qui présentent un comportement exceptionnels mais qui ne nous permettent pas de mettre en évidence d'anomalie significative à l'échelle d'un rucher ou d'une zone.

2.3 Enseignements de cette phase de mise en place

L'enseignement essentiel est que l'on peut détecter, par le choix judicieux de variables quantitatives mesurées sur un observatoire large, le dysfonctionnement de ruches ; cette procédure révèle les ruches "à problèmes". Mais au-delà, cette phase de mise en place a permis de mettre le doigt sur les difficultés propres à ce genre d'approche, en particulier, la difficulté à appréhender la variabilité qui affecte les variables mesurées et qui masque les différences entre ruches ou entre ruchers : l'estimation des cas de dysfonctionnement n'est donc pas assez précise (plus la variabilité est grande plus il faut de ruches pour l'appréhender).. De plus, sur le dispositif en observation en 2008, les dépopulations significativement importantes observées sur quelques ruches ne semblent pas être un argument suffisant pour signaler un dysfonctionnement dont la ou les causes peuvent être identifiées. **C'est en effet à l'échelle du rucher que doit être établi ce diagnostic**, car il y a toujours, dans un rucher (50 à 120 ruches), quelques colonies qui, par accident, ne sont pas en mesure de produire (ruche dite "non valeurs"). Il faut donc considérer le rucher comme l'entité d'observation élémentaire. Par conséquent, le nouveau protocole, pour les années suivantes, s'oriente vers deux principes :

- un nombre approprié de ruches par rucher doit être mis observation pour permettre de caractériser le rucher ; ce nombre est un compromis entre le temps disponible sur chaque rucher et le nombre de colonies décrites pour estimer la variabilité ;
- il faut augmenter le nombre de ruchers suivis pour mieux appréhender la variabilité entre ruchers au sein d'une même région et la variabilité entre régions.

3 Modification du protocole pour les campagnes 2009 et 2010.

3.1 Principes

La grande variabilité constatée lors de la campagne de mesure 2008 exige qu'un grand nombre de colonies soit mis en observation pour caractériser l'origine de cette variabilité. C'est en effet la condition pour que l'on puisse prendre en compte cette variabilité et identifier le poids respectif des facteurs principaux qui en sont les causes. D'où la proposition d'une nouvelle démarche qui est basée sur trois principes :

- choisir des variables dont la mesure est fiable et réalisable sur un grand nombre de ruches ;

- mettre en place un large observatoire de ruches pour évaluer la variabilité à différentes échelles d'espace (et de temps dans la mesure où le projet peut être maintenu dans la durée) ;
- agréger les données recueillies lors des campagnes annuelles de mesures à l'aide d'un modèle factoriel global ;
- évaluer le poids des différents facteurs de l'activité des colonies.

Puisque le dénombrement des populations est une mesure trop coûteuse en temps pour être réalisée dans de bonnes conditions sur un nombre suffisant de ruches, on propose de rendre compte de l'activité des colonies en simplifiant le principe du fonctionnement d'une colonie en production. On considère que la variable d'intérêt (= l'activité de la colonie), sur la période couvrant la miellée de lavande est bien décrite par la variation temporelle du gain de poids de la ruche ; une précision sur ce gain de poids est apportée, en fin de miellée, en distinguant le gain de poids mesuré dans les hausses et par déduction du gain de poids total, le gain de poids associé au corps de ruche.

Les variables explicatives seront résumées en trois groupes :

- la ressource : il s'agit d'approcher une mesure de la ressource disponible, en particulier par la mesure du parcellaire de lavande autour du rucher ;
- la dynamique populationnelle est approchée par un dénombrement aussi précis que possible de la quantité d'alvéoles de couvain operculé à des dates successives ; il s'agit de déduire de cette mesure, une approximation de l'activité de ponte et d'émergence d'abeilles nouvelles, caractéristique de la colonie ;
- enfin des facteurs pénalisants liés à l'état sanitaire ; pour répondre à l'exigence de fiabilité de la mesure des variables explicatives, on a choisi d'estimer la quantité de varroas phorétiques en début et en fin d'expérience.

On va donc chercher à estimer l'importance de ces différentes variables explicatives sur le gain de poids. L'objectif général est multiple :

- donner aux apiculteurs des éléments objectivement mesurables qui affectent la production de miel sur lavandes
- donner une estimation mesurée de la tendance à la baisse de la production de miel sur lavandes ;
- observer que dans certains ruchers, la baisse de l'activité ne s'explique pas par les facteurs décrits (ressource, couvain operculé, varroas) et que ce sont donc d'autres facteurs qu'il faut invoquer. On réalise donc, si le rucher présente une activité particulièrement faible, une estimation a posteriori des éléments de pathologies dont la charge virale et d'éventuelles contaminations par des toxiques.

Une remarque particulière sur la prise en compte du facteur climat : les variables climatiques (température min et max, pluviométrie au moment de la miellée ou dans les mois qui précèdent, vent) ont une action qui agit aussi bien sur la dynamique de la ressource disponible que sur l'activité des colonies. Le climat est donc déjà largement pris en compte dans l'estimation des variables explicatives à l'échelle d'un rucher et même à l'échelle d'un groupe de rucher assez proche pour une année donnée. Par contre, le climat est essentiel à prendre en compte pour la comparaison entre les zones et entre les années successives.

3.2 Dispositifs de l'observatoire en 2009 et 2010

En 2009, 20 ruchers ont été suivis, sur trois zones (Drôme provençale, zone de Lure-Albion, plateau de Valensole; 15 ruches par rucher sont mises en observation, soit 300 ruches au total.

En 2010, 24 ruchers ont été suivis, sur les mêmes zones et 14 ruches par rucher, soit 336 ruches au total⁴.

Nota bene : L'observatoire étant fondé sur des ruchers professionnels en conditions normales exploitation, il n'a pas été possible, à de rares exceptions près, de disposer, sur les deux années successives, exactement les mêmes emplacements de rucher (la provenance et l'historique des ruches étant elles aussi variables d'une année sur l'autre). En conséquence pour comparer la variation de certaines variables d'une année sur l'autre, on travaillera avec les distributions à l'échelle de la région⁵.

3.3 Les variables considérées comme permettant une mesure fiable

L'analyse des données requiert beaucoup plus de temps que celui disponible entre la fin des mesures et la date à laquelle est exigé ce rapport. Les résultats présentés ne seront donc pas exhaustifs. Les descripteurs des variables explicatives sont les suivants :

- le gain de poids (= variable d'intérêt) est estimé par une pesée du poids total de la ruche tous les deux jours. Pour "condenser" l'information contenue dans la mesure de cette succession de poids, on a caractérisé cette évolution à l'aide d'un modèle logistique à trois paramètres : le gain de poids maximal (K), le taux d'accroissement (α) et le retard en début de croissance (β)⁶ ;
- la ressource : mesure du parcellaire de lavande autour du rucher (photographies aériennes et validation sur place); mesure de la fragmentation du parcellaire; qualification de l'état et de la qualité des parcelles; dynamique de la floraison : nombre de fleurs épanouies sur 30 brins (la mesure de nectar est, pour l'instant, trop consommatrice en temps);
- le couvain operculé comme descripteur de la population : analyse spatio-temporelle de la structure du couvain operculé et de la surface du cadre occupée par le miel dans les cadres de corps (comptage sur grille appliquée sur chaque photo de cadres) à trois dates : J0, J12 et J24 en 2009 et J0, J8 et J16 en 2010; soit 9000 et 10800 photos analysées);
- le nombre de varroas phorétiques (nombre de varroas pour 100 abeilles) dans la colonie en début (J0) et fin de miellée (J24).

3.4 Le traitement des données

Les méthodes statistiques de l'analyse de la variabilité sont disponibles pour une telle étude sous conditions d'un nombre de données suffisamment grand. Le principe général de la méthode est une analyse descriptive suivi d'une analyse

4. voir la liste des ruchers et leur position géographique en ANNEXE 1

5. voir les protocoles de 2009 et 2010 en ANNEXE 2 et 3

6. voir le détail du modèle en ANNEXE 1

multi-factorielle : modèle linéaire à effets fixes. Les tendances générales sont ensuite précisées au cas par cas.

L'analyse des résultats se fait donc en prenant en compte l'estimation moyenne des variables (et leur variabilité) à différentes échelles de temps (années successives) et d'espace (zones, ruchers, ruches).

4 Résultats

4.1 Les caractéristiques du modèle logistique pour le gain de poids

Sur l'ensemble des mesures faites, seules les ruches dont le suivi a été abandonné pour cause de risques sanitaires et pour lesquelles on ne dispose que de trois ou quatre mesures en début de miellée, n'ont pas pu être décrites par le modèle. Dans tous les autres cas, l'ajustement du modèle logistique au gain de poids est très satisfaisant. Les paramètres du modèle donnent une bonne estimation des caractéristiques de la variable d'intérêt K . Les valeurs croissantes de α donnent une estimation de la rapidité avec laquelle les colonies s'activent à la récolte de la ressource et le paramètre β décrit le retard observé au démarrage de l'activité (Fig. 3). L'activité de chaque colonie est donc décrite par un triplet $\{ K, \alpha, \beta \}$ sur lequel les analyses peuvent se fonder.

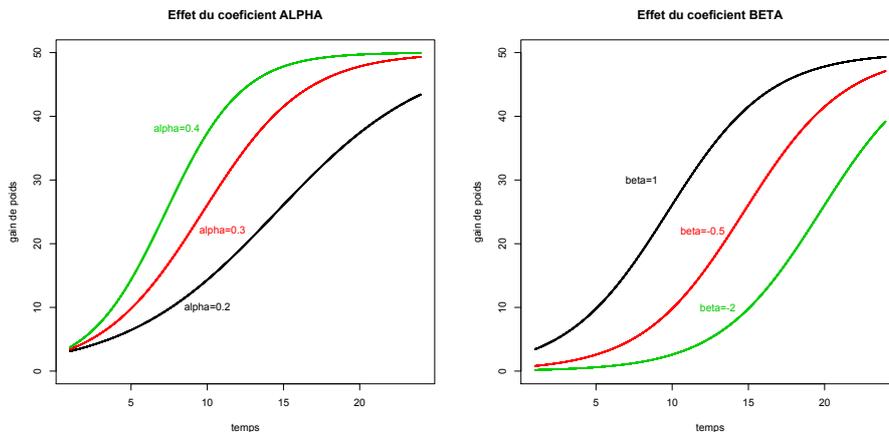


FIGURE 3 – Effet de α et β sur le modèle logistique du gain de poids, à K fixé et respectivement β et α fixé.

4.2 Effet global du climat

La température minimale est un facteur qui peut influencer la miellée (par son effet sur la production de nectar et les comportements de butinage). La figure (Fig. 4)⁷ montre que la température, au moment de l'installation des ruchers, est à peu près équivalente pour les trois zones et pour les deux années. Ce facteur ne sera donc pas pris en compte.

7. Données CIRAME, Carpentras

Il n'en va pas de même pour les températures maximales ; la différence entre zones est importante et pourrait conduire à considérer, en particulier pour la zone de Drôme provençale, que le début de la miellée, pour les deux années, se fait avec des températures journalières maximales qui ne sont pas assez élevées pour induire une miellée satisfaisante. Cet effet peut être renforcé, en particulier dans cette région, par les conditions de vent ; pour 2009 et 2010, un fort mistral soufflait lors de l'installation des premiers ruchers (entre le 20 et le 23 Juin) : vent moyen de secteur Nord : 29 à 31 km/h ; rafales entre 55 et 73 km/h (données Météociel, relevées à Montélimar). Le vent était moins sensible à l'Est de cette zone : vent moyen de secteur Nord de 6 à 15 km/h relevé à Vinsobres aux même périodes.

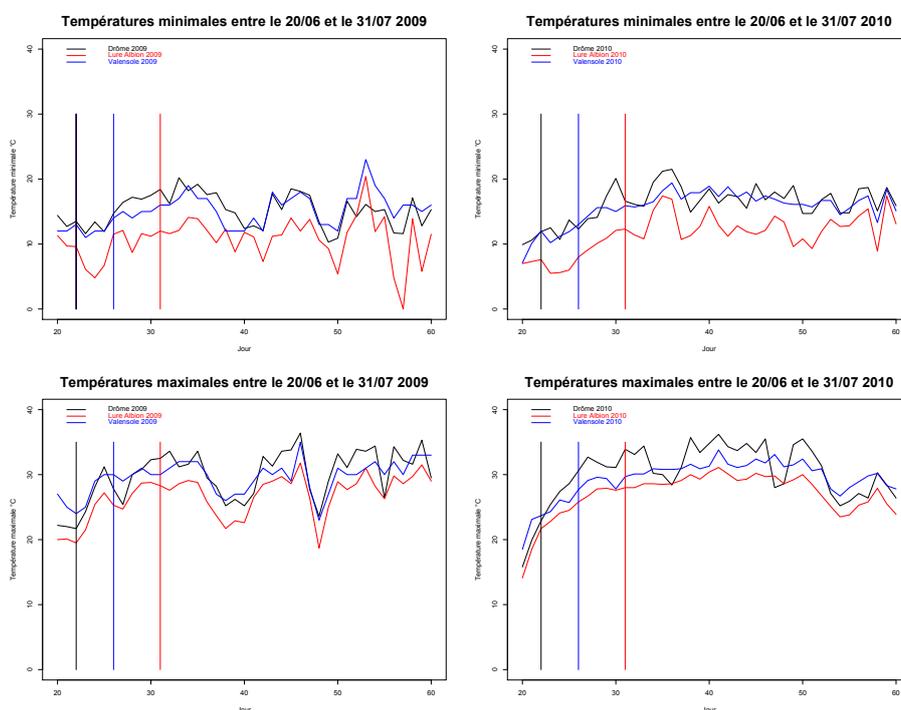


FIGURE 4 – Variations des températures minimales et maximales journalières sur les trois zones, en 2009 et 2010. Les barres verticales indiquent le début des mesures (avec correspondance des couleurs)

On doit cependant remarquer que le climat, considéré sur une plus longue période (en particulier aux mois de Mars à Juin précédents les observations) joue un rôle important sur la qualité des cultures de lavandes. Mais nous n'avons pas encore assez d'éléments pour qu'un bilan de la qualité des cultures puissent entrer comme facteur mesurable de la production de miel de lavande. On notera cependant que, de l'avis des lavandiculteurs du plateau de Valensole, une pluviométrie favorable à la culture de la lavande au début du mois de Juin 2010 (environ 100 mm entre le 14 et le 16 juin) a été une des conditions permettant un bon développement des plants et des épis qui a conduit à une récolte abondante d'essence. Et donc peut légitimement, du point de vue des apiculteurs,

être évoquée comme une des conditions des bonne récoltes en miel sur cette région. Une situation presque inverse (déficit de pluviométrie) a été constatée en Drôme provençale et une conclusion symétriquement opposée, pour la production de miel, en a été tirée (Communication de la Chambre d’Agriculture de la Drôme).

4.3 Le rucher comme entité de mesure

Puisque la nouvelle approche a été de prendre le rucher comme unité d’étude, il faut montrer que cette hypothèse est validée par les observations. La spécificité de chaque rucher apparaît quand on décrit la distribution des valeurs de K pour chaque rucher pour les deux années. Le modèle de régression linéaire de K en fonction de la variable “Rucher” valide cette observation. Pour mieux tenir compte du fait que le gain de poids de chaque ruche est décrit par le triplet $\{K, \alpha, \beta\}$, nous avons proposé un test de distance⁸ qui permet de caractériser le fait que les ruchers sont significativement différents lorsqu’on les décrit par les 14 points définis par le triplet dans l’espace à trois dimensions de ces paramètres.

L’avantage du test de distance est de pouvoir comparer les ruchers deux à deux et de donner un guide pour analyser les causes des différences ou des ressemblances.

Le résultat important que nous obtenons est que, dans la très grande majorité des cas, un rucher se distingue de tous les autres par la signature que donne la dynamique du gain de poids. Quoique les ruchers soient, pour la plupart, composés de ruches qui, si elles ont suivi le même itinéraire de transhumance, n’ont pas toutes le même historique (âges des reines), toutes les ruches d’un même rucher ont tendance à présenter une similarité dans la dynamique de gain de poids. La spécificité d’un rucher peut résulter pour une part des pratiques de l’apiculteur (l’état des colonies à la mise en place et l’état sanitaire général du rucher) et pour une autre, de l’effet global de l’environnement (la ressource disponible et les contraintes liées à la qualité de l’environnement immédiat du rucher dont font partie les éventuelles intoxications). On verra plus loin que ces deux éléments ne semblent pas associés dans la caractérisation de la spécificité des ruchers vu sous l’angle de la dynamique du gain de poids.

Ce résultat valide la démarche qui guide cette étude :

- la mesure du gain de poids (et sa modélisation) est un descripteur efficace de l’activité globale de la colonie ;
- la taille de l’échantillon de ruches mis en observation dans le dispositif est suffisant pour caractériser et mettre en évidence la spécificité d’un rucher.
- la spécificité des ruchers étant démontrée, l’observatoire que constitue les 20 et 24 ruchers permet d’explorer un large éventail de situation et de mieux caractériser les facteurs qui gouvernent l’activité des colonies.

4.4 La différence entre “zones”

Dans la figure (Fig. 5) , les différences dans la distribution du gain de poids (K) entre les différentes zones en 2009 et 2010 montrent la première particularité de cette étude. Les gains de poids dans les trois zones sont très significativement

8. voir détail en Annexe 1

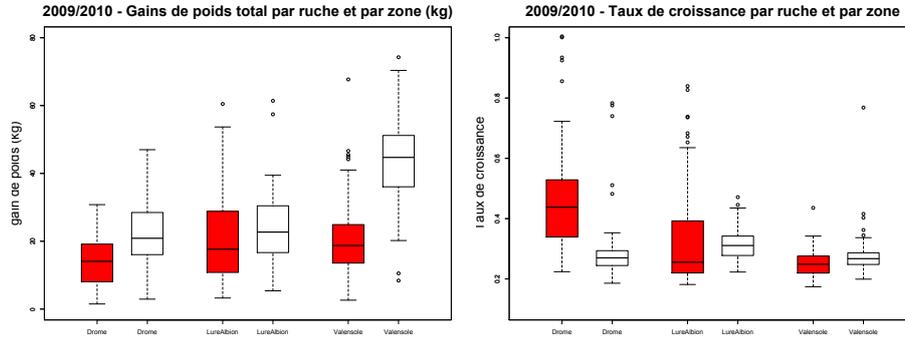


FIGURE 5 – Distribution des valeurs de K (= gain de poids) et de α (= taux de croissance) du modèle en fonction de la zone (rouge = 2009 ; blanc = 2010)

différents en 2009 mais les différences entre zones sont faibles et la part d’explication du facteur “zone” est très faible ($R^2 = 0,08$, p -valeur $< 10^{-4}$); alors que les zones “Drôme” et “Lure Albion” ne sont pas différentes en 2010 et que la très grande différence exprimée par la zone “Valensole” donne un poids important à ce facteur ($R^2 = 0,47$, p -valeur $< 10^{-4}$) sur la variabilité générale.

La comparaison des valeurs de K et de α entre 2009 et 2010, pour une même zone, fait apparaître le comportement particulier des ruchers de la Drôme ; on constate que, malgré un gain de poids moyen supérieur en 2010, par rapport à 2009, la vitesse de croissance du gain de poids est sensiblement inférieure en 2010 (Fig. 5). On peut relier ce démarrage difficile en 2010 (Fig. 6) au décalage entre la floraison (sensiblement en retard par rapport à 2009) et l’installation des ruchers.

Dans la région de la Drôme, aux alentours du 24 Juin, date de début des observations pour 2009 et 2010, on comptait en moyenne 17 fleurs épanouies par épi en 2009 alors qu’en 2010, les épis ont dépassé le stade de 5 fleurs épanouies seulement entre 4 et 6 jours après l’installation des ruchers. Ce décalage entre floraison et installation des ruchers n’a pas été observé dans les autres régions.

4.5 Tendance globale des facteurs mesurés

4.5.1 La variabilité du gain de poids sur l’ensemble des ruchers

La figure (Fig. 7) montre la très grande variabilité de l’activité décrite par le gain de poids. La mesure de l’effet “Rucher” par la régression linéaire montre que 59 % (en 2009) et 64 % (en 2010) de la variabilité générale sont expliqués par la spécificité des ruchers (ce qui confirme le résultat précédent). On doit cependant préciser que, dans l’importance de ce facteur, intervient à la fois la force des colonies, leur état sanitaire et la qualité de la ressource ; c’est donc un facteur synthétique que les approches du couvain, de la charge en varroa et de la ressource préciseront.

Ce résultat a pu être précisé en 2010 par la comparaison entre le gain de poids total des ruches estimé par le modèle et le gain de poids des hausses mesuré en fin de miellée. En comparant, à titre d’exemple, la proportion du gain de poids en corps et en hausses pour les ruchers de la Drôme et ceux

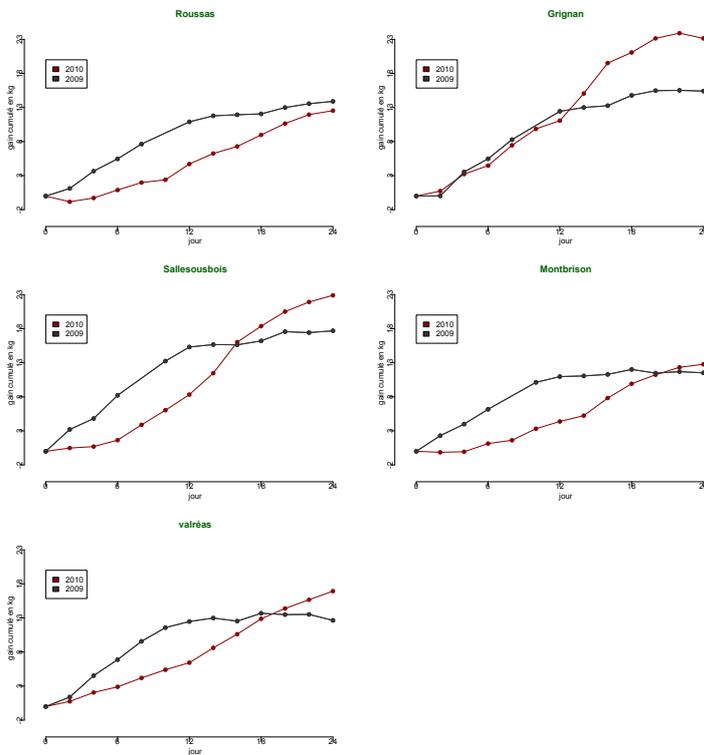


FIGURE 6 – Comparaison du gain de poids total moyen par rucher pour les ruchers de la Drôme (ligne noire = 2009 ; rouge = 2010)

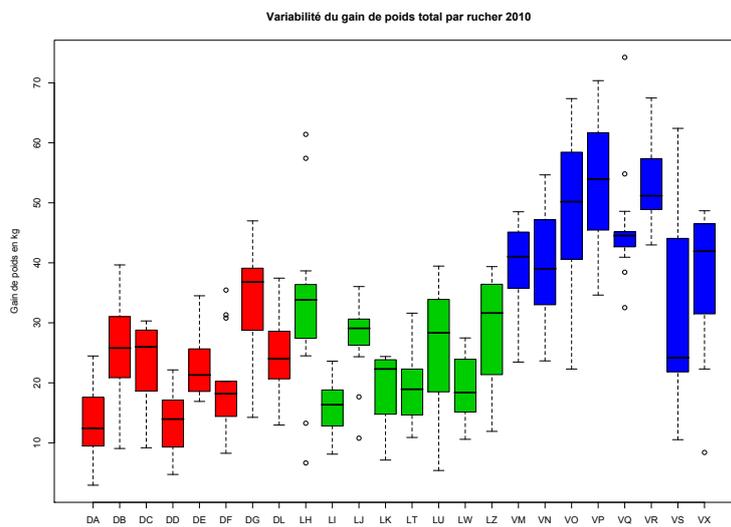


FIGURE 7 – Variabilité des gains de poids par rucher en 2010 (rouge : Drôme ; vert : Lure Albion ; bleu : Valensole)

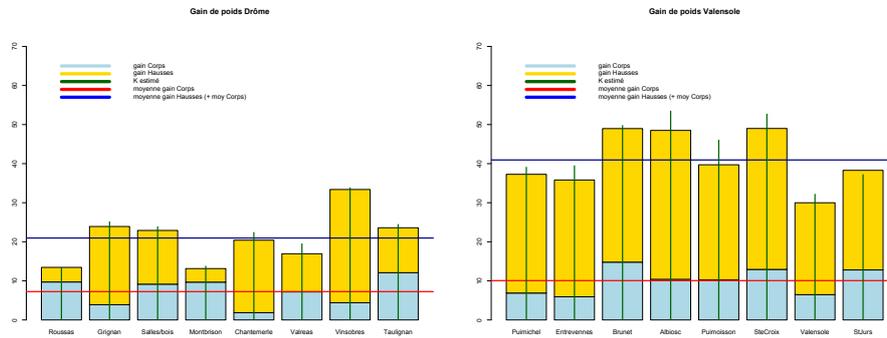


FIGURE 8 – Proportions du gain de poids en corps et en hausses pour les ruchers de Drôme et du plateau de Valensole en 2010

du plateau de Valensole pour l’année 2010 (Fig. ??), on note une différence importante de comportement des ruchers : la part du gain de poids dans les corps est beaucoup plus importante en Drôme que dans les deux autres zones. Une relation significative et négative existe entre la proportion de miel gain de poids des corps par rapport au gain de poids total et la quantité de couvain operculé à J8 pour les ruchers de la Drôme ($R^2 = 0,123$, $p - valeur = 0.0002$ en 2010) : moins le couvain est nombreux à J8, plus la proportion de prise de poids par les corps est importante. Cette relation n’existe pas pour les deux autres régions. Cette mesure aide à préciser une hypothèse sur la nature de la baisse de production de miel, en particulier dans la Drôme, puisque l’on voit que, quoique le gain de poids total soit plus élevé en 2010 qu’en 2009, la récolte de miel a été plus faible en 2010 et même très faible par endroits (Roussas et Montbrison en particulier).

4.5.2 Le couvain operculé

Une tendance très significative, sur l’ensemble des ruchers (mesuré pour chaque ruche), est l’incidence sur le gain de poids (K), du nombre d’alvéoles operculées à J0 (installation du rucher). Cette variable décrit la force de la colonie au moment de l’installation. En 2009, comme en 2010, ce facteur est très significativement lié (positivement) au gain de poids ($R^2 = 0,13$, $p - valeur < 10^{-4}$ en 2009; $R^2 = 0,14$, $p - valeur < 10^{-4}$ en 2010). Cet effet est d’autant plus important qu’il est mesuré conditionnellement à la variabilité des ruchers. L’effet du couvain operculé aux dates ultérieures est différent en 2009 et 2010 parce que la date d’observation change⁹.

En 2009 le couvain est ensuite mesuré à J12, date à laquelle tout le couvain operculé présent à J0 est désoperculé, alors que la mesure a été faite à J8 en 2010

9. Les deuxième et troisième dates de mesure du couvain ont changé entre 2009 (J0, J12, J24) et 2010 (J0, J8, J16). En effet, il se pouvait qu’une alvéole observé plein à J0 ou J12 puisse avoir été désoperculée puis réoperculée à J12 ou J24). De plus en 2010, nous avons prévu de cartographier les cadres de couvain de façon à savoir, pour chaque alvéole individuellement identifiée par sa position, son état exact aux trois dates. Toute confusion était donc levée et, en raccourcissant le délai entre deux observations, on se donnait les moyen de mieux estimer la fonction de ponte (décrite par l’operculation) dans le temps et la fonction de recrutement de jeunes abeilles (décrite par la désoperculation)

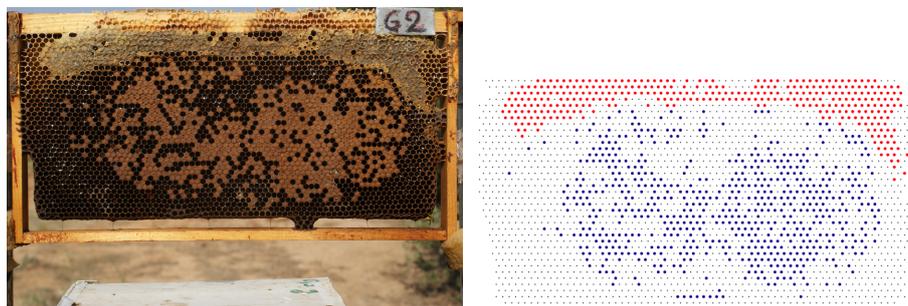


FIGURE 9 – Photographie et cartographie correspondante d’un cadre de ruche obtenue par analyse d’image (rouge = miel; bleu = couvain operculé; noir =alvéoles “vide” ; on ne tient pas compte du couvain ouvert)

où une partie du couvain operculé présent a pu être operculé avant l’installation du rucher. Pour ce facteur à J12 en 2009, l’effet sur le gain de poids est très faible quoique hautement significatif ($R^2 = 0,04$, $p - valeur < 10^{-4}$); il reste très important à J8 (et même supérieur à l’effet à J0) en 2010 ($R^2 = 0,21$, $p - valeur < 10^{-4}$). A cette date, se cumule la force de la population à l’installation (à J8 le couvain operculé est le reflet de l’activité de ponte de la reine dans les jours qui précèdent l’installation) et une intense activité de ponte dans les premiers jours de la miellée (entre J0 et J8) qui donnera des abeilles susceptibles de participer à la récolte. Le couvain operculé à J24 (2009) et ou à J16 (2010) est logiquement un descripteur faible ($R^2 < 0,05$, $p - valeur < 10^{-2}$).

On observe par ailleurs une tendance générale à la baisse de la quantité de couvain au cours du temps, ce que l’on attribue communément à la difficulté qu’ont les abeilles à trouver de la ressource en pollen à cette période; le lien entre ces deux facteurs est attesté par une corrélation très significativement positive, quoique faible, entre le couvain operculé à J16 et la quantité de pollen totale ($R^2 = 0,055$, $p - valeur < 10^{-4}$) en 2010.

Notons que, puisque ce facteur est important, des efforts sont encore nécessaires pour améliorer le comptage du couvain operculé de façon à prendre en compte sa structure plus ou moins agrégée qui est un paramètre riche d’enseignement. Le temps a manqué pour que nous achevions de mettre au point la procédure permettant de décrire cette structure mais les premiers résultats sont encourageants. Pour exemple, la figure (Fig. ??) présente la carte d’un cadre de couvain dont chaque alvéole est décrite par sa position dans l’espace et son état : miel, vide, operculé.

4.5.3 Le nombre de varroas phorétiques

Nous savons que la méthode de mesure employée¹⁰ n’est pas parfaite et ne donne pas une mesure exacte de l’infestation d’une colonie. Néanmoins, du fait du nombre important de colonies suivies par rucher et surtout par zones, nous considérons qu’elle constitue un bon indicateur du niveau d’infestation (Delaplane, 2010).

¹⁰. comptage sur environ 20 g d’abeilles prélevées à J0 et J24 et lavées.

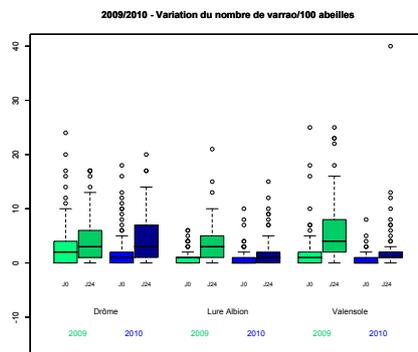


FIGURE 10 – Distribution du nombre de varraos phorétiques pour 100 abeilles dans les ruchers en 2009 et 2010

La charge en varraos phorétiques est un autre facteur dont on peut mesurer l’effet, négatif cette fois, sur le gain de poids dans l’ensemble des ruchers. Trois particularités sont à noter pour ce facteur pénalisant du gain de poids (Fig. ??) :

- la tendance à l’augmentation du nombre de varroa entre le début et la fin de la miellée est générale, quelle que soit la charge de départ ;
- la zone de Drôme provençale, contrairement aux autres régions, ne présente pas de baisse de la charge en varraos en 2010 (du moins en fin de miellée) ;
- la charge en varraos est distribuée de façon très hétérogène dans les ruchers et nombre de ruches ont une charge qui est très nettement supérieure à celle de la majorité des ruches pour une zone (rond vides : valeurs extrêmes supérieures à la borne de 95% de la distribution).

La corrélation négative avec le gain de poids est très significative, mais de faible poids sur la variabilité générale. Un autre fait à noter est la relation positive (faible mais très significative) entre le nombre de varroa à J0 et la quantité de couvain operculé à la même date en 2010 ($R^2 = 0,03$, $p - \text{valeur} < 10^{-4}$).

L’origine de ces différences entre régions n’est pas expliquée pour l’instant.

4.5.4 La ressource et le parcellaire de lavande

La ressource est un facteur difficile à quantifier. Nous avons tenté de l’approcher, en 2010, par une description précise du parcellaire dans un rayon de 1 km autour de chaque rucher à l’aide de photographies aériennes et d’une description *de visu*. Cette démarche tend à estimer une ressource potentielle liée aux surfaces disponibles et à la fragmentation du parcellaire. Les calculs des indices de fragmentation ne sont pas achevés et l’utilisation des seules surfaces disponibles ne permet d’établir aucun lien entre ressource potentielle et gain de poids. Nous n’avons pas pu établir, avec les lavandiculteurs, un indice de la qualité des parcelles de lavandes qui aurait permis de pondérer le parcellaire et nous aurait donné une meilleure estimation. Néanmoins, avec le parcellaire établi en 2010 avec précision sur les 24 ruchers, nous aurons un point de référence pour les mesures ultérieures.

Comme on l'a vu plus haut, le relevé du nombre de fleurs épanouies par épis en début de miellée a permis de comprendre une des causes du retard au démarrage de la miellée dans la Drôme. Signalons encore une fois, qu'une partie de l'effet "ressource" est contenu dans l'effet "Rucher", mais, contrairement à l'effet "couvain" et à l'effet "varroa" on ne peut pas en évaluer le poids propre dans la distribution de la variable d'intérêt "gain de poids" à l'échelle de la ruche.

4.5.5 Conclusion sur les tendances générales

Pour expliquer le poids des trois facteurs principaux décrits ci-dessus, on étudiera leur effet associé en posant un modèle linéaire global du type :

$$K = a_0 + a_1(\text{Rucher}) + a_2(\text{Couvain}J0) + a_3(\text{varroa}J0) + \epsilon, \epsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

La proportion croissante de la contribution des différents facteurs se lit à travers l'augmentation du coefficient R^2 quand on complète le modèle.

Pour 2009 :

- $R^2 = 0,59$, p -valeur $< 10^{-16}$ pour le modèle $K = a_0 + a_1(\text{Rucher})$; variance résiduelle (non expliquée) = 6.92;
- $R^2 = 0,685$, p -valeur $< 10^{-16}$ pour le modèle $K = a_0 + a_1(\text{Rucher}) + a_2(\text{Couvain}J0)$; variance résiduelle (non expliquée) = 6.15;
- $R^2 = 0,691$, p -valeur $< 10^{-16}$ pour le modèle $K = a_0 + a_1(\text{Rucher}) + a_2(\text{Couvain}J0) + a_3(\text{varroa}J0)$; variance résiduelle (non expliquée) = 6.11;

Pour 2010 :

- $R^2 = 0,63$, p -valeur $< 10^{-16}$ pour le modèle $K = a_0 + a_1(\text{Rucher})$; variance résiduelle (non expliquée) = 8.75;
- $R^2 = 0,701$, p -valeur $< 10^{-16}$ pour le modèle $K = a_0 + a_1(\text{Rucher}) + a_2(\text{Couvain}J0)$; variance résiduelle (non expliquée) = 8.00;
- $R^2 = 0,713$, p -valeur $< 10^{-16}$ pour le modèle $K = a_0 + a_1(\text{Rucher}) + a_2(\text{Couvain}J0) + a_3(\text{varroa}J0)$; variance résiduelle (non expliquée) = 7.9.

Notons que dans aucune des configurations, le modèle ne donne de poids significatif à l'interaction entre les facteurs. Ce qui nous fait faire l'hypothèse que la variable "Rucher" serait presque exclusivement représentative de l'effet de la ressource ou de l'environnement en général. Ce qui valide une démarche cherchant à isoler le poids de chaque facteur. Sous l'hypothèse précédente (le rucher est essentiellement lié à la ressource), on peut espérer, une fois la ressource décrite plus directement avec l'étude des composantes qualitatives du parcellaire, identifier la part de l'environnement dont on suppose qu'elle peut servir de révélateur pour les problèmes d'intoxications que d'autres méthodes viendront confirmer ou non. Il s'agit bien, ici, de l'objectif premier de cet observatoire : permettre d'identifier la cause de l'affaiblissement des ruchers. Cette démarche procède donc par attribution à chaque facteur mesuré de son poids sur la variation générale de la variable d'intérêt pour faire apparaître la part non expliquée de cette variation, localisant ainsi, "au rucher près", les sources de causes externes à ces facteurs principaux.

4.6 Études de cas particuliers : exemple de comparaison entre le rucher de Roussas et le rucher de Montbrison

A partir de ces tendances générales et de la décomposition permettant l'estimation du poids des facteurs principaux, on peut étudier de plus près, en descendant à l'échelle d'une région ou d'un rucher, le poids, à ces échelles, de ces facteurs. Un des enjeux essentiels de ce travail est de construire une structure de modèles qui permette d'agréger toutes les échelles en une seule analyse et de décrire, à chaque niveau l'articulation des différents facteurs et de la variabilité non expliquée par eux. Cette modélisation globale n'est pas encore achevée mais les résultats obtenus dans la présente étude sont une étape déterminante pour aller vers ce modèle.

On peut cependant déjà donner un aperçu de la façon dont répondent les différents facteurs à l'échelle des ruchers d'une même zone¹¹. En considérant chaque zone séparément, on montre que, à cette échelle aussi, tous les ruchers présentent une relation significative et positive entre gain de poids et taille du couvain operculé à J0; par contre la charge en varroa à J0 n'est un facteur significativement négatif que dans la Drôme et ce, pour les deux années.

Toujours à l'échelle des ruchers d'une même région, les comparaisons entre ruchers font apparaître, pour un même comportement de gain de poids, des disparités fortes d'environnement; c'est le cas quand on compare, en Drôme, Roussas et Montbrison. Dans le premier, le rucher est au centre d'un parcellaire riche (21 parcelles pour un total de 33,2 ha dans un cercle de 1 km de rayon autour du rucher, soit 10,6% de la surface) alors que celui de Montbrison est très clairsemé (15 parcelles pour un total de 11,3 ha sur la même surface, soit 3,6 % de la surface). La charge de varroa à J0 est plus faible à Roussas qu'à Montbrison (respectivement 3,6 et 7,9 pour 100 abeilles) et le couvain à J0 est plus élevé à Roussas qu'à Montbrison (respectivement 10518 et 7 133). Or ces deux ruchers ont tous deux donné une très faible récolte (respectivement $K_{Roussas} = 13,33$ kg et $K_{Montbrison} = 13,73$ kg; le gain de poids en hausses étant respectivement de 3.74 et 3.46). Il est légitime de s'interroger sur une raison non décrite par les facteurs mesurés qui puisse expliquer le fait que le rucher de Roussas ne donne pas une meilleure récolte que celui de Montbrison.

Sur l'ensemble du dispositif, des études comparatives devront être faites au cas par cas. et s'appuyant, en particulier sur les tests de distance¹². On trouvera des situations contradictoires (paire de ruchers attestés comme dissemblables par le test de distance et présentant les mêmes conditions au regard des facteurs mesurés ou des paires de ruchers similaires au regard du test et dont les conditions sont différentes) qui devront être expliquées par l'effet de facteurs non mesurés. Sur la base de ces comparaisons entre ruchers pour une même zone (sans oublier que la mesure des différents facteurs doit encore être améliorée), on peut guider la recherche de facteurs non pris en compte en particulier investir dans la recherche d'indices d'intoxications ou de pathologies (charges virales, contamination par *Nosema* ou autres) sur les échantillons d'abeilles collectés dans les ruchers tout au long de la campagne de mesure.

11. voir détail des résultats de l'année 2010 en annexe

12. voir ANNEXE 1, Tableau 1 et Tableau 2

4.7 Exploration des problèmes d'intoxication

En 2009 et 2010, à partir des résultats des ruchers de l'observatoire, complétés par les observations de comportements anormaux constatés lors des visites de ruchers en observation (aux quelles se sont ajoutés des prélèvements d'abeilles provenant de ruchers à problème hors dispositif), des analyses de présence de toxiques et de charges virales ont été pratiquées sur un certain nombre d'échantillon. Ces analyses peuvent être faites sur différentes matrices : abeilles d'intérieur, butineuse, abeilles symptomatiques, pollen¹³.

On trouvera ci-dessous le rapport de ces analyses pour les deux dernières années.

4.7.1 Commentaires sur les analyses multi-résidus et les analyses pathologiques en 2009

Voici le descriptif des ruchers à problème (dans le réseau de suivi et hors réseau) à partir desquels ont été obtenus les échantillons analysés (pour analyse pathologie : RS pour rucher du réseau initial et Pb pour rucher sur signalement ; TX pour analyse toxicologie).

1. Problèmes observés sur les ruchers en suivi :

Grignan : rucher B. Prélèvements d'abeilles devant les ruches le 30 juin. Les abeilles se nettoient, ne volent pas, ailes écartées. Pas de problème majeur sur planche d'envol, un peu de gardiennes qui s'emploient. Abeilles agressives sur le rucher. Analyse des prélèvements systématiques (suivis réguliers) : abeilles d'intérieur (colonies 4, 9 et 14) à J0, J12 et J24 RS7.

Salles sous bois : rucher C. Prélèvement d'abeilles le 30 juin. Mortalité devant de nombreuses ruches, abeilles qui se nettoient en station sur tiges et herbes devant les ruches. Prélèvements de fraîchement mortes et amorphes se nettoyant. Prélèvement de miel frais dans colonies avec mortalité devant la planche d'envol. Analyse des prélèvements systématiques (suivis réguliers) : abeilles d'intérieur (colonies 3, 10 et 12) à J0, J12 et J24 RS8.

Saint Christol : rucher I. Visite le 2 juillet. Abeilles tremblantes devant les ruches, ailes écartées, langue tirée. Nettoyage intense, difficultés à voler. Prélèvement d'abeilles traînantes sur tout le rucher ainsi que de miel frais et d'abeilles de hausse sur colonies avec symptômes intenses. Analyse des échantillons : abeilles mourantes TX17 et abeilles de hausse RS1 (CBPV) et TX6 (endosulfan alpha D,NQ). Analyse des prélèvements systématiques (suivis réguliers) : butineuses J0 TX12 et butineuses J12 TX13 (bifenthrine 0.015 mg/kg).

Roussas : rucher A. Le 4 juillet observation de mortalité devant plusieurs ruches. Quelques mâles mais surtout des ouvrières. Mortalité de quelques jours (abeilles pas fraîches) : dernière visite réalisée 4 jours auparavant (visite de J10 annulée). Prélèvement d'abeilles sur tout le rucher (traînantes, difficultés à voler) ainsi que de miel frais et d'abeilles de hausse sur colonies avec symptômes intenses. Analyse des échantillons : abeilles de hausse RS2 (CBPV) et TX7 ; abeilles mourantes RS4 et TX8. Analyse des prélèvements systématiques (suivis réguliers) : abeilles d'intérieur (colonies 5, 7 et 11) à J0, J12 et J24 RS3 ; butineuses J0 RS9 et TX10 (endosulfan alpha D,NQ), butineuses J4 RS10 et butineuses J12 TX11.

13. voir ANNEXE 4 la liste des substances analysées

Montbrison : rucher D. Le 6 juillet, prélèvement d'abeilles mourantes en station sur tiges devant les ruches ainsi que d'abeilles de hausse et de miel frais. Vignes du secteur traitées lors de la visite précédente (odeur). Analyse des échantillons : abeilles mourantes TX9. Analyse des prélèvements systématiques (suivis réguliers) : abeilles d'intérieur (colonies 1, 13 et 14) à J0, J12 et J24 RS6 ; butineuses J0 TX14 et butineuses J12 TX15 (endosulfan alpha D,NQ et propargite D,NQ).

St Jurs : rucher P. Le 2 juillet observation d'agressivité, d'abeilles traînantes. Mortalité plus ou moins forte mais éparse sur le rucher et continue devant les ruches. Celles-ci ne donnant pas les résultats attendus sur la miellée au vu des premières visites (belles colonies). Prélèvement le 28 juin d'abeilles mourantes. Analyse des échantillons : abeilles mourantes TX18 (endosulfan alpha 0.01 mg/kg). Analyse des prélèvements systématiques (suivis réguliers) : abeilles d'intérieur (colonies 2, 7 et 11) à J0, J12 et J24 RS5 ; butineuses J0 TX19 (endosulfan alpha D,NQ et endosulfan beta 0.012 mg/kg) et butineuses J12 TX20.

Puimoisson : rucher O. Mortalité faible observée à J10 (4 juillet).

Allemagne : rucher Q. Mortalité diffuse dans tout le rucher, abeilles traînantes observée à partir de J6 (1 juillet) jusqu'à J12 (7 juillet).

Roumoules : rucher R. Mortalité faible devant les ruches observées à J10 (5 juillet).

2. Visites sur signalement :

Grignan : visite réalisée le 24 juin. Ruches en place depuis le 13 juin, en provenance d'une miellée de thym (haut Hérault), comportant 8 à 9 cadres de couvain. Observation du comportement anormal d'abeilles devant les ruches : incapacité à voler, abeilles traînantes, langue tirée. Phénomène récent : l'apiculteur dit que cela n'existait pas au 19 juin lors de la dernière visite, seules quelques ruches avaient de la mortalité mais il y avait une grosse activité. Prélèvement d'abeilles fraîches et mourantes devant les ruches le 24 juin. Second prélèvement le 30 juin de miel frais dans les hausses et d'épis de lavandes dans les parcelles alentours. Analyse des échantillons : abeilles mourantes Pb5 (CBPV) et TX4.

Revest du Bion : Témoignage d'une dépopulation fin juin début juillet pour 2 ruchers d'un apiculteur qui les a retirés tout de suite. Pas de visite possible. Visite le 14 juillet d'un rucher signalé comme à l'arrêt depuis une semaine avec de fortes mortalités devant les ruches. Observations lors de la visite : 21 palettes avec ? des ruches présentant une mortalité devant la planche d'envol (mortalité ancienne mais assez importante). Bon état sanitaire apparent des colonies. Prélèvement de miel frais et d'abeilles de hausse sur colonies avec symptômes intenses. Analyse des échantillons : abeilles de hausse Pb7 et TX5 (bifenthrine 0.02 mg/kg).

Sainte Croix : Un rucher suspicieux avec des colonies en bon état sanitaire apparent, mortalité plus ou moins importante, les colonies se sont rétablies par la suite. Sur le rucher, mise en place de trappes à abeilles mortes, prélèvement de miel frais et d'abeilles de hausse le 9 juillet ainsi que d'abeilles de trappe le 11 juillet. Analyse des échantillons : abeilles de trappe Pb1 et TX1 et abeilles de hausse Pb2 et TX2.

Puimoisson : signalement de mortalité devant les ruches. Prélèvement d'abeilles traînantes et mortes par l'apiculteur et visite pour prélèvement d'abeilles de hausse et de miel frais le 8 juillet. Analyse des échantillons : abeilles traînantes et mortes Pb3 et TX3 (bifenthrine D,NQ) et abeilles de hausse Pb4 et TX16.

Chamaloc : Trois ruchers concernés : visite le 29 juillet par ADARA. Forte

dépopulation constatée, absence de butineuses. Signalement au réseau d'observation des troubles des abeilles. Enquête SRAL (en attente du rapport), la DSV n'a pas pu faire de prélèvement.

Montségur : Deux ruchers concernés. Visite par ADARA. Activation du réseau d'observation des troubles des abeilles. Prélèvements réalisés par ADARA et analyse de résidus orientée traitement vigne sans résultat.

Sainte Jalle : Dépopulations, les ruches se sont remises par la suite. Suspicion traitements arboriculture. Prélèvements réalisés, analyses (laboratoire des Pyrénées) négatives.

4.7.2 Commentaires sur les analyses multi-résidus et les analyses pathologiques en 2010

Neuf échantillon d'abeilles (butineuses, abeilles symptomatiques, abeilles mortes) ont été analysés sans qu'aucune trace de substances toxiques ne soit décelée.

Dans le pollen, il a été retrouvé 0,011 mg/kg d'indoxacarbe et 0,047 mg/kg de mandipropamid, pour le premier échantillon, et 0,930 mg/kg de lambda-cyhalothrine et 0,005 mg/kg d'hexachlorobenzène, pour le second échantillon. L'indoxacarbe est un insecticide oxadiazine non systémique qui possède un mode d'action très proche de celui des pyréthriinoïde. Il agit en bloquant le canal sodium voltage-dépendant des insectes. C'est un pro-insecticide qui subit une activation métabolique, ce qui entraîne généralement une toxicité retardée (24-72 h). Il est transformé en un métabolite toxique N-décarbométhoxylé qui est le véritable insecticide. Cette réaction n'est pas de même importance chez tous les insectes. La contamination provient, normalement, si on tient compte de son usage et de ses propriétés, d'un traitement par pulvérisation. Pour l'abeille sa toxicité aiguë est relativement élevée (mais moindre que celle des pyréthriinoïdes), avec une DL50 = 94-180 ng/Ab. Il est classé hautement toxique par l'US-EPA. Il a été retrouvé dans le pollen à 11 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Compte tenu de sa toxicité et des résidus mesurés, en se basant sur les teneurs toxiques pour les abeilles en intoxication chronique évaluées avec près de 30 insecticides, l'indoxacarbe pourrait être potentiellement toxique pour les abeilles. Cependant, les études de toxicité chronique n'ayant pas été effectuée, il est impossible de confirmer sa toxicité chronique. Une action à dose sublétales de l'indoxacarbe pourrait être envisagée mais les effets sublétaux sont mal renseignés dans la littérature. Toutefois, les butineuses ne sont pas les plus grandes consommatrices de pollen et, avec ces résidus, il est plus à craindre une toxicité larvaire. Avec une consommation cumulée de 40 mg de pollen chez les larves, la dose cumulée d'indoxacarbe chez la larve serait de 0,44 ng/larve. Cette dose est bien en deçà de la DL50 chez l'adulte et comme la toxicité larvaire n'a pas été étudiée, il n'est pas possible de préciser la toxicité de ces teneurs résiduelles en indoxacarbe. Dans les échantillons, il est associé au Mandipropamid, un fongicide mandélamide, à la teneur de 47 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Cependant, le Manidpropamid ne présente pas de toxicité aiguë pour les abeilles ($LD50 > 200 \mu\text{g}/\text{ab}$), n'est pas considéré comme dangereux pour les abeilles et pratiquement rien n'est disponible sur sa toxicité chronique et les effets sublétaux. L'association indoxacarbe et mandipropamide ne laisse pas supposer de synergie, bien qu'elle ne soit pas à exclure totalement. En ce qui concerne la toxicité pour les larves, avec une consommation de 40 mg/larve, la dose cumulée par larve serait environ 2 millions de fois inférieure à

la limite de détermination de la DL50 chez l'adulte ($> 200\mu g/ab$), ce qui rend un toxicité aiguë assez peu probable, bien que des effets développementaux puissent toujours être possibles.

En ce qui concerne le deuxième échantillon, la présence de l'hexachlorobenzène est assez intrigante. Il était utilisé en tant que fongicide mais est interdit car il fait parti de la liste noire des polluants organiques persistants particulièrement préoccupants. Le fait qu'il se retrouve à la concentration de $5\mu g/kg$ est plutôt surprenant car la contamination environnementale devrait être très élevée pour pouvoir observer de telles teneurs résiduelles. Compte tenu de la très faible solubilité dans l'eau ($5\mu g/L$), il est difficile de penser que ces teneurs soient obtenues par absorption racinaire d'autant qu'elles ne pourraient être atteintes qu'avec une contamination environnementale élevée. Ainsi donc, il est possible d'invoquer soit une utilisation frauduleuse (il était utilisé en enrobage de semences dans des temps anciens), soit une contamination par des produits de dégradation issus de la combustion (souvent associé aux dioxines), soit à une erreur d'analyse.

En revanche, les résidus de lambda-cyhalothrine sont assez inquiétants. Ils sont retrouvés à la concentration de $930\mu g/kg$. Pour atteindre de telles teneurs, les plantes visitées par les abeilles ont dû être traitées pendant leur floraison (doses/ha : 7,5 à 40 g/ha, généralement) car la molécule n'est absolument pas systémique. Aussi, compte tenu de la toxicité aiguë élevée de cette molécule pour l'abeille (DL50=38 ng/ab), ce pollen est potentiellement très toxique pour les abeilles. Avec de telles teneurs, il est possible de s'attendre à une toxicité larvaire car, si on considère qu'une larve consomme au total environ 40 mg de pollen, cela induit une dose cumulée d'environ 40 ng/larve. En comparant les doses par unité de masse corporelle chez l'ouvrière et la larve il est possible de tirer plusieurs conclusions :

- La dose cumulée de la larve atteint la DL50 chez l'ouvrière
- Chez l'ouvrière la DL50 représente une dose de 38 ng/100 mg de masse corporelle, soit $380\mu g/kg$ m.c.
- Chez la larve, la dose cumulée calculée avec cette contamination représente une dose de 40 ng/0,15 mg m.c. à 40 ng/80 mg m.c., soit $25.33\mu g/kg$ m.c. à $475\mu g/kg$ m.c., ce qui est dans tous les cas supérieur à la dose pondérale chez l'ouvrière.

5 Conclusions et perspectives

La mise en place de cet observatoire a donc permis d'approcher une description quantitative des principaux facteurs de l'activité des ruchers dans une large zone de production du miel de lavandes et d'identifier quelques un des facteurs qui ont un effet mesurable sur cette activité. Conformément à l'objectif, cette étude fournit une base de connaissances sur le contexte dans lequel les baisses d'activité sont constatées et permet de déceler des situations critiques où l'influence des facteurs mesurés ne suffit pas à expliquer le dysfonctionnement des ruchers.

Le choix, comme descripteur de l'activité des ruches, d'une modélisation logistique du gain de poids a permis de condenser l'information sans perte (du fait de la qualité de l'ajustement). Chaque ruche est donc caractérisée par un triplet $\{ K, \alpha, \beta \}$ à partir duquel on peut d'une part caractériser et d'autre

part comparer les ruchers.

Le premier enseignement est la caractérisation de la singularité de chaque rucher, vu sous l'angle de la dynamique du gain de poids. Le rucher comme unité d'observation et d'analyse est confirmé par les résultats des campagnes de mesures réalisées sur l'observatoire mis en place en 2009 et 2010. Le changement de protocole qui est intervenu entre 2008 et 2009 était donc une bonne réponse aux problèmes rencontrés lors de la première année d'étude.

Dans le contexte difficile de cette miellée qui, en fin de saison, voit les colonies soumises en particulier à une faible ressource, en pollen, nous avons identifié deux facteurs importants qui jouent un rôle opposé sur le gain de poids final :

- la quantité de couvain operculé à J0 a un effet positif sur le gain de poids. Ce paramètre décrit la qualité de la population au moment de l'installation sur les lavandes. Il est remarquable que ce soit la valeur de ce paramètre à J0 et non aux autres dates d'observation (J12 et J24 ou J8 et J16, respectivement pour 2009 et 2010) qui soit la plus déterminante. On suggère que la période de la miellée sur lavande étant pénalisante, l'état de départ des colonies gouverne leur capacité à faire face à ces conditions difficiles ;
- la quantité de varroas à J0 a un effet négatif sur le gain de poids. De même que pour le couvain, ce n'est pas la charge en varroas à J24, ni l'augmentation de cette charge entre J0 et J24 qui sont déterminants. Ceci semble confirmer la remarque faite à propos de l'effet du couvain à J0 : c'est la qualité de l'état sanitaire de colonies au moment de l'installation qui favorise le bon déroulement de la miellée.

N'ayant pas mis en évidence d'interaction entre l'effet de la variable "Rucher" et les deux facteurs précédents, nous postulons que la variable "Rucher" porte une grande part de la significativité de la ressource potentielle (remarquons que la ressource, aux particularités près du comportement de récolte que présentent les différentes ruches d'un même rucher) est bien une variable qui peut exercer son effet à l'échelle du rucher et plus qu'à l'échelle de la ruche elle-même. Mais nous n'avons pas assez d'informations précises permettant de caractériser cette ressource afin de confirmer cette hypothèse.

Finalement, c'est dans la comparaison des ruchers entre eux, sur la base leurs caractéristiques spécifiques¹⁴, que l'on peut approcher les raisons plus complexes à mesurer. La complexité de l'évaluation de ces facteurs (qu'il s'agisse d'intoxications ou d'infections) tient autant à la difficulté de la mise en évidence par les méthodes d'analyses appropriées qu'aux coûts engendrés par ces analyses. C'est une des raisons qui nous a fait rechercher d'abord à décomposer la variabilité de la mesure de l'activité des colonies, de façon à cibler avec efficacité les colonies pour lesquelles les études des paramètres décrivant les éventuelles intoxications ou infections seraient nécessaires.

Il faut aussi souligner que les variations de l'activité des colonies et du gain de poids moyen à l'échelle des ruchers ont montré qu'il faut distinguer soigneusement le gain total de la ruche et le gain de poids des hausses ; comme le montre l'augmentation du gain total entre 2009 et 2010 dans la Drôme qui se solde pourtant par une récolte plus faible en 2010.

L'ensemble de ces mesures ont aussi contribué à engager des avancées importantes dans la définition et l'analyse des descripteurs de l'activité des colonies.

14. voir détail des résultats en graphiques pour tous les ruchers de l'année 2010 en ANNEXE

La mise au point définitive du dénombrement et de la structure du couvain operculé qui permettra d'évaluer une fonction de ponte et une fonction de recrutement des jeunes abeilles a été entamée et sera parachevée. Il en va de même pour les modèles permettant de décrire la ressource disponible, en particulier sous l'angle de l'effet de sa fragmentation. Il reste encore beaucoup de travail à faire sur les données très riches que nous avons recueillies pendant ces deux années.

Cette étude a donc fourni d'une part une base de connaissance sur la hiérarchie des facteurs de l'activité des colonies qui est une des conditions de l'évaluation, en vrai grandeur, des effets non-intentionnels de l'environnement agronomique et d'autre part, cette étude établit, pour la profession, des outils pour une assistance technique à la préparation des ruches pour la miellée sur lavandes. Compte tenu de l'importance économique de la production du miel de lavande, cette aide à la profession permet d'évaluer l'intérêt de cette préparation pour une meilleure gestion de cette activité professionnelle.

Deux publications scientifiques sont en cours de rédaction d'une part sur la démarche générale d'analyse de la quantification du poids spécifiques de chaque facteur dont la mesure est susceptible d'un calcul d'erreur et d'autre part sur la quantification de la dynamique spatio-temporelle du couvain pour en extraire une fonction de ponte et une fonction de recrutement des jeunes abeilles. La présentation des résultats 2009-2010 a été faite à l'Assemblée générale de l'ADAPI et lors d'une réunion des adhérents de l'ADARA. D'autres réunions avec les apiculteurs professionnels sont prévues au début de l'année 2011. Des comptes rendus seront proposés aux revues professionnelles de l'Apiculture.

6 Remerciements

Nous tenons à remercier la DGPAAT, France Agrimer, l'U.E. et le Conseil Régional PACA pour le financement de ces campagnes de mesure. Nos remerciements vont aussi à l'ensemble des apiculteurs professionnels de l'ADAPI et de l'ADARA pour avoir mis à disposition leurs ruchers et avoir accepté les contraintes qu'impose un tel dispositif.