

SYNDICAT APICOLE DE LA REUNION

42, rue Alexandre Bègue

97416 - LA CHALOUBE

Mél : BENOIT.GIRAUDET@wanadoo.fr

Tél : 0262 548403 / 0692 828187



**Etude des impacts à court terme de la lutte
antivectorielle
sur les abeilles
dans le cadre de l'épidémie de chikungunya**

Eric Métas : Syndicat apicole de la Réunion, Apiculteur : metas@orange.fr

- Rapport d'expertise -

Résumé : Cette étude rend compte de l'évaluation des impacts de la LAV, lutte antivectorielle, sur les abeilles dans le cadre de l'épidémie de chikungunya qui touche l'île de la Réunion depuis début 2005. Cette étude a été commanditée par la DIREN et représente un des volets de l'étude d'impacts de la LAV sur l'environnement. Vu la courte période étudiée, deux mois, et l'absence de moyens permettant des analyses poussées, nous avons retenu comme méthode une technique simple de recueils de données sur le terrain, faite par des apiculteurs et des agents sanitaires en les orientant vers les conséquences connues que les produits utilisés pouvaient induire. Il apparaît deux tendances. Lors du premier protocole de nombreux incidents ont été répertoriés avec des pertes directes à l'entrée des ruches et des dépopulations massives et rapides des colonies entraînant leur disparition. Lors du deuxième protocole, le nombre des incidents répertoriés a été divisés par trois. Un tiers des ruches déclarées à la DSV ont été géoréférencées. Les apiculteurs ont été sensibilisés aux risques. L'impact sur les colonies a semblé moins fort. Il y eu cependant quelques incidents directs dus surtout à une mauvaise coordination des services. Il semble juste de dire que l'impact des traitements est plus en rapport avec les protocoles de la LAV : de la communication des positions des ruchers d'une part et de la prise de conscience du risque par les apiculteurs d'autre part. On peut déjà établir la nécessité absolue de mettre en place une LAV en concertation avec les services de prophylaxie et des organismes apicoles. L'élaboration de ces règles de conduites pourra ensuite faire l'objet de diffusion auprès des services de prophylaxie afin de limiter l'impact des traitements sur le cheptel apicole.

Summary: This investigation account affects bees of insecticide use against epidemic's vector. This appraisal takes place in Reunion island where Chikungunya is appeared since the beginning of the last year (2005). The DIREN manage this investigation, which is part of a global evaluation, describing all impacts of those insecticides on the environment. Considering the short period, only 2 months and the deficiency of tools to analyze precisely, we've simply decide to collect data dispatched by beekeepers and medical officers. We have informed them about the expected impacts of those products. Two protocols have been tested. During the first one, incidents occurred were principally huge loss in front of the beehives and a fast depopulation of the colony until its extinction. During the second protocol, incidents have been divided by 3. A third of hives declared to DSV have been localized. Honey men were informed of risks. Product's impact appeared more softy. Most of incidents came from regulation lack. Apparently, impacts are directly linked to :

- Protocols of insecticides use.
- Localization of apiary.
- Risk's consciousness of honey men.

We can already affirm that every protocol of insecticide use must be realized through a consultation of beekeepers and services in charge of fighting against mosquitoes. The rules emanated from this new type of protocol must be diffused to all staff doing this work. In this way, the impact on apiaries can be limited.

Introduction

1 – OBJECTIFS.

2 - MOTIVATIONS

2 – 1 – Un insecte pollinisateur essentiel

2 – 2 – Un insecte pollinisateur fragile

2 – 3 – Des insecticides non spécifiques

2 - 3 -1 - Le premier protocole

2 - 3 -2 - Le deuxième protocole

3 – PRE-REQUIS

3-1- Quelques données sur les insectes pollinisateurs

3-1- Quelques causes exogènes connues de régression de colonies

3-3- Le mode de contamination

3-4- Facteurs extrinsèques au produit

3-5- La vie d'une colonie d'abeilles à la Réunion

4 - CONDITIONS DE L'ETUDE

4-1- Conditions préalables

4-2- La fiche de suivi

4-3- Le questionnaire sur le premier protocole

4-3- Recueil de données sur le terrain

4-3-1 – Suivi de colonies par les apiculteurs

4-2-2 – Suivi de colonies par un agent sanitaire

4-2-3 – Suivi des incidents et prélèvements

5 - L'ANALYSE DES DONNEES

6 - LE GEOREFERENCEMENT

7 - LES MESURES DE PROTECTION MINIMUM

8 - CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS

Introduction

L'épidémie de Chikungunya qui sévit depuis mars 2005 à l'île de la Réunion a déclenché, par son ampleur, une réponse forte des autorités. Il a été décidé une lutte contre le vecteur à grande échelle par des épandages aériens d'insecticides. Dans ce cadre, la DIREN, direction régionale de l'environnement, a été chargée de diriger une étude sur les impacts potentiels sur l'environnement et sur d'autres populations non ciblées.

Le large spectre d'action des insecticides utilisés et la présence importante d'abeilles dans les zones urbaines et périurbaines traitées dans le cadre de la lutte antivectorielle, et l'imbrication des zones rurales et naturelles avec ces zones traitées, amènent logiquement à se poser la question de l'impact sur les insectes pollinisateurs en général, et plus particulièrement sur le cheptel apicole : L'abeille domestique étant retenue ici comme sentinelle des pollinisateurs.

La date fixée pour rendre nos conclusions, le 1^{er} juillet 2006, a rendu nécessaire des choix simples dans les protocoles de recueil de données et dans les méthodes d'analyse de ces données. Cette étude a pour objectif essentiel de montrer une tendance de l'évolution du cheptel apicole face aux traitements mis en œuvre et d'élaborer des actions précises afin de limiter l'impact de ces traitements.

1 – OBJECTIFS.

A - Suivi de l'évolution à court terme, sur une période de deux mois, de populations d'abeille et de leur activité de production dans le cadre de la lutte antivectorielle.

B - Evaluation de l'efficacité des mesures de protection des ruchers mises en place en concertation avec la DRASS en février 2006.

C - Elaboration d'un protocole pour limiter l'impact de la lutte antivectorielle sur les abeilles.

2 - MOTIVATIONS

2 – 1 – Un insecte pollinisateur essentiel

A la Réunion, la faible représentativité des insectes pollinisateurs, du fait de la jeunesse de l'île, au sein de l'entomofaune originelle a nécessité des stratégies de pollinisation, de la part des plantes endémiques, autres que la pollinisation entomophile. L'introduction de plantes exotiques, naturelles ou cultivées et étroitement liées à cette pollinisation, donne à l'abeille domestique un rôle essentiel dans le cadre de la pollinisation entomophile, autant dans les milieux naturels que pour l'agriculture (J. R. Mamet, 1992). Devant la disparition des habitats naturels des insectes pollinisateurs, elle contribue aussi au maintien de la biodiversité végétale.

L'abeille est reconnue comme un insecte important pour l'économie, d'une part pour les produits directement issus de l'apiculture, d'autre part en raison de son rôle primordial de pollinisateur de nombreuses cultures. De nombreuses productions fruitières, comme celle des letchis (8200 T en 2002, source PRPV 2005) et des agrumes (7500 T en 2002), dépendent directement de cette pollinisation. Il en est de même pour de multiples productions maraichères (fraises, melons), oléagineuses et légumineuses. L'intensité et la qualité du transfert de pollen d'une fleur à l'autre est un facteur du rendement au même titre que les éléments nutritifs, l'eau, la température... L'importance du facteur pollinisation, bien que reconnue, est assez difficile à chiffrer. Elle apparaît d'une façon aiguë dans les cas de réduction subite et de disparition accidentelle de la faune pollinisatrice dans les zones où l'on cultive des plantes à gros besoins de pollinisation. En 1998, la valeur des productions entomophiles pouvait être estimée à 97 milliard de dollars dans le monde, à 5 milliards d'euros en France et la part qui revenait aux insectes pollinisateurs à 30%, soit environ 1 milliards, ce qui représente d'après Borneck et Bricout (1984) plus que les exportations françaises de cognac ou bien le volume des exportations annuelles de blé. 70% de l'agriculture dépend plus ou moins directement de cette pollinisation.

D'autre part, il existe une sous-espèce locale, *Apis mellifica unicolor*, originaire de Madagascar répertoriée par Latreille en 1804 et acclimatée dans les îles Mascareignes (Maurice, Réunion) au 18^{ème} siècle ((Tribe, 1987 ; Crane, 1990) et qui est fortement présente dans certaines régions de l'île (Jean- Prost, 1987 ; Douhet, 1962). Cette espèce donne une particularité très intéressante à l'étude de l'abeille réunionnaise.

Outre ce rôle écologique et agronomique, l'abeille possède un intérêt économique grâce à la commercialisation des produits de la ruche (miel, pollen, cire, gelée royale) qui sont, à la Réunion, de fort rendement économique. La filière apicole est d'ailleurs actuellement dans

une démarche de reconnaissance de qualité de ces produits par un processus de certification en AOP (appellation d'origine protégée). Il est intéressant de noter que la bonne santé générale du cheptel apicole réunionnais (absence de varoase et de loque américaine) ainsi que l'interdiction totale d'importation depuis le début des années 1980, permet de travailler sur des souches d'abeilles présentant des risques sanitaires réduits limitant les interactions externes à l'étude.

2 – 2 – Un insecte pollinisateur fragile

L'abeille et la colonie peuvent se trouver exposées aux produits phytopharmaceutiques de plusieurs façons : de manière directe lors des épandages de produits sur les cultures ou lors de la LAV et de manière indirecte ou différée suite à la pollution, par ses mêmes traitements, des nectars et des pollens transportés à la ruche. Les résidus de produits s'accumuleraient dans les réserves de la ruche et dans les cires, exposant ainsi l'ensemble de la colonie.

On parle alors d'effets retards qui peuvent être létaux ou sublétaux mis en évidence en laboratoire ou en conditions contrôlées. Si ces effets sont largement démontrés en conditions expérimentales mais suspectés sur le terrain, peu de preuves formelles ont pu être apportées, il n'est ici pas possible de les évaluer faute de moyens objectifs pour les mesurer. On ne prendra en compte ici que des effets directs sur les colonies.

Il est d'autre part couramment considéré que les effets non intentionnels des xénobiotiques observés chez l'abeille domestique sont représentatifs de ceux pouvant affecter les autres pollinisateurs sauvages (bien qu'une variabilité de la sensibilité aux produits peut être relevée selon l'espèce ; Devillers *et al.*, 2003). *Les médias et l'opinion publique se sont d'ailleurs émus des intoxications observées durant le début de la lutte antivectorielle (ex : Témoignage du 22 mars 2006).*

Pour ces différentes raisons, il a été primordial de mettre en place une étude à court terme de surveillance des ruchers à la Réunion. L'originalité de la situation réunionnaise, liée à l'intensité des traitements et aux produits utilisés, permet d'acquérir les premières informations, servant de base pour transposer l'approche à d'autres cas d'épandage massifs d'insecticides (ex. démoustications ou luttes anti-vectorielles en zone méditerranéenne).

2 – 3 – Des insecticides non spécifiques

La dangerosité chez l'abeille de certains insecticides employés dans la lutte antivectorielle est connue. C'est le cas du Fénitrothion, pour lequel l'impact sur les ruchers, et conjointement sur les productions végétales, a été précédemment démontré (Kevan, 1991). Au sujet de la deltaméthrine, sa toxicité létale à court terme (Stevenson *et al.*, 1977), à long terme (Dechaume Moncharmont *et al.*, 2004) et ses effets sur le vol de retour à la ruche (Vandame *et al.*, 1995), sur l'activité de butinage (Decourtye *et al.*, 2004) ou sur l'apprentissage (Decourtye *et al.*, 2005), ont été largement étudiés. Par contre, la représentativité de ces effets mesurés en conditions contrôlées (laboratoire, cage, tunnel) par rapport à ceux affectant les colonies en conditions de la pratique reste posée.

Outre le fenitrothion et la deltaméthrine, on a sur les autres molécules utilisées en lutte antivectorielle, temephos et Bti, une connaissance très réduite de leur toxicité chez l'abeille, voire inexistante en conditions de la pratique.

2 - 3 -1 - Le premier protocole

Jusqu'au 14 février les produits utilisés étaient des insecticides de la classe des **organophosphorés** :

Le fénitrothion est un insecticide non systémique agissant par contact en se fixant sur le site estérasique de l'acétylcholinestérase à la place du substrat naturel, l'acétylcholine. Il a été préconisé dans la **lutte adulticide**.

Dans le cas de son utilisation comme adulticide sur *Aedes* à la Réunion, la dose hectare préconisée est de 200 g de matière active/ha. Deux formulations ont été utilisées, le paluthion (émulsion concentrée à 500g/l) et le fénitrothion 550 (émulsion concentrée à 550g/l). Dans le cas des pulvérisations à ultra bas volume (UBV ou ULV), la préparation paluthion est mélangée avec du pyretrex fogger, lui-même constitué d'un mélange de pyréthrine (3g/l) et de pipéronyl butoxide (24g/l).

Le fénitrothion est une molécule peu persistante dans le sol et l'eau.

La toxicité aiguë et chronique du fénitrothion pour les oiseaux est relativement élevée.

Le fénitrothion présente une faible toxicité aiguë pour les mammifères.

Le fénitrothion présente une toxicité élevée vis-à-vis des invertébrés aquatiques, de l'ordre de µg/l tandis que sa toxicité pour les poissons sans être faible est moins importante, de l'ordre de la centaine de µg/l.

Le téméphos est un insecticide non systémique agissant par contact en se fixant sur le site estérasique de l'acétylcholinestérase à la place du substrat naturel, l'acétylcholine. Il est préconisé dans la lutte larvicide. Il est couramment utilisé contre les moustiques.

Les données disponibles suggèrent une faible persistance du téméphos dans l'environnement.

Le téméphos présente une faible toxicité aiguë pour les mammifères. En revanche la toxicité aiguë et chronique de cette molécule vis-à-vis des oiseaux est élevée.

Le téméphos présente une toxicité aiguë importante vis-à-vis des invertébrés aquatiques. A coté de ces effets toxiques directs, le téméphos induit des altérations du comportement de certains invertébrés aquatiques, comme par exemple le comportement de fuite, se traduisant par une augmentation de la prédation et donc une diminution des populations situées en zones traitées.

La toxicité vis-à-vis des poissons est plus faible, les concentrations létales 50% étant de l'ordre de la dizaine voir de la centaine de mg/l.

Dans le cas de son utilisation comme larvicide à la Réunion la dose préconisée était de 2,5 g de matière active /l. Le téméphos a été appliqué sous la forme de la préparation Abate 500.

Les traitements sont limités, en principe, aux gîtes larvaires ne pouvant être détruits mécaniquement.

→ *On peut noter que la mise en place de ce protocole s'est faite avec beaucoup de confusion et que la succession, parfois sur un même site et sur une période très courte, d'équipes non coordonnées et très mal formées ne permet pas de connaître le volume des doses réellement utilisées dans les premières semaines de ce protocole. Cette confusion partait d'une bonne volonté mais s'est traduite par des incidents importants notamment au sein des ruchers.*

2 - 3 -2 - Le deuxième protocole

A partir du 14 février, la lutte s'est organisée plus efficacement et les insecticides ont changé. On a fait appel à la deltaméthrine et au Bti.

La deltaméthrine est un insecticide de la famille des pyréthrinoides de synthèse. C'est un toxique du système nerveux qui agit principalement au niveau des canaux sodium des fibres nerveuses qu'elle bloque en position ouverte. Accessoirement elle inhibe les ATP-ases Ca^{++} / Mg^{++} dépendantes et perturbe la transmission synaptique.

Dans le cas de son utilisation en lutte adulticide la deltaméthrine est utilisée à la dose de 1g matière active par hectare. Les formulations K-Othrine ULV 15/5, Aqua K-Othrine ont, en particulier, été utilisées. Ces formulations contiennent, outre de la deltaméthrine, de l'esbiotrine, dont le rôle est d'exciter le moustique, afin que, en se mettant à voler, il entre en contact avec une plus grande quantité de deltaméthrine. En effet, les traitements ayant lieu la nuit pendant la période de repos du moustique il a paru nécessaire d'optimiser l'exposition des organismes.

La deltaméthrine est une molécule peu persistante dans le sol et dans l'eau.

Elle est peu mobile dans les sols et s'adsorbe très rapidement sur le sédiment.

La durée de demi-vie dans le système eau/sédiment est de 40 jours tandis que dans la phase aqueuse celle-ci est de 17 heures.

La deltaméthrine présente une faible toxicité pour les oiseaux tant en aigu qu'en chronique tandis qu'elle présente une toxicité aiguë relativement importante vis-à-vis des mammifères.

De très nombreuses données d'écotoxicité de laboratoire sont disponibles pour cette molécule. Celles-ci mettent en évidence des toxicités aiguës et chroniques très importantes pour cette molécule vis-à-vis des organismes aquatiques tant vertébrés qu'invertébrés, et aussi l'absence de toxicité vis-à-vis du phytoplancton. Toutes ces études confirment également la faible persistance de la molécule dans le milieu.

Le ***Bacillus thuringiensis var. israelensis (BTi)*** est un larvicide particulièrement actif sur les larves de Diptères Culicidés.

Il s'agit d'une toxine extraite d'une bactérie vivant naturellement dans les marais. L'effet larvicide est obtenu après ingestion par les organismes exposés d'un cristal composé de 4 protoxines, résultant de la sporulation de la bactérie. Sous certaines conditions de pH et de composition enzymatique dans le tube digestif des organismes exposés, les protoxines inactives sont transformées en toxines actives qui vont se fixer sur un récepteur spécifique situé sur les cellules en brosse de l'épithélium intestinal entraînant la lyse des cellules et la mort de l'individu. L'action du BTi est donc relativement spécifique car il n'agit que dans une étroite gamme de pH intestinal. Cependant une partie de la faune non cible peut être affectée par un traitement au BTi, en particulier les peuplements de Diptères Chironomidés.

A moyen terme, l'effet des traitements au BTi sur les communautés non cibles reste inconnu. En effet, si la spécificité du BTi a été clairement montrée en conditions de laboratoire, *in situ*, les résultats sont plus controversés. Ainsi les études mettent en évidence un impact direct sur les chironomes (mortalité des larves et impact sur la structure du peuplement d'adultes). En revanche, ces mêmes études ne révèlent pas d'impact direct sur les Planaires, les Oligochètes,

les Mollusques Gastéropodes, les Crustacés (Copépodes, Cladocères, ...), les Insectes Odonates, Hémiptères, Coléoptères ou Ephéméroptères.

→ *La mise en place de ce deuxième protocole s'est accompagnée de la prise en compte de facteurs extrinsèques à la LAV avec la prise de conscience d'éventuels impacts sur l'environnement en général et particulièrement sur les abeilles. On peut également mettre en exergue la qualité d'organisation avec lequel ce deuxième protocole s'est appliqué permettant une étude plus objective des éventuels incidents.*

3 – PRE-REQUIS

3-1- Quelques données sur les insectes pollinisateurs

Un trait commun relie les différentes espèces d'insectes hyménoptères impliqués dans les transferts de pollen : elles sont toutes strictement inféodées aux plantes à fleurs, desquelles elles tirent exclusivement leurs ressources alimentaires, le pollen et le nectar. Ces liens privilégiés, l'existence de structures anatomiques adaptées à la récolte de cette nourriture ainsi que l'abondance relative des hyménoptères mellifères nous incitent à les considérer comme les principaux insectes pollinisateurs, bien supérieurs en efficacité aux autres ordres d'insectes floricoles pouvant appartenir aux coléoptères, diptères, lépidoptères. Le groupe des hyménoptères mellifères, que l'on rassemble aussi sous le vocable d'Apoïdes, est constitué d'espèces sociales et d'espèces à mœurs solitaires. Les mellifères sociaux vivent en colonies qui atteignent 50 000 individus chez l'Abeille domestique mais qui dépassent rarement 500 individus chez les Bourdons d'Europe par exemple. Certaines colonies sont annuelles alors que celles d'abeilles sont pérennes. Il existe une vingtaine d'espèces répertoriées de mellifères non sociaux à la Réunion, appelés aussi abeilles solitaires. Elles n'ont pas de comportement d'entraide sociale, les femelles se contentant de confectionner des cellules d'élevage qu'elles garnissent partiellement avec une pâtée plus ou moins liquide, mélange de pollen et de nectar, et qui sert de support à chaque œuf.

Quant à l'habitat des mellifères, il est extrêmement varié : on sait que les abeilles domestiques occupent soit les ruches d'apiculteurs, soit des cavités naturelles obscures. Beaucoup d'espèces de mellifères solitaires (Andrènes, Halictes) creusent des terriers soit en recherchant un sol herbeux, soit au contraire un sol nu comme certains chemins, tandis que les Mégachilides nidifient au-dessus du sol dans des cavités naturelles (bois mort, vieux murs). Ils cloisonnent leur nid avec des matériaux très divers allant de la terre humidifiée (Osmies maçonnes) en passant par de la résine de conifère (Heriades), des poils végétaux (Anthidium) ou des découpures de feuilles (Mégachiles). Il est à noter que la fécondité des femelles mellifères solitaires dépasse rarement une vingtaine d'œufs. Le vol et la période de ponte de chaque espèce ont souvent lieu une fois par an, durant seulement 1 à 2 mois. La période d'apparition d'une espèce donnée est assez brève (1 à 2 mois) si on la compare à celle des espèces sociales : au moins 8 mois pour l'abeille domestique. Bien souvent, les espèces solitaires fréquentent préférentiellement une famille de plantes ce qui les fragilise d'autant plus, alors que les abeilles sont capables de se nourrir sur une très large gamme d'hôtes végétaux.

3-1- Quelques causes exogènes connues de régression de colonies

La population d'abeilles domestiques varie en un lieu donné au gré des migrations saisonnières, les transhumances, qui sont le fait des apiculteurs à la recherche des floraisons

les plus profitables pour leurs colonies. Par contre, chez les mellifères sauvages, le maintien des peuplements ne peut être attendu que si leur habitat est conservé et la nourriture assurée. Il est donc possible d'énumérer une série de raisons expliquant dans certaines zones la régression notable de leur population, voire de leur extinction. L'urbanisation et la mise en culture intensive impliquent la suppression des zones refuges que sont les jachères, haies et talus et aussi la réduction des ressources alimentaires ; celle-ci est la conséquence de deux actions conjuguées : celle des herbicides totaux ou sélectifs et celle de la monoculture en particulier la culture de plantes dépourvues d'intérêt pour les insectes mellifères telles que la canne à sucre. Naturellement, l'usage des insecticides est aussi un facteur perturbant parfois très gravement les insectes pollinisateurs, insuffisamment protégés malgré leur statut d'auxiliaires de l'agriculture et leur action bénéfique dans le maintien de la diversité de la flore spontanée. Louveaux (1984) rappelle que l'apiculture a énormément souffert de la généralisation des traitements phytosanitaires dans les années 50, particulièrement dans le bassin parisien où s'étendait d'année en année la culture du colza. D'après cet auteur, des milliers de ruches ont été détruites par les insecticides organochlorés de l'époque. A une plus grande échelle, des statistiques précises et éloquents sont disponibles aux Etats-Unis où l'on cite la destruction de 70 000 colonies d'abeilles en Californie, pour la seule année 1967, en raison de traitements du coton avec du carbaryl (Louveaux, 1984). Toute culture visitée préférentiellement par les abeilles et les autres mellifères et subissant un ou plusieurs traitements phytosanitaires est une culture à risques. Il est à noter que les cannes à sucre, dont les fleurs n'ont rien d'attractif pour les insectes mellifères, peuvent être elles aussi des cultures à risque, car elles sont parfois visitées par les abeilles qui viennent butiner les jus sucrés très abondants lors de la coupe. Les traitements des vergers sont de fréquentes causes d'accidents survenant aux ruches proches de ces cultures.

3-3- Le mode de contamination

Les insecticides prennent deux chemins principaux pour atteindre leur cible. Ils peuvent traverser le tégument des mellifères lorsque ceux-ci se trouvent sous le jet d'un appareil de traitement ou lorsqu'ils marchent sur les résidus du produit déposé sur les végétaux. Ils sont également ingérés lors de la consommation du nectar contaminé au fond des corolles. Cette contamination est d'autant plus forte que l'insecticide peut avoir des propriétés endothérapeutiques, pénétrant ainsi facilement dans les vaisseaux conducteurs de sève. Les abeilles domestiques consomment également de l'eau ou du miellat de pucerons pollués. Il existe un mode insidieux de contamination : le transport au nid, par les butineuses, des aliments pollués, nectar ou pollen, ainsi que l'eau qui vont servir à nourrir, soit des congénères adultes, ce qui arrive régulièrement chez l'abeille domestique, soit des larves. Les molécules toxiques agissent généralement en perturbant la conduction de l'influx nerveux ; cependant des produits d'une génération nouvelle (« régulateurs de croissance ») inhibent la synthèse de constituants du tégument et, de ce fait, ne perturbent que les larves.

Il est évident que les effets des intoxications des mellifères seront, en fonction de la matière active, tantôt immédiats, tantôt différés. S'il y a effet immédiat, les conséquences sont visibles après quelques heures et durant 2 à 4 jours, aboutissant parfois à l'extinction totale de la population. Dans le cas des insecticides régulateurs de croissance, les effets peuvent être lents à apparaître : par exemple on a vu que la mortalité larvaire maximale, dans un rucher butinant un verger traité au phénoxy-carbe, n'était enregistrée qu'au 17^{ème} jour. Cette matière active, inoffensive pour les adultes, était transmise par les ouvrières nourrices récoltant nectar et pollen contaminés aux larves, qui, très sensibles, n'ont pu arriver au terme de leur

développement de 3 semaines. Il est des cas où les effets létaux sont encore plus retardés ; ainsi, lorsque l'insecticide est intégré à des provisions de pollen qui sont stockées plusieurs mois dans la ruche. Un tel stockage survient facilement avec les insecticides « encapsulés » qui se présentent sous l'aspect de microsphères creuses et poreuses en matière synthétique, laissant diffuser lentement la matière active tout en la protégeant. Ces microsphères ont la même taille que certains grains de pollen, soit quelques dizaines de microns de diamètre et elles adhèrent sans difficulté à la pilosité recouvrant le corps des butineuses. Les méfaits des insecticides encapsulés sur les larves durent tant que les provisions de pollen sont utilisées. Un autre mode de transport des insecticides a été observé en champ de luzerne chez la Mégachile utilisée à grande échelle pour la pollinisation de cette culture en Amérique du Nord. Elle confectionne son nid en tapissant des cavités tubulaires avec des morceaux de feuilles de luzerne découpées. Ce comportement constructeur particulier, propre à ce genre, provoque l'intoxication des larves lorsque ces dernières sont sensibles à l'ingestion de certains résidus qui contaminent les provisions en contact très étroit avec les feuilles.

Le symptôme typique d'empoisonnement est le **dépeuplement rapide des nids** suite à la mort des adultes ou des larves. Les adultes peuvent mourir à l'entrée du nid ou dans le cas de certaines intoxications au sein même de la culture traitée. D'autres symptômes ont été identifiés : ce sont des **réactions sublétales**. On peut les obtenir expérimentalement par application de faibles doses de produit. Le signe le plus bénin est l'hyperactivité. Les comas réversibles surviennent, « effet knock down », dans le cas d'intoxication avec les pyréthrinoïdes. Le retour à une activité normale des insectes comateux est lié à la dégradation interne des molécules insecticides grâce à certains enzymes. Chez la Mégachile de la luzerne, on a enregistré des baisses de fécondité des femelles à la suite d'applications sublétales de trichlorfon, de deltaméthrine et de fenvalérate. La longévité des ouvrières d'Abeille domestique est réduite après des traitements au carbaryl, au diazinon et au malathion. Le fenthion rend les colonies incapables de produire les reines nécessaires à la multiplication de l'espèce par essaimage. Quant au parathion, il occasionne à faible dose des pertes de l'orientation des butineuses en raison du dérèglement du système de transmission des informations concernant l'emplacement des ressources de nourriture. Ces observations convergentes montrent que lorsqu'un traitement phytosanitaire est exécuté sur une culture visitée par des pollinisateurs, ces derniers subissent des pertes immédiates ou différées qui affectent les adultes et les larves. Très souvent se greffent sur ces troubles assez visibles des perturbations physiologiques sublétales atteignant insidieusement le potentiel de reproduction des insectes mellifères ou leur comportement alimentaire.

3-4- Facteurs extrinsèques au produit

La toxicité intrinsèque des matières actives utilisées en protection des cultures peut être évaluée par des essais de laboratoire standardisés et l'on peut ainsi classer les insecticides selon leur action sur les insectes pollinisateurs. Il est cependant difficile, malgré l'acquisition des données du laboratoire, de prévoir l'étendue des dommages que subira la faune pollinisatrice soumise à l'épandage de tel ou tel produit commercial sur une culture ou dans le cas d'une LAV. **En effet, les circonstances de l'application peuvent en modifier profondément les conséquences.** Plusieurs sortes de facteurs sont à considérer : l'environnement, particulièrement le climat et la flore, le facteur « insecte », à savoir l'espèce ou le stade de développement, et les facteurs « techniques », tels que le choix du produit, son dosage, etc.

Il est évident que les risques encourus par les mellifères sont accrus lorsque la température et l'heure dans la journée sont favorables au butinage. De même, si la zone traitée est beaucoup plus attractive que l'environnement floral, la quasi-totalité des butineuses s'y trouveront concentrées et elle deviendra un piège redoutable comme bien souvent le sont les vergers. Comme on l'a vu plus haut, il existe chez les insectes mellifères une grande diversité d'espèces qui révèlent des sensibilités variables à une même matière active. La figure 2 montre clairement que la Mégachile de la luzerne est 2 fois plus sensible au toxaphène que l'abeille domestique (DL50 (4) 2 fois moindre) et qu'elle est, à l'opposé, 23 fois plus résistante au carbaryl que l'Abeille. Si l'on considère les stades de développement d'une espèce donnée, il n'est pas rare de constater une grande différence de sensibilité entre les larves et les adultes. Par exemple, le diazinon est 3 700 fois plus toxique pour la larve d'Abeille que pour l'ouvrière, mais le disulfoton est 6 fois plus toxique pour l'ouvrière que pour la larve alors que les 2 stades réagissent de la même façon à la même dose d'endosulfan. A noter que le captane qui est un fongicide inoffensif pour les ouvrières est dangereux pour les larves en raison de leur sensibilité 70 fois plus élevée. Si l'on porte un regard global sur l'évolution des populations en contact avec les insecticides, on peut affirmer que les effets nocifs seront plus sûrement ressentis par les Abeilles non sociales (Mégachiles, par exemple), car les individus exposés sont les responsables exclusifs de la reproduction de l'espèce, à savoir les mâles et les femelles.

Pour les **Abeilles domestiques**, ce sont elles qui ont relativement la meilleure protection puisque les reines ne vont jamais butiner et sont constamment nourries par les ouvrières. On doit aussi souligner que chez les mellifères sociaux, les colonies issues de reines de haute qualité, pondant intensivement, se développent vite et sont pourvues d'un plus grand nombre de butineuses que les colonies faibles, par conséquent ce sont elles qui vont courir le plus grand danger dans les zones traitées.

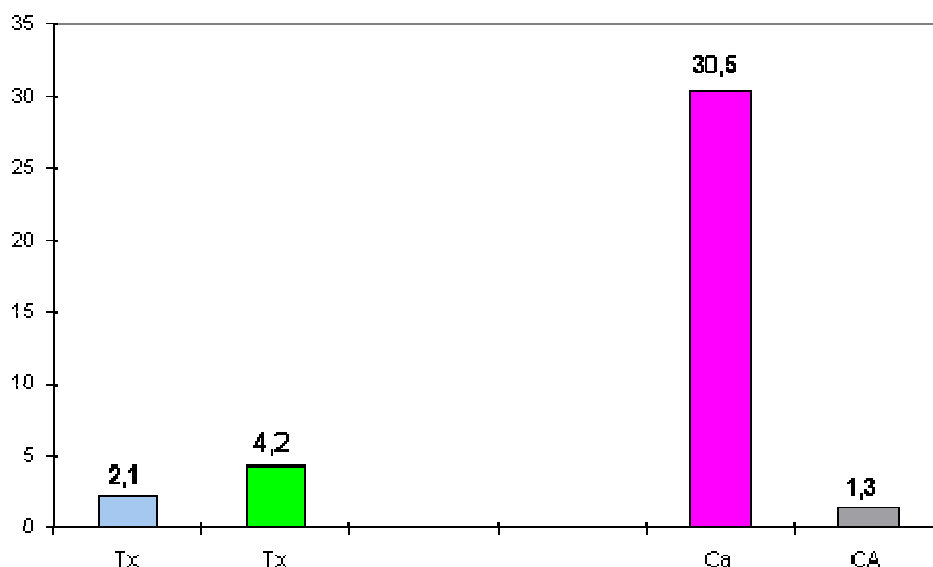


Figure 2. Toxicité de 2 insecticides à l'égard de 2 espèces d'insectes pollinisateurs : la Mégachile de la luzerne (*Megachile rotunda*) et l'Abeille domestique. Estimation de la DL50 (Johansen, Jaycox et Hutt, 1963)

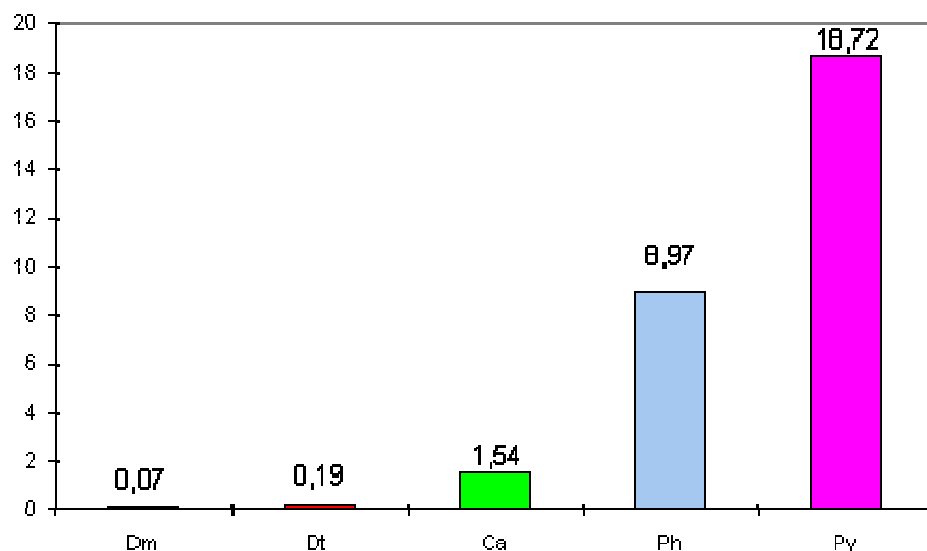


Figure 3. Toxicité de quelques matières actives insecticides à l'égard de l'Abeille domestique (Atkins, Kellum et Atkins, 1981).

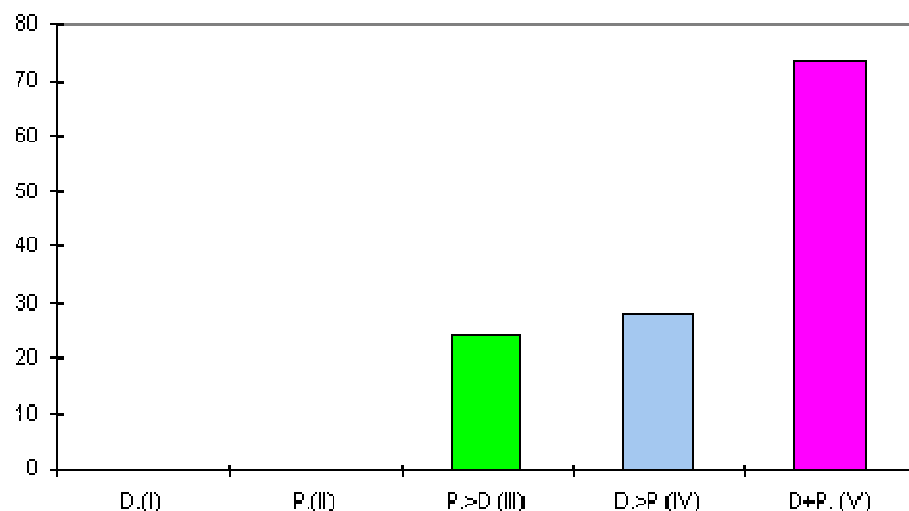


Figure 4. Effets de synergie d'une association insecticide-fongicide : cas de la deltaméthrine (D.) et du prochloraze (P.1) pulvérisés soit séparément (I et II), soit l'un après l'autre (III et IV), soit en mélange (V). Doses utilisées : deltaméthrine : 0,125 g/ha, prochloraze : 25 g/ha (selon Belzunces et Colin, 1993)

Bien des surprises en matière d'écotoxicologie proviennent du comportement de l'utilisateur du produit de traitement. Il est donc utile de discuter l'importance de quelques paramètres techniques impliqués dans les intoxications de mellifères. Plusieurs questions méritent d'être posées : quelle matière active est employée ? A quel dosage par hectare ? Avec quel outil d'épandage ? Y a-t-il association d'autres produits avec l'insecticide ? Quelle est la rémanence de l'insecticide sur les plantes ?

En premier lieu, considérons la toxicité intrinsèque de la matière épandue : on peut être surpris par l'ampleur de la variation de cette donnée fournie par un même laboratoire et concernant une même espèce de mellifère.

La figure 3 montre qu'il faut 267 fois moins de deltaméthrine que de pyrimicarbe pour occasionner la même mortalité chez l'Abeille domestique. Naturellement, le classement des

matières actives s'effectue dans un premier temps à l'aide de cette indication de base mais les conséquences négatives du traitement découleront en grande partie de la quantité qui entrera en contact avec les butineuses, autrement dit de la dose/ha épandue. Cette donnée est en principe invariable pour une culture précise (dose d'homologation). Le rapport de cette dose/ha au niveau de toxicité évaluée en laboratoire est un indice qui laisse présager les dommages que subiront les populations de mellifères.

Parfois des accidents imprévisibles surviennent dans des ruches exposées à des traitements effectués avec des mélanges de produits à priori sans danger, par exemple de la deltaméthrine et un fongicide inoffensif tel que le prochloraze. Un essai de laboratoire (figure 4) a montré qu'une telle association rend l'insecticide dévastateur même si son dosage est 50 fois inférieur à la dose homologuée (6,25 g/ha). Il est remarquable que cette synergie soit, bien qu'atténuée, encore sensible lorsque le traitement insecticide est appliqué, soit avant, soit après le traitement fongicide.

Un élément réduit souvent les risques d'intoxication, c'est la **répulsivité** des insecticides. Elle n'est pas constante, variant non seulement d'une matière à l'autre mais également d'une application à une autre pour un même produit. Les butineuses qui abordent la fleur traitée rebroussement chemin sans se poser, c'est ainsi que les parcelles traitées voient se raréfier les visiteurs durant plusieurs heures suivant le traitement. Cet effet a des conséquences négatives sur la pollinisation, mais favorables à la conservation des mellifères. Il est d'autant plus marqué que l'application du traitement est faite de façon progressive, ce qui est le cas des applications par voie terrestre. Par contre, si l'insecticide est pulvérisé par voie aérienne, les insectes butineurs sont touchés d'une manière beaucoup plus brutale, leur possibilité de fuite étant très réduite. Par ailleurs, les traitements aériens s'effectuant avec de faibles volumes de liquide, les gouttelettes sont très concentrées en produit actif et sont de ce fait plus agressives à l'égard des insectes auxiliaires que dans le cas des traitements terrestres.

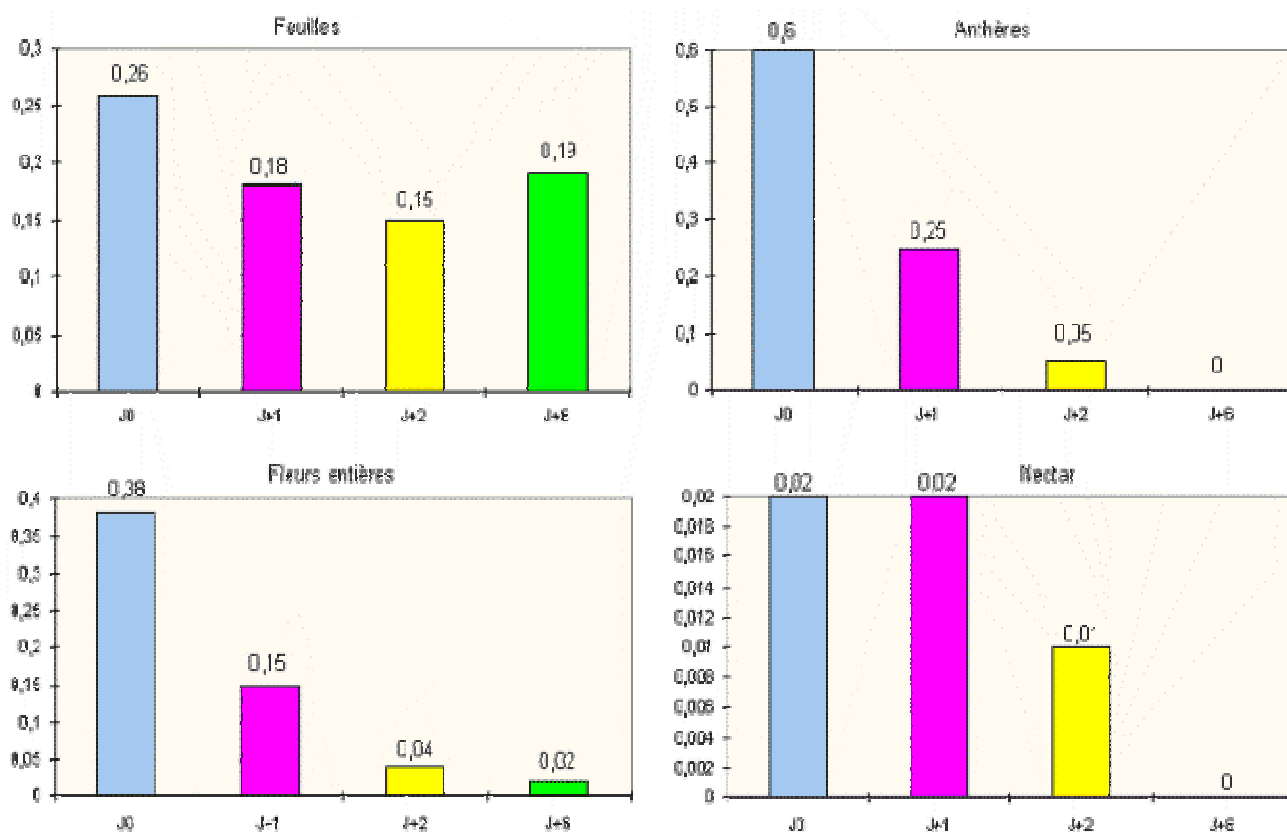


Figure 5. Résidus de deltaméthrine en mg/kg sur diverses parties de plantes de colza traité le jour «J0» (d'après Sabik, 1991).

Il est enfin important de considérer la longévité des résidus sur les plantes. Certaines substances ou formulations ont une grande rémanence, par exemple les insecticides encapsulés. La deltaméthrine a une réputation de bonne rémanence, pourtant on se rend compte sur la figure 5 qu'il y a une dégradation assez rapide de la molécule puisqu'au bout de 6 jours les feuilles traitées ne contenaient plus que le tiers de la matière active déposée. Quant aux prélèvements exécutés sur les fleurs, ils indiquent une chute du taux de contamination beaucoup plus rapide : au bout de 2 jours les fleurs récoltées ne renferment que le dixième des résidus initiaux. Ce résultat s'interprète en considérant que les fleurs fanent vite et que plus on attend et plus on a la chance de prélever une fleur peu chargée en insecticide car en bouton au moment du traitement. Il y a tout lieu de penser que dans le cas des insecticides agissant uniquement par contact, les dommages peuvent survenir sur une période de 2 à 3 jours seulement. Sur la figure 5, on constate que le nectar est 30 fois moins contaminé que les anthères renfermant le pollen. L'analyse chimique prouve que l'on ne peut plus détecter d'insecticide sur les ressources alimentaires des butineuses, 6 jours après la pulvérisation.

Les actions peuvent être directes, mais elles sont assez souvent indirectes par les résidus déposés sur les plantes, contaminant la nourriture des insectes mellifères : pollen et nectar. Divers symptômes affectent les adultes, la survie des insectes cachant parfois des conséquences sublétales des traitements, affaiblissant leur potentiel de reproduction. L'action des insecticides sur les stades immatures est d'autant plus insidieuse qu'elle est obligatoirement différée.

3-5- La vie d'une colonie d'abeilles à la Réunion

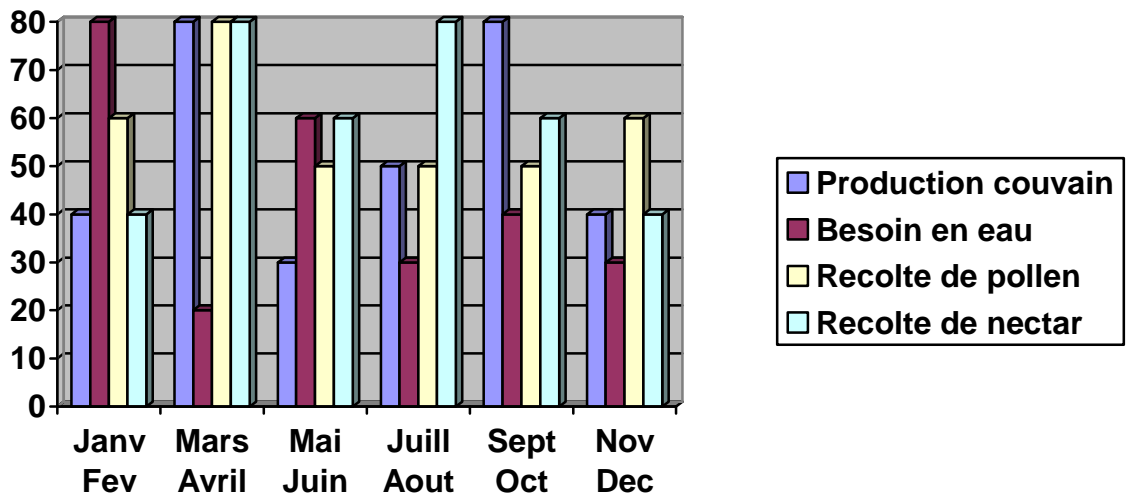
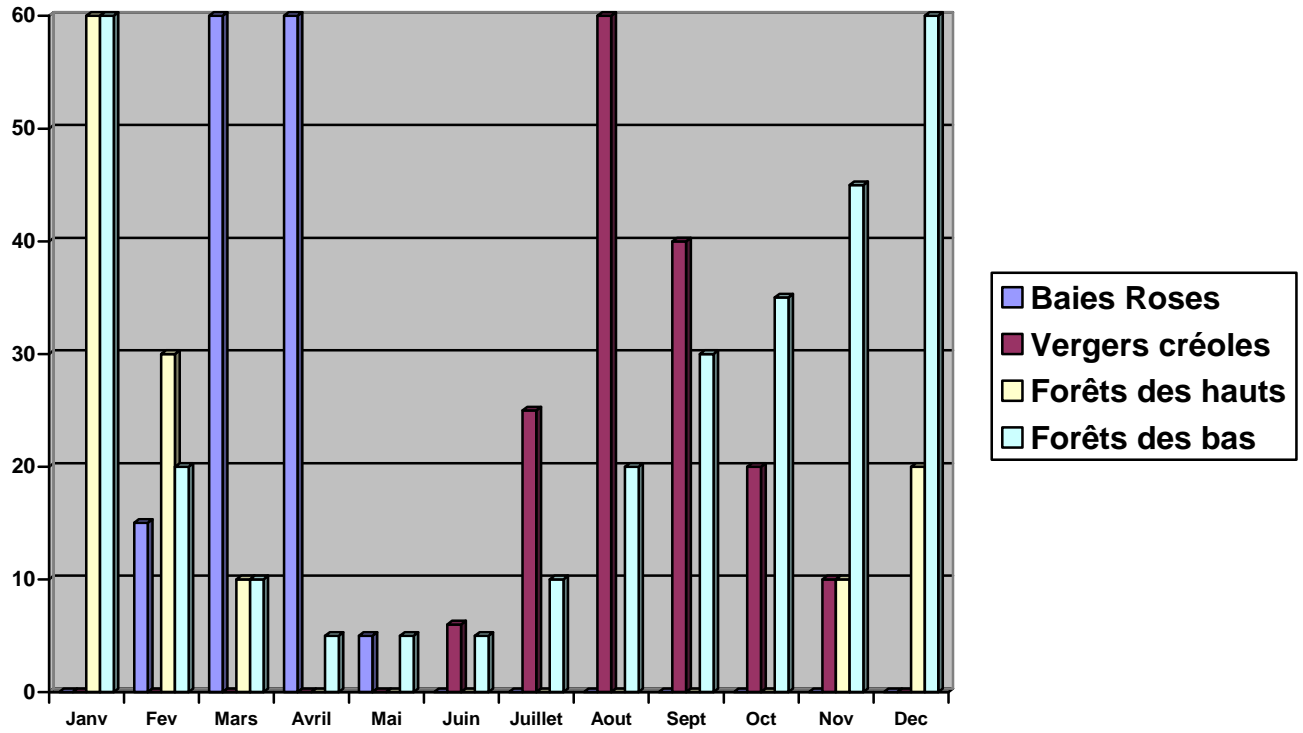
Pour bien anticiper les effets éventuels de traitements mis en œuvre dans la LAV, il est indispensable d'avoir quelques notions de base sur la vie d'une colonie et de connaître parfaitement le stade auquel se situe celle-ci lors de l'application des traitements.

L'**abeille domestique** à la Réunion, que l'on désigne localement sous le terme mouche à miel, est un élément classique du paysage agricole réunionnais mais aussi urbain et périurbain. D'introduction ancienne, elle se présente, généralement, sous une forme hybridée entre races malgaches et européennes. Largement dépendante de son utilisation en apiculture, elle est toutefois présente, sous une forme sauvage, dans les ravines et les forêts de basse altitude, participant ainsi à la pollinisation des espaces naturels.

Ne subissant pas d'hivernage, elle présente des caractéristiques particulières dans sa conduite en rucher de production. Il n'y a pas de période de repos, mais plutôt des moments dans l'année pendant lesquelles les conditions météorologiques, diminuant les ressources, fragilisent les colonies : c'est le cas des dépressions et cyclones tropicaux. Son cycle est dépendant de deux grands types de floraison : les baies roses (*schinus terebenthifolius raddi*) à la fin de l'été austral et les fleurs des fruitiers des vergers créoles (letchis, avocat, agrumes...) à la fin de l'hiver austral. La richesse de la flore réunionnaise, exotique, indigène et endémique, permet à l'abeille de multiplier ses sources de nourriture.

L'organisation de la colonie est classique, la période d'essaimage la plus importante intervient en mars avril. Les cadres ou rayons ont une durée d'utilisation moins importante qu'en Europe. Ils sont changés tous les 18 mois. L'activité constante de la colonie oblige la reine à une ponte quasi continue et les ouvrières ont une durée de vie toujours égale, environ huit semaines.

Le calendrier floral est essentiel à connaître pour une bonne conduite du rucher et anticiper les besoins des colonies. Il permet également de voir qu'il y a des périodes dans l'année où l'exposition des abeilles aux xénobiotiques les rend particulièrement vulnérables du fait de l'absence de ressources qui pourrait compenser, par une remontée du couvain, une disparition importante de butineuses.



La propagation des polluants dans une ruche

Les insecticides, en plus de leur action direct sur l'abeille, peuvent se retrouver propagés à l'intérieur d'une ruche par différentes causes liées à l'organisation propre de la colonie et la division du travail.

Au cours de sa vie, une ouvrière change de tâche :

- *nourrice* : à partir du 4^e jour, elle nourrit les larves âgées ; au 6^e jour, elle nourrit les larves jeunes avec la gelée royale qu'elle est capable de régurgiter.
- *travailleuse d'intérieur* : du 10^e au 18^e jour, l'ouvrière s'occupe indifféremment :
 - de la mise en réserve des récoltes (pollen et nectar).
 - de l'operculation des alvéoles avec de la cire,
 - de l'entretien : nettoyage, rejet à l'extérieur des corps étrangers, des individus morts et mal formés, calfeutrage des fentes avec de la résine récoltée sur certains bourgeons : la propolis. Pendant cette période, les jeunes ouvrières apprennent à s'orienter à l'extérieur et à retrouver leur colonie.
- *cirière* : les glandes situées sous l'abdomen peuvent sécréter de la cire à partir du 21^e jour. La cire apparaît sous forme de petites plaques entre les quatre derniers segments de l'abdomen. Les ouvrières cirières la malaxent à l'aide de leurs mandibules et travaillent alors en groupe à l'édification des nouvelles alvéoles.
- *gardienne et rappelleuse* : c'est aussi vers le 18^e jour que l'ouvrière devient capable de défendre l'entrée de la colonie ou bien d'assurer l'expulsion des mâles devenus inutiles. C'est à ce moment qu'elle peut en relevant son abdomen et en battant des ailes, émettre des odeurs (grâce aux glandes de Nassanov) qui assurent l'orientation des plus jeunes ouvrières, elle assure alors la fonction de rappelleuse. Ce sont également des ouvrières âgées de trois semaines qui soignent et nourrissent la reine.
- *butineuse* : à partir du 20^e jour et jusqu'à sa mort, l'ouvrière participe à la récolte du nectar et du pollen. Elle visite les fleurs, suce le nectar qu'elle transporte dans son jabot avant de le régurgiter. Dans le jabot, le nectar subit un début de digestion qui contribue à le transformer en miel. Il faut butiner environ 80 000 fleurs de letchis pour obtenir un kilo de miel. Suivant les besoins, elle récolte aussi du pollen. Avec ses mandibules, elle broie alors les anthères des étamines puis, grâce à l'adaptation de ses pattes postérieures, avec ses brosses, elle rassemble les grains de pollen en une grosse pelote qu'elle place dans la corbeille où de longs poils la maintiennent. À son retour, la butineuse dépose elle-même sa récolte ou la confie à une magasinère. C'est aussi à son retour qu'elle indique à ses compagnes, par des danses, la distance et la direction de sa zone de récolte. D'autre part, l'odeur dont l'abeille est imprégnée renseigne les autres sur l'espèce des fleurs butinées. .

Une technique de communication très élaborée

C'est surtout dans la communication dans la colonie (Axel Decourtye, 2002) que les insecticides, par leurs actions au niveau de la transmission neuronale, ont un impact indirect et insidieux. Le langage des abeilles est complexe et une altération de celui-ci a immédiatement des conséquences importantes sur l'organisation de la colonie.

Deux modes de communication principaux existent chez les abeilles. L'un à base de phéromones entre la reine et les ouvrières assure la cohésion de la colonie, l'autre à base de

contacts antennaires et de danses permet aux ouvrières de s'informer sur les sources de nourriture.

Entre la reine et les ouvrières, il s'agit d'une communication chimique qui assure la cohésion de la structure familiale de la colonie. La reine émet des phéromones royales qui sont transmises à toutes les ouvrières par l'intermédiaire des contacts d'antennes ou par les échanges de nourriture. Celles-ci régulent le comportement des ouvrières et bloquent leur fonction ovarienne.

Entre les ouvrières, les contacts d'antennes et des déplacements appelés « danses » (Karl Von Frisch (1886 - 1982) *Vie et mœurs des abeilles*) jouent un grand rôle dans la communication entre ouvrières au sein d'une colonie et leur permettent d'exploiter au mieux les ressources en nourriture de leur environnement. La découverte de nourriture est d'abord le fait de quelques butineuses. Une butineuse qui a trouvé une source de nourriture intéressante est capable, à son retour, d'informer d'autres abeilles sur la nature et la localisation de sa découverte. Cette transmission d'informations élaborées sur le milieu est l'une des caractéristiques remarquables de la vie sociale des abeilles à miel.

C'est au cours des échanges de nourriture qu'interviennent principalement les contacts antennaires. Le nectar collecté par une butineuse est stocké dans son jabot. Une fois rentrée à la colonie, une butineuse est capable de régurgiter son nectar et de le transmettre à une autre abeille, c'est la trophallaxie. Ces échanges sont très fréquents. L'abeille solliciteuse déplace l'une de ses antennes entre les mandibules de la donneuse, puis étend sa langue. La donneuse répond à la sollicitation par des mouvements d'antennes bien précis et régurgite des gouttes de nectar. Par d'autres mouvements d'antennes, elle indique la fin de l'échange.

Tout erreur de communication, comme une erreur de syntaxe dans un texte, peut perturber la transmission de l'information jusqu'à la rendre inexploitable avec comme conséquence majeure de diminuer l'entrée des ressources alimentaires.

Les problèmes sanitaires sont assez bien maîtrisés. Dans les maladies à déclaration obligatoire seul l'acariose et la nosérose sont préoccupantes à la Réunion. Elles sont souvent liées à la faiblesse des colonies et des facteurs extrinsèques (saison des pluies longue, intoxication...) peuvent favoriser leur apparition. Les maladies présentes sont :

- La loque européenne ou loque bénigne, causée par une bactérie (*Streptococcus pluton*).
- La nosérose, causée par un protozoaire (*Nosema apis* et *Nosema cerana*) qui parasite les abeilles adultes.
- L'acariose, provoquée par un acarien (*Acarapis woodi*) qui se nourrit de l'hémolymph de l'abeille et se localise dans les trachées thoraciques empêchant l'abeille de voler.

4 - CONDITIONS DE L'ETUDE

4-1- Conditions préalables

Il ne s'agit pas ici de mesurer par des méthodes précises et scientifiques les effets directs et indirects des traitements insecticides mis en application lors de la LAV. Le but de cette étude est d'évaluer, à l'aide de recueils de données élémentaires, les conséquences réelles de ces traitements sur une très courte période. La méthode de recueil est simple et utilisable. Les données recherchées s'orientent vers les effets connus des insecticides utilisés et l'apparition de symptômes secondaires liés, tels que les maladies.

Dans un deuxième temps, il nous a paru intéressant de s'attacher à l'efficacité des mesures mises en place lors du deuxième protocole de traitement et de voir leur application sur le terrain.

La prise en compte de l'état sanitaire des essaims en 2005, établi par la DSV, ne montre pas de symptômes significatifs liés aux maladies à déclaration obligatoire sur l'ensemble de l'île : les cas ont été assez faibles (12), avec six déclarations de nosémose et 12 APDI. Les ruches suspectes de maladies ont été éliminées de l'étude.

Enfin, le choix des essaims étudiés s'est fait sur des souches exemptes de maladies détectables visuellement, et productrices de couvain et de pollen. Les colonies retenues ont pour la plupart des reines qui ont moins de deux ans sur des lignées peu essaimeuses.

4-2- La fiche de suivi

Une fiche de suivi a été établie regroupant les informations nécessaires à l'étude. Elle a été orientée sur les symptômes connus que peut déclencher une intoxication des produits utilisés dans la LAV et ses conséquences. Elle a été remplie toutes les semaines pendant huit semaines, une fois par semaine. Les apiculteurs ont tous utilisé la même méthode de notation sur la fiche de suivi. Deux populations témoins ont été choisies, l'une en milieu traité, l'autre en milieu éloigné des traitements. Les conditions environnementales et de ressources mellifères des ruches suivies ont été à peu près identiques sur les deux populations.

Les variables biologiques relevées sur les colonies seront :

- d'ordre quantitatif : mortalité, surfaces de couvain, entrées/sorties en se basant sur l'activité, volume de récolte de pollen, météorologie
- d'ordre qualitatif : taille des populations, réserves alimentaires, état sanitaire, comportement

L'analyse des fiches s'est faite sur trois regroupements de critères notés de 0 à 5 pour les deux premiers et de 1 à 10 pour le troisième.

Le premier critère est la **qualité du couvain** basé sur une augmentation de celui-ci (notée de 3 à 5), sur une stagnation (3) et sur une diminution de (0 à 2). L'attente étant que la période qui nous intéresse doit enregistrer une stagnation ou une augmentation puisque nous sommes dans la miellée de baies roses. Le couvain, lors des miellées importantes, est souvent stable car la priorité en terme de place est donnée aux réserves.

Le deuxième critère est la **quantité de réserves** emmagasinées dans les cadres (miel ou pollen) basé sur une augmentation de celles-ci (notée de 3 à 5), sur une stagnation (3) et sur une diminution de (0 à 2). L'attente étant que la période qui nous intéresse doit enregistrer une augmentation puisque nous sommes dans la miellée de baies roses qui est la période la plus importante en ressources potentielles dans l'année.

Le dernier critère retenu est **l'apparition de symptômes** pouvant donner des signes précurseurs ou d'apparition d'une maladie ou d'un affaiblissement de la colonie. Dix ont été retenus, ils sont donc notés de 1 à 10.

La période suivie ne concerne que le deuxième protocole : LAV avec deltaméthrine. Le bilan de départ s'est fait sur des ruches saines, en pleine production, la plupart étant déjà en hausse de récolte.

Les pertes de colonies enregistrées sur la période sont les pertes sur l'ensemble du cheptel des ruchers retenus.

4-3- Le questionnaire sur le premier protocole

Au cours de l'étude, il est apparu que le premier protocole semblait avoir eu des impacts préjudiciables sur le cheptel dans son ensemble. Il était bien évidemment trop tard pour apporter des données objectives à cette perception. Nous avons tout de même fait le choix de recueillir les déclarations de 25 apiculteurs et de les regrouper dans un tableau. Il ne s'agit que de données subjectives qui ne reposent pas sur un suivi coordonné. Mais la tendance qu'il donne, confirme l'impression que le premier traitement a laissée auprès des apiculteurs.

FICHE DE VISITE

Nom de l'apiculteur :	Adresse :
Mail :	DSV :
	Tel :

Date:	Visite : 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8
--------------	---

Le rucher Emplacement : Nb de ruches :

Disposition des ruches : ligne, diverse Orientation des ruches
 Type de ruche (avec Nb de cadres): Bourbon - Dadant - Langstroth

Activité
 Agressivité: -

Heure :
Soleil : oui - non
Vent : oui - non
Floraisons :

Symptômes sur le rucher : Colonies atteintes Abeilles mortes
 Abeilles tremblantes
 Abeilles sans ailes
 Autres

Les colonies:

Ruche	1	2	3
Race d'abeilles			
Population			
Nb de cadres de couvain ouvert			
Nb de cadres de couvain fermé			
Œufs			
Cellules royales			
Réserve nectar ou miel			
Réserve pollen			
Symptômes			
Couvain en mosaïque			
Opercules affaissés/percés			
Abeilles mortes à l'intérieur			
Cannibalisme			
Arrêt de ponte			
Diarrhée			
Abeilles aux ailes atrophiées			
Abeilles tremblantes			
Mortalité devant la ruche			
Bourdonneuse			

<u>Observations :</u>	Dernier traitement :	Produit, posologie
Nourrissement :	Autres traitements médicamenteux	

4-3- Recueil de données sur le terrain

Nous avons cherché à définir la répartition spatio-temporelle des pesticides épandus, et à relier les concentrations dosées aux effets physiques enregistrés.

Pour cette étude seule l'analyse chimique des résidus d'insecticides dans le miel a pu être retenue.

Cinq échantillons ont été récupérés sur des zones largement traitées de façon à optimiser la possibilité de présence de résidus. Elles ont été effectuées par le laboratoire de la DGCCRF (Parc de La Providence à Saint Denis) et ont porté sur la recherche de résidus de désinsectisation suivants :

- fenitrothion
- bioalléthrine
- temephos
- pyrèthres dont deltaméthrine

Aucune trace de résidus n'a été retrouvée dans ces échantillons.

Des prélèvements de cire et de propolis ont été récoltés ainsi que des abeilles (lors des incidents de traitements). Ces matrices sont conservées à des fins d'analyse ultérieures.

4-3-1 – Suivi de colonies par les apiculteurs

Un groupe d'une dizaine d'apiculteurs a été créé sur les critères de sélection suivant :

- la motivation
- la répartition sur toute l'île
- une bonne connaissance apicole
- la possession de ruches témoins (zone traitée et non traitée)

Neuf d'entre eux ont effectivement fait un suivi sur trois ruches pendant huit semaines soit 27 colonies étudiées du 1^{er} mai au 25 juin 2006. Les apiculteurs sont notés de 1 à 9.

4-2-2 – Suivi de colonies par un agent sanitaire

De façon à avoir une source de données différentes et uniformes, un agent sanitaire expérimenté a suivi sur huit semaines cinq ruchers (dix prévus), une fois par semaine, répartis uniformément sur l'île, trois en zone traitée et deux en zone non traitée. Trois ruches ont été suivies par rucher, soient quinze ruches du 1^{er} mai au 25 juin 2006.

Les fiches de suivie ont été utilisées dans les mêmes conditions. Les conditions météorologiques ont été prises en compte de façon à uniformiser le moment de recueil. Les fiches agent sont notées de « agent 1 à agent 5 ».

4-2-3 – Suivi des incidents et prélèvements

Dés le mois d'octobre, le syndicat des apiculteurs a mis en place une veille des incidents de façon à faire remonter les problèmes rencontrés sur le terrain. Une fiche d'incident a été mise

en place. Ces fiches ont été remplies par la même personne. Quatre incidents ont fait l'objet de prélèvements d'abeille mortes ou vivantes et de matériel dans la ruche comme la cire, le pollen et le nectar.

De janvier à mars 2006, 15 incidents ont été déclarés au syndicat. Tous ont eu comme conséquence des pertes directes d'abeilles avec des mortalités à l'entrée et dans les ruches. Cinq incidents se sont conclus par des pertes importantes de colonies. La plupart du temps il s'agissait de traitement des ravines au temephos par les équipes de mairies.

A partir de mars 2006, cinq incidents sérieux ont été déclarés. Ils ont tous eu lieu le jour. Trois concernaient une mauvaise lecture des cartes par les militaires, les ruchers étaient en bordure de carte. Pour les deux autres les ruchers ne figuraient pas sur les cartes et les apiculteurs étaient absents. Les conséquences ont été une disparition des butineuses immédiate avec un retour dans l'ordre au bout de quelques jours.

5 - L'ANALYSE DES DONNEES

Cette analyse porte sur la période de **mai à juin 2006**. Toutes les données ont été regroupées pour permettre de donner une tendance de l'évolution du cheptel apicole.

Un résumé des résultats des années précédentes, en termes de production et de volume de ruches est mis en parallèle pour donner une position de l'état du cheptel initial.

Généralités sur les ruchers								
Apiculteur	Commune	Géoréférencées	DSV	Zone	Nombre de ruches total	Perte colonie	Ruches zone traitées	Perte colonie zone traitée
1	Saint Leu	oui	oui	Traitée	57	6	57	6
2	Tampon	non	oui	Traitée	30	4	30	4
3	Saint Denis	oui	oui	Traitée	20	0	20	0
4	Saint Paul	oui	oui	Traitée	12	4	12	4
5	Rivière Saint Louis	oui	oui	Non traitée	28	0		
6	Saint Leu	non	oui	Non traitée	22	0		
7	Possession	non	non	Traitée	10	5	10	5
8	Saint Pierre	non	oui	Traitée	27	0	27	0
9	Saint Pierre	oui	oui	Non traitée	13	0		
Agent 1	Saint Benoit	non	oui	Traitée	5	0	5	0
Agent 2	Sainte Rose	non	oui	Non traitée	9	0		
Agent 3	Saint André	non	oui	Traitée	4	0	4	0
Agent 4	Saint Denis	oui	oui	Traitée	16	0	16	0
Agent 5	Sainte Suzanne	oui	oui	Non traitée	7	0		
					260	19	181	19
						7,31%		10,50%

Tableau 1

On note tout d'abord que la moitié des ruchers déclarés à la DSV n'étaient toujours pas géoréférencés à cette période. Le taux de perte de colonie est de l'ordre de 7% pour l'ensemble de la population et de 10% pour les ruchers en zone traité. La perte moyenne d'un rucher est considérée comme normale jusqu'à 5%. Ce qui est le cas pour les zones non traitées puisque dans cette période propice à l'apiculture (forte miellée), il n'y a pas de perte sur les zones non traitées.

Ruches suivies						
Apiculteur	Ruches suivies	Qualité du couvain	Quantité de réserves	Maladies	Prise en compte LAV	Connaissance protocole
1	3	3	2	3	oui	oui
2	3	4	3	2	oui	non
3	3	4	4	0	oui	oui
4	3	4	2	0	oui	oui
5	3	4	5	0	oui	oui
6	3	3	3	2	oui	oui
7	3	3	2	0	oui	oui
8	3	4	4	2	oui	oui
9	3	3	4	2	oui	oui
Agent 1	3	2	5	0	oui	non
Agent 2	3	3	4	0	oui	oui
Agent 3	3	4	4	1	oui	oui
Agent 4	3	4	3	3	oui	oui
Agent 5	3	3	4	2	oui	oui
	42	3,43	3,50	1,21		

Tableau 2

Dans l'analyse des fiches de suivi sur des ruches sélectionnées pour leur bon état général, on ne note pas durant cette période de problèmes suffisamment significatifs. Seule une fiche montre une baisse de réserve. On peut cependant noter que les ruchers de l'ouest de l'île n'ont pas permis de monter des hausses de réserve. La récolte dans cette zone est médiocre. Diwa semble largement mise en cause : elle est passée au plus près le 5 mars 2006, avec de pluies importantes et surtout du vent qui a touché les baies rose en floraison surtout dans l'ouest et dans l'est de l'île.

Sur cette courte période, Il n'y a pas d'apparition de symptômes pouvant faire penser à une dépopulation en cours.

La prise en compte des risques liés à la LAV est bonne. Le protocole de protection des ruchers est connu.

Résultat questionnaire												
Apiculteur	Commune	Réf	DSV	Zone	Nombre de ruches total	Perte colonie du 01/01 au 30/04	Ruches zone traitée	Perte colonie zone traitée	Ruches zone non traitée	Perte colonie zone non traitée	Déclaration Maladies DSV	Prise en compte LAV avant mars 2006
1	Saint Leu	oui	oui	Traitée	57	6	57	6			0	oui
2	Tampon	non	oui	Traitée	30	6	30	6			0	non
3	Saint Denis	oui	oui	Traitée	20	1	20	1			0	non
4	Saint Paul	oui	oui	Traitée	12	0	12	0			0	non
5	Rivière Saint Louis	oui	oui	Non traitée	28	1			28	1	0	oui
6	Saint Leu	non	oui	Non traitée	22	2			22	2	0	non
7	Possession	non	non	Traitée	10	3	10	3			0	non
8	Saint Pierre	non	oui	Traitée	27	2	27	2			0	non
9	Saint Pierre	oui	oui	Non traitée	13	2			13	2	0	oui
10	Saint Benoit	non	oui	Traitée	5	5	5	5			0	oui
11	Sainte Rose	non	oui	Non traitée	9	0			9	0	0	non
12	Saint André	non	oui	Traitée	4	0	4	0			0	non
13	Saint Denis	oui	oui	Traitée	16	1	16	1			0	non
14	Sainte Suzanne	oui	oui	Non traitée	7	0			7	0	0	non
15	Tampon	?	oui	Traitée	25	3	25	3			0	non
16	Saint Denis	?	oui	Traitée	22	6	22	6			0	non
17	Saint André	?	oui	Traitée	32	5	32	5			0	non
18	Saint Pierre	?	oui	Non traitée	14	0			14	0	0	non
19	Saint Joseph	?	oui	Traitée	10	0	10	0			0	non
20	Tampon	?	oui	Traitée	6	0	6	0			0	non
21	Tampon	?	oui	Traitée	45	6	45	6			0	non
22	Rivière Saint Louis	?	oui	Non traitée	9	1			9	1	0	non
23	Saint Gilles	?	oui	Non traitée	6	0			6	0	0	non
24	Saint Denis	?	oui	Non traitée	15	1			15	1	0	non
25	Saint Leu	?	oui	Traitée	17	6	17	6			0	non
					461	57	338	50	123	7	0,00	
						12,36%		14,79%		5,69%		

Le questionnaire a essentiellement porté sur la période couvrant le premier protocole (de janvier à mars 2006). Cette période est une période délicate pour les apiculteurs car les ressources sont en général réduites obligeant les abeilles à de grands parcours pour trouver des sources de nectar et pollen.

Ce questionnaire est limité par le côté subjectif des réponses. Il n'y a pas eu de déclaration proprement dite de perte. Mais, c'est le seul moyen d'avoir une idée de l'impact du premier protocole.

On note que les pertes sur les ruchers en zone traité recoupent le sentiment général de dégâts importants sur les ruchers. On note aussi qu'il y a des pertes sur les ruchers en zone non traitée alors que la DSV ne signale pas d'apparition de maladie.

Au final, il apparaît deux tendances de l'analyse faite par les apiculteurs.

Lors du premier protocole faisant appel au fenitrothion et au temephos et qui s'est terminé le 13 février 2006 ; de nombreux incidents ont été répertoriés avec des pertes directes à l'entrée des ruches et des dépopulations massives et rapides des colonies entraînant leur disparition. La perte du cheptel est évaluée par la profession à 15 % sur l'ensemble de l'île avec des pointes sur le sud et l'ouest de l'île à 20%. Les facteurs extrinsèques aux traitements qui peuvent entraîner ce type de problèmes, conditions climatiques liées aux dépressions et maladies ont été limités. Il n'y a pas eu de saison des pluies importantes (mis à part l'épisode de Diwa qui a surtout touché l'ouest de l'île) et les ressources ont été régulières (peu d'apiculteurs ont nourris leur ruches en janvier car les réserves internes étaient présentes). Ces incidents sont survenus à partir du mois de décembre et peuvent être rapprochés de quatre observations :

- Lors du premier protocole il n'y a pas eu d'organisation rigoureuse de la LAV et la multiplication des intervenants ainsi que leur absence de formation ont fait apparaître des sources d'incidents multiples liés plutôt à des surdosages et à de mauvaises applications des protocoles qu'aux produits proprement dit. Beaucoup de plantes en floraison ont été aspergées par les aérosols.
- Le traitement des ravines et des points d'eau, notamment par le téméphos, alors que le mois de janvier est une période d'intense activité de production de couvain nécessitant beaucoup d'eau a eu un impact certain sur la qualité du couvain et son importance.
- La forte volatilité du fenitrothion (40% de son volume) en période d'ensoleillement important (mois de janvier 2006 au dessus des moyennes) et son action directe sur les abeilles.
- En période de ressource moins importante, comme en janvier, le rayon d'action des abeilles augmente (jusqu'à 3 km) les exposant à se retrouver dans des zones traitées.

Au début de la saison de la miellée de Baies Roses, qui commence vers le 15 février, la plupart des colonies se sont retrouvées largement affaiblies. L'effet tampon et la bonne saison en terme de ressources a permis de corriger en partie cette tendance. On peut noter que les régions qui commencent plus tôt la floraison ont mieux résisté que les autres : le sud et l'est.

Lors du deuxième protocole, les incidents répertoriés ont été divisés par trois. Un tiers des ruches déclarées à la DSV ont été géoréférencées et les équipes de LAV les avaient indiquées sur leur plan. Les apiculteurs ont, de toute manière, été invités à se faire connaître auprès d'elles de façon à ne pas traiter dans un rayon de cent mètres autour des ruches. De plus les traitements ayant surtout lieu la nuit et la rémanence de la deltaméthrine étant courte, l'impact sur les colonies semble moins fort. Il y eu cependant quelques incidents directs dus surtout à une mauvaise coordination des services. Certaines équipes ne traitaient pas la zone incriminée mais celle qui passait de l'autre côté des limites de la carte, sans respecter la distance, puisque les ruches n'y apparaissaient pas. Actuellement, il n'est pas possible d'évaluer totalement l'impact du deuxième protocole car la récolte n'est pas terminée dans l'ouest. Elle y semble médiocre. Dans le sud et dans l'est de l'île, la récolte est bonne. Les conséquences de Diwa ont été les plus fortes dans l'ouest et les traitements de LAV ont été entrepris plus tard que dans le reste de l'île donc avec des implications au moment de la miellée et un retard par rapport aux autres régions lors du renforcement des colonies.

Bien qu'il soit hâtif de donner des conclusions définitives, il semble juste de dire que l'impact des traitements est plus en rapport avec les protocoles de la LAV : de la communication des

positions des ruchers d'une part et de la prise de conscience du risque par les apiculteurs d'autre part.

On peut déjà établir la nécessité absolue de mettre en place une LAV en concertation avec les services de prophylaxie et des organismes apicoles. L'élaboration de ces règles de conduites pourra ensuite faire l'objet de diffusion auprès des services de prophylaxie afin de limiter l'impact des traitements sur le cheptel apicole.

On ne peut en l'état donner des extrapolations sur l'entomofaune pollinisatrice.

6 - LE GEOREFERENCEMENT



Une des faiblesses des mesures de précautions instaurées avec la Drass est le positionnement réel des ruchers sur les photographies des zones avec lesquelles les équipes de démostication mettent en œuvre leur action sur le terrain.

La DIREN s'est proposée d'apporter à cette étude ses compétences sur le géoréférencement des ruches pour pouvoir communiquer leur emplacement et le faire figurer sur les cartes des équipes de LAV. Le GDSAR (groupement de défense sanitaire des apiculteurs de la Réunion) et la DSV y ont été associé. Seul 1/3 des ruchers a pu l'être effectivement. On note aussi que seulement 350 apiculteurs sur une estimation de 1000 sont déclarés à la DSV.

Un géoréférencement de plus grande ampleur permettrait de mieux associer les éventuels incidents aux traitements antivectoriels entrepris, le protocole utilisé et les dates auxquelles ils ont eu lieu. Les zones agricoles sur lesquelles des traitements auront été effectués pourraient être aussi mentionnées.

7 – LES MESURES DE PROTECTION MINIMUM

Le protocole protection des ruchers

Le 14 février 2006 une réunion à l'initiative du syndicat des apiculteurs et de la Drass a permis de mettre en place un protocole simple pour limiter les impacts de la LAV sur les ruchers. Les principes décidés ont été les suivants :

- Un géoréférencement de l'emplacement des ruchers déclarés à la DSV.
- Une information des équipes de démoustication sur le risque de la LAV sur les abeilles.
- Une interdiction de traitement dans un rayon de 100 m autour des ruches.
- Une information des apiculteurs pour les inciter à couvrir leurs ruches le soir au passage des véhicules de traitement UBV et mettre en place un système de transhumance des ruches.

Sur 25 apiculteurs sondés au téléphone, il apparaît que les équipes de démoustication dans leur majorité étaient au courant du protocole. Très peu appliquaient réellement les mesures, se contentant de ne pas traiter les jardins dans lesquels étaient présentes les ruches mais ne prenaient aucune précaution dans les jardins mitoyens donc ne respectant pas les 100m de réserve. Ils n'avaient en revanche aucune notion sur la non aspersion des plantes en fleur et sur leur utilité dans les ressources pour les insectes pollinisateurs. Les ruchers n'étaient référencés que dans 10 cas sur 25 mais la position des ruchers étaient notée et transmise aux équipes suivantes (12 sur 25).

Les apiculteurs connaissaient pour la plupart les consignes de protection et de déplacement (19 sur 25). Seul trois sur 19 ont déplacé leurs ruches mais quasiment presque tous (17 sur 19) ont couvert leurs ruches le soir.

Les incidents

DSV	Date Signalement	Nature incident	Dates de passage	Conséquences	Ruches
974425 PA	31-mars-06	Absence de réf Trt dans un péri <20 m	30/03 et 04/04	Mortalité importante	60
974472 MA	22-avr.-06	Trt mais pas d'incidence	20/04 et 24/04	RAS	10
981042 NO	15-mars-06	Equipe prévenue par l'apiculteur	Aucun passage connu des équipes DRASS et FAZOI	RAS	20
974595 RA	27-févr.-06	Absence de réf Trt dans un péri <20 m	26/02 et 01/03	Mortalité importante	25
974320 CE	22-mars-06	Absence de réf Trt dans un péri <20 m	Adresse non référéncée	Mortalité importante	30
974848 HO	17-avr.-06	Forte dépopulation suite trt	13/04 et 17/04	Forte dépopulation	11
974785 ME	19-mars-06	Forte dépopulation suite trt	14/03 et 18/03 + mois de juin à une date non connue	Forte dépopulation	20
974 ... LU	27-mars-06	Abeilles mortes devant les ruches	Traitement de l'autre coté de la Rivière St Denis le 26/03 et 30/03	Mortalité	4
974010 TO	18-mars-06	Equipe pas au courant trt chez voisin	16/03 et 20/03	Mortalité	30

Les incidents, répertoriés, depuis le 15 février sont au nombre de 7.

Deux concernaient des traitements proches du rucher sans avertir l'apiculteur sans connaissance de la position des ruches, mais sans conséquence.

Quatre concernaient des mortalités importantes avec des traitements proches des ruches, dans un rayon inférieur à 20m. L'un d'eux a eu lieu chez le voisin, les ruches étant derrière le mur.

Deux concernent de fortes dépopulations à proximité de la date de passage, les équipes de démoustication ayant respecté les distances de traitement. On peut noter que dans ces deux cas les ruches sont proches d'une ravine.

Enfin, un des incidents est symbolique d'une mauvaise coordination. Le rucher figurait sur les limites des cartes des deux équipes de démoustication et l'une a bien pris en compte l'emplacement référencé du rucher, l'autre non mais à appliquer les insecticides à moins de dix mètres des ruches cachées par la végétation. Les ruches n'apparaissaient pas sur les limites de la carte. Les conséquences ont été immédiates et définitives pour 20% des colonies.

8- PRECONISATIONS ET CONCLUSIONS

Quelques préconisations simples s'imposent.

Dans un premier temps, il est essentiel de faire un recensement le plus large possible par géoréférencement de la position des ruchers, sur toute l'île, alimentée par différentes sources. D'une part, en utilisant le recoupement entre les ruches déclarées à la DSV et leur positionnement réel sur le terrain, d'autre part avec la remontée des informations des équipes de démoustication et de leur contact sur le terrain et leur rencontre avec des apiculteurs non référencés.

Secondement, il est indispensable d'inclure un volet abeilles et pollinisateurs dans la formation des démousticateurs, d'une part pour respecter le protocole, d'autre part pour repérer les plantes à fleur les plus butinées. Le traitement des ravines et des points d'eau, plus particulièrement avec des organophosphorés, représente un risque majeur et devra être remplacé, dans la mesure du possible, par le Bti

Troisièmement, il est nécessaire de sensibiliser la profession apicole par une information précoce sur les protocoles de protection des ruchers et sur les risques des insecticides utilisés. A cette occasion, des techniques simples pourraient être diffusées pour pallier le risque de dépopulation, pour anticiper l'apparition de maladies et, plus précisément, pour suivre objectivement l'évolution du couvain. Le référencement des incidents devra être poursuivi pour améliorer la communication avec les administrations.

Enfin, une évaluation scientifique des impacts sur les pollinisateurs mellifères, ceci en condition réelle de traitement, devra être portée par des chercheurs spécialisés en utilisant les résultats déjà expérimentés en laboratoire et en tunnel : ce projet faisant l'objet d'une demande ANR, proposée par l'ACTA, l'INRA, le CTIS et le Syndicat apicole de la Réunion.

Pour conclure, la profession apicole, dans son ensemble, a été sensible au respect que les autorités ont manifesté envers cet insecte essentiel qu'est l'abeille. La LAV, dans ses premières semaines de mise en œuvre, et son ampleur, rendue nécessaire par l'importance de l'épidémie, a déclenché, au sein des apiculteurs, des inquiétudes très vives. Celles-ci apparaissaient tout à fait justifiées au vu des conséquences que le premier protocole et ses dérapages ont pu déclencher auprès de cette population d'insectes si sensibles. Le rapprochement de la Drass et du Syndicat apicole, sous l'initiative de la DAF et de la Préfecture, a permis une prise de conscience du risque par l'ensemble des intervenants. La collaboration de la profession apicole a été essentielle et les apiculteurs ont été vus comme des acteurs importants du respect de l'environnement.

Le deuxième protocole a montré qu'une organisation plus efficace pouvait permettre de diffuser des informations indispensables pour limiter l'impact, sur les abeilles, des insecticides utilisés. Il a permis également de commencer à lister des mesures de bases, non exhaustives, dont l'application simple paraît efficiente.

En laboratoire, les analyses de résidus sur les échantillons de miel n'ont rien démontré. Ce résultat, attendu au regard de la bibliographie scientifique, ne saurait être suffisamment rassurant pour ne pas envisager des impacts sur le long terme. Les études, pour travailler sur ce long terme, demandent des moyens et des approches différentes. C'est cette recherche que le projet ANR, volet Apiculture et pollinisateur (ERAP), va permettre d'analyser. Il permettra

également de relier les doses calculées avec les résultats enregistrés sur le terrain et d'affiner les mesures de précaution à diffuser en les adaptant aux molécules utilisées dans le cadre de la LAV. L'analyse de l'efficacité de ces mesures pourra permettre leur réajustement afin d'augmenter la protection des ruchers en particulier et des pollinisateurs mellifères d'une manière plus générale.

Le cas échéant, cela permettra de diffuser plus largement les protocoles de protection des ruchers mis en place dans les actions sanitaires similaires sur d'autres régions

Quant aux dégâts sur le cheptel apicole proprement dit, ils sont en fait difficilement mesurables par une étude sur un si court terme. La vie d'une colonie d'abeille ne saurait se résumer à ces 2 mois et si la catastrophe que nous redoutions n'a pas eu lieu, la prudence et la littérature scientifique nous incite à redoubler de vigilance. La période pendant laquelle s'est déroulée cette étude est la meilleure période de l'année en terme de ressource alimentaire, tant pour le nectar que pour le pollen. L'effet tampon pourrait avoir joué à plein et masquer une perte importante d'abeilles butineuses notamment. La décision de maintenir à un niveau élevé la LAV, par des épandages aériens, rend obligatoire de continuer à évaluer l'impact sur les abeilles.

Cette étude ne peut être, en aucun cas, une réponse définitive à cette question.



Bibliographie

- Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J., Cox, P.A., Dalton, V., Feinsinger, P., Ingram, M., Inouye, D., Jones, C.E., Kennedy, K., Kevan, P., Koopowitz, H., Medellin, R., Medellin-Morales, S., Nabhan, G.P.** (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conserv. Biol.*, 12:8-17.
- Costanza, R., D'Arge, R., Groot, R. de, Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Belt, M. van den** (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Dechaume-Moncharmont, F.X., Decourtye, A., Hennequet, C., Pham-Delègue, M.H., Pons, O.** (2003). Statistical analysis of the Honeybee survival after chronic exposure to insecticides. *Environ.Toxicol. Chem.*, 22(12):3088-3094.
- Decourtye, A., Devillers, J., Cluzeau, S., Charreton, M., Pham-Delègue, M.H.** (2004). Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in honeybees under semi-field and laboratory conditions. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 57(3):410-419.
- Decourtye, A., Devillers, J., Genecque, E., Lemenach, K., Budzinski, H., Cluzeau, S., Pham-Delègue, M.H.** (2005). Comparative sublethal toxicity of nine pesticides on olfactory learning performances of the honeybee *Apis mellifera*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 48(2):242-250.
- Devillers, J., Decourtye, A., Budzinski, H., Pham-Delègue, M.H., Cluzeau, S., Maurin, G.** (2003). Comparative toxicity and hazards of pesticides to *Apis* and non-*Apis* bees. A chemometrical study. *SAR and QSAR in Environ. Res.*, 14(5/6), 389-403.
- Devillers, J., Doré, J.C., Tisseur, M., Cluzeau, S., Maurin, G.** (2004) Modelling the flight activity of *Apis mellifera* at the hive entrance. *Computers and Electronics in Agriculture*. 42:87-109.
- Kevan, P.G.** (1991). Pollination: keystone process in sustainable global productivity. *Acta Horticulturae*. 288:103-10.
- Stevenson, J.H., Needham, P.H., Walker, J.** (1977). Poisoning of Honeybees by Pesticides: Investigations of the Changing Pattern in Britain over 20 Years. *Rothamsted exp. Stn. Rep.*, 55-72.
- Vandame, R., Meled, M., Colin, M.E. & Belzunces, L.P.** (1995). Alteration of the homing-flight in the honey bee *Apis mellifera* L. exposed to sublethal dose of Deltamethrin. *Environ. Toxicol. Chem.* 14:855-860.
- J. R. Mamet**, de l'Ile Maurice. (1992), Bibliographie de l'Entomologie des Iles Mascareignes de 1771 à 1990.
Tome VIII, série E, 1957, Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar
- Regard (A.)-Douhet (Dr)-Adam (L.)** (1977): - L'Abeille de A à Z, embryologie-anatomie. [Apiculture/Abeilles, F.N.O.S.A.D.
- Zanajaoarimanana Ralalaharisoa-RAMAMONJISOA Danielle Lobreau-Callen** (1996) Comportement de butinage d'apis mellifera versus unicolor dans divers biotopes,
- Atkins E.L., Kellum D., Atkins K.W., 1981.** Reducing pesticide hazards to honey bees, in Mortality prediction techniques and integrated management strategies. Leaflet 2883, Univ. of California, 23 pp.
- Belzunces L., Colin M., 1993.** Abeilles et pesticides. Effets synergiques des traitements phytosanitaires chez l'abeille à des doses sublétales. L'Abeille et le Miel, n° spécial, avril 1993.
- Borneck R., Bricout J.P., 1984.** Evaluation de l'incidence économique de l'entomofaune pollinisatrice en agriculture. Bull. Tech. Apic., 11(2), 47, 117-124.

- Garnier P., Baumeister R.,** 1985. Results obtained in France in 1983 and 1984 in the experimentation on bees with Decis on cereals and crucifers. Third symposium on the harmonization of methods for testing the toxicity of pesticides to bees. Rothamsted UK, March 1985.
- Johansen C., Jaycox E., Hutt R.,** 1963. The effect of pesticides on the alfalfa leafcutting bee *Megachile rotundata*. Wash. Agric. Exp. Stn. circ. 418.
- Levin M.D.,** 1983. Value of bee pollination to US Agriculture. Bull. Entomol. Soc. Amer., 29(4). 50-51.
- Louveaux J.** 1984. Les traitements phytosanitaires et les insectes pollinisateurs. p. 565-575 in P. Pesson & J. Louveaux : Pollinisation et productions végétales. INRA-Paris, 663 pp.
- Sabik H.,** 1991. Analyse de traces de pesticides organiques : intérêt, méthodologie, exemples. Thèse de doctorat en chimie. Université d'Angers, juin 1991.
- Jean-Noël Tasei** Impact des pesticides sur les Abeilles et les autres pollinisateurs , INRA, laboratoire de Zoologie, 86600 Lusignan
- Hougard JM, Duchon S, Darriet F, Zaim M, Rogier , GUILLET (Pierre)** Institut de Recherche pour le Développement. Montpellier. FRA, Communicable Diseases Control. Prevention and Eradication. World Health Organization. Geneva. CHE Comparative performances, under laboratory conditions, of seven pyrethroid insecticides used for impregnation of mosquito nets.
- Borneck R., Merle B.,** Essai d'une évaluation de l'incidence économique de l'abeille pollinisatrice dans l'agriculture Européenne, *Apiacta* 24 (1989) 33-38.
- Buchmann S.L., Nabhan G.P.,** The Forgotten Pollinators, Island Press, Washington D.C., 1996.
- Corbet S.A., Williams I.H., Osborne J.L.,** Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European community, *Bee World* 72 (1991) 47-59.
- Crane E., Walker P.,** Pollination directory for world crops, IBRA International bee research association, London, 1984.
- Curtis W.,** The botanical magazine, (1792) .
Agroscope Liebefeld-Posieux
- Free J.B.,** The foraging behaviour of honeybees in relation to pollination. A lecture given to the Central Association of Bee-Keepers, Rothamsted Experimental Station, Harpenden (1962) 1-10.