

# L'abeille,

sentinelle de la santé et de l'environnement,  
indicateur des écosystèmes

PUBLICATION SCIENTIFIQUE



service public fédéral  
SANTÉ PUBLIQUE,  
SECURITE DE LA CHAINE ALIMENTAIRE  
ET ENVIRONNEMENT

.be





**L'abeille,  
Sentinelle de la santé et de  
l'environnement,  
Indicateur des écosystèmes**

Rapport réalisé pour le Service public Santé publique,  
sécurité de la chaîne alimentaire et environnement

CAHIER SPÉCIAL DES CHARGES n° DG5/AMS/CP/12024

Septembre 2013

## Remerciements

Nos premiers remerciements vont à Monsieur Melchior Wathelet, Secrétaire d'Etat à l'Environnement, et au Service public fédéral Santé publique, Sécurité de la chaîne alimentaire et Environnement, qui nous ont confié ce travail ; sans cela, il n'aurait évidemment pas existé. Qu'ils soient donc remerciés de la confiance qu'ils nous ont faite, et surtout de l'intérêt porté à l'abeille et à l'environnement.

Un tout aussi grand merci aux experts qui ont accepté de venir partager avec nous leurs connaissances lors du colloque « L'abeille, sentinelle de la santé et de l'environnement, indicateur des écosystèmes » qui s'est tenu à l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique le 6 juin 2013 : Denis Michez (Université de Mons), Nicolas Vereecken (Université libre de Bruxelles), Monique L'Hostis (Ecole vétérinaire Oniris de Nantes), Cyril Vidau (Institut technique de l'abeille et de la pollinisation (France)), Jean-Marc Bonmatin (CNRS), Laura Maxim (ISC-CNRS). Ce travail leur doit beaucoup. Un merci tout particulier à Nicolas Vereecken qui en a relu certaines parties et y a apporté corrections et améliorations.

Il est fait allusion plusieurs fois, dans le travail qui suit, à ce colloque et aux interventions qui en ont marqué le déroulement. Le lecteur qui le souhaite trouvera les actes du colloque sur [www.natpro.be](http://www.natpro.be).

## Résumé exécutif

Les abeilles sont étroitement associées à leur environnement, dont elles tirent l'entièreté de leurs ressources. Ceci est vrai pour l'ensemble des espèces d'abeilles, toutes co-évoluées avec les plantes à fleurs et étroitement dépendantes d'elles.

Cette co-évolution fait d'elles les pollinisateurs par excellence. La part de la pollinisation dans la production agricole a fait l'objet d'études nombreuses, dont certaines ont tenté d'en chiffrer la valeur monétaire. Au-delà de celle-ci, la pollinisation animale est indispensable à la plupart des productions de fruits et légumes notamment, sans lesquelles l'alimentation humaine ne serait guère concevable. Si les espèces sauvages sont généralement plus efficaces en pollinisation que l'abeille domestique, celle-ci reste indispensable pour polliniser les floraisons de masse, et notamment les cultures florifères, et cela grâce à l'importance de ses populations de butineuses. La demande en pollinisation est actuellement croissante dans le monde suite à l'évolution du niveau de vie et, en conséquence, de la demande en produits agricoles ; le stock de pollinisateurs d'élevage ne suit pas la courbe ascendante de la demande, situation propre à attirer notre attention sur l'urgence d'une protection des pollinisateurs. Et ceux-ci sont actuellement en danger, suite à la perte des habitats et des ressources florales, suite aussi aux importantes surmortalités constatées depuis deux décennies environ dans les ruchers d'Europe et d'autres continents.

Entre toutes les espèces d'abeilles, une seule est domestique dans notre pays : l'abeille mellifère, dont les apiculteurs tirent divers produits, le miel bien sûr, mais aussi la cire, et le pollen et la propolis, qui représentent un marché croissant.

Les abeilles non-*Apis*, dont la diversité est remarquable en termes de nombre d'espèces, mais également de ressources florales et d'habitat, sont aptes à fournir des indicateurs écosystémiques (d'état, de composition des écosystèmes). Quant à l'abeille domestique, l'abondance des populations qu'elle constitue, sa facilité d'élevage, son aptitude à l'expérimentation en laboratoire, les connaissances acquises quant à sa biologie, sa sensibilité aux contaminants environnementaux, son rayon de butinage enfin, la désignent comme une espèce capable de fournir un système d'alarme précoce en matière de contamination environnementale, et plus généralement de dégradation de cet environnement, qui est aussi celui où nous vivons : en d'autres termes, l'abeille mellifère constitue une espèce-sentinelle.

Super-organisme étroitement régulé, auto-organisé, la colonie d'abeilles est en effet sensible aux perturbations d'origine anthropique. Son bon fonctionnement dépend en outre de l'intégrité des fonctions physiologiques et des compétences comportementales des individus qui la composent, et ces compétences, en termes d'apprentissage notamment, sont étonnamment pointues. La pathologie de l'abeille a fait l'objet de nombreuses recherches qui montrent que la plupart des parasites qui l'affectent, *Varroa* excepté, sont co-évolués avec elles ; l'écologie microbienne de la ruche a fait l'objet de publications récentes de premier intérêt. La toxicologie également a été largement développée, suite notamment aux nombreux incidents survenus dans les ruchers et impliquant des produits phytosanitaires ; ces

recherches ont montré que ceux-ci, outre leurs effets létaux, peuvent avoir sur l'abeille des effets sublétaux, capables d'entraîner à terme la mort de la colonie en affectant la physiologie ou le comportement des individus. Des effets synergiques entre substances, ou entre substances et pathogènes, ont également été démontrés.

L'abeille est exposée aux contaminants microparticulaires de l'air, ses poils branchus étant faits pour capturer les grains de pollen dont le diamètre est de quelques dizaines de microns. Le nectar, le pollen et l'eau constituent d'autres voies d'exposition, qui complètent le champ environnemental que l'abeille permet d'investiguer. L'abeille a d'ores et déjà été utilisée pour monitorer des contaminations environnementales, notamment la radioactivité (Italie, Etats-Unis), les métaux (nombreux pays, dont une étude sur le plomb en Belgique), et les pesticides d'origine agricole (notamment Grèce, Italie). Des projets globaux, incluant le monitoring de plusieurs contaminants, ont été mis en œuvre en France et en Italie.

Plusieurs projets de monitoring de l'abeille elle-même ont été mis en chantier au niveau européen (projet CoLoss, rapport « Bee mortality and bee surveillance » de l'EFSA) et au niveau belge (programme de surveillance de l'AFSCA, projets MinBee et VirBee, monitoring CARI/CRA-Gx/FUSAGx). Aucun projet actuellement en cours ne réunit toutefois l'ensemble des éléments propres à en faire une véritable étude éco-épidémiologique permettant à l'autorité publique à la fois de monitorer les abeilles, et au travers d'elles de monitorer l'état de l'environnement avec ses implications en matière de santé humaine.

La mise en œuvre d'un projet de type « abeille sentinelle » apparaît donc souhaitable ; elle permettrait en outre à notre pays de se positionner en pointe dans ce secteur des sciences appliquées, secteur où des méthodes nouvelles, telles celle des biomarqueurs, sont susceptibles d'apporter des développements inédits non seulement au niveau belge, mais aussi au niveau international.

Si le développement d'un projet d'indicateur écosystémique fondé sur les espèces sauvages, tout aussi souhaitable, nous paraît être plutôt de compétence régionale, le développement d'un projet de sentinelle fondé sur l'abeille domestique se justifie pleinement au regard des compétences fédérales en matière de santé animale, de médicament et de normes de produits environnementaux, par ses prolongements larges touchant notamment à la santé humaine.

Ce type de projet

- fournit une image de la situation de terrain,
- permet de déceler les contaminants auxquels une population (humaine, d'abeilles) est effectivement exposée, en ce compris les effets cocktails de ces contaminants dont les risques toxiques sont évalués individuellement alors qu'ils sont multiples sur le terrain,
- permet de relier, au niveau de cette contamination, un niveau de santé des colonies d'abeilles, celui-ci fournissant une alarme précoce par rapport à la santé humaine.

On se souviendra que le lien entre un problème sanitaire et un contaminant est très difficile à établir par des essais de type classique, tels qu'utilisés lors de l'évaluation des molécules (y compris les essais en champ), dès lors que la toxicité s'exerce de façon chronique et à un niveau subléta. Seule une étude éco-épidémiologique (ce qu'est un projet de sentinelle) peut faire la clarté sur un tel lien. La réalisation d'une étude de type sentinelle constitue donc un complément nécessaire aux pratiques d'évaluation des molécules chimiques, qu'il s'agisse de substances biocides, phytosanitaires ou industrielles.

La conduite d'un projet d'abeille sentinelle, par sa facette épidémiologique, constitue la seule approche qui soit à même de jeter la lumière sur les causes des pertes importantes qui touchent le cheptel apicole depuis près de vingt ans déjà. En outre, un tel projet permet d'appréhender l'état de l'environnement où vivent les colonies, un environnement qui est aussi le nôtre, et pour lequel l'abeille, par sa sensibilité aux contaminants toxiques, joue un rôle d'alarme précoce. Pour toutes ces raisons, un projet de sentinelle, loin de recouper les études et recherches déjà en cours, complète les approches existantes, notamment les études relatives à la santé de l'abeille ou l'évaluation scientifique des produits phytosanitaires et biocides. Un tel projet relève d'une approche multidisciplinaire, supposant la collaboration entre épidémiologistes, spécialistes de l'abeille, chimistes et pathologistes. Il postule aussi la mise en place d'une collaboration entre l'autorité compétente, les scientifiques précités et le secteur apicole. Il constitue tout à la fois une opportunité de progrès scientifique et un outil pratique d'aide à la décision et de sensibilisation de toutes les parties concernées par le sort des pollinisateurs, et plus largement de l'environnement.

## Introduction

Une colonie d'abeilles mellifères est riche de milliers de butineuses dont les journées se passent à voler de fleur en fleur, prélevant dans chacune une petite quantité de nectar ou de pollen. Toutes reviennent ensuite à la ruche, y ramenant leur précieux butin. Mais celui-ci n'arrive pas toujours seul : au fil de la journée, l'abeille accumule aussi les contaminants qu'elle a croisés lors de ses vols et de ses prélèvements.

Tout ceci fait, d'une colonie d'abeilles, un formidable outil d'échantillonnage de l'environnement. Aussi ne s'étonnera-t-on pas de ce que l'idée de les utiliser à des fins de monitoring environnementaux soit ancienne, les premières études datant d'il y a quasiment 80 ans<sup>1</sup>.

Le monde a bien changé depuis ; l'intérêt, voire l'urgence de telles démarches n'en est que plus pressante. Les écosystèmes sont en effet menacés, et la pollution pose des problèmes de santé publique que personne ne songerait plus à nier.

De même, plus personne n'ignore que l'abeille domestique subit actuellement des pertes anormales, et cela à l'échelle mondiale. En Belgique, comme dans d'autres pays et sur d'autres continents, rares sont les apiculteurs qui s'aventurent encore à parier sur la survie hivernale de leurs colonies. Encore l'abeille mellifère n'est-elle pas la seule à subir un déclin. Quelque 19 000 autres espèces forment, de par le monde, l'univers extraordinairement foisonnant et varié des abeilles. Toutes butinent nectar et pollen ; toutes vivent en contact étroit avec leur environnement. Dans certaines régions du monde, cet univers part aujourd'hui lui aussi à la dérive : certaines espèces s'effacent peu à peu de nos paysages, tandis que d'autres, plus adaptables, bénéficient de la disparition de leurs compétitrices : la diversité est en danger.

Que se passe-t-il ? Est-ce l'environnement qui est en cause ? Que nous disent les abeilles, au travers de leur évident mal-être ? Et ce mal-être, ne préfigurerait-il pas des maux semblables, susceptibles de toucher d'autres espèces, dont la nôtre ?

Ce pressentiment habite beaucoup de nos concitoyens. Il explique l'intérêt que le public porte aujourd'hui à l'abeille, et le succès des campagnes qui l'entourent, comme celle intitulée « l'abeille, sentinelle de l'environnement », initiée il y a quelques années déjà par un syndicat apicole français.

Mais l'abeille sentinelle n'est pas qu'un slogan. L'abeille, par ses particularités comportementales et physiologiques, peut réellement constituer une espèce sentinelle, au sens scientifique du terme. Vivant dans notre environnement, elle est le témoin des contaminants auxquels nous sommes exposés ; elle y est en effet suffisamment sensible pour fournir un système d'alarme précoce, utile non seulement d'un point de vue écologique, mais aussi en matière de santé humaine.

Qu'est-ce qui confère à l'abeille ces particularités ? Quel est l'intérêt d'un tel système, dans l'absolu, et en particulier dans notre pays ? Ces questions ont fait

---

<sup>1</sup> Cette idée serait parue dans des textes datant de 1935 au plus tard (Van der Steen *et al.* 2012).

l'objet d'un colloque qui s'est tenu à Bruxelles le 6 juin dernier<sup>2</sup>. Elles font aussi, de manière plus exhaustive, l'objet des pages qui suivent.

Bonne lecture !

---

<sup>2</sup> « L'abeille, indicateur des écosystèmes », sous le haut patronage du secrétaire d'Etat à l'environnement Melchior Wathelet – organisateur : Nature et Progrès Belgique – SPF SPSCAE, 6 juin 2013.

## Table des matières

Remerciements .....	2
Résumé exécutif .....	3
Introduction.....	6
<b>Chapitre 1. Les abeilles, origine et diversité .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. La co-évolution avec les plantes à fleurs .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Abeilles sauvages, mellifères, domestiques .....</b>	<b>11</b>
1.2.1. Abeille mellifère, abeille d'élevage .....	12
1.2.2. Abeille mellifère, abeille domestique.....	13
<b>Chapitre 2 : La pollinisation : valeur et part des abeilles <i>Apis</i> et non-<i>Apis</i> .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Valeur de la pollinisation.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Part des abeilles sauvages et mellifères dans la pollinisation .....</b>	<b>17</b>
2.2.1. Performance des pollinisateurs sauvages .....	17
2.2.2. Pollinisateurs sauvages et abeilles mellifères : compétition et synergies .....	18
<b>2.3. Vers une crise de la pollinisation ? .....</b>	<b>20</b>
2.3.1. L'offre : le stock de pollinisateurs.....	20
2.3.2. La demande : les cultures pollinisateurs-dépendantes .....	22
<b>Chapitre 3 : Sentinelle, indicateur deux concepts distincts. ....</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Indicateurs et sentinelles dans la littérature scientifique .....</b>	<b>24</b>
3.1.1. Les espèces indicateurs .....	24
3.1.2. Les espèces sentinelles .....	26
<b>Chapitre 4 : Les abeilles non-<i>Apis</i> .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. A propos de la taxonomie des abeilles non-<i>Apis</i> .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2. Cycle et modes de vie des abeilles non-<i>Apis</i> .....</b>	<b>29</b>
4.2.1. Habitats.....	29
4.2.2. Ressources .....	30
<b>4.3. Pathologie des abeilles non-<i>Apis</i> .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4. Toxicologie des abeilles non-<i>Apis</i> .....</b>	<b>32</b>
<b>Chapitre 5 : l'abeille mellifère .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1. Origine et évolution.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2. L'abeille mellifère, modèle scientifique. ....</b>	<b>35</b>
<b>5.3. Quelques notions de biologie de l'abeille mellifère .....</b>	<b>37</b>
5.3.1. La colonie d'abeilles, un super-organisme.....	37
5.3.2. La colonie d'abeilles, un système régulé .....	38
5.3.3. La ruche, un système auto-organisé .....	39
5.3.4. La consommation alimentaire et l'échange de nourriture au sein de la colonie .....	40
5.3.5. Le cerveau et la cognition : des compétences inattendues .....	41
<b>5.4. Pathologie de l'abeille mellifère .....</b>	<b>44</b>
5.4.1. La varroose, parasitose exogène.....	45
5.4.2. Les parasites co-évolués .....	46
<b>5.5. Toxicologie de l'abeille mellifère .....</b>	<b>47</b>
5.5.1. Abeilles et pesticides : une (vienne) histoire commune.....	48
5.5.2. Quelques notions de toxicologie de l'abeille mellifère .....	53
<b>Chapitre 6 : Aptitude des abeilles sauvages et domestiques à fournir un indicateur ou une sentinelle .....</b>	<b>57</b>
<b>6.1. L'abeille comme indicateur écosystémique. ....</b>	<b>57</b>
<b>6.2. L'abeille comme sentinelle. ....</b>	<b>58</b>
6.2.1. Exposition de l'abeille mellifère aux contaminants environnementaux. ....	58
6.2.2. Manifestations pathologiques apparentes et mesurables.....	63
6.2.3. Populations aisées à dénombrer, taille suffisante .....	65
6.2.4. Connaissance suffisante de la biologie/pathologie de l'espèce.....	65
6.2.5. Conclusion : l'abeille mellifère comme sentinelle .....	65
<b>Chapitre 7 : L'abeille sentinelle : projets réalisés ou existants .....</b>	<b>68</b>

<b>7.1. Détection de la radioactivité.....</b>	<b>68</b>
7.1.1. Autour des sites nucléaires américains.....	68
7.1.2. En suite de l'accident de Chernobyl.....	69
<b>7.2. Détection des métaux .....</b>	<b>69</b>
7.2.1. Le monitoring environnemental.....	70
7.2.2. Un cas particulier: le projet bruxellois .....	71
<b>7.3. Détection des pesticides .....</b>	<b>72</b>
<b>7.4. Projets généraux d'abeille sentinelle .....</b>	<b>73</b>
7.4.1. Les projets italiens.....	74
7.4.2. Le projet Oniris – CVFSE « abeille sentinelle de la santé des écosystèmes ».....	76
7.5. En conclusion... ..	78
<b>Chapitre 8 : Un projet d'abeille sentinelle/ d'abeille indicateur en Belgique ?.....</b>	<b>80</b>
<b>8.1. Indicateur ou sentinelle ? .....</b>	<b>80</b>
<b>8.2. Intérêt d'un projet d'abeille-sentinelle en Belgique .....</b>	<b>80</b>
8.2.1. L'abeille, projets existants.....	80
8.2.2. L'abeille-sentinelle, intérêt en regard des travaux réalisés ou en cours .....	83
<b>8.3. L'abeille-sentinelle : méthodes et paramètres de suivi.....</b>	<b>84</b>
<b>Conclusions générales.....</b>	<b>92</b>

## Chapitre 1. Les abeilles, origine et diversité

Le terme « abeilles » se rapporte aux quelque 20 000 espèces qui constituent le groupe monophylétique des Antophiles ou Apidés, l'un des deux groupes formant la super-famille des Apoïdes ; l'autre famille étant constituée par les guêpes sphéciformes (Sphécides) (Engel 2005). Les abeilles sont des hyménoptères (insectes munis de deux paires d'ailes) apocrites (parce que l'abdomen est séparé du thorax par un pédoncule) aculéates (parce qu'elles sont munies d'un aiguillon et non d'un ovipositeur)<sup>3</sup>. Elles se distinguent des autres hyménoptères, fourmis et guêpes, par leur alimentation et par leur outillage de récolte. Par leur alimentation, car la partie protéinée de celle-ci provient non de la capture de proies (comme chez la guêpe commune, entre autres) mais bien de la récolte du pollen – elles sont donc strictement végétariennes, alors que les guêpes et fourmis sont partiellement carnivores - ; par leur outillage, car elles sont dotées, pour la récolte du pollen, de poils fourchus capables de capturer des particules de quelques dizaines de microns de diamètre, et de structures anatomiques de récolte, brosses et corbeilles<sup>4</sup> (Thorp 1979). C'est donc leur rapport au pollen qui caractérise les abeilles, et on ne s'étonnera pas de leur rôle prééminent dans la pollinisation des plantes.

### 1.1. La co-évolution avec les plantes à fleurs

Les plantes sont pollinisées par le vent (plantes anémophiles) et (ou) par les insectes (plantes entomophiles). Notons qu'entre les plantes totalement anémophiles (les céréales par exemple) et celles totalement entomophiles (kiwi par exemple), il n'y a pas de solution de continuité : la plupart des espèces sont pollinisées par les deux voies simultanément, et en proportions variables – elles sont donc anémophiles pour x% et entomophiles pour y% avec  $y = 100 - x$ .

La pollinisation par les insectes présente, par rapport à celle par le vent, un avantage évolutif substantiel. La production de pollen représente une dépense d'énergie par la plante. Les pollinisateurs permettent l'économie d'une part importante de cette dépense : la production de pollen d'une plante entomophile est de loin inférieure à celle d'une anémophile<sup>5</sup>. Ceci s'explique par le fait que les pollinisateurs acheminent plus sûrement le pollen vers les ovaires d'individus de la même espèce que ne le fait le vent, dont la distribution est évidemment aléatoire. C'est particulièrement vrai dans le cas des abeilles, qui sont fidèles à leurs sources de butinage (c'est à dire

---

<sup>3</sup> Sur la systématique de l'ordre hyménoptères et les abeilles, voir le bel article d'André Payette, de l'insectarium de Montréal, sur la super-famille des Apoïdes, disponible sur Internet : <http://courriel.ville.montreal.qc.ca/insectarium/toile/nouveau/preview.php?section=articles&page=15> (consultation le 8 juillet 2013).

<sup>4</sup> Les brosses et corbeilles à pollen font toutefois défaut chez les abeilles-coucou, cleptoparasites qui pondent dans le nid d'autres abeilles.

<sup>5</sup> Pour cette raison, les pollens allergisants sont principalement ceux des plantes anémophiles, comme le signalent tous les réseaux d'alerte (voir par exemple [http://www.vegetation-en-ville.org/allergies-plantas\\_comment.php](http://www.vegetation-en-ville.org/allergies-plantas_comment.php)).

fidèles à une espèce tant que celle-ci leur apporte le nectar ou le pollen en suffisance) lorsqu'elles ne sont pas totalement inféodées à une espèce, comme le sont certaines abeilles sauvages.

Aussi les plantes à fleurs et les abeilles ont-elles évolué de concert. L'origine commune des espèces d'abeilles remonterait à un peu plus de 120 millions d'années (Aptien, Crétacé inférieur) tout comme celle des eudicotylédones, embranchement également monophylétique qui représente actuellement 75% des espèces d'angiospermes<sup>6</sup>. La diversification des unes et des autres se serait faite conjointement, avec une efflorescence du nombre d'espèces au Crétacé supérieur, les Angiospermes devenant dominantes dans la flore au Crétacé toujours, entre l'Albien et le Turonien, soit 20 à 30 millions d'années seulement après la différenciation des eudicotylédones et des abeilles (Cardinal et Danforth 2013). Aujourd'hui, les dicotylédones, dont la grande majorité sont des eudicots, compte quelque 199 350 espèces<sup>7</sup>, les abeilles en comptant 19 000 (source : Denis Michez, exposé au colloque du 6 juin 2013). On peut donc dire que la rencontre entre les fleurs et les abeilles a été un succès fulgurant, à l'aune duquel on mesure l'avantage évolutif que leur a conféré le mutualisme, fondement de leur existence : les plantes ont développé et diversifié les fleurs en réponse au développement et à la diversification des abeilles, et vice-versa.

Aussi les abeilles et les plantes à fleurs montrent-elles une parfaite adaptation mutuelle. Les fleurs sont remarquablement constituées pour attirer les abeilles, par leurs parfums, leurs symétries, leurs couleurs, leurs textures, outre le pollen et le nectar qu'elles offrent ; et les abeilles sont remarquablement constituées pour polliniser les fleurs, par leurs poils fourchus et leur outillage de récolte de pollen comme on l'a vu, mais aussi par leur aptitude à percevoir et à mémoriser odeurs, couleurs, symétries et textures, ainsi que par les nombreuses capacités annexes nécessaires à mémoriser, retrouver et se communiquer leurs sources florales (voir point 5.3. ci-dessous). Les abeilles ne sont pas les seuls pollinisateurs animaux, loin s'en faut ; mais par les adaptations issues de leur co-évolution avec les eudicotylédones, les abeilles sont, entre tous, les pollinisateurs par excellence.

## ***1.2. Abeilles sauvages, mellifères, domestiques***

L'on entend souvent opposer abeilles sauvages et abeilles mellifères, ou domestiques. Or l'assimilation mellifère - domestique n'est pas entièrement correcte. Il vaut la peine de s'attarder sur ces concepts, à la fois pour savoir exactement de quoi l'on parle dans la suite du texte, et parce que le statut des différentes abeilles à cet égard constitue un préalable indispensable à la compréhension de ce que l'on fait à l'heure des choix qu'implique le développement d'un indicateur « abeilles ».

---

<sup>6</sup> Les plantes à fleurs comprennent les monocotylédones (les plus connues sont les céréales) qui sont pollinisées par le vent, et les dicotylédones ; ces dernières elles-mêmes regroupent plusieurs embranchements dont les principaux sont les magnoliidés (magnolias, tulipiers...) et les eudicotylédones qui regroupent la plupart des espèces florales (tournesol, pissenlit etc.). Ces eudicots, comme on les appelle parfois, sont caractérisés par le fait que leurs grains de pollen sont tricolpés (trois pores, symétrie ternaire) ; ce sont elles qui sont les « partenaires évolutifs » des abeilles.

<sup>7</sup> Source : wikipedia : <http://en.wikipedia.org/wiki/Dicots>.

### 1.2.1. Abeille mellifère, abeille d'élevage

L'abeille mellifère est une espèce indigène dans nos régions – c'est à dire qu'elle y est arrivée sans avoir été aidée par l'homme (e.a. De la Rúa *et al.* 2009 ; Han *et al.* 2012). Elle ne l'est ni sur la plus grande partie du continent asiatique où prédominent d'autres abeilles du genre *Apis*<sup>8</sup>, ni sur les continents américains et australien où les seules abeilles endémiques appartiennent à d'autres genres (abeilles non-*Apis*)<sup>9</sup>. Telle que nous la connaissons, l'abeille mellifère serait issue d'une évolution en trois phases : (1) la différenciation par rapport aux autres abeilles nichant dans des cavités, (2) la différenciation entre sous-espèces selon les régions d'Europe, d'Afrique ou du Moyen-Orient vers lesquelles elles se sont dispersées et (3) le mélange entre ces sous-espèces, voulu (hybridation) ou non voulu, de par l'activité humaine (Han *et al.* 2012). L'origine géographique des abeilles qui ont envahi le continent européen reste controversée : certains la mettent en Asie (Ruttner *et al.* 1978, Garnery *et al.* 1992), mais plus récemment des chercheurs se sont orientés vers l'hypothèse que, venue d'Asie, elle a transité par l'Afrique, seul autre continent où *Apis mellifera* est endémique (Whitfield *et al.* 2006). Ces sous-espèces ont commencé à diverger il y a probablement 1,25 million d'années (Garnery *et al.* 1992, Han *et al.* 2012)<sup>10</sup> ; l'estimation n'est pas certaine, mais la divergence semble provenir d'évènements antérieurs à des évènements plus récents, comme l'expansion à partir des refuges glaciaires du Pléistocène<sup>11</sup>, ou la dispersion, encore plus récente par l'être humain (Han *et al.* 2012, p. 1955). L'abeille mellifère est donc indigène au continent européen, et est toujours susceptible de vivre à l'état sauvage dans notre pays.

Son habitat naturel y a toutefois quasiment disparu. Les colonies d'abeilles survivent à des températures extrêmement basses (voir notamment Owens 1971) mais la grappe thermorégulée qu'elles forment en hiver ne fonctionne correctement qu'en l'absence de vent<sup>12</sup>. La colonie ne peut donc survivre à l'hiver qu'abritée de celui-ci, dans une anfractuosité de rocher ou, le plus souvent, dans un tronc d'arbre creux ; et si les arbres creux sont fréquents dans les forêts semi-sauvages, ils sont exceptionnels dans les forêts exploitées intensivement car le creusement du tronc en met à néant la valeur économique. En outre, la varroase compromet aussi la

---

<sup>8</sup> Principalement *Apis ceranae*, qui est également une abeille élevée pour la récolte du miel ; *Apis dorsata* et *Apis florea* qui sont la grande et la petite abeille indienne, formant des nids à rayon unique.

<sup>9</sup> Une abeille fossile du genre *Apis* datant du Miocène a été néanmoins découverte récemment dans le Nevada. Selon Engel et al. (2009) qui l'ont décrite, la disparition ultérieure de ce genre du nouveau continent pourrait s'expliquer par le climat qui y a prévalu ensuite, marqué par des alternances chaud-humide/sec-froid.

<sup>10</sup> Il s'agit d'une estimation faite sur base du taux de divergence entre les ADN mitochondriaux de ces différentes sous-espèces et postulant un taux de divergence par million d'années.

<sup>11</sup> Le Pléistocène, qui constitue l'essentiel de l'ère quaternaire, a été marqué par une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires. La faune et la flore qui ne pouvaient survivre dans les régions glaciaires se réfugiaient dans les parties de l'Europe non touchées par la glaciation (les péninsules du Sud, ibérique, italienne et grecque) et recommençaient une nouvelle expansion vers le nord lorsque la glaciation faisait place à un interglaciaire (voir notamment Hewitt 1999).

<sup>12</sup> Ceci est dû notamment au fait que la grappe contrôle sa température en régulant étroitement les apports d'oxygène – elle fonctionne en fait le plus souvent en hypoxie (Van Nerum et Buelens 1977).

survie à long terme des essaims sauvages (Kraus et Page 1995 *in* Jaffé *et al.* 2010). L'abeille mellifère est donc vraisemblablement chez nous, pour l'essentiel de ses effectifs, un animal d'élevage (Moritz *et al.* 2007).

Signalons toutefois que l'abeille mellifère n'est pas la seule abeille à faire l'objet d'un élevage. Non seulement, dans d'autres régions du monde, d'autres abeilles sont élevées avec la production du miel pour finalité (*Apis cerana* en Asie, les mélipones ou abeilles sans aiguillon sur les continents américain et africain<sup>13</sup>), mais des abeilles qui ne produisent pas de miel sont élevées pour la pollinisation des cultures, notamment des bourdons (*Bombus* spp.), et des espèces solitaires telles certaines Osmies et Megachiles.

### **1.2.2. Abeille mellifère, abeille domestique**

Au sens commun du terme, la domestication est le fait, pour un animal ou un végétal, d'être cultivé, ou abrité et soigné par l'homme. En ce sens, les colonies d'abeilles que les apiculteurs abritent dans leurs ruches sont donc domestiques. Pour le biologiste, le mot « domestication » a toutefois un autre sens, celui d'un processus cumulatif marqué par des changements des deux côtés de la relation mutualiste, en ce sens que les deux populations partenaires deviennent, avec le temps, de plus en plus interdépendantes (Zeder *et al.* 2006, p. 139). Les espèces domestiquées ont ainsi évolué sous l'effet de cette relation mutualiste. Les mammifères domestiques, par exemple, montrent à l'âge adulte des caractères qui chez leurs ancêtres sauvages sont propres à l'état foetal ou au très jeune âge : peau plus claire ou pie, voire blanche, face plus aplatie, et sur le plan comportemental : goût pour le jeu, acceptation d'un maître... Les biologistes appellent *néoténie* cette persistance de caractères juvéniles à l'âge adulte (voir notamment Lorenz 1954, pp. 225 *sq.*). Les plantes cultivées ont elles aussi évolué en réponse adaptative au changement d'environnement que l'agriculture leur a fait subir : par rapport à leurs ancêtres sauvages, elles présentent entre autres des graines de plus grande taille, une maturation plus concentrée dans le temps et un temps de germination plus court (perte de la dormance par exemple) (Zeder *et al.* 2006). En conséquence, la plupart des animaux et plantes domestiques sont incapables de retourner à la vie sauvage et ne peuvent se développer et se reproduire qu'avec les soins de l'homme – c'est le cas notamment d'un autre insecte élevé par l'homme, le ver à soie (*Bombyx mori*), dont l'ancêtre sauvage est d'ailleurs éteint (Oldroyd 2012).

Or, malgré qu'elle fasse l'objet d'un élevage depuis des temps reculés<sup>14</sup>, l'abeille n'a jamais été à proprement parler domestiquée (Oxley et Oldroyd 2010 *in* Oldroyd 2012). Deux hypothèses viennent à l'esprit, qui peuvent expliquer cela :

1. L'abeille est imperméable à la domestication.
2. Les pratiques apicoles n'ont pas permis la domestication.

---

<sup>13</sup> Sur l'élevage des mélipones, voir le très beau reportage d'Eric Tourneret réalisé au Mexique, sur le site de ce photographe d'abeilles : <http://www.thehoneygatherers.com/html/phototheque20.html>.

<sup>14</sup> L'un des premiers témoignages datés de façon certaine est un bas-relief égyptien, celui du temple d'Abou-Ghorab, daté de 2400 ans avant notre ère, qui montre des apiculteurs à l'œuvre, récoltant le miel (Crane 2004).

Nous n'avons pas qualité pour faire la part de ces hypothèses ; relevons seulement que la seconde est parfaitement vraisemblable. En effet, l'apiculture a été longtemps pratiquée dans un contexte d'échanges constants avec les colonies sauvages. La colonie d'abeilles se reproduit par essaimage et de tous temps les apiculteurs ont recueilli les essaims passant à leur portée - et certains d'entre eux provenaient de colonies sauvages - tandis qu'à l'inverse, certains des essaims qu'ils perdaient retournaient vivre dans la nature. Ces échanges entre colonies sauvages et élevées sont restés la règle jusqu'à ce jour dans les régions où l'abeille mellifère a encore la possibilité de nicher ; ils sont réduits à rien ou presque dans notre pays, où l'habitat naturel de l'abeille mellifère a quasiment disparu suite à l'urbanisation et à l'exploitation forestière, et où les pratiques apicoles réduisent fortement l'essaimage. La situation à cet égard en Europe est donc très variable, mais nulle part il n'est plus possible de faire la distinction entre colonies férales (c'est à dire issues de colonies d'élevage et retournées à la nature) et colonies purement sauvages (issues de lignées n'ayant jamais connu la domestication).

L'abeille n'est donc pas un animal domestiqué au sens biologique du terme ; elle n'en a pas moins fait l'objet de processus de sélection (l'abeille noire y compris) et de croisements, les premières importations de reines (d'Italie à cette époque) dans notre pays remontant au moins à fin du XIX<sup>ème</sup> siècle<sup>15</sup>. Aujourd'hui l'insémination artificielle, si elle n'est pas la règle tant s'en faut, est couramment pratiquée et l'introgression entre sous-espèces est fréquente (e.a. Garnery *et al.* 1998). L'homme a donc eu un impact génétique sur l'abeille, fait qui ne peut être ignoré lorsqu'on examine la variabilité phénotypique de la sous-espèce locale.

### En conclusion...

Toute abeille mellifère n'est pas forcément d'élevage et toute abeille d'élevage n'est pas forcément mellifère. Domestique lorsqu'elle est élevée par l'homme, l'abeille mellifère n'a toutefois jamais été domestiquée.

Les confusions sont donc possibles. Pour les éviter, nous utiliserons les mots désignant les différents types d'abeilles dans les sens suivants :

- abeille mellifère : chez nous, *Apis mellifera* L., qui est la seule mellifère propre à nos régions
- abeilles non-*Apis* : ce terme englobe toutes les autres espèces d'abeilles présentes sur notre territoire ; aucune en effet n'appartient au genre *Apis*
- abeilles sauvages : abeilles vivant et se reproduisant en conditions naturelles
- abeilles d'élevage ou domestiques: abeilles hébergées et soignées par l'homme
- abeilles férales : colonies d'abeilles issues de ruchers et retournées à la vie sauvage.

---

<sup>15</sup> Les échanges entre races d'abeilles pratiqués par l'homme pourraient être bien plus anciens que cela ! Des fouilles archéologiques ont exhumé un important rucher urbain vieux de trois mille ans à Tel Rehov dans la vallée du Jourdain (Israël). A la surprise des chercheurs, l'abeille qui y a été retrouvée s'est avérée être *A.m. anatolica* (l'abeille d'Anatolie) et non *A. m. syriaca* ; l'une des hypothèses avancée par les chercheurs pour expliquer ce fait curieux est qu'un commerce de reines ou d'essaims existait déjà à l'époque entre les deux régions concernées (Bloch *et al.* 2010).

## Chapitre 2 : La pollinisation : valeur et part des abeilles *Apis* et non-*Apis*

La pollinisation animale est nécessaire à la reproduction de nombreuses plantes cultivées et de la majorité des plantes sauvages ; selon Ollerton *et al.* (2011), 87,5% des angiospermes (308 006 espèces !) feraient appel à la pollinisation animale.

### 2.1. Valeur de la pollinisation

De nombreux essais ont été faits pour chiffrer la valeur économique de la pollinisation ; le déclin reconnu des pollinisateurs inquiète en effet, et plusieurs études ont tenté d'évaluer les effets sur la production agricole (en masse, en nature, en valeur) de la perte du service écologique que constitue la pollinisation. Nous avons retenu ci-dessous certaines des plus générales et des plus récentes. La démarche se heurte à plusieurs difficultés, notamment la variabilité de la dépendance des cultures à la pollinisation animale, et le peu de connaissance relative aux espèces sauvages et à la part du service qu'ils prestent. Les chiffres sont donc à considérer comme donnant des ordres de grandeur plutôt que des valeurs précises.

Klein *et al.* (2007) ont cherché à évaluer l'importance de la pollinisation dans la production agricole. Ils ont considéré les 124 cultures principales au niveau mondial (celles pour lesquelles la production excède 4 millions de tonnes), et l'accroissement de rendement fourni, pour chacune d'elles, par la pollinisation animale. Parmi les 67 produits de base (*commodities*) considérés, 48 dépendent de la pollinisation animale ; c'est aussi le cas de 39 des 57 espèces les plus fréquemment cultivées en monocultures, et qui représentent 35% en masse de la production agricole mondiale. Globalement, sur l'ensemble des cultures qu'ils ont répertoriées (sans tenir compte du critère de production), 20% de la production globale provient de cultures dépendant de la pollinisation animale pour la production de fruits et de légumes et environ 15% provient de cultures qui en dépendent pour la production de semences ; si, en masse, les cultures pollinisées par le vent sont dominantes (céréales principalement), *notre régime serait fortement appauvri, nutritionnellement et culturellement, si le service de la pollinisation déclinait plus avant* (p. 307). Les auteurs de cette étude soulignent en outre qu'un risque particulier existe pour les cultures dépendant de pollinisateurs spécifiques, comme la vanille ou le fruit de la passion. Ils terminent par l'énumération de mesures générales visant à préserver les pollinisateurs : préservation des opportunités de nicher, des ressources florales et des connexions entre habitats ; réduction de l'usage des pesticides.

Gallai *et al.* (2009) ont répété la démarche en tentant cette fois d'estimer le poids économique de la pollinisation dans la production agricole au niveau mondial. En considérant les 100 cultures utilisées directement pour l'alimentation humaine dans le monde, et en intégrant la part de rendement liée à la pollinisation animale, les auteurs arrivent au chiffre de 153 milliards d'€, ce qui représente 9,5% de la valeur de la production de ces 100 cultures. Les auteurs soulignent que les cultures dépendant de la pollinisation animale, qui sont pour l'essentiel des fruits et des

légumes, sont plus créatrices de valeur que celles qui n'en dépendent pas ; la valeur moyenne d'une tonne de produits issus de cultures non-dépendantes est de 151€, celle de produits issus de cultures dépendantes est de 761€. Les auteurs ont en outre calculé pour chaque culture un indice de vulnérabilité face au déclin des pollinisateurs. Les cultures les plus vulnérables sont bien évidemment les plus dépendantes de la pollinisation animale, en tête les fruits secs, le cacao et le café ; suivent les épices, puis les légumineuses, les fruits et les légumes. En conséquence, selon eux, toutes les régions du monde ne seraient pas également touchées par une crise mondiale de la pollinisation ; mais toutes le seraient. Nous relèverons que cette estimation de 153 milliards d'euros ne tient pas compte de l'alimentation animale ; elle ne constitue donc pas une estimation de l'ensemble de la plus-value agricole liée à la pollinisation.

Lautenbach *et al.* 2012 estiment cette valeur à quasiment le double de l'estimation faite par Gallai *et al.* (2008) ; à la fois parce que la valeur de la pollinisation dans le monde ne cesse de s'accroître et parce que la technique de calcul est différente (ici la plus-value dans les contrées développées ou non, a été mesurée à parité de pouvoir d'achat, ce que l'étude précédente n'a pas fait).

Losey et Vaughan (2006) ont recherché la valeur des services écologiques fournis par les seuls insectes sauvages : nettoyage des excréments, lutte antiparasitaire, pollinisation et nutrition de la faune. Ils estiment à \$3,07 milliards la valeur agricole (fruits et légumes) produite aux USA par la pollinisation due aux abeilles non-*Apis*, à l'exclusion de l'abeille mellifère. De l'aveu même des auteurs, ce chiffre est « informatif » car les données manquent pour faire le départ entre la part de la pollinisation fournie par l'entomofaune sauvage et celle fournie par l'abeille mellifère.

En résumé, les estimations de la valeur ajoutée à la production agricole par la pollinisation sont variables, à la fois parce que cette valeur est susceptible d'évoluer rapidement, parce que les estimations dépendent de la méthode de calcul, et parce que ces calculs sont fondés sur des données dont certaines sont approximatives – rappelons à cet égard qu'une partie, sans doute non négligeable, de l'économie agricole mondiale est informelle. En tout état de cause, ces estimations situent cette valeur ajoutée dans l'ordre de la centaine de milliards de dollars au niveau mondial ; la valeur de la pollinisation excède donc de loin celle du miel, dont la production mondiale est de 1 500 000 tonnes environ ; même si les prix varient fortement d'une région à l'autre du monde<sup>16</sup>, ils n'atteignent évidemment jamais les 100 dollars le kg ! Le calcul peut être fait pour les USA sur base des chiffres du FAOStat: en 2007 et 2008, la production de miel dans ce pays a été d'environ 170 000 tonnes; le prix à la tonne était de \$ 2750 en moyenne (\$ 2374 en 2007, \$ 3133 en 2008) ; la valeur du miel produit est donc d'environ 467,5 millions de dollars, quand les auteurs situent la valeur ajoutée par la pollinisation dans ce pays dans l'ordre du milliard voire de la dizaine de milliards de dollars (notamment Gallai *et al.* 2009, Losey et Vaughan 2006), l'abeille mellifère l'assurant pour les 9/10<sup>èmes</sup> selon Losey *et al.* 2006. Les apiculteurs figurent donc parmi les rares exploitants à créer une valeur ajoutée dont l'essentiel profite à d'autres secteurs que le leur.

---

<sup>16</sup> Le FAOStat ne donnant les prix que par pays le calcul ne peut être fait au niveau mondial.

Encore les estimations ci-dessus ne couvrent-elles que la part de la pollinisation dans l'agriculture. A côté de celle-ci, la pollinisation joue un rôle-clé dans la biodiversité. Ce rôle est inestimable, dans tous les sens du terme. Le calcul de la valeur monétaire de cette fonction apparaît peu réalisable – il devrait inclure les effets indirects qui jouent via les chaînes alimentaires – et à notre connaissance il n'a jamais été tenté.

## ***2.2. Part des abeilles sauvages et mellifères dans la pollinisation***

L'abeille mellifère dispose de plusieurs qualités propres à faire d'elle un bon pollinisateur : notamment, elle est fidèle à ses sources de butinage – elle passe donc d'une fleur à l'autre au sein d'une même espèce, de sorte que le pollen recueilli sur un individu est distribué ensuite sur des individus pertinents du point de vue de la fécondation ; elle est efficace et ses heures de butinage sont étendues (Abrol 2012). Elle serait toutefois dépassée en efficacité, globalement, par les pollinisateurs sauvages. Selon une étude très large qui a pris en compte 41 systèmes cultureux de tous les continents (sauf l'Antarctique), les insectes sauvages accroissent le taux de nouaison des fruits à la fois plus fréquemment et plus intensément que l'abeille domestique (accroissement dans tous les systèmes cultureux pour les insectes sauvages, dans 14% d'entre eux seulement pour l'abeille mellifère, et le niveau de cet accroissement est le double de ce qu'il est pour l'abeille mellifère considérée seule) (Garibaldi *et al.* 2013). Les insectes sauvages sont donc plus efficaces lors de la visite ; en outre selon cette étude ils assurent mieux la pollinisation croisée. L'efficacité remarquable des pollinisateurs sauvages est attestée sur plusieurs cultures, notamment la luzerne dont les meilleurs pollinisateurs sont deux solitaires, l'abeille découpeuse de feuilles *Megachile rotundata* et l'abeille des terres alcalines *Nomia melanderi*, cette dernière étant élevée aux Etats-Unis depuis les années 1950 (Abrol 2012). *Osmia lignaria*, une abeille maçonne, également solitaire, est une pollinisatrice particulièrement efficace sur vergers. Ces abeilles sont élevées et commercialisées, sur le continent américain surtout (voir notamment Bosch et Kemp (2002) pour les Osmies). Les bourdons, qui butinent plus vite que l'abeille, sont quant à eux des pollinisateurs efficaces du colza (Jacob-Remacle 1990), du trèfle incarnat et de nombreuses autres cultures d'importance agronomique comme la tomate, la myrtille (Delaplane & Mayer 2000 pp. 20-21) et le potiron (Petersen *et al.* 2013). Une abeille solitaire et oligolectique des Etats-Unis, *Peponapis pruinosa*, pollinise fort bien les cultures de courges, notamment parce que les fleurs en sont visitées assidûment par les mâles, étant le lieu où ceux-ci ont le plus de chances de rencontrer une femelle avec laquelle s'accoupler (Cane *et al.* 2011).

### **2.2.1. Performance des pollinisateurs sauvages**

Plusieurs raisons expliquent les performances excellentes des pollinisateurs sauvages.

1. Certains d'entre eux ont un seuil thermique inférieur à celui de l'abeille mellifère : ils butinent à des températures moindres. C'est le cas notamment de certaines familles d'abeilles non-*Apis*, Bourdons, Anthophores et Osmies (Jacob-Remacle 1990).

2. Les abeilles solitaires transmettent plus de pollen lors des visites que les abeilles sociales qui engluent le pollen qu'elles tassent dans leurs corbicules pour le transport, ce qui limite la dispersion des grains (Jacob-Remacle 1990).
3. Les abeilles non-*Apis* sont capables d'effectuer certaines formes particulières de pollinisation dont l'abeille mellifère est incapable. Par exemple, la fécondation de la tomate exige du pollinisateur qu'il provoque une vibration résonante de la fleur (sonication) pour que les anthères relâchent le pollen, ce que réalisent plusieurs espèces d'abeilles non-*Apis* et notamment des bourdons, mais non l'abeille mellifère (Losey et Vaughan 2006).
4. L'abeille mellifère, formant d'importantes populations et devant constituer des réserves hivernales considérables à son échelle, butine « rationnellement » ; dans une rangée d'arbres par exemple, elle visitera les fleurs d'un même arbre avant de passer à l'arbre le plus proche, qui sera celui de la même rangée, ce qui limite la fécondation croisée dans les plantations (Brittain *et al.* 2013).
5. Chez la mellifère, butineuses de nectar et de pollen sont séparées (ce ne sont pas les mêmes abeilles) ce qui limite la fécondation des plantes dont les fleurs sont sexuées<sup>17</sup>. Toutefois, les butineuses de pollen vont parfois « refueler » ce qui les amène à visiter les fleurs ou plantes femelles. Mais au total, le taux de visites entre fleurs ou plantes mâles et femelles est moins élevé que chez les espèces sauvages qui butinent simultanément le pollen et le nectar.

L'abeille mellifère reste toutefois, par la force de ses populations, un pollinisateur imbattable des floraisons massives. Elle serait ainsi responsable de 80 à 97% de la pollinisation du colza (Jacob-Remacle 1990), non parce qu'elle est plus efficace - certaines espèces sauvages le sont tout autant voire davantage - mais parce qu'elle est plus abondante (Rader *et al.* 2009). En outre, par l'ampleur des surfaces butinées par une colonie, elle permet la pollinisation dans les habitats que la fragmentation rend difficilement accessible aux abeilles non-*Apis* ; elle serait par là un « pollinisateur de secours » (De la Rúa *et al.* 2009).

### **2.2.2. Pollinisateurs sauvages et abeilles mellifères : compétition et synergies**

Abeilles sauvages et mellifères dépendent, pour une part du moins, des mêmes ressources florales ; elles sont donc susceptibles d'entrer en compétition. Mais est-ce le cas ? La présence/l'abondance des abeilles mellifères joue-t-elle un rôle dépresseur sur les capacités de survie ou de reproduction des abeilles sauvages, sociales ou solitaires ? La question n'a pas reçu à ce jour de réponse univoque. La plupart des études existantes réfèrent aux situations américaine et australienne, et ne sont pas transposables à notre pays car sur ces continents l'abeille est une espèce allogène (pour une revue voir Paini 2004). Quelques-unes concernent des régions où l'abeille mellifère est indigène.

---

<sup>17</sup> Les fleurs d'une majorité de plantes sont hermaphrodites mais chez certaines plantes, les fleurs sont unisexuées, qu'elles soient portées par la même plante (espèces dioïques) ou par des plantes mâles ou femelles (espèces monoïques).

Celle, déjà évoquée, de Garibaldi *et al.* (2013) ne décèle aucune forme de compétition de ce type. L'accroissement du taux de nouaison par les insectes sauvages est le même, que les cultures fruitières soient ou non visitées par une abondance d'abeilles mellifères. De même les auteurs n'ont trouvé aucune corrélation entre l'abondance des visites réalisées par les mellifères et la richesse de l'entomofaune sauvage : la présence de mellifères et leur abondance n'influent pas sur le nombre d'espèces.

Par contre, une étude réalisée dans deux parcs nationaux du mont Carmel (Israël) montre que le taux de visite des abeilles sauvages peut être influencé par celui de mellifères, dans le sens d'une diminution le plus souvent (9 cas), mais parfois aussi d'un accroissement (4 cas) ; parfois aussi (7 cas) l'abeille mellifère n'a aucune influence sur le taux de visites des abeilles sauvages (Shavit *et al.* 2009). Goulson et Sparrow (2009), étudiant en Ecosse la taille de plusieurs espèces de bourdons, ont trouvé que celle-ci est moindre dans les zones butinées par les abeilles mellifères, ce qui pourrait être dû à un moindre accès aux ressources ; mais les auteurs s'accordent sur le fait que le lien de cause à effet n'est pas clair (il pourrait y avoir une cause commune, par exemple le fait que les zones attractives pour les abeilles mellifères sont moins propices à la formation de bourdons de grande taille). Une étude menée en Allemagne (Steffan-Dewenter et Tschardt 2000) montre l'absence d'influence des populations de mellifères sur les abeilles sauvages, qu'il s'agisse du nombre d'espèces, du nombre d'abeilles vues visitant les fleurs ou du nombre de nids, et ce malgré la densité importante de ruches autour de certaines des prairies étudiées (jusqu'à 20 colonies en bordure de la prairie mais attention ! la densité moyenne ne dépassait pas 3,1 colonies/km<sup>2</sup>). En revanche la disponibilité des habitats a une influence déterminante sur le nombre de nids des abeilles sauvages ; mais à cet égard la mellifère ne concurrence pas les abeilles sauvages. Relevons toutefois que ces études se focalisent sur des contextes agricoles : il s'agit de cultures où les fleurs sont abondantes et ne représentent donc pas un facteur limitant. Il ne faut pas perdre de vue que la réalité peut être différente dans des milieux semi-naturels où la flore est moins abondante mais plus diversifiée.

Ce n'est évidemment pas que dans un sens que la compétition est possible : si l'abeille mellifère peut déranger les autres espèces, l'inverse est également vrai et peut donner lieu à une synergie intéressante, comme dans les cas du tournesol semence et de l'amandier. Les champs destinés à la production de tournesol hybride alternent des rangs de plants mâles et femelles, la partie mâle des plants femelles étant stérile<sup>18</sup>. La pollinisation par les abeilles mellifères y est plus efficace lorsque des abeilles non-*Apis* sont également présentes sur la culture car celles-ci, en repoussant la mellifère, l'amènent à passer des rangs mâles aux rangs femelles et vice-versa (Losey et Vaughan 2006), ce que la mellifère ne fait pas toujours spontanément dans la mesure où le butinage du pollen et celui du nectar est chez elle le fait de butineuses différentes comme on l'a vu. Un problème similaire existe dans les champs d'amandiers, arbres plantés par rangs alternants d'espèces différentes ; l'amandier est en effet quasiment auto-stérile et nécessite la

---

<sup>18</sup> Voir notamment Pollinisation et productions végétales, ouvrage collectif dirigé par P. Pesson et J. Louveaux, INRA, 1984, p. 322 ; pour une image de la pollinisation dans ces champs, voir <http://www.apistory.fr/pages/tournesolsemence.html>.

pollinisation par une autre variété, et pour des raisons de facilité de récolte les variétés sont plantées par rangs. Les stratégies de butinage de l'abeille mellifère l'amènent à passer d'un arbre à l'arbre le plus proche, qui est celui d'une même rangée, ce qui diminue la probabilité de pollinisation croisée. Là aussi, la présence d'abeilles non-*Apis* (l'expérience a été faite avec *Osmia lignaria*) accroît le taux de nouaison suite aux visites de l'abeille mellifère car, si l'Osmie ne chasse pas la mellifère, celle-ci tend à dédaigner les fleurs où est passée l'Osmie et modifie en conséquence ses plans de vols, ce qui l'amène à passer plus fréquemment d'une rangée à l'autre (Brittain *et al.* 2013).

En conclusion des deux points précédents, il apparaît que, du point de vue de la pollinisation des cultures, les abeilles mellifères et non-*Apis* se complètent, mais les mellifères ne remplacent pas adéquatement les espèces non-*Apis* (Garibaldi *et al.* 2013). Le service écologique de la pollinisation ne peut être préservé que par des politiques visant à assurer survie, développement et reproduction de toutes.

## ***2.3. Vers une crise de la pollinisation ?***

### **2.3.1. L'offre : le stock de pollinisateurs**

Le déclin des abeilles a fait couler beaucoup d'encre sans que les écrits, les débats et les études faites à ce jour n'aient complètement clarifié la situation. En tout état de cause, ni le déclin ni ses causes ne sont analogues selon que l'on parle des pollinisateurs sauvages ou de l'abeille domestique.

Les abeilles domestiques subissent un taux de mortalité anormalement élevé depuis vingt ans environ. Si ce fait n'est contesté par personne, il n'est pas évident de le quantifier, au niveau mondial en tous cas. Selon les chiffres de la FAO (FAOStat, livestock, beehives), si le nombre de colonies élevées en Europe a chuté d'un quart depuis les années '90<sup>19</sup>, au niveau mondial on note plutôt un accroissement de ce nombre<sup>20</sup>. Ceci ne va pas à l'encontre du fait que les surmortalités soient une réalité qui affecte durement le monde apicole, et ce pour plusieurs raisons :

- le nombre de ruches recensées s'effondre dans certaines régions du monde tandis qu'il s'est accru dans d'autres ; en Chine notamment, le nombre de colonies est passé de 3 millions en 1960 à 8,77 millions en 2008 (Zhenghua 2011) ;
- la progression du chiffre donné par la FAO peut provenir du fait que de plus en plus de ruches ont été recensées au fil des ans ; il ne faut en effet pas perdre de vue que de nombreuses colonies échappaient, et parfois échappent encore au recensement ;
- les surmortalités ne se traduisent pas par une diminution du nombre des colonies en proportion des pertes car le secteur apicole tend à compenser celles-ci en élevant davantage de nouvelles colonies. Certains apiculteurs sont

---

<sup>19</sup> 1980 : 21 420 000 ; 1990 : 22 467 000 ; 2000 : 15 339 000 ; 2010 : 15 662 000.

<sup>20</sup> Environ 60 millions en 1980, 69 millions en 1990 et 2000, près de 77 millions en 2010.

ainsi passés en tout ou partie de la production de miel à la production de reines et d'essaims.

Ces mortalités ne sont quasiment nulle part chiffrées de façon crédible (la plupart des chiffres cités le sont sur base d'un nombre de ruches/de ruchers trop faible pour autoriser une statistique valable). C'est sans doute aux USA que l'estimation est la plus sûre, ne serait-ce que parce que le principal syndrome associé à ces surmortalités, à savoir le CCD, y a été décrit (vanEngelsdorp *et al.* 2009)<sup>21</sup> ; les pertes sont estimées à 30% des colonies annuellement (USDA 2012). Dans ce pays de grandes monocultures où la pollinisation est assurée essentiellement par l'abeille mellifère<sup>22</sup>, la situation inquiète. Dix millions de colonies, dont la valeur est estimée à \$200 chacune, y auraient disparu depuis 2006 – la perte globale s'élève donc à 2 milliards de dollars (*ibid.*). En conséquence, les prix de la location de ruches en pollinisation se sont accrus de façon vertigineuse, surtout pour l'amandier dont la production requiert 60% des quelque 2,5 millions de colonies que compte le pays ; ils sont passés de \$66 la ruche en 2004 à \$157 en 2006 (Rucker *et al.* 2012). Selon J. Pettis, *nous ne sommes plus séparés d'un désastre en pollinisation que par un épisode de météo défavorable ou une perte hivernale élevée* (USDA 2012. p. 5).

La situation des abeilles sauvages est fort différente mais n'est pas en soi meilleure. L'effondrement des cultures de légumineuses (en Suède 90% de réduction entre 1939 et 2010 (Bommarco *et al.* 2012); en Belgique de 180 000 ha en 1908 à quasiment zéro en 1985 (Rasmont *et al.* 2005)) a porté préjudice aux espèces à longue langue spécialisées dans le butinage de fleurs à corolle profonde comme le sont trèfle, luzerne etc. De manière générale, l'intensification agricole et l'urbanisation, en créant des milieux artificiels, portent préjudice aux espèces spécialisées, dépendant étroitement d'un type d'habitat naturel ou d'une source florale sauvage ; elles profitent, en nombre relatif, aux espèces généralistes, plus capables d'adaptation, dont *Bombus terrestris* est un bon exemple (Bommarco *et al.* 2012). En conséquence, les communautés ont changé en composition, les espèces à longue langue s'étant effondrées parallèlement aux surfaces de leurs espèces florales de prédilection (*ibid.*) La destruction des sites aptes à fournir des lieux de nidification contribue également au recul des abeilles sauvages. C'est le cas notamment pour l'abeille mellifère dont les populations férales ou sauvages ont régressé en Europe suite à l'usage intensif du sol (Jaffé *et al.* 2010).

Les facteurs causals que la littérature cite le plus souvent à propos du déclin des abeilles sont:

- la perte des habitats, due à la régression des espaces sauvages ou semi-sauvages et des surfaces agricoles exploitées extensivement,

---

<sup>21</sup> Le discours dominant a longtemps considéré (et tend encore parfois à considérer...) globalement les mortalités, avec pour conséquence que la thèse explicative retenue est celle de la multifactorialité, thèse qui dans ce contexte est triviale – car il est évident qu'il n'y pas qu'une seule cause de mortalité chez l'abeille – et inopérante – car faute d'être correctement décrite une cause de mortalité n'a aucune chance d'être discriminée des autres, pas plus que de recevoir diagnostic ni solution.

<sup>22</sup> Cette situation est liée à un déséquilibre écologique. Dans les fermes pratiquant l'agriculture biologique, la pollinisation peut être assurée entièrement par les *native bees*, les abeilles indigènes, ce qui n'est plus le cas dans les zones d'agriculture intensive (Kremen *et al.* 2002).

- la perte des ressources alimentaires suite à la régression des espaces sauvages, des espaces semi-sauvages, des surfaces exploitées extensivement et de certaines cultures, notamment les légumineuses comme on l'a vu ci-dessus,
- la contamination environnementale, notamment par les pesticides agricoles.

La perte des habitats ne touche évidemment pas l'abeille d'élevage mais frappe de plein fouet les abeilles sauvages, y compris les populations sauvages ou férales d'abeilles mellifères. La perte des ressources florales est susceptible de toucher toutes les espèces. En Belgique, les fleurs qui assuraient les grandes miellées d'été, notamment le « coucou » ou trèfle blanc (*Trifolium repens*) ont été quasiment rayées des pâturages et le pissenlit suit le même chemin. La suppression des espaces semi-sauvages, bords de chemins, zones humides etc. a eu pour conséquence la raréfaction de nombreuses fleurs mellifères et pollinifères ainsi que de nombreuses formes d'habitat utilisées par les abeilles sauvages ; quant à l'abeille mellifère, si elle est capable de constituer des réserves de sucres qui lui permettent de faire face aux époques de disette, elle a besoin de pollen tout au long de l'année pour soutenir la croissance et le maintien de ses populations. Quant à la contamination environnementale, son influence possible sur les espèces tant sauvages que domestiques est reconnue via les études de toxicologie, mais l'ampleur des effets sur le terrain est mal connue. Le fait qu'elle ait, ou non, une responsabilité première dans les surmortalités d'abeilles mellifères fait l'objet de vives controverses.

### **2.3.2. La demande : les cultures pollinisateurs-dépendantes**

La part des cultures pollinisées par les insectes dans la valeur agricole produite va croissant au fil du temps, ce qui accentue encore la possibilité d'une carence de la pollinisation. Au Royaume-Uni, les populations d'abeilles mellifères, qui étaient capables en 1984 de prendre en charge 70% des besoins en pollinisation, ne le sont plus que pour 34% aujourd'hui, ce qui est dû essentiellement à l'accroissement des surfaces consacrées aux cultures pollinisateurs-dépendantes (+ 20% depuis 1984, surtout du colza et des haricots) (Breeze *et al.* 2011). Cette situation est exemplative d'une tendance qui se marque au niveau mondial. Au cours des cinquante dernières années, le stock de colonies d'abeilles s'est accru de 45% ; la production agricole indépendante de la pollinisation, c'est à dire pour l'essentiel celle des produits de base, a doublé, suivant en cela la courbe de croissance de la population ; la production dépendante de la pollinisation a quant à elle quadruplé, indiquant qu'à l'accroissement de la population s'est superposé un accroissement de la demande *per capita*, liée à la globalisation du commerce agricole et à la généralisation de l'économie de marché. Le stock de pollinisateurs d'élevage ne suit donc pas la courbe ascendante de la demande (Alzen et Harder 2009).

Lautenbach *et al.* (2012) notent un accroissement du prix de la pollinisation, qui constitue le *signal précoce d'un possible conflit entre le service écologique de la pollinisation et d'autres usages du sol à l'échelle globale*. Ils montrent que les bénéfices de la pollinisation se sont accrus de façon spectaculaire dans certains pays (la Chine, la Russie), ce qui est dû au développement, soit de l'agriculture dans son ensemble, soit de la part des cultures dépendantes de la pollinisation animale dans la

production agricole ; le développement des classes moyennes dans un pays se traduit par un accroissement de la demande en fruits (cas de la Chine, *ibid.* p. 9). Ces auteurs soulignent aussi que la perte des pollinisateurs sauvages dans une région du monde pourrait influencer, non seulement les prix de la pollinisation, mais aussi les types de cultures, avec abandon des cultures dépendantes de la pollinisation animale dans les pays qui ne parviendraient pas à refaire le stock de pollinisateurs, et accroissement de ces mêmes cultures dans les pays restés riches en pollinisateurs ; une évolution qui pourrait avoir à son tour pour effet une réduction de l'habitat de ces pollinisateurs sauvages si leur importance n'est pas correctement prise en compte.

La demande en pollinisation est donc fluctuante et, reflétant le type de consommation d'un pays, elle augmente avec son niveau de développement.

Les auteurs s'accordent sur l'importance des pollinisateurs, qu'il s'agisse d'espèces sauvages ou domestiques ; sur l'intérêt, pour la production agricole, de faire polliniser les cultures par les espèces sauvages et domestiques conjointement ; et en conséquence sur l'importance de *faire évoluer les politiques de protection des pollinisateurs en parallèle avec l'expansion de l'industrie apicole* (Breeze *et al.* 2011).

Il est donc urgent de conduire des politiques agricoles respectueuses des populations d'abeilles, qu'elles soient élevées ou sauvages, *Apis* ou non-*Apis*: préservation et restauration des habitats et des sources alimentaires, contrôle plus étroit des sources de contamination et notamment de l'usage des pesticides agricoles (Brittain *et al.* 2013, Garibaldi *et al.* 2013).

## Chapitre 3 : Sentinelle, indicateur deux concepts distincts.

L'abeille, indicateur et sentinelle, indicateur ou sentinelle? Pour répondre à ces questions, il nous faut:

- définir ce que sont les espèces indicateurs et les espèces sentinelles, c'est-à-dire, à quelles conditions des espèces peuvent jouer ce rôle, être considérées comme telles. Nous aurons pour ce faire recours à la littérature;
- examiner les caractéristiques des espèces d'abeilles et voir dans quelles mesures ces caractéristiques correspondent aux conditions évoquées ci-dessus ; ce que nous ferons en considérant deux catégories d'espèces d'abeilles : d'une part l'abeille mellifère, d'autre part les abeilles sauvages, considérées en première approche comme une entité unique. Cette distinction est faite *a priori* sur base du fait que l'abeille mellifère est domestique (au sens où elle est hébergée par l'homme), au contraire des abeilles sauvages, avec pour conséquence que tant les moyens d'observation que les enjeux de la préservation des espèces sont totalement différents. D'autres caractéristiques encore, que nous aurons l'occasion de détailler plus avant (comme le rayon de butinage par exemple) plaident plus accessoirement en faveur d'une telle perspective.

Ces deux points font l'objet des deux chapitres qui suivent.

### 3.1. Indicateurs et sentinelles dans la littérature scientifique

#### 3.1.1. Les espèces indicateurs

Qu'est ce qu'une espèce indicateur ? Selon Wikipedia (version anglaise), l'indicateur se définit comme *une quelconque espèce biologique qui définit un trait ou une caractéristique de l'environnement. Par exemple, une espèce peut délimiter une écorégion, ou révéler une condition environnementale, comme un problème de maladie, de pollution, de compétition entre espèces ou de changement climatique. L'indicateur peut faire partie des espèces les plus sensibles d'une région, et donne parfois une alarme précoce aux biologistes qui en font le suivi*<sup>23</sup>. Les espèces indicateurs peuvent être aussi bien microbiennes que vertébrées ou invertébrées.

La définition d'espèce-indicateur a fait l'objet de débats et de publications scientifiques, revues par Zacharias et Roff (2001) ; nous en extrayons ce qui suit.

Selon les auteurs, le concept d'espèce indicateur inclut, ou est parallèle à ceux d'espèces sentinelles (voir ci-dessous), d'espèces clé-de-voûte, d'espèces ombrelles et d'espèces charismatiques (espèces-phares), toutes catégories qu'on englobe sous le terme général d'espèces focales, et qu'il vaut la peine de définir brièvement.

---

<sup>23</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Indicator\\_species](http://en.wikipedia.org/wiki/Indicator_species), consultation 28 juin 2013.

- Une **espèce clé-de-voûte** a une influence directe ou indirecte importante sur la structure ou la composition de sa communauté biologique, avec pour conséquence qu'elle exerce sur le milieu une influence disproportionnée par rapport à son abondance et sa biomasse. La disparition d'une telle espèce mène à la perte d'autres espèces de la communauté. Les espèces clé-de-voûte affectent leur communauté via des actions *de consommation, de compétition, de dispersion de pollinisation, de maladies, ou en modifiant des habitats ou des facteurs abiotiques* (p. 67). Le concept pose toutefois certains problèmes, notamment de limite : toute espèce ayant des interrelations avec les autres espèces de sa communauté répond, plus ou moins, à sa définition. En fait, il est surtout utile, lorsqu'une espèce est exploitée, de s'interroger sur les effets qu'aura sa soustraction du milieu.
- L'**espèce-ombrelle** est celle dont la présence traduit la présence d'autres espèces dans une aire géographique donnée. Ce concept est distinct de celui d'indicateur de composition: si ce dernier marque bien la présence d'autres espèces de sa communauté, sa conservation ne garantit pas celle de toutes les espèces de la communauté. Au contraire, la conservation de l'espèce-ombrelle garantit celle de toutes les espèces qu'elle abrite, car elle garantit la conservation d'habitats et de ressources qui sont aussi celles de ces espèces. Il s'agit, par exemple, d'espèces de grande taille dont la survie dépend de territoires étendus capables d'abriter des espèces aux exigences similaires en nature mais de moindre envergure.
- Les espèces charismatiques, ou **espèces-phares** sont celles suscitant l'intérêt du public. Elles sont utiles en conservation de la nature (voir les campagnes de Greenpeace sur la chasse à la baleine). Leur préservation ne garantit pas en soi celle d'autres espèces, ni d'habitats, ni de communautés ou d'écosystèmes quels qu'ils soient ; toutefois, la sensibilisation aux conditions de leur préservation peut amener le public à modifier ses pratiques dans un sens favorable au maintien d'autres espèces ou habitats.

*Sensu lato*, le concept d'espèce-indicateur inclut les catégories ci-dessus, ainsi que celle d'espèce-sentinel. *Sensu stricto*, il est en est distinct, et ce terme est réservé aux espèces qui « marquent »

- soit la nature du milieu où on les trouve (le type d'écosystème, les autres espèces associées)- il s'agit alors d'espèces caractéristiques d'un milieu donné - : ce sont alors des **indicateurs de composition**
- soit les conditions, l'état de ces milieux – il s'agit alors d'espèces particulièrement sensibles aux modifications des conditions du milieu : ce sont dans ce cas des **indicateurs de condition**,

C'est à dire que, *sensu stricto*, les espèces indicateurs sont des indicateurs écosystémiques.

Quelle que soit l'option retenue par les différents auteurs, le concept d'espèce-indicateur est aujourd'hui largement utilisé dans les domaines de l'écologie et de la conservation de la nature. Les politiques de conservation, en particulier, requièrent des outils fiables et aussi peu coûteux que possible pour identifier les milieux et leur

« état de santé ». Les espèces indicateurs constituent de tels outils, fiables et, s'agissant d'établir un diagnostic de la biodiversité, plus aisés à mettre en œuvre - et donc meilleur marché - que ne l'est, par exemple, une étude complète de la richesse en espèce d'un milieu, étude complexe qui en outre ne traduit pas forcément la mise en danger d'une espèce rare.

### 3.1.2. Les espèces sentinelles

La notion d'espèce-indicateur définie ci-dessus inclut celle d'espèce-sentinel.

*Le but premier d'un système de sentinelle animale est d'identifier les composés chimiques nocifs ou les mélanges de ces composés dans l'environnement avant qu'ils puissent être détectés par ailleurs au travers d'études d'épidémiologie humaine ou d'études toxicologiques sur des animaux de laboratoire<sup>24</sup>.*

Cette considération, et celles figurant ci-dessous, sont tirées du rapport qu'en 1991, l'Académie nationale des sciences des USA (NAS) a consacré à l'utilisation des animaux comme sentinelle des dangers environnementaux pour l'être humain. L'Académie répondait par là à une requête de l'Agence pour l'enregistrement des substances toxiques et des maladies, qui la sollicitait afin qu'elle *revoie et évalue l'utilité d'études épidémiologiques animales pour l'évaluation du risque pour l'être humain, et fasse des recommandations quant au type de données devant être collectées<sup>25</sup>.*

La sentinelle sert en effet à la détection précoce des risques pour l'être humain. Le concept d'espèce sentinelle est donc inclus dans celui d'espèce-indicateur, mais il est plus restreint : alors que l'indicateur sert à révéler une information, quelle qu'elle soit, sur un état de l'environnement, le concept de sentinelle, lui, se rapporte spécifiquement à un risque environnemental lié à l'exposition à un agent infectieux ou de contamination.

L'exemple le plus ancien et le plus connu, souvent cité à propos de l'abeille, est celui du canari de la mine. De toutes les espèces courantes, le canari est la plus sensible au monoxyde de carbone, gaz fréquent dans les gisements de charbon et responsable d'intoxications mortelles chez l'homme. En présence de CO, l'oiseau tombe en collapsus (il s'en remet si on l'emmène immédiatement à l'air frais). C'est pourquoi les mineurs emmenaient avec eux un canari dans le fond ; lorsque l'oiseau tombait en fond de cage, il était encore temps pour eux (et pour lui...) de quitter les lieux sans dommage.

Depuis l'idée de sentinelle a fait son chemin. Aujourd'hui des espèces animales sont utilisées pour mettre en évidence la contamination environnementale, la contamination de la chaîne alimentaire, ou pour investiguer la biodisponibilité des contaminants dans un milieu donné. Elles peuvent aussi, dans certains cas, mettre en évidence les effets qu'ont ces contaminations sur la santé. **Elles sont donc toujours des indicateurs d'exposition, et parfois aussi des indicateurs de risque.** Elles peuvent être naturellement présentes dans le milieu ; elles peuvent

---

<sup>24</sup> NAS 1991, p. 8.

<sup>25</sup> *Ibid.*, p. vii.

aussi y être placées aux fins de la recherche qui les concerne. Elles sont utilisées tant dans les milieux naturels que dans des environnements anthropisés, qu'il s'agisse d'habitations, d'exploitations agricoles, de lieux de travail etc.

**Une bonne sentinelle est :**

- **une espèce qui, par son habitat, par ses habitudes, est exposée à aux contaminants recherchés;**
- **une espèce qui réagit à la contamination par des manifestations d'ordre pathologique, que ces manifestations concernent la reproduction, la physiologie ou le comportement des individus ; cette réponse doit pour bien faire être mesurable ;**
- **une espèce dont les populations sont aisées à prélever et à dénombrer ; la taille et la densité de ces populations doivent en outre être suffisantes pour permettre le dénombrement et l'établissement d'une statistique ;**
- **une espèce dont la biologie et la pathologie sont suffisamment connues pour permettre l'interprétation des résultats des études.**

Les exemples cités par le rapport incluent des animaux de compagnie (chiens et chats souvent plus exposés que leurs maîtres aux poussières domestiques par exemple), des mammifères sauvages (campagnols, taupes), et des invertébrés du sol (insectes, lombrics) ou des milieux aquatiques (huîtres, moules). L'abeille mellifère est citée comme étant une excellente sentinelle de la pollution de l'air.

Les approches méthodologiques utilisant une ou des espèces sentinelles incluent :

- **des études épidémiologiques descriptives** des populations animales concernées, visant à estimer la fréquence des états pathologiques et les tableaux qu'ils présentent, et à évaluer leur association avec l'exposition environnementale, au moyen de techniques de type cartographique par exemple ;
- **des études épidémiologiques analytiques**, visant à tester les hypothèses relatives aux expositions environnementales et à en estimer le risque, en utilisant des protocoles d'études permettant les observations en conditions contrôlées ;
- **des études *in situ*** là où la contamination est suspectée, incluant un monitoring de la bioaccumulation et des effets sur la santé.

Les études doivent être conçues de manière à observer les réponses biologiques rapidement après l'exposition ; à cette fin les analyses sanguines sont particulièrement appropriées.

## Chapitre 4 : Les abeilles non-*Apis*

Dans notre pays, la seule abeille appartenant au genre *Apis* est l'abeille mellifère. Nous traiterons dans ce chapitre de toutes les autres espèces de la super-famille des Apoïdes, qui dans notre pays sont au nombre de 380 (Denis Michez, exposé au colloque du 6 juin 2013). Ces espèces relèvent de sept familles : les Colletidae, Andréniidae, Melittidae, Mégachilidae, Anthophoridae, Halictidae, et Apidae. Sont solitaires, les espèces appartenant aux cinq premières de ces familles, et partiellement à la sixième (339 espèces sur 370 selon Terzo et Rasmont (2007)); les Bourdons et certaines Halictidae forment des colonies non permanentes, qui ne persistent pas en hiver. Peu de ces abeilles sont connues du grand public ; les plus connues sont les Bourdons<sup>26</sup>, qui forment avec l'abeille mellifère la famille des Apidae.

### 4.1. A propos de la taxonomie des abeilles non-*Apis*

L'identification de ces espèces d'abeilles n'a rien d'aisé. Certains ouvrages fournissent des clés relativement simples (par exemple Jacob-Remacle 1989) mais ces clés, même celles qui sont rudimentaires, font appel à des critères morphologiques dont l'observation n'est pas à la portée du premier quidam venu. Certains sites publient des atlas très complets, fruit d'un travail considérable de collecte de données et d'images. Pour la Belgique, un tel site a été mis en place, et est géré par le laboratoire de zoologie de l'université de Mons et par la faculté de Gembloux<sup>27</sup> ; il reprend, classé par genres, toutes les espèces présentes sur notre territoire national. Outre-Manche, la Bee, Wasps and Ants Recording Society<sup>28</sup> a fait un travail similaire et son site mérite également la visite. Parcourir ces sites donne une idée de la complexité de la tâche d'identification des espèces, qui relève de professionnels ou de passionnés très avertis<sup>29</sup>. C'est que le monde des abeilles est extraordinairement riche ; 19 000 espèces sont décrites à ce jour dans le monde (versus 5-6000 espèces de mammifères) et dans notre pays, il y a plus d'espèces d'abeilles que d'oiseaux nicheurs, de papillons et d'odonates (libellules et demoiselles) réunis (Denis Michez et Nicolas Vereecken, intervention au colloque du 6 juin 2013). Des espèces nombreuses, des critères de discrimination complexes : il n'est pas étonnant que l'établissement d'une taxonomie des abeilles ait fait, et fasse encore, l'objet de nombreux débats (Michez 2006).

---

<sup>26</sup> Ne pas confondre avec le faux-bourdon qui est le mâle de l'abeille, et que l'on appelle parfois abeillaud. Les « vrais » bourdons sont donc en fait des abeilles, femelles pour la plupart de celles que l'on rencontre dans la nature ou au jardin.

<sup>27</sup> Page d'accueil : <http://zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/hymenobel.asp>.

<sup>28</sup> Cette société, qui collecte les données relatives aux hyménoptères sur les territoires d'Irlande et du Royaume-Uni, dispose d'un site de grand intérêt: <http://www.bwars.com/index.php?q=content/about-bwars-introduction>.

<sup>29</sup> Voir par exemple ce qu'en dit, justement, la BWARS : <http://www.bwars.com/index.php?q=content/key-works-identifying-bees-wasps-and-ants>.

Parmi ces critères, l'un nous intéresse d'un point de vue écosystémique : la longueur de la langue, caractère important utilisé pour la discrimination des familles et pour établir la phylogénèse des abeilles (Michez 2006). Ce caractère morphologique détermine le type de fleurs que l'abeille pourra butiner : les abeilles à langue courte visitent des fleurs dont la corolle est facilement accessible : ombellifères, composées, crucifères... Les abeilles à langue longue peuvent visiter des fleurs dont la corolle est profonde, telles les Labiées (famille du lamier) ou les Fabacées, importante famille à laquelle appartiennent les légumineuses cultivées : haricot, pois, lentille, soja, trèfle, luzerne, lupin, arachide.... Ces plantes sont du plus grand intérêt sur les plans alimentaire et cultural, et cela pour deux raisons :

- elles sont les principales productrices de protéines végétales ;
- elles forment, sur les racines, des nodules abritant une bactérie, le Rhizobium, qui, en symbiose avec la plante, est capable de fixer l'azote de l'air ; elles constituent pour cette raison un important élément du cycle de l'azote au niveau des écosystèmes, et de la rotation culturale au niveau agricole.

Nous aurons l'occasion de revenir sur les implications de ce fait.

## ***4.2. Cycle et modes de vie des abeilles non-Apis***

Le cycle de vie des abeilles solitaires commence à la bonne saison (printemps ou été) lorsque les reproducteurs quittent leur abri hivernal pour s'accoupler. Les femelles fondent ensuite un ou plusieurs nids constitués d'une succession de cellules. Chacune de celles-ci enferme un œuf et une réserve de pollen. A la fin de la constitution des nids tous les reproducteurs disparaissent (ou ont disparu, s'agissant des mâles). La nouvelle génération passe l'hiver à l'état larvaire ou adulte jusqu'à la saison suivante et le cycle recommence. On notera que la première cellule constituée est celle dont l'insecte adulte sortira en dernier lieu. Généralement les femelles sont pondues en fond de nid et les mâles à proximité de l'entrée, les femelles disposant de ressources plus importantes que les mâles (Jacob-Remacle 1989).

Le cycle de vie des abeilles sociales est similaire à celui des guêpes. Au printemps, une reproductrice fécondée, qui a passé l'hiver dans un abri, quitte celui-ci et part en quête d'un lieu qui convienne à l'installation d'un nid. Une fois celui-ci trouvé, la reproductrice entame la construction du nid, la ponte, le butinage et l'élevage des premières larves. Une fois ses premières filles écloses, celles-ci prennent le relais des différents travaux et la reine se consacre alors exclusivement à la ponte. Le nid se développe alors exponentiellement jusqu'au milieu de l'été. La colonie entreprend alors l'élevage de nouveaux reproducteurs qui, une fois adultes et matures, partent en fécondation. Une fois celle-ci accomplie, les reines partent à la recherche d'un abri hivernal, et le cycle recommence.

### **4.2.1. Habitats**

Les nids dans lesquels les abeilles non-*Apis* abritent leurs cellules sont extrêmement divers. Certaines espèces construisent des nids accrochés à un support, type rameau, paroi... (*Anthidiellum* spp.). La plupart établissent le nid dans une cavité qui peut être

- l'intérieur d'un rameau (certaines Megachilidae, certaines Colletidae),

- une cavité creusée dans le bois (certaines Halictidae, certaines Apidae comme l'abeille charpentière *Xylocopa violacea*)
- une cavité creusée dans le sol (certaines Colletidae, certaines Halictidae, Andréniidae et Mellitidae, dont certaines forment d'importantes congrégations de nids)
- une coquille d'escargot vide (certaines Megachilidae).

Les bourdons (genre *Bombus*) forment un nid fait de cellules de cire assemblées dans un lieu protégé ; ce peut être un terrier abandonné, une cavité dans une cloison, un amas de débris végétaux. Ces nids ne sont pas appelés à persister l'hiver.

Certaines espèces enfin ne fondent pas de nid mais parasitent celui d'une autre abeille (abeilles cleptoparasites, certaines Halictidae entre autres).

Les matériaux mis en œuvre sont extrêmement divers et incluent le bois, la boue, le sable, des feuilles découpées ou réduites en pulpe, le duvet récolté sur certaines plantes velues (abeilles cotonnières, par exemple, en Belgique, *Anthidium manicatum*<sup>30</sup>), la résine collectée sur résineux (en Belgique, *Trachusa byssina* (Megachilidae))<sup>31</sup>, les pétales de fleurs (en Belgique, *Haplitis papaveris* qui utilise des pétales de pavots ou de mauves) et enfin des matériaux sécrétés par les abeilles elles-mêmes (cire des bourdons, matière transparente sécrétée par la femelle de *Colletes* et d'*Hylaeus* spp.).

On soulignera également le caractère parfois sophistiqué des moyens mis en œuvre par certaines espèces pour constituer le nid. Ainsi en va-t-il des abeilles coupeuses de feuilles qui découpent deux types de morceaux dans les feuilles en fonction de la place qu'il leur faut garnir dans le tunnel en construction (Jacob-Remacle 1989). On verra, à propos de l'abeille mellifère, le degré de sophistication qu'a atteint le comportement de cette espèce, et qui lui permet la vie en société et l'adaptation constante aux ressources locales. Il ne faut pas perdre de vue que les abeilles non-*Apis*, si elles forment des sociétés moins élaborées que l'abeille mellifère, n'en sont pas moins dotées d'un outillage comportemental lui aussi élaboré, qui les autorise à occuper des niches parfois très particulières.

#### **4.2.2. Ressources**

Les abeilles non-*Apis* récoltent le pollen et le nectar, mais certaines d'entre elles sont aptes aussi à récolter des huiles produites par certaines espèces végétales. Selon l'espèce, elles sont plus ou moins généralistes ou spécialisées. Certaines récoltent le pollen d'une large gamme d'espèces (elles sont dites alors polylectiques) ; d'autres sont très éclectiques, typiquement elles ne récoltent que sur un seul genre de plantes à fleurs (elles sont alors oligolectiques) et certaines enfin sont totalement inféodées à une seule espèce (monolectiques) ; par exemple, deux Osmies de nos régions, *Hoplitis adunca* et *H. anthocopoides* (Megachilidae)

---

<sup>30</sup> Source : atlas des hyménoptères de Belgique : <http://zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=146>.

<sup>31</sup> Source : *Ibid.*, <http://zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=150>.

butinent exclusivement la vipérine (*Echium vulgare*)<sup>32</sup>. Ces catégories ne sont toutefois pas toujours tranchées : la Collète du Lierre (*Colletes hederæ*), par exemple, qui est présente en Belgique, a longtemps été considérée comme monolectique ; elle est aujourd'hui considérée comme une espèce polylectique ayant une forte préférence pour le pollen du lierre (Müller et Kuhlmann 2008). Chez nous, plusieurs espèces sont oligolectiques ; citons, parmi de nombreuses autres exemples, une autre Collète, *C. halophilus* qui est liée à une aster maritime et est caractéristique des marais salins ; ou encore *Macropis europea* (Mellitidae), liée aux lysimaques car cette espèce récolte l'huile produite par ces fleurs. Réciproquement, certaines plantes attirent de nombreuses oligolectiques, notamment le lotier corniculé (*Lotus corniculatus*), des Fabaceae et des Asteraceae ; et certaines espèces végétales sont dépendantes d'un seul genre, voire d'une seule espèce d'abeilles, tel l'Ophrys bourdon (*Ophrys fuciflora*), pollinisé exclusivement par des abeilles du genre *Eucera*, qui sur notre territoire ne comporte que deux espèces, *E. longicornis* et *E. nigrescens*.

Seules les espèces largement polylectiques fréquentent la flore exotique, du moins certaines de ses espèces ; les abeilles oligolectiques, et à plus forte raison monolectiques, sont quant à elles étroitement liées à la flore indigène.

### **4.3. Pathologie des abeilles non-*Apis***

Ces domaines sont loin d'être inconnus, mais l'investigation dans ce domaine est très partielle et centrée sur quelques espèces. Ceci se comprend si l'on veut bien garder en mémoire qu'*Apis mellifera* n'est pas le seul pollinisateur à faire l'objet d'un élevage ; c'est le cas également de bourdons (*B. terrestris*, *B. impatiens* entre autres), de l'abeille des terres alcalines *Nomia melanderi*, de l'abeille coupeuse de feuilles *Megachile rotundata* et de l'abeille maçonne *Osmia lignaria* ; toutes espèces élevées, aux USA surtout, principalement pour la pollinisation en serres (tomates, poivrons...). *Bombus impatiens*, *Nomia melanderi* et *Osmia lignaria* sont des espèces indigènes du continent américain. *Megachile rotundata* et *Bombus terrestris* sont des espèces européennes ; seule la dernière était connue sur notre territoire jusqu'il y a peu ; récemment, en août 2013, un exemplaire a été trouvé près de Mons (Nicolas Vereecken, communication personnelle). Ces espèces ont fait l'objet d'études quant à la pathologie, d'autant plus que les élevages ont pour effet d'élever la prévalence des maladies, y compris parmi les populations sauvages. En effet, les abeilles d'élevage ne restant pas confinées dans les serres ; celles-ci constituent des foyers à partir desquels les germes pathogènes se dispersent chez leurs consœurs sauvages (Colla *et al.* 2006) ; un phénomène qui est suspect de jouer dans le déclin des bourdons sur le continent américain (Otterstatter et Thomson 2008).

Tout comme les abeilles mellifères, les abeilles non-*Apis* disposent d'une micro-flore associée, comprenant des espèces symbiotiques, commensales ou parasites, parfois parasites occasionnels, qui s'attaquent soit à l'abeille elle-même soit aux provisions (Batra *et al.* 1973). Elle comprend notamment de nombreux micro-champignons, entre autres des levures et des lactobacilles, comme on le verra aussi chez l'abeille mellifère. Plusieurs genres de pathogènes (la microsporidie *Nosema*, le trypanosome

---

<sup>32</sup> Source : *ibid.*, <http://zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/page.asp?id=111>.

*Crithidia*<sup>33</sup>...) sont communs aux mellifères et aux bourdons; le genre *Ascospheera*, lui, responsable d'une maladie fongique du couvain, est très largement répandu parmi l'ensemble des pollinisateurs (Evison *et al.* 2012). Des virus sont également présents chez les abeilles non-*Apis*, tel le virus des ailes déformées présent chez les bourdons (Evison *et al.* 2012) comme chez l'abeille mellifère. Certains unicellulaires non pathogènes chez celle-ci (*Beauveria bassania* par ex.) peuvent être pathogènes chez d'autres espèces (*Nomia melanderi* par exemple (Batra *et al.* 1973)). La prévalence des maladies varie selon l'espèce d'abeilles, d'autant mieux que les milieux de vie peuvent être très différents. Ainsi par exemple, *Nomia melanderi* qui creuse ses terriers dans le sol est plus sensible aux maladies fongiques (notamment *Aspergillus* spp., *Saccharomyces* spp.) que *Megachile rotundata* dont les nids, situés en hauteur, sont mieux préservés des infiltrations d'eau (Batra *et al.* 1973); cette dernière est toutefois sensible au couvain plâtré (*Ascospheera* spp.) (James et Xu 2008). Les connaissances existant en matière de pathologie ou d'épidémiologie d'une espèce ne peuvent donc être extrapolées aux autres espèces. Par ailleurs, peu de recherches ont été effectuées dans ce domaine sur des espèces autres que celles faisant l'objet d'un élevage, et la plupart de celles-ci ne sont pas des espèces indigènes de Belgique. Au total, les connaissances relatives à la pathologie des espèces d'abeilles non-*Apis* présentes sur notre territoire sont donc largement lacunaires et combler ces lacunes représenterait une somme considérable de travaux.

#### 4.4. Toxicologie des abeilles non-*Apis*

En matière de toxicologie comme en matière de pathologie, la plupart des études sur abeilles non-*Apis* concernent les espèces qui font l'objet d'un élevage, principalement les *Bombus* (*terrestris* et *impatiens*), *Megachile rotundata* et *Osmia lignaria*. Une méthode spécifique de test sur micro-colonies de 5 ouvrières a été mise au point sur *Bombus terrestris* (Mommaerts *et al.* 2010).

Les essais de laboratoire visant à établir les CL<sub>50</sub><sup>34</sup> montrent que la toxicité varie fortement selon les substances actives et selon les espèces. Le rapport de toxicité entre deux substances peut être inverse pour une espèce que pour une autre; par exemple, la clothianidine est plus toxique que l'imidaclopride pour *Bombus impatiens* et *Megachile rotundata*, tandis que c'est l'inverse pour *Osmia lignaria* (Scott-Dupree *et al.* 2009). Le même constat a été fait entre plusieurs abeilles élevées pour la récolte du miel: entre *Apis mellifera* et *Apis cerana* (Sharma et Abrol 2005), et entre plusieurs espèces de Mélipones, abeilles indigènes du Mexique et d'importance économique dans ce pays (Valdonvinos-Núñez *et al.* 2009). Par ailleurs, les effets d'un même toxique varieront entre les espèces selon la durée de développement entre l'œuf et l'émergence de l'adulte, les effets de la perte des butineuses étant d'autant plus sévère que ce temps est long (*ibid.*).

---

<sup>33</sup> Sur *Crithidia* spp par exemple. voir le site d'Apivet : <http://www.apivet.eu/2011/08/crithidia-mellificae-trypanosomiose-de-labeille.html>

<sup>34</sup> CL<sub>50</sub> : concentration létale 50 = concentration qui statistiquement tue la moitié des échantillons qui y sont exposés.

Un certain nombre d'études investiguent les effets potentiels sublétaux. Certaines études ne trouvent aucun effet aux concentrations du champ (Franklin *et al.* (2004), clothianidine sur *Bombus impatiens* ; Morandin et Winston (2003), imidaclopride sur *Bombus occidentalis* et *Bombus impatiens*). D'autres, en revanche, montrent l'existence de tels effets. Abbott *et al.* (2008) ont ainsi testé l'imidaclopride sur *Osmia lignaria* et la clothianidine sur *Megachile rotundata* ; des retards de développement (développement des larves et filage du cocon) apparaissent dans le premier de ces cas mais non dans le second. Gill *et al.* (2012) ont exposé des colonies de bourdons, de manière chronique, à l'imidaclopride (10 ppb) et à la  $\lambda$ -cyhalothrine (37,5 ppm, sur papier filtre) ; l'efficacité du butinage est réduite chez les colonies traitées (les balles de pollen sont plus petites, les ouvrières mettent plus de temps à les amasser) et en conséquence les colonies recrutent davantage de butineuses ; et les colonies exposées aux deux pesticides perdent davantage d'ouvrières. En conséquence, le développement des colonies est affecté, à tel point que, de celles exposées aux deux pesticides (dix), deux sont mortes. Même résultat pour l'étude de Laycock *et al.* (2012), qui voit la production de couvain réduite d'un tiers à la dose d'un ppb d'imidaclopride seulement chez *Bombus terrestris*. Un résultat préoccupant, car seules les colonies suffisamment fortes sont capables d'élever un nombre correct de reproducteurs en fin de saison, ce que confirment Whitehorn *et al.* (2012) ; ceux-ci, ayant contaminé les aliments à des doses pertinentes par rapport au champ (pollen, 6 ppb, et le nectar, 0,7 ppb dans le traitement le plus faible), voient le nombre de reines élevées en fin de saison tomber à 12% de ce qu'il est dans les contrôles. De même, la deltaméthrine réduit la fécondité chez *Megachile rotundata* (Tasei *et al.* 1988).

Partant du point de vue du champ, une étude faite en Italie montre un impact, sur le nombre d'espèces d'abeilles solitaires, des applications multiples d'insecticides utilisés sur la vigne, ainsi qu'une corrélation négative entre la charge en pesticides d'une région et le nombre d'espèces de pollinisateurs qu'on y trouve (Brittain *et al.* 2010). Les pesticides sont également l'un des facteurs incriminés dans le fait que les abeilles indigènes ne sont plus à même d'assurer la pollinisation dans les zones d'agriculture intensive aux USA, selon Kremen *et al.* (2002) qui relèvent également d'autres facteurs, tels que la rupture des habitats et la diminution des ressources.

On peut conclure, de tout ceci, que les données toxicologiques existant pour les abeilles mellifères et les autres abeilles d'élevage ne peuvent être extrapolées à d'autres espèces. Ce fait est aujourd'hui reconnu au niveau européen, et a amené l'EFSA à revoir les schémas d'évaluation du risque des pesticides pour les abeilles afin, notamment, d'y inclure des tests particuliers pour les bourdons et les abeilles solitaires (EFSA 2013, voir notamment p. 12).

On relèvera que les données relatives aux espèces d'abeilles non-*Apis* de nos régions sont absentes, si ce n'est pour *Bombus terrestris*. Les connaissances relatives à la toxicologie des abeilles non-*Apis* présentes sur notre territoire sont donc largement lacunaires et, une fois de plus, les combler représentera une somme de recherches importante.

## Chapitre 5 : l'abeille mellifère

L'abeille mellifère est un insecte colonial dont l'importance des colonies fluctue au rythme des saisons. L'été la colonie compte 40 – 50 000 individus (les chiffres varient selon les auteurs) ; l'hiver elle se réduit à une quinzaine de milliers d'individus. La colonie passe donc l'hiver, au contraire de ce qui se passe chez les guêpes et bourdons dont seuls les reproducteurs passent l'hiver, les colonies ne se forment qu'en saison.

### 5.1. Origine et évolution

Comme nous l'avons vu au point 1.2.1., l'abeille mellifère est originaire de contrées chaudes. Espèce indigène à notre pays, elle a colonisé l'Europe à plusieurs reprises, se réfugiant dans les péninsules méridionales lors des périodes glaciaires, ce qui a permis la différenciation des sous-espèces endémiques des différentes régions d'Europe (Garnery 1992 ; Jensen *et al.* 2005 ; Whithfield *et al.* 2006). Au cours de ce processus elle s'est adaptée par évolution à des climats plus froids (De la Rúa *et al.* 2009). Cette adaptation a requis maintes évolutions physiologiques et comportementales, et notamment la formation de nids à rayons multiples (les « cousines » de l'abeille mellifère *Apis florea* et *Apis dorsata*, qui n'ont jamais eu à effectuer cette adaptation, forment des nids à rayons uniques), le changement de l'habitat (les « cousines » précitées colonisent des branches d'arbres ; en régions à hiver froid, *Apis mellifera* occupe des cavités dans les rochers ou dans les troncs d'arbres), la collecte de la propolis, la formation de la grappe hivernale qui postule que soit générée, en fin de saison, une catégorie particulière d'abeilles, les abeilles d'hiver (Wilson 1971 in Han *et al.* 2012)<sup>35</sup>. Cette évolution fait de l'abeille mellifère un insecte parfaitement adapté aux climats froids, à condition toutefois de pouvoir se protéger du vent en présence duquel la grappe hivernale ne peut correctement se réguler ; sa présence à l'état sauvage ou féral dépend donc étroitement de la disponibilité de sites convenant à l'abriter.

Cette adaptation, ainsi que l'aptitude de l'espèce à identifier les sources de nourriture les plus intéressantes et à les exploiter de la façon la plus rentable possible (voir par exemple Schmid-Hempel 1987), a fait de *Apis mellifera* une espèce cosmopolite, capable de s'adapter rapidement même sur les continents où elle n'est pas indigène, comme l'a montré la colonisation rapide du continent américain par l'abeille africanisée<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> Les abeilles d'hiver disposent de réserves particulières de vitellogénine. Cette lipoprotéine, extrêmement courante dans le règne animal, est essentiellement un précurseur du vitellus ; chez l'abeille son rôle a évolué vers des fonctions particulières : elle est l'un des précurseurs majeurs de la gelée royale, et elle joue un rôle central dans la longévité des abeilles d'hiver (voir notamment Amdam et Omholt 2002, et pour une revue Münch et Amdam 2010).

<sup>36</sup> L'introduction de l'abeille africaine *Apis mellifera scutellata* s'est faite au Brésil en 1956 et l'abeille hybride a colonisé à ce jour une grande partie du continent américain ; sa limite nord, aux USA, n'est pas connue à ce jour (Whitfield *et al.* 2006 ; Ellis et Ellis, sur Internet : <http://edis.ifas.ufl.edu/in790>, consultation le 31 juillet 2013).

L'abeille mellifère n'en est pas pour autant en surpopulation en Europe de l'Ouest. La disponibilité des habitats naturels lui convenant a été fortement réduite par les pratiques intensives, agricoles et forestières ; un problème auquel s'ajoute, pour les abeilles indigènes, l'arrivée de la varroose, la réduction de la flore butinable et l'hybridation avec les races importées, généralement moins adaptées aux particularités climatiques et floristiques de la région (De la Rúa *et al.* 2009). Tous ces facteurs ont drastiquement réduit la population potentielle des mellifères sauvages ; Jaffé *et al.* (2010), qui ont étudié des populations d'abeilles européennes, africaines et asiatiques via une technique génomique (marqueurs microsatellites), n'ont trouvé trace de colonies génétiquement différentes des abeilles domestiques - c'est à dire de colonies vraisemblablement sauvages -, sur notre continent, qu'en Irlande et en Italie. Selon ces auteurs, sous nos latitudes la densité des colonies est d'un peu moins de trois par km<sup>2</sup> en moyenne, ce qui est proche de la moyenne existante des colonies d'élevage - en d'autres termes, il n'y a plus guère de colonies hors celles élevées par des apiculteurs; un résultat qui corrobore d'une étude précédemment réalisée en Allemagne et en Afrique du Sud (Moritz *et al.* 2007). La densité mesurée dans ces deux publications est nettement plus basse que celle mesurée en Afrique du Sud, une différence que ne justifient pas les conditions climatiques (*Ibid.*); il y aurait donc dans nos pays un déficit du nombre global de colonies mellifères par rapport à une situation naturelle. Les auteurs de ces deux publications insistent sur l'importance de reconsidérer le statut de protection de l'abeille mellifère, élément essentiel de la biodiversité de nos pays.

En Europe, certains ont posé des jalons en ce sens. En France, une mesure agri-environnementale (MAE API) soutient les apiculteurs qui placent leurs colonies dans des zones où la biodiversité apparaît menacée<sup>37</sup>. En Espagne, le FAPAS (Fondo para la Protección de los Animales Salvajes) a conçu avec la collaboration d'apiculteurs un projet de repeuplement, par l'abeille mellifère, des zones les plus élevées de la cordillère cantabrique (Nord de l'Espagne). Le but est de recréer des populations suffisantes pour la pollinisation du myrtille et du cerisier, dont les fruits sont utilisés par deux espèces emblématiques de la zone, toutes deux en danger : le coq tétras des Cantabriques et l'ours brun<sup>38</sup>.

## **5.2. L'abeille mellifère, modèle scientifique.**

La biologie de l'abeille *Apis mellifera* a fait l'objet de très nombreux travaux. Ceux-ci sont liés à l'intérêt porté par les scientifiques à l'espèce en elle-même, mais aussi au fait que celle-ci se prête à la modélisation de nombreuses fonctions biologiques, et sert de base au développement de multiples axes de recherche fondamentale qui trouvent des applications en biologie générale et jusqu'en médecine humaine.

---

<sup>37</sup> Voir le dispositif H dans la circulaire relative aux MAE sur Légifrance: [http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2013/03/cir\\_36671.pdf](http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2013/03/cir_36671.pdf).

<sup>38</sup> Voir notamment le site du FAPAS : <http://www.fapas.es/index.php/proyectos-fapas-2/proyecto-de-polinizacion-de-areas-de-montana>, et aussi, article plus détaillé, *Las abejas que protegen a los osos*, Vida apícola n° 177, janvier-février 2013, pp. 8-13.

Rappelons qu'un des grands biologistes de l'abeille, Karl von Frisch<sup>39</sup>, reçut en 1973 le prix Nobel de physiologie ou médecine, conjointement avec deux autres grands éthologues, « pour leurs découvertes concernant l'organisation et l'incitation des comportements individuels et sociaux » ; un fait ponctuel, mais qui suffit à comprendre que l'intérêt des recherches qui concernent l'abeille dépasse de loin celui des connaissances pures ou des applications relatives à sa seule espèce.

Cette fonction de modèle tient au fait que l'abeille présente, sur le plan comportemental et physiologique, de nombreuses convergences avec les mammifères (par exemple : notion du temps, sommeil, mémoire, sénescence), mais ces fonctions s'accomplissent chez elles par des voies qui sont à des degrés divers, tantôt similaires tantôt différentes de ce qu'elles sont chez l'être humain. L'abeille permet ainsi d'éclairer certains phénomènes sous un jour nouveau, ou encore elle constitue un modèle de complexité intermédiaire pour l'étude d'éléments très complexes chez l'être humain, comme c'est le cas pour le cerveau (voir point 5.3.5. ci-dessous). Ajoutons à cela qu'elle forme des populations nombreuses qui permettent de disposer de nombreux individus pour réaliser des expériences de laboratoire, et que les colonies sont relativement faciles à obtenir et à suivre du fait qu'elles sont élevées par l'homme. Elle est l'un des insectes dont le génome a été décodé (Genome Consortium 2006).

L'abeille est donc une espèce-modèle<sup>40</sup> (Dukas 2008) et elle est citée comme telle à maintes reprises dans la littérature dans des domaines aussi divers que :

- la génétique, notamment les phénomènes épigénétiques (Foret *et al.* 2009), la génétique des populations (Parker *et al.* 2010),
- la durée de vie et le vieillissement (Baker *et al.* 2012, Münch *et al.* 2013),
- la sélection sexuelle (Baer 2005),
- la division du travail (Barchuk *et al.* 2007), et les transitions entre différents états liés aux différentes époques de la vie (Elekonich et Roberts 2005)
- la navigation et l'aptitude à se situer dans l'espace (Capaldi et Dyer 1999),
- le rythme circadien et ses interférences avec des comportements complexes (Bloch 2010),
- la reconnaissance des congénères (Couvillon *et al.* 2008),
- la communication (danse : Dyer 2002),
- l'organisation des systèmes vivants (notamment l'auto-organisation) et la manière dont ces systèmes réagissent face aux modifications de leur environnement (Camazine 2003b ; Boes 2010),
- la neurobiologie, (niveaux comportemental, cellulaire et moléculaire, et liens entre ces différents niveaux); l'étude de la cognition et des mécanismes de

---

<sup>39</sup> Karl von Frisch est surtout fameux pour ses découvertes relatives à la danse par laquelle les butineuses qui ont trouvé une source florale intéressante informent leurs consœurs de la direction qu'il leur faut prendre, et de la distance à couvrir pour y parvenir. Ses recherches ont couvert bien d'autres domaines, comme par exemple la vision de l'abeille, la navigation etc.

<sup>40</sup> Il en est d'autres parmi les insectes, notamment les fourmis (pour la navigation, la vision...) et la mouche du vinaigre (drosophile), grand modèle de la génétique, mais dont bien d'autres aspects ont été étudiés, notamment la mémoire et le sommeil.

l'apprentissage (Barbara *et al.* 2005, Dacher et Gauthier 2008, Giurfa 2003, Menzel 2012) et notamment la catégorisation visuelle (Bernard *et al.* 2006) et la conceptualisation (Giurfa *et al.* 2001),

- les effets des communautés microbiennes sur la nutrition de l'hôte et sa défense contre les pathogènes (Anderson *et al.* 2011).

Bien d'autres études encore ont été réalisées, portant sur des sujets aussi divers que l'équilibre hydrique de la colonie, la thermorégulation du couvain, la thermorégulation de la grappe hivernale, divers modes de communication autres que la danse frétilante (danse tremblante, signal de vibration, sons), la nutrition, les phéromones, la ponte de la reine et des ouvrières, la régulation des quantités de couvain et du nombre de mâles, le sens tactile et la mémorisation des textures, les comportements liés au butinage, l'alarme et la défense, le métabolisme en vol ou au repos, l'apprentissage de la course du soleil etc.

Sans vouloir faire ici un exposé complet des connaissances actuelles en biologie d'*Apis mellifera*, ce qui serait d'ailleurs illusoire vu la complexité du sujet, il vaut la peine de passer en revue quelques-uns des apports fournis par les recherches concernant l'abeille ; certains sont éclairants quant à la pertinence du choix de l'abeille mellifère dans la construction d'un indicateur ou d'un projet de sentinelle.

### ***5.3. Quelques notions de biologie de l'abeille mellifère***

Nous ne nous attardons pas ici sur les bases de la biologie de l'abeille, et notamment le cycle annuel de la colonie, qu'il peut être utile de connaître. Le lecteur en trouvera un exposé dans le rapport « Biocides et abeilles » (point 2.), rapport disponible sur le site du SPF Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement (<http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@mixednews/documents/ie2form/19081892.pdf>). Ce rapport inclut également certaines notions de biologie en relation avec la toxicologie de l'abeille.

Ici la perspective est différente ; aussi avons-nous épinglé, parmi les nombreuses connaissances disponibles en biologie de l'abeille, celles permettant d'éclairer le rôle de cet insecte comme indicateur environnemental et comme sentinelle, ou encore les moyens à mettre en œuvre pour utiliser comme tel la colonie d'abeilles.

#### **5.3.1. La colonie d'abeilles, un super-organisme**

L'idée qu'une colonie d'abeilles pouvait être vue comme un organisme unique a été émise pour la première fois par un apiculteur, Johannes Mehring (1815-1878)<sup>41</sup>. Mehring comparait les insectes sexués de la ruche – mâles, reine – aux organes reproducteurs tandis que les ouvrières remplissaient un rôle correspondant à celui des organes digestifs. Le terme de superorganisme a été utilisé pour la première fois plus tard, par un myrmécologue, William Morton Wheeler (1865-1937). Pour Jürgen Tautz (dans son livre « L'étonnante abeille », Tautz 2009), la colonie d'abeilles est un « mammifère avec de nombreux corps ». Le parallélisme est en effet frappant : plusieurs des fonctions que remplit l'organisme d'un mammifère sont remplies par l'abeille, mais au niveau de la colonie et non de l'individu. Par exemple, la colonie

---

<sup>41</sup> Voir par exemple Wikipedia : [http://de.wikipedia.org/wiki/Johannes\\_Mehring](http://de.wikipedia.org/wiki/Johannes_Mehring) (en allemand).

d'abeille est thermorégulée alors que l'abeille-individu, si elle est capable de générer de la chaleur, ne maintient pas constante sa température, qui peut fluctuer d'environ 5 à 49°C (Fahrenholtz *et al.* 1989, Käfer *et al.* 2012) ; le nid d'une ruche offre aux jeunes une protection similaire par maints aspects à celle conférée par l'utérus au jeune mammifère ; les abeilles nourrices sécrètent une substance, la gelée royale, qui remplit la même fonction dans l'élevage des jeunes que le lait maternel chez les Vertébrés (Tautz 2009 pp. 5-7); ces mêmes abeilles nourrices disposent d'enzymes permettant la digestion des protéines du pollen en quantités bien supérieures aux autres catégories d'abeilles et celles-ci (butineuses comprises) en dépendent pour leur alimentation en protéines, ce qui confère aux nourrices un rôle partiel, mais large, de super-organe digesteur de la colonie (Crailsheim 1992).

**En conséquence, certains des paramètres physiologiques ou comportementaux de l'abeille n'existent ou ne sont pleinement exprimés qu'au niveau de la colonie.** Ainsi en va-t-il par exemple de la ponte de la reine, qui n'atteint son plein développement que dans une colonie où de nombreuses jeunes abeilles peuvent la prendre en élevage ; ainsi en va-t-il de l'élevage des mâles, que la colonie n'entreprend que lorsqu'elle a atteint un certain stade de développement (Boes 2010). Nous aurons à revenir sur ce fait lorsqu'il nous faudra analyser la capacité d'*Apis mellifera* à fournir un indicateur ou une sentinelle environnementale.

### **5.3.2. La colonie d'abeilles, un système régulé**

La colonie d'abeilles constitue un système étroitement régulé ; cette régulation met en œuvre des mécanismes tant physiologiques que comportementaux.

Un bon exemple de ces mécanismes régulateurs est celui des phéromones. Ces substances, qui sont le plus souvent volatiles<sup>42</sup>, sont émises par un individu ou une catégorie d'individus et influent sur la physiologie et/ou le comportement d'autres individus. La reine en particulier sécrète des phéromones qui inhibent la ponte des ouvrières ou l'édification de cellules royales pour l'élevage d'une nouvelle reine. Mais elle n'est pas seule : toutes les catégories d'abeilles émettent des phéromones. Par exemple, une phéromone (éthyl-oléate) émise par les butineuses bloque les abeilles d'intérieur - les nourrices en particulier - dans leurs fonctions, en empêchant ou du moins en retardant le processus physiologique qui va faire d'elles des butineuses (Leoncini *et al.* 2004). Par ce moyen, la colonie ajuste le nombre de ses nourrices, et donc l'abondance de son couvain, au nombre des butineuses et donc à ses rentrées alimentaires. Le couvain produit également des phéromones, dont l'un des effets est d'accroître la récolte du pollen (Pankiw 2004).

Mais la régulation est également d'ordre comportemental. Ainsi par exemple les abeilles ajustent-elles constamment le rapport entre le butinage et la mise en magasin du nectar récolté, qui est effectuée par des abeilles magasinères. Le mécanisme d'ajustement passe par la danse. Lorsque les butineuses sont rapidement déchargées de leur butin au retour à la ruche, elles effectuent des danses

---

<sup>42</sup> Toutes ne le sont pas. Les phéromones du couvain notamment ne sont pas volatiles de sorte que les ouvrières ont besoin d'un contact direct avec le couvain pour être influencées par celui-ci (LeConte *et al.* 2001 ; Shemesh *et al.* 2010).

frétilantes, qui ont pour effet de recruter de nouvelles butineuses. Mais lorsque les butineuses chargées doivent attendre longtemps au retour à la ruche, signe que la mise en magasin ne «suit» pas, elles effectuent une autre sorte de danse, la danse tremblante, qui a deux effets : elle fait cesser les danses frétilantes des autres butineuses et donc le recrutement en faveur du butinage ; et surtout, elle permet aux butineuses de recruter de nouvelles magasinnières (Seeley 1992). Lorsque suffisamment de nouvelles magasinnières se seront mises au travail, les butineuses n'auront plus à attendre au retour de vol et recommenceront à effectuer des danses frétilantes, et donc à recruter en faveur du butinage.

Une autre régulation concerne le pollen. Celui-ci ne fait pas l'objet d'une mise en réserve en masse comme c'est le cas pour le miel ; le *turn-over* du pollen est bien plus grand que celui du miel (Camazine 1991), les abeilles se contentant de conserver en permanence, autant que faire se peut, un stock-tampon d'1 kg environ dans la ruche (Seeley 1985 *in* Camazine 1993). Aussi l'élevage ne peut-il être poursuivi avec succès que si les rentrées de pollen sont à peu près régulières. Après quelques jours sans récolte, les abeilles réajustent le niveau de leur élevage aux ressources disponibles en cannibalisant les œufs et les jeunes larves (Schmickl et Crailsheim 2001).

Autre exemple encore, lorsque la miellée est abondante, certaines des butineuses qui ont récolté avec succès deviennent par moments « secoueurs » : elles parcourent le cadre et, de temps à autre, empoignent une de leurs consœurs par les pattes avant, et la secouent vigoureusement. Le secouement n'influe pas sur la nature de la tâche qu'effectue l'abeille secouée, mais il a pour effet d'élever son niveau d'activité : c'est un signal modulateur. Plus la miellée donne, plus le nombre de secoueurs est important. La colonie ajuste, par ce moyen, son niveau global d'activité à l'importance de la ressource immédiatement disponible (pour une revue, voir Schneider et Lewis 2004).

Ce ne sont que quelques exemples parmi d'autres de mécanismes permettant d'ajuster l'équilibre entre les forces en présence dans la colonie, ou entre la colonie et son milieu de vie. Ils suffisent à nous montrer que **la colonie d'abeilles est le lieu d'un ensemble de régulations fines, indispensables à son bon fonctionnement, et qui mettent en œuvre des mécanismes d'ordre tant physiologique que comportemental**. Ces mécanismes régulateurs permettent à la colonie de s'ajuster aux circonstances extérieures par des mécanismes de compensation (cannibalisme des œufs et des larves, transformation en butineuses d'une partie des nourrices etc.) ; mais ceux-ci ont des limites. Ils épuisent en effet une partie des énergies de la colonie et des individus, dont la durée de vie se trouve abrégée. Au-delà d'un certain point, la colonie décompense et part en collapsus (Khoury *et al.* 2011). **La colonie d'abeilles nous place donc face à une notion de « seuil tolérable » en matière d'atteinte aux écosystèmes dont elle est partie prenante.**

### **5.3.3. La ruche, un système auto-organisé**

La colonie d'abeilles ne dispose d'aucun pouvoir centralisé. Si les phéromones royales influencent la physiologie des ouvrières et jusqu'à leur comportement (des

abeilles correctement « mérées » construisent plus volontiers, par exemple), c'est de manière indirecte et diffuse : les ouvrières n'obéissent à aucun ordre.

La coordination des différentes activités au sein de la colonie est pourtant manifeste : les performances dont est capable une colonie d'abeilles supposent une parfaite cohérence de l'ensemble qu'elle forme. Par exemple, la disposition du couvain, du pollen et du nectar sur le cadre correspond à un ordonnancement précis, et parfaitement intelligent : le couvain, qui doit être chauffé, occupe le centre du nid et est entouré d'une couronne dont l'extérieur est fait de miel, une substance qui n'est pas isolante mais possède un pouvoir d'inertie thermique et a de ce fait un effet régulateur sur la température du nid. Cet agencement se fait toutefois sans que les abeilles n'aient jamais à obéir à une quelconque injonction ; elles se contentent d'appliquer, de manière pratiquement automatique, quelques règles simples. Le nectar et le pollen sont emmagasinés n'importe où mais les nourrices vont reprendre du pollen et du nectar de manière préférentielle vers le centre des cadres car c'est là que se trouve la ponte. Le nid se concentre donc au centre des cadres, à la fois parce que c'est là que la reine a tendance à pondre et parce que, les premières larves à nourrir se trouvant là, c'est là aussi que les nourrices vident le plus souvent les cellules ce qui les rendent disponibles pour la ponte. Les réserves sont donc rejetées à l'extérieur des cadres, la première couronne autour du nid étant faite de pollen par le seul fait que celui-ci a un *turn-over* plus important que le miel (Camazine 1991). De tels processus d'auto-organisation ont été démontrés pour bien d'autres fonctions, comme l'optimisation des sources de nourriture (Seeley *et al.* 1991), le choix du nid après essaimage (Camazine *et al.* 1999), la thermorégulation de la grappe (Watmough et Camazine 1995) ou encore la défense de la colonie (Millor *et al.* 1999). Dans tous ces cas, la parfaite coordination dont font preuve les individus, et qui permet la cohérence de l'ensemble, procède d'un modèle de fonctionnement social où n'existe aucun pouvoir centralisé, aucun plan, aucun système de commande, mais où des organisations supérieures émergent par le fait que toutes les unités constituant le système (ici, les abeilles) se conduisent de façon identique dans une situation donnée.

Le fait que la colonie d'abeilles est largement auto-organisée constitue un avantage sélectif important : il permet à un insecte muni d'un très petit cerveau de déployer des formes d'organisation sophistiquées. Mais il a aussi des inconvénients : lorsque survient une modification artificielle qui met la colonie en danger, celle-ci est incapable d'y répondre faute d'un système d'analyse et de commande centralisé qui seul pourrait identifier ce danger nouveau et en imaginer la parade. **La ruche constitue donc un système sensible et fragile face aux perturbations environnementales d'origine anthropique.**

#### **5.3.4. La consommation alimentaire et l'échange de nourriture au sein de la colonie**

Les quantités de nectar et de pollen ingérées par un individu sont fortement variables. Pour ce qui est de l'aliment énergétique (les sucres du nectar), la consommation varie suivant l'activité de l'abeille. En laboratoire, une abeille maintenue au repos et en conditions contrôlées (environ 26°C et 40% d'humidité relative) consomme 33 – 35 µL de sirop par jour pour ses besoins personnels

(Decourtye *et al.* 2003 ; Decourtye *et al.* 2005). Toutefois la consommation s'élève fortement lorsque l'abeille doit voler, chauffer<sup>43</sup> ou ventiler. Une abeille en vol consommerait ainsi environ 12,8 mg de sucre par heure (Balderrama *et al.* 1992), soit 128 mg pour une journée de 10 heures de vol (Rortais *et al.* 2005), ce qui représente 320 mg ou encore 250 µL de nectar. Une butineuse pourrait ainsi consommer jusqu'à trois fois son poids de nectar en une journée, outre le nectar qu'elle ramène au nid pour l'alimentation des autres abeilles ou pour la mise en réserve. **La consommation relative de l'abeille est donc considérablement plus élevée que celle d'un vertébré.**

Rortais *et al.* (2005) fournissent également une synthèse de la littérature se rapportant à la consommation de pollen. Une abeille nourrice consomme environ 6,5 mg de pollen par jour, une quantité plus de 10 fois supérieure à celle d'une butineuse, ce qui s'explique par sa fonction particulière dans la ruche. Nous avons vu en effet que ces abeilles digèrent le pollen pour fournir un aliment riche en protéines, la gelée royale, non seulement à la reine et aux larves mais aussi aux autres ouvrières.

La circulation de la nourriture dans la colonie est en conséquence très importante. Dix heures après avoir injecté un acide aminé marqué à 100 abeilles dans deux colonies, Crasilheim (1992) retrouve des protéines marquées dans 15,6% et 9,6% des individus de ces colonies, toutes les catégories d'abeilles étaient concernées, larves, ouvrières et individus sexués. Des expériences similaires ont été réalisées en donnant aux colonies du sirop marqué ; elles montrent qu'après 24 heures, ce sirop a été distribué à une proportion d'individus variant, selon la catégorie d'abeilles, entre les 2/3 et les 3/4 (DeGrandi-Hoffmann et Hager 2000). **Toute nourriture rapportée à la ruche est donc rapidement répartie entre les individus,** une caractéristique de plus qui rapproche le super-organisme qu'est la colonie de l'organisme vertébré.

### **5.3.5. Le cerveau et la cognition : des compétences inattendues**

Le cerveau de l'abeille est infiniment plus petit que le nôtre : 1 microlitre de volume environ, 960 000 neurones (Giurfa 2003), un peu moins d'un million de neurones donc quand un cerveau humain en compte une centaine de milliards<sup>44</sup>. On est dès lors tenté de s'imaginer que l'abeille n'est capable que de comportements simples, de nature réflexe, sans guère de capacité d'apprentissage par exemple, ni d'autonomie dans la prise de décision. Nous allons voir qu'il n'en est rien.

Les connaissances relatives à la cognition chez l'abeille sont très développées, l'abeille, constituant comme on l'a dit, une espèce modèle qui permet d'aborder les relations entre le comportement et les capacités cognitives, d'une part, et les réseaux neuronaux d'autre part (Menzel 2012). Ces recherches ont été conduites principalement au département de neurobiologie de la Freie Universität Berlin (Prof

---

<sup>43</sup> La régulation thermique de la colonie implique la genèse de chaleur. Celle-ci est produite par les abeilles elles-mêmes qui à cet effet contractent les muscles de vol en découplant les ailes (*shivering bees*) ; chez elles comme chez nous, la contraction musculaire émet de la chaleur.

<sup>44</sup> Sur le nombre de neurones d'un cerveau humain, voir par exemple « Brain, facts and figures » sur le site <http://faculty.washington.edu/chudler/facts.html>.

Dr Randolph Menzel) et au centre de recherche sur la cognition animale de l'université Paul Sabatier de Toulouse (Prof Dr Martin Giurfa). Les deux articles cités ci-avant sont des articles de revue qui permettent de survoler l'ensemble des connaissances acquises à ce jour dans ce domaine.

Un atlas du cerveau de l'abeille a été publié, qui fournit une image 3-D non seulement du cerveau en général, mais aussi de certains neurones particuliers, reliant les lobes olfactifs aux corps champignons, centres de l'intégration neuronale chez l'abeille. L'on obtient ainsi une image des connexions qui permettent l'établissement de la mémoire olfactive chez les butineuses (Brandt *et al.* 2005). Il en ressort, entre autres informations, qu'un seul neurone, le neurone médian impair ventral du neuromère maxillaire 1, est responsable à lui seul de l'apprentissage olfactif de l'abeille ; il assure l'association d'une odeur perçue par l'abeille et de la récompense sucrée qui l'accompagne (Menzel et Giurfa 2001). De tels « neurones dédiés » sont caractéristiques des invertébrés (*Ibid.*).

Les capacités mémorielles et d'apprentissage de l'abeille peuvent être approchées par divers moyens dont nous ne donnerons qu'un aperçu.

L'abeille possède un réflexe conditionné (pavlovien) : si on lui soumet une odeur (ou une sensation tactile) et que dans le même temps on lui présente une gouttelette de sucre, elle associe l'odeur (ou la texture) et la récompense sucrée de sorte que, lorsqu'elle percevra à nouveau cette odeur, elle tirera la langue comme pour recevoir le sucre même si celui-ci ne lui est pas présenté<sup>45</sup> (Kuwabara 1957). Ce réflexe, indispensable à l'efficacité du butinage, est utilisé en laboratoire de multiples manières, pour tester la capacité de rétention de l'abeille (combien de fois faut-il lui soumettre l'association pour qu'elle présente le réflexe ?), sa capacité d'extinction (combien de fois faut-il lui soumettre l'odeur sans sucre pour qu'elle oublie le réflexe précédemment acquis ?) ou encore l'habituation (combien de fois faut-il lui toucher les antennes avec une solution de sucrose avant qu'elle arrête d'étendre la langue ?) (voir entre autres Belzunces 2012). Il a permis de montrer que l'abeille dispose d'une mémoire à court, moyen et long terme, correspondant aux durées pendant lesquelles il lui faut mémoriser une source florale lors de ses trajets de fleur en fleur, de groupe de fleurs en groupe de fleurs, ou encore d'un jour au suivant (Menzel 1999). Menzel (1999) a investigué ce comportement sur le terrain et a pu en démontrer le mécanisme, des circuits neuronaux à la machinerie cellulaire. Le réflexe d'extension de la langue permet également l'étude des effets des contaminants sur les capacités d'apprentissage et de mémorisation (pour une revue voir Belzunces 2012).

Un autre grand moyen utilisé pour tester les compétences de l'abeille est la boîte de décision. Celle-ci est un tube en Y dans lesquels trois signaux sont disposés, un dans chacune des branches. L'abeille doit traverser un trou dans la première branche – la base du Y – ; ce trou est marqué d'un signal. Elle doit choisir ensuite l'une des deux branches terminales, et dispose pour cela des signaux figurant dans ces branches (elle ne peut ni voir ni sentir le nourrisseur). Si l'on place le nourrisseur systématiquement derrière un signal analogue à celui que l'abeille a du traverser (par

---

<sup>45</sup> Ce réflexe fait l'objet de petits films sur Youtube, notamment : <http://www.youtube.com/watch?v=iNEcSOD9iSA>.

exemple un rond bleu), alors que l'autre branche est garnie d'un signal différent (par exemple un rond jaune), elle ira ensuite systématiquement chercher le nourrisseur derrière le rond bleu, à quelque place que le mette l'expérimentateur. On peut ensuite modifier complètement les signaux, par exemple remplacer les ronds bleus par des rayures horizontales et les jaunes par des rayures verticales ; l'abeille n'a pas besoin d'un nouvel apprentissage pour aller chercher le nourrisseur d'emblée derrière le signal qui est le même que celui qu'elle a du traverser peu après son entrée dans la boîte. En d'autres termes, elle est capable d'extrapoler, à partir d'une situation concrète (je traverse le bleu donc le sucre est derrière le bleu), une règle qui suppose la formation de concepts, en l'occurrence ceux de similitude et de différence (le sucre est toujours derrière le signal qui est le même que celui que j'ai traversé) (Giurfa *et al.* 2001). Les expériences en boîte de décision permettent aussi de voir que l'abeille est capable de catégorisation (de couleurs, de dessins) ou encore de généralisation : après avoir réalisé l'apprentissage avec des dessins à symétrie binaire ou ternaire elle extrapole ce qu'elle a appris à d'autres dessins à symétrie binaire ou ternaire (voir notamment Bernard 2007, thèse de doctorat).

L'abeille a besoin de telles capacités dans le cadre du butinage (reconnaissance de fleurs du même type même si elles ne sont pas identiques, mémorisation des sources intéressantes etc.). Elle doit en outre disposer de capacités à s'orienter dans l'espace afin de pouvoir trouver son chemin et effectuer le trajet de retour jusqu'à la ruche. Elle effectue cela sur base d'un système de computation vectorielle de ses trajets, fondé sur la direction du soleil (*path integration*) et commun chez les insectes, ainsi que sur la reconnaissance visuelle du paysage (Collett et Collett 2004). Nous n'aborderons pas ce sujet, qui est très vaste, si ce n'est pour signaler une petite expérimentation où l'on donne aux abeilles, pour seuls repères par rapport à un nourrisseur, un certain nombre de pergolas de couleur, nombre qui est changé pendant la nuit sans que ne change la distance de la ruche au nourrisseur. Si la plupart des abeilles atterrissent en se fiant à la distance, un quart d'entre elles environ atterrissent en se fondant sur le nombre des pergolas (Chittka et Geiger 1995). Cette petite expérience montre que (1) l'abeille est capable de protocomptage, et surtout (2) que différents individus mis dans une même situation font des choix qui ne sont pas forcément identiques, tous n'ayant pas pris les mêmes repères. L'abeille ne se comporte donc pas de façon purement mécanique et instinctuelle : le choix des repères qu'elle prend est lié partiellement à ses expériences précédentes, à son histoire de vie.

**Le cerveau de l'abeille assure donc suffisamment de fonctionnalités pour autoriser des capacités cognitives telles que l'apprentissage, la catégorisation, la généralisation et la conceptualisation. Les abeilles sont capables de mettre des éléments en mémoire et de les extraire ensuite pour les confronter aux informations sensorielles du moment, pour en tirer des décisions quant à ce qu'elles vont faire. Toutes ces fonctionnalités doivent être réalisées avec un nombre limité de neurones, certains de ceux-ci étant « dédiés », c'est à dire qu'ils assurent seuls une fonctionnalité.**

## 5.4. Pathologie de l'abeille mellifère

L'abeille mellifère, comme tout être vivant, est sujette aux maladies.

Celles-ci peuvent être dues:

- à des parasites externes tels *Varroa destructor* (voir ci-dessous) ou *Acarapis woodi*, l'agent infectieux de l'acariose de l'abeille. L'acariose, décelée pour la première fois sur l'île de Wight en 1904, a décimé les ruchers anglais au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Cette épidémie a été à l'origine d'un programme d'hybridations visant à sélectionner une abeille résistante à la maladie, qui soit aussi douce et productive. Ce programme, mené par le frère Adam Kehrlé à l'abbaye de Buckfast, a donné naissance à l'abeille du même nom, une abeille de sélection largement utilisée sur notre territoire ;
- à des bactéries: loque américaine, loque européenne. Ces maladies du couvain sont endémiques, comme on le verra ; la première n'en est pas moins redoutable par sa virulence et fait l'objet de mesures de prophylaxie sévères : il s'agit, tout comme la loque européenne d'ailleurs, d'une maladie à déclaration obligatoire et entraînant la destruction des colonies atteintes<sup>46</sup> ;
- à des micro-champignons: ascosphérose (couvain plâtré), aspergillose (couvain pétrifié);
- à des microsporidies : nosémose, dont les agents pathogènes sont *Nosema apis* ou *Nosema ceranae* ; ce dernier, venu d'Asie où il est un parasite naturel d'*Apis cerana*, tend à supplanter *Nosema apis*, au moins dans certaines régions d'Europe (APENET 2010, Ravoet *et al.* 2013). *Nosema* agit en synergie avec certains toxiques de l'abeille, notamment les insecticides en traitement de semences, dont il aggrave les effets (Alaux *et al.* 2009, Vidau *et al.* 2011, Pettis *et al.* 2012, Aufauvre *et al.* 2012).
- à des virus. Les principaux virus connus sont ceux de la paralysie aiguë (acute bee paralysis virus ABPV), de la paralysie chronique (chronic bee paralysis virus CBPV), des ailes déformées (deformed wings virus DWV), du couvain sacciforme (sacbrood virus SBV), de cellules royales noires (black queen cell virus, BQCV). Les maladies virales verraient leur prévalence amplifiée par *Varroa destructor*, à la fois parce que celui-ci agit comme agent vecteur (Schöning *et al.* 2012) et parce qu'il a un effet immuno-suppresseur (Yang et Cox-Forster 2005). C'est particulièrement vrai en ce qui concerne le DWV et la présence d'abeilles aux ailes déformées est d'ailleurs un signal d'alerte pour l'apiculteur en matière de contrôle de la varroose.

La plupart de ces maladies sont communes à toutes les abeilles mellifères dans le monde, excepté certains parasites qui n'ont pas (encore ?) gagné nos régions : l'acararien *Tropilaelaps* spp. et le petit coléoptère des ruches *Aethina tumida*.

---

<sup>46</sup> Voir la page pertinente sur le site de l'AFSCA : <http://www.favv.be/apiculture/santeanimale/#loque-ameri>.

Les maladies de l'abeille font l'objet de traités et guides pratiques à l'usage des apiculteurs<sup>47</sup>. La plupart d'entre elles sont le fait de parasites opportunistes, présents à l'état latent dans de nombreux ruchers, et qui ne se développent qu'en conditions favorables. Une exception notable est *Varroa destructor*, parasite non naturel de l'abeille, auquel celle-ci n'est donc pas adaptée.

#### **5.4.1. La varroose, parasitose exogène**

*Varroa destructor* est un acarien proche parent de *Varroa jacobsoni*, un parasite de l'abeille asiatique *Apis cerana*. Le passage de l'acarien sur *Apis mellifera*, suite à l'importation de celle-ci en Asie, s'est vraisemblablement fait aux Philippines dans les années 1960. Depuis le parasite a progressé inexorablement dans le monde, atteignant le continent américain dans les années '70 et l'Europe dans les années 1980. Aujourd'hui, seules des îles sont épargnées : l'Australie est la principale d'entre elles (mais la Nouvelle-Zélande est contaminée) ; plus près de chez nous, l'île d'Ouessant est toujours indemne (Colin 2008). Le parasite d'*Apis mellifera* a depuis été identifié comme une espèce séparée, d'où le nom de *Varroa destructor* qui lui est donné depuis 2000<sup>48</sup>.

*Apis cerana* tolère l'acarien qui est son hôte naturel, car ses comportements hygiéniques d'une part, et les particularités de sa physiologie d'autre part, limitent l'expansion du parasite dans ses colonies (notamment *V. jacobsoni* ne parasite que le couvain mâle chez *A. cerana*) (Rath 1999). L'abeille mellifère ne présente pas les mêmes caractéristiques et l'acarien peut infester ses colonies jusqu'à en provoquer l'effondrement, d'autant plus qu'il a sur l'abeille, on l'a vu, un effet immunosuppresseur et booste certaines infections virales. Certaines lignées montrent pourtant des comportements hygiéniques plus prononcés que d'autres, un caractère utile dans la lutte contre *Varroa* et contre les maladies du couvain (voir notamment Pernal *et al.* 2012). Mais l'application des recherches en cours à ce propos n'a pas encore atteint un stade de développement suffisant pour suffire à contrer le parasite. Des traitements mécaniques sont également possibles, comme l'extraction du couvain mâle en début de saison, qui a pour effet de limiter fortement le nombre des femelles *Varroa* fondatrices dans la colonie. Mais de tels procédés n'ont que des résultats partiels et la lutte contre *Varroa* passe le plus souvent par des traitements médicamenteux de synthèse, ou à base d'acides organiques ou d'huiles essentielles.

**Tout suivi de colonies d'abeilles implique un suivi attentif du niveau d'infestation par la varroose et la parfaite information quant aux traitements appliqués.**

---

<sup>47</sup> Par exemple Ritter et Akkratanakul 2006: Honey bee diseases and pests, a practical guide, FAO éd., accessible sur internet :

[http://afghanag.ucdavis.edu/c\\_livestock/bees/Man\\_Honeybee\\_diseases\\_and\\_pests\\_FAO.pdf](http://afghanag.ucdavis.edu/c_livestock/bees/Man_Honeybee_diseases_and_pests_FAO.pdf).

<sup>48</sup> Pour une synthèse de l'historique de *Varroa destructor*, voir Wikipedia, version anglaise :

[http://en.wikipedia.org/wiki/Varroa\\_destructor](http://en.wikipedia.org/wiki/Varroa_destructor).

### 5.4.2. Les parasites co-évolués

Les organismes microbiens, chez l'abeille comme chez l'homme, ont été étudiés d'abord au travers de la pathologie, ce qui n'est pas allé sans engendrer une confusion entre hygiène et lutte à outrance contre toutes espèces de microbes. Cette vision a évolué récemment et la flore microbienne s'envisage maintenant bien davantage dans une perspective écologique, s'orientant vers l'étude des niches occupées par les différentes espèces et des relations qu'entretiennent celles-ci avec leur hôte. Ces relations sont loin d'être toujours négatives.

La ruche constitue, du point de vue microbien, un univers très particulier : elle abrite de nombreuses ressources alimentaires (pollen, nectar) et des larves fragiles, à l'épiderme mince, et également riche en nutriments. Par ailleurs, si la ruche a pu se développer malgré ces caractéristiques qui sont très favorables au développement d'espèces parasites, c'est bien évidemment parce qu'au fil de l'évolution l'abeille a développé des moyens de se défendre contre les invasions microbiennes : le pollen, une fois mis en magasin, est lacto-fermenté (Gilliam 1979) ; quant au miel, à la propolis et à la gelée royale, ils possèdent tous des propriétés bactériostatiques ou bactéricides (miel : e.a. Cooper 2008 ; propolis, e.a. Burdock 1998 ; gelée royale : Romanelli *et al.* 2011). De nombreux microorganismes vivent cependant dans la ruche, ce qui suggère de leur part une forme d'adaptation, et donc de co-évolution avec l'abeille.

Des études scientifiques étayaient cette hypothèse. Le ventricule de l'abeille (la partie du tube digestif où se fait la digestion proprement dite) abrite une flore microbienne dont on a pu montrer que (1) elle est strictement propre à l'abeille et que (2) elle est sensiblement la même chez les abeilles africaines *A. m. capensis* et *A. m. scutellata* aussi bien que chez l'abeille italienne *A. m. ligustica*. La présence d'une flore analogue chez des souches d'abeilles mellifères qui se sont différenciées il y a plus d'un million d'années suggère fortement la co-évolution de la flore et de son hôte (Anderson *et al.* 2011).

Parmi les souches microbiennes, certaines (Actinobactéries, Lactobacilles) sont clairement non-pathogènes et contribuent d'ailleurs à la régulation des organismes pathogènes en occupant les niches où ces derniers sont susceptibles de se développer (*Ibid.*). Il a été démontré en laboratoire que les bactéries lactiques stimulent le système immunitaire de l'abeille (Evans et Lopez 2004). D'autres espèces sont des pathogènes opportunistes : largement présentes dans le cheptel, elles ne se développent jusqu'à causer des symptômes cliniques que dans des conditions bien précises (par exemple le refroidissement du couvain pour *Ascosphaera apis*, l'agent infectieux du couvain plâtré (Wilson-Rich 2009)). Le portage est donc fréquent chez les ruches saines ; ainsi par exemple, une étude (Nguyen *et al.* 2008) montre la présence de spores de l'agent de la loque américaine, *Paenibacillus larvae*, dans 26% des échantillons de miels analysés, provenant de 50 ruchers situés en Région wallonne ; des signes cliniques de la loque n'ont été détectés que dans un seul de ces ruchers. Ce portage est une donnée essentielle en sélection, pour l'élevage de souches résistantes. Par ailleurs, les troubles sanitaires peuvent être accompagnés d'une modification du profil microbien de la colonie, comme Cox-Foster *et al.* (2007) l'ont montré pour le Colony collapse disorder aux USA. La composition de la flore microbienne pourrait ainsi fournir un paramètre d'étude intéressant pour

le suivi sanitaire des colonies, voire être utilisée pour le biocontrôle des maladies de la ruche (Crotti *et al.* 2013).

Un dernier point est d'importance en regard du sujet qui nous occupe : les seuils de pathogénicité ne sont pas connus. Il n'est donc à ce jour pas possible de dire, sur base d'une analyse quantitative par PCR, si la colonie analysée doit être considérée ou non comme malade (source : plusieurs communications orales, entre autres Monique L'Hostis dans son exposé du 6 juin 2013).

**Tout suivi de colonies d'abeilles implique un contrôle régulier de l'état sanitaire des colonies. En cas d'analyses par PCR donnant des résultats positifs, l'examen attentif de la colonie permettra de se prononcer, selon la présence ou l'absence de signes cliniques, sur l'existence d'un simple portage ou d'un véritable état pathologique. La composition de la flore microbienne pourrait constituer un paramètre d'étude pour le suivi sanitaire des colonies.**

### ***5.5. Toxicologie de l'abeille mellifère***

Tout comme la biologie, la toxicologie de l'abeille mellifère a fait l'objet de recherches fort nombreuses. L'abeille est en effet, par son mode de vie, très exposée aux contaminants environnementaux. On songe aux produits phytosanitaires puisqu'elle visite des cultures, mais elle est également exposée aux biocides, notamment aux produits de traitement des bâtiments (voir à ce propos le rapport « Biocides et abeilles » sur le site du SPF Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement<sup>49</sup>). En France par exemple, le nettoyage de bâtiments et de moyens de transports dans le cadre de la lutte contre le culicoides du mouton, agent vecteur de la FCO, est à l'origine de l'anéantissement de ruchers, notamment en Ariège ; des analyses réalisées aux frais des apiculteurs et à leur initiative ont montré la présence des substances actives (deltaméthrine dans le miel, bifenthrine et perméthrine dans les abeilles, etc... (source : analyses CNRS, non publiées) de sorte que la cause est à considérer comme établie quoique n'ayant jamais été reconnue par l'ANSES. Mais le plus grand nombre d'incidents dont les abeilles ont été victimes à ce jour est dû principalement aux pesticides agricoles. Ces incidents ont amené les autorités publiques, de part et d'autre de l'Atlantique, à mettre au point des moyens d'évaluation de la toxicité pour les abeilles des substances actives et des produits phytopharmaceutiques. Il vaut la peine de retracer brièvement l'histoire commune des abeilles et des pesticides agricoles car, vu le rôle qu'y a joué l'abeille, elle est éclairante en regard des concepts d'indicateur et de sentinelle qui nous intéressent ici.

---

<sup>49</sup> Ce rapport est disponible au lien suivant : <http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@mixednews/documents/ie2form/19081892.pdf>

## **5.5.1. Abeilles et pesticides : une (vieille) histoire commune**

### **5.5.1.1. Les organochlorés**

Premier insecticide à avoir été découvert, le DDT est d'abord apparu miraculeux par les bénéfices qu'il a apportés en permettant la lutte chimique contre les insectes nuisibles, et en particulier, en permettant le contrôle des agents vecteurs du typhus et plus accessoirement de la malaria, avec pour conséquence un recul important de ces maladies à la fin de la seconde guerre mondiale. Son inventeur, le chimiste Paul Hermann Müller, a reçu le prix Nobel de médecine ou physiologie en 1948 pour sa découverte. Ce n'est que lors de la publication du livre « Silent spring » de Rachel Carson que peu à peu le public a pris conscience des effets non voulus et négatifs des pesticides.

Le DDT présente une toxicité modérée pour l'abeille mellifère (DL50 aiguë : 5 µg/abeille<sup>50</sup>). Réputé au départ peu toxique pour les mammifères (il était pulvérisé directement sur les personnes), il est toutefois hautement persistant et surtout il est hautement bioaccumulable. C'est cette dernière caractéristique, ajoutée à l'apparition de résistances chez les pestes combattues, qui a amené son retrait du marché (USA 1971 ; France 1973); au niveau mondial, le DDT est considéré comme un POP, un polluant organique persistant, et son usage agricole est condamné par la convention de Stockholm relative aux POPs signée en 2001. Cet usage agricole avait d'ailleurs cessé avant cela, mais la substance a continué d'être utilisée dans la lutte contre des agents vecteurs de maladies de l'homme et du bétail, telle la mouche Tsé-tsé par exemple. Ses effets sur la santé et l'environnement restent aujourd'hui encore controversés<sup>51</sup>.

De l'effet produit sur le cheptel apicole par l'introduction des pesticides organochlorés, nous savons peu de choses. Des incidents ont eu lieu en Angleterre par mésusage du triazophos (Greig-Smith *et al.* 1994). La toxicité aiguë n'est pas seule en cause : en Italie, des investigations ont montré que l'endosulfan est très toxique non seulement pour les abeilles qui y sont exposées de manière directe et aiguë – ce qu'on savait déjà –, mais aussi pour les abeilles qui y sont exposées par l'ingestion de nectar contaminé, ce qui allonge sensiblement la période d'exposition et le risque toxique de la substance (Giordani *et al.* 1978 in Celli et Maccagnani 2003). Ce constat a permis d'obtenir après plusieurs années une restriction de l'usage de l'endosulfan sur cultures en fleurs.

Lorsque le DDT a été retiré du marché, d'autres insecticides avaient vu le jour et y ont pris sa place : les carbamates, les organophosphorés et les pyréthrinoïdes.

### **5.5.1.2. Les carbamates et organophosphorés et l'affaire PennCap-M®**

Les carbamates et les organophosphorés ont été préférés aux organochlorés car ils sont bien moins persistants dans l'environnement et bien moins bioaccumulables (par exemple l'aldicarbe, le diméthoate et le parathion-méthyl ont un potentiel de

---

<sup>50</sup> Source : Footprint

<sup>51</sup> Voir les débats qui ont entouré le centenaire de la naissance de Rachel Carson : <http://www.pbs.org/moyers/journal/09212007/profile2.html>.

bioaccumulation faible<sup>52</sup>). Ils sont toutefois bien plus toxiques pour les mammifères et généralement plus toxiques pour l'abeille (par exemple : DL<sub>50</sub> abeille = 0,09 et 0,12 µg/ab. pour l'aldicarbe et le diméthoate respectivement) quoique certains de ces composés montrent une toxicité moindre, du moins par exposition aiguë (DL<sub>50</sub> = 19,5 et 14,39 µg/ab pour le méthyl-parathion et le coumaphos respectivement) ; le coumaphos, un organophosphoré, est d'ailleurs utilisé dans la lutte contre le varroa (Perizin®). Ils n'en sont pas moins responsables d'incidents qui ont coûté la vie à des centaines et parfois à des milliers de ruchers, souvent par mésusage du produit (voir par exemple les chiffres 1995-2001 pour le Royaume-Uni dans l'étude de Fletcher et Barnett (2003)). L'intoxication d'une colonie par ces produits se présente de façon caractéristique : de nombreuses abeilles mortes sont visibles devant la ruche ou dans le fond de celle-ci (sources : e.a. Luc Belzunces, communication orale au cours de perfectionnement donné au CARI le 26 février 2011 ; observation personnelle).

Parmi les organophosphorés, le cas du méthyl-parathion mérite d'être évoqué. Cette substance active, très toxique pour les insectes, est par là même efficace mais pose une série de problèmes : elle est rapidement photolysée de sorte que son effet est de très courte durée ; elle est relativement phytotoxique; elle est très toxique pour l'homme et pour l'environnement. En outre, elle est difficilement émulsifiable. C'est pour résoudre ce dernier problème que le fabricant a entrepris de l'encapsuler : la substance, mélangée à un formulant, se présente sous la forme de microcapsules dont la taille varie de 30 à 130 microns. Le produit ainsi formulé, appelé Penncap-M®, révèle des qualités inattendues des inventeurs : outre qu'il est effectivement émulsifiable, il est bien moins toxique que la parathion-méthyl non encapsulé pour les mammifères et pour l'environnement (notamment, il est moins lixiviable); et il persiste plusieurs jours, ce qui en accroît l'efficacité (DeSavigny 1971). Toutefois le produit ainsi formulé a des effets délétères sur les abeilles. Les microcapsules ont à peu près la taille d'un grain de pollen. Elles sont capturées par les poils branchus des abeilles, amassées avec le pollen dans les corbicules et ramenées à la ruche, sans problème pour la butineuse car celle-ci n'est pas en contact avec la substance qui est enfermée à ce stade dans la capsule. La ruche s'empoisonne ultérieurement au fur et à mesure de la consommation du pollen (Stoner *et al.* 1978). Dans les années '70, et plus tard dans les années '90, des milliers de ruches ont ainsi péri aux Etats-Unis, empoisonnées au Penncap-M® (Stoner *et al.* 1979). Ce cas a été à l'origine d'importantes polémiques qui ont opposé les apiculteurs à l'industrie phytopharmaceutique et même aux évaluateurs<sup>53</sup>. Aux Etats-Unis, le méthyl-parathion n'a plus aucune autorisation depuis décembre 2012<sup>54</sup>; en Europe, la substance a fait l'objet d'une décision de non-inclusion à l'annexe I le 10 mars 2003 (décision 2003/166/EC<sup>55</sup>).

---

<sup>52</sup> Source : Footprint

<sup>53</sup> Voir notamment l'article *Bees Under Siege* de Paul Larmer dans High Country News, 20 janvier 1997

<sup>54</sup> Voir la base de données de l'US EPA : [http://www.epa.gov/oppsrrd1/reregistration/status\\_page\\_m.htm](http://www.epa.gov/oppsrrd1/reregistration/status_page_m.htm).

<sup>55</sup> Lien Eur-Lex : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:067:0018:0019:FR:PDF>

### 5.5.1.3. Les pyréthriinoïdes et l'affaire Decis®.

Les pyréthriinoïdes de première génération ont été développés dans les années '60, mais ils avaient l'inconvénient d'être très labiles. Une seconde génération de produits plus persistants a vu le jour en 1974 et s'est fortement développée dans les années '80. Leur arrivée sur le marché a coïncidé temporellement avec l'apparition de nouveaux problèmes dans les ruchers. Aux Etats-Unis, c'est le « disappearing disease » dont la cause officielle n'a jamais été élucidée (Wilson et Menapace 1979). En France, les apiculteurs souffrent des mêmes problèmes et incriminent un produit, le Decis® à base de deltaméthrine (Schiro 2002). Dans les deux cas, les symptômes sont analogues : les butineuses disparaissent et cette disparition provoque l'affaiblissement, voire l'effondrement des colonies. Peu d'abeilles mortes sont visibles devant la ruche ou en fond de ruche, ce qui pour l'autorité publique, tant aux USA qu'en France, jette le doute sur le fait qu'il puisse s'agir d'un problème d'intoxication (Wilson et Menapace 1979, Shiro 2002) ; et cela d'autant plus que les pyréthriinoïdes sont réputés répulsifs, le butinage cessant immédiatement après pulvérisation du produit. Pourtant, Rieth (1986) démontrera avec la perméthrine que l'arrêt du butinage n'est pas dû au caractère répulsif du produit pour l'abeille mais bien à une forme d'effet *knock-down* ; et Cox et Wilson (1984), corroborant cette théorie, montrent que l'abeille, suite à son premier contact avec le toxique, est le plus souvent incapable de rentrer à la ruche, et a des problèmes de thermorégulation. Conservée la nuit à 35°C elle survivra jusqu'au lendemain et récupérera ; mais si elle est intoxiquée au champ, la chute de température nocturne la tuera dans 90% des cas. Ces découvertes tendent à accréditer la thèse des apiculteurs mais la controverse n'a en fait jamais été définitivement tranchée. Des études scientifiques ont toutefois montré les effets sublétaux des pyréthriinoïdes, notamment sur la capacité d'orientation et de thermorégulation des abeilles (Vandame *et al.* 1995), ou encore sur le fonctionnement du muscle cardiaque (Papaefthimiou et Theophilidis 2001) ainsi que les effets synergiques de la combinaison pyréthriinoïdes - fongicides inhibiteurs de la biosynthèse de l'ergostérol (fongicides EBI), notamment sur la thermorégulation (Pilling et Jepson 1993, Vandame et Belzunces 1998).

### 5.5.1.4. Les IGR et l'affaire Insegar®

Le fenoxycarbe est un inhibiteur de croissance qui a été mis sur le marché dans les années '80 sous le nom d'Insegar®. Cette substance, dont il avait été constaté qu'elle contamine le pollen des fleurs, a été soumise à une évaluation du risque pour les abeilles en Suisse en 1982<sup>56</sup>; cette évaluation a conclu à l'absence de risque pour les abeilles vu la faible toxicité de la molécule. Toutefois l'application d'Insegar® sur vergers s'est traduite rapidement par des problèmes dans les ruchers avoisinants (Gerig 1991 ; van Heemert 1986). Des essais toxicologiques faits sur le couvain d'abeilles (De Ruijter et Van der Steen 1987 *in* Tasei 2001) ont montré que

---

<sup>56</sup> Si l'évaluation des risques potentiels des pesticides n'a été rendue obligatoire préalablement à la mise sur le marché qu'avec la directive 91/414/CE, des schémas d'évaluation du risque pour les abeilles existaient bien avant cela, notamment celui de la Commission française des essais biologiques (CEB1982), méthode d'évaluation par seuil qui contient déjà toute la logique du schéma d'évaluation actuel.

les larves contaminées produisaient des nymphes non viables ; toutes les larves qui atteignaient le second stade larvaire dans les 5 jours après la pulvérisation mouraient. Symptôme caractéristique de cette intoxication, des abeilles naissaient avec des stries dans les yeux, et cela jusqu'à 10 jours après l'application, et un taux de mortalité était noté dans le couvain jusqu'à 12 jours après l'application (pour une revue de l'historique, voir Tasei 2001). Il s'est avéré que si le fenoxycarbe présente peu de risques pour les abeilles adultes - les seules qu'avait utilisé Gerig dans ses essais de laboratoire, conformément aux lignes-guides en vigueur - il en allait autrement pour les larves ; et la substance n'avait été classifiée « à faible risque » que parce qu'aucun test ne portait sur la toxicité pour les larves d'abeille.

Suite à ce problème un test larvaire a été conçu (Oomen 1992) ; il s'agit d'un test en tunnel avec comptage du couvain exposé à du pollen artificiellement contaminé. Ce test a été introduit par l'EPPO dans son schéma d'évaluation (EPPO PP 3/10, 2003) et est repris en référence dans les annexes de la directive 91/414/CE (et donc dans celles du règlement 1107/2009) ; sa réalisation est obligatoire pour toutes les substances phytosanitaires susceptibles d'agir comme inhibiteurs de croissance. L'Insegar® est aujourd'hui utilisé comme standard toxique dans les tests sur le couvain, notamment dans le cadre de l'évaluation des risques des pesticides au niveau européen (voir par exemple les vol. B9 des DAR du sulfoxaflor, du spiroadiclofen, de la lambda-cyhalothrine...).

#### **5.5.1.5. Les insecticides en traitement de semences**

Un dernier cas, toujours en cours, est celui des insecticides en traitement de semences ou de sol (TSS). Ces insecticides sont des néonicotinoïdes ou, pour l'un d'eux, un phénylpyrazole. Tous peuvent être appliqués en enrobage autour des semences ; l'application du produit se fait donc lors du semis ; la substance insecticide est systémique et pénètre dans la plante lors de la germination, ce qui en protège la croissance. La pulvérisation d'insecticides n'est plus nécessaire<sup>57</sup>. Les néonicotinoïdes, très solubles dans l'eau, peuvent également être appliqués en injection dans les troncs d'arbres, ou encore en traitement de sol par dégouttement ou par trempage (Jeschke *et al.* 2010). Toutes ces formes d'application sont locales et évitent la dispersion dans l'environnement. En outre, la toxicité de ces molécules est très sélective (e.a. Tomisawa et Casida 2005), étant bien plus élevée pour les arthropodes que pour les mammifères - et donc pour l'homme. Bref, ces substances ont été présentées comme particulièrement respectueuses de l'environnement lors de leur arrivée sur le marché.

Celle-ci a cependant coïncidé temporellement avec l'apparition de nouveaux problèmes dans les ruchers. C'est en France qu'en premier lieu les apiculteurs ont constaté l'effondrement de leurs ruches en quelques jours sur la miellée de tournesol, et ont immédiatement soupçonné le Gaucho®, produit de traitement de semences à base d'imidaclopride, d'être à l'origine de ces effondrements. Depuis, ces problèmes et ces soupçons se sont peu à peu répandus dans le monde entier :

---

<sup>57</sup> On relèvera que les insecticides ne sont pas la seule classe de pesticides à comporter des substances systémiques: c'est le cas aussi de certains fongicides, le boscalid par exemple, que l'on retrouve dans le pollen et le nectar (voir par exemple Wallner 2009).

des mortalités anormales et importantes d'abeilles (jusque 40% de colonies perdues) sont décrites dans toute l'Europe de l'ouest et dans la plupart des pays d'Europe de l'est (Neumann et Carreck 2010) ; en Amérique du Nord (Canada-USA) ; en Chine et au Japon<sup>58</sup>, en Egypte (UNEP 2010), en Uruguay<sup>59</sup>, ou encore au Chili où la disparition des abeilles a généré l'apparition d'une ONG dédiée à l'abeille (<http://www.ongplanbee.com/quienes-somos.php>). Le symptôme le plus souvent décrit est la disparition des abeilles qui quittent la ruche en abandonnant les réserves et le couvain ; aux Etats-Unis, un essai descriptif du syndrome, appelé Colony collapse disorder, a été tenté (vanEngelsdorp *et al.* 2009) sans que pour autant les autorités sanitaires des différents pays concernés puissent tenir un discours clair sur le fait que les mortalités encourues dans leur pays se rattachent ou non à ce syndrome<sup>60</sup>.

Le lien entre ces problèmes et les insecticides TSS fait l'objet de vives controverses, au point de susciter l'intérêt des sociologues (e.a. Maxim et van der Sluijs 2010 ; Suryanarayanan et Kleinman 2013). A ce jour, les seules mortalités d'abeilles reliées de façon certaine à l'usage des insecticides en traitement de semences (nous entendons par là qu'il y a consensus entre les parties pour reconnaître ce fait) sont celles dues aux poussières émises pendant le semis de maïs, qui ont tué des milliers de ruches en Allemagne (2008), Italie (2008) et Slovénie (2008-2011)<sup>61</sup> (Forster *et al.* 2009 ; Bortolotti *et al.* 2009 ; Girolami *et al.* 2011 ; Sgolastra *et al.* 2012). Mais on relèvera qu'il s'agit là d'incidents avec mortalité liée à une exposition aiguë, cas dans lequel la causalité est bien plus aisée à établir que lorsque la mortalité ou l'affaiblissement des colonies est lié à un empoisonnement de type chronique dont les effets peuvent, de surcroît, être indirects et différés. Le soupçon d'une implication au moins partielle de ces insecticides dans le syndrome demeure donc, chez les apiculteurs en général et dans une partie de la communauté scientifique.

Dans le cadre de cette controverse, ou parallèlement, de très nombreux articles scientifiques ont été publiés à propos de la toxicité de ces molécules pour les abeilles. Ces articles concernent la toxicité aiguë et chronique, létale et sublétale de ces molécules (revues : Desneux *et al.* 2007 ; Belzunces *et al.* 2012). Ils démontrent ainsi leurs effets sur de nombreuses fonctions physiologiques et comportementales de l'abeille, ainsi que leurs effets synergiques avec la microsporidie pathogène de l'abeille, *Nosema* spp. (Alaux *et al.* 2009, Vidau *et al.* 2011, Pettis *et al.* 2012, Aufauvre *et al.* 2012).

Mais surtout, la mise en cause de ces insecticides, auxquels l'abeille est exposée par des voies inédites (ou à tout le moins peu courantes jusqu'ici) a provoqué la remise en cause de l'ensemble du processus d'évaluation des risques des pesticides pour les

---

<sup>58</sup> Voir notamment Tanigushi *et al.* 2012, publication à laquelle nous n'avons pu accéder mais dont l'abstract est disponible sur le Net : <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/2163286>

<sup>59</sup> Source : Mendoza Y : *Informe : Estudio de casos de mortandad de colonias de abejas donde se encontro fipronil en las colmenas*

<sup>60</sup> Voir par exemple l'article consacré au CCD par la faculté vétérinaire de l'université du Chili : <http://www.veterinaria.uchile.cl/noticias/83007/la-extrana-desaparicion-de-las-abejas>.

<sup>61</sup> Pour la Slovénie, voir par exemple le lien <http://www.rtvsllo.si/okolje/prepoved-uporabe-semen-koruze-obdelanih-z-nekaterimi-fitofarmacevtskimi-sredstvi/256443>.

abeilles utilisé à ce jour en Europe, ce processus étant inapte à détecter les effets liés à l'exposition chronique de l'abeille à travers de la consommation de pollen ou du nectar (Alix et Vergnet 2007 ; EFSA 2012) ; elle a en outre mis au jour certains dysfonctionnements dans le système de mise en place des règles d'évaluation, notamment une délégation de l'expertise aboutissant à des situations de conflit d'intérêt (CEO et EBC 2010).

## **5.5.2. Quelques notions de toxicologie de l'abeille mellifère**

### **5.5.2.1. La détoxification**

L'abeille, comme tous les insectes, possède un système de détoxification formé par trois grandes super-familles d'enzymes capables de dégrader les xénobiotiques : les monooxygénases dépendantes du cytochrome P450, les carboxylestérases et les glutathion-S-transférases. Ces enzymes sont codées par des gènes particuliers et la résistance des insectes aux pesticides dépend notamment du niveau d'expression de ces gènes (Johnson *et al.* 2006). L'abeille dispose d'un moins grand nombre de gènes relatifs à ces super-familles d'enzymes que les autres insectes dont le génome a été décodé (Claudianos *et al.* 2006), ce qui laisse supposer qu'elle est plutôt moins bien armée pour se défendre face aux contaminants ; ce constat semble logique en regard du fait que l'abeille s'alimente principalement sur les fleurs, c'est à dire en milieu peu contaminé, au contraire de nombreux diptères<sup>62</sup>. En pratique toutefois, cette plus grande sensibilité n'est pas démontrée pour toutes les substances lorsqu'on compare la dose létale de l'abeille à celle d'autres insectes (Hardstone et Scott 2010) ; en fait, comme tout animal, la sensibilité de l'abeille varie en fonction de la nature du contaminant (ou du mélange de contaminants) auquel elle est confrontée. On relèvera cependant que Hardstone et Scott n'ont comparé que des DL<sub>50</sub> aiguës ; compte tenu du fait que les colonies d'abeilles peuvent également être victimes d'effondrements liés à des effets sublétaux, l'idée que la colonie d'abeilles constitue un témoin particulièrement sensible de la contamination du milieu nous paraît pouvoir être défendue.

On notera que certaines de ces superfamilles d'enzymes sont utilisées comme biomarqueurs de la contamination par les pesticides chez les invertébrés en général (Hyne & Maher 2003) et chez l'abeille en particulier (voir point ci-dessous).

### **5.5.2.2. Les effets sublétaux**

Les effets sublétaux revêtent chez l'abeille une importance particulière par le fait que, sans entraîner la mort de l'individu, ils n'en peuvent pas moins être mortels pour l'ensemble de la colonie. La survie et le bon développement de celle-ci reposent en effet, nous l'avons vu, sur des régulations fines qui mettent en jeu des mécanismes comportementaux et physiologiques ; l'intégrité de ceux-ci est donc requise pour assurer le fonctionnement de l'ensemble. Prenons le cas d'un

---

<sup>62</sup> Elles ne s'en procurent pas moins du sucre par d'autres moyens lorsque les floraisons ne suivent pas, notamment sur les fruits tombés voire sur des déchets industriels, comme ce fut le cas à Ribeauvillé où les abeilles ont produit un miel bleu vif après avoir « butiné » des déchets d'enrobage de M&Ms : [http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/10/03/en-alsace-une-colonie-d-abeilles-produit-un-mysterieux-miel-bleu\\_1769281\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/10/03/en-alsace-une-colonie-d-abeilles-produit-un-mysterieux-miel-bleu_1769281_3244.html).

contaminant qui désoriente les abeilles : les butineuses désorientées ne reviendront pas à la ruche et, faute de la phéromone qu'elles transmettent aux ouvrières d'intérieur, un certain nombre de celles-ci vont devenir butineuses à leur tour. Si la contamination se poursuit, la ruche va se vider peu à peu de ses habitantes, de nouvelles cohortes de butineuses quittant régulièrement la ruche pour ne plus y revenir, jusqu'à un point où les abeilles restantes sont en nombre trop faible pour encore assumer les tâches indispensables au fonctionnement du superorganisme, par exemple la récolte ou la thermorégulation du nid. La ruche tombe alors en collapsus et disparaît, alors même qu'aucune abeille de cette colonie n'a été exposée à une dose létale du contaminant.

Les effets sublétaux des molécules utilisées en traitement phytosanitaire ou comme biocides sont connus de longue date. Les premières études concernaient un organophosphoré, le parathion, dont il a été démontré qu'il perturbait la danse frétilante (Schricker et Stephen 1970 *in* Cox et Wilson 1984). Depuis de très nombreuses études ont inventorié et mesuré les effets sublétaux de ces molécules sur différentes fonctions de l'abeille. Des articles de revue (Desneux *et al.* 2007 ; Belzunces *et al.* 2012) y sont consacrés ; nous nous contenterons ici de lister les principales catégories d'effets sublétaux ayant fait l'objet d'études à ce jour, assorties des familles d'insecticides pour lesquelles ce type d'effet a été montré<sup>63</sup> :

- effets sur l'apprentissage et la mémoire : ces essais sont basés sur le réflexe d'extension du proboscis. Des études existent, qui ont montré que les organophosphorés (Guez *et al.* 2010), les pyréthriinoïdes (Taylor *et al.* 1987, Decourtye *et al.* 2004), les néonicotinoïdes (Decourtye *et al.* 2003, Decourtye *et al.* 2004, Guez *et al.* 2001, El Hassani *et al.* 2007) et le fipronil (Bernardou *et al.* 2009 ; ElHassani *et al.* 2009) ont des effets de ce type ;
- effets sur l'olfaction et la gustation (pyréthinoïdes : Taylor *et al.* 1987, Kadala *et al.* 2011 ; fipronil : Aliouane *et al.* 2009 ; néonicotinoïdes : Lambin *et al.* 2001, Eiri et Nieh 2012).
- effets sur l'activité motrice (fipronil : Aliouane *et al.* 2009, ACTA 2006; imidaclopride : Teeters *et al.* 2012, Lambin *et al.* 2001)
- effets sur le butinage (pyréthinoïdes, néonicotinoïdes : Ramirez-Romero *et al.* 2005 ; Bortolotti *et al.* 2003, Colin *et al.* 2004 )
- effets sur le comportement (fipronil : accroissement de l'agressivité : Aliouane *et al.* 2009, Brunet *et al.* 2011 ; néonicotinoïdes, effets sur la capacité à danser : Eiri et Nieh 2012).
- perte de la capacité d'orientation (néonicotinoïdes : Schneider *et al.* 2012, Henry *et al.* 2012, Han *et al.* 2010 ; pyréthriinoïdes : Vandame *et al.* 1995)

---

<sup>63</sup> A propos de ces familles d'insecticides, notons qu'il n'y a pas de lien entre la capacité d'une famille à produire des effets, et le nombre d'études ayant montré de tels effets. Les néonicotinoïdes, molécules très controversées, ont été l'objet de plus d'études que les pyréthriinoïdes et celles-ci devancent encore les organophosphorés : grosso-modo, la recherche est allée croissant avec le temps, et les familles plus récentes font l'objet de plus d'études que les familles plus anciennes.

- effets sur la thermorégulation (pyréthriinoïdes : Vandame et Belzunces 1998, Cox et Wilson 1984)
- effets sur la longévité (néonicotinoïdes, pyréthriinoïdes : Dechaume-Montcharmont *et al.* 2003 ; Lu *et al.* 2012)
- altération des tissus ou des organes (néonicotinoïdes : apoptoses dans les cellules de l'intestin : Gregorc et Ellis 2011, Kakamand *et al.* 2008 ; pyréthriinoïdes : effets sur la contraction du muscle cardiaque (Papaefthimiou et Theophilidis 2001).

Enfin les xénobiotiques peuvent laisser des traces dans l'organisme sous forme de croissance ou au contraire de décroissance du niveau d'élaboration de certaines enzymes. Ces enzymes peuvent ainsi servir de biomarqueurs de l'exposition de l'abeille, d'autant mieux que les différentes molécules ont des effets différents sur les différentes enzymes ce qui permet d'établir un profil pour chacun des toxiques. Les biomarqueurs sont susceptibles de trouver de nombreuses applications en toxicologie de l'abeille : ils permettent en effet de déceler l'exposition de l'abeille à une molécule qui n'est plus détectable dans l'insecte parce que complètement dégradée ; ils sont d'un coût peu élevé et exigent peu d'abeilles (Badiou-Bénéteau *et al.* 2012 ; Luc Belzunces, exposé au congrès de la FNOSAD, 12 février 2011<sup>64</sup>).

### 5.5.2.3. Les synergies toxiques

Les études ci-dessus s'intéressent aux effets toxiques d'un xénobiotique donné. Dans l'environnement, l'abeille est exposée à un cocktail de xénobiotiques dont les effets conjoints peuvent être antagonistes (les effets toxiques de l'un contrent les effets toxiques de l'autre), additifs (les effets de l'un s'ajoutent à ceux de l'autre) ou synergistes (l'un des composés potentialise l'autre, ou les deux se potentialisent mutuellement de telle sorte que les effets du mélange dépassent de loin la somme des effets des deux composés considérés séparément).

Nous avons évoqué plus haut des études qui ont montré de tels effets synergistes pour des molécules données, avec en particulier l'exemple des fongicides EBI et des pyréthriinoïdes. Ces synergies ont aussi fait l'objet de nombreuses recherches appliquées à la phytopharmacie, et plusieurs brevets portent sur des mélanges qui exploitent le caractère synergique de combinaisons de molécules : fongicide azole/pyrazole (Colliot *et al.* 1997) ; néonicotinoïde/fipronil ou éthyprole (Jamet *et al.* 2011) ; néonicotinoïde/benlaxyl M ou metalaxyl M (Krohn *et al.* 2008)... Certains produits biocides (produits de traitement du bois) combinent également un pyréthriinoïde et un fongicide EBI.

A côté de ces études, qui partent du point de vue du laboratoire, d'autres chercheurs ont investigué le problème à partir de la réalité du champ. Ils ont principalement investigué la nature des cocktails effectivement présents dans les ruches (quels pesticides, quelles sont les substances actives les plus fréquentes). Le nombre de substances effectivement présentes dans la cire, le pollen ou les abeilles est important : aux USA, Mullin *et al.* (2010) ont ainsi trouvé 121 substances

---

<sup>64</sup> Cette conférence a fait l'objet d'une relation dans la revue apicole La Santé de l'abeille n°244, juillet-août 2011.

différentes (y inclus les médicaments de lutte contre la varroose) dans les ruches échantillonnées ; 60% des échantillons de cire ou de pollen contenaient au moins une de ces substances, avec une moyenne de 6 substances différentes pour les échantillons de cire. Chauzat *et al.* (2010) trouvent également des contaminations non négligeables dans les ruchers français échantillonnés, la substance la plus fréquemment rencontrée étant l'acide 6-chloronicotinique, un métabolite de l'imidaclopride, qui était présent dans 18,7% des échantillons d'abeilles et de pollen et dans 17,6% des échantillons de miel et de cire. Dans cette dernière étude, 69,5% des échantillons de pollen, par exemple, étaient contaminés ; 37,8% de ces échantillons contenaient plus d'une substance. De telles contaminations ne sont évidemment pas sans effets. Wu *et al.* (2012) ont montré que les abeilles élevées dans des cadres pareillement contaminés sont plus sensibles à la nosébose que des abeilles élevées dans des cadres sains. Mais beaucoup reste à faire, pour cerner correctement les effets potentiels, létaux ou sublétaux, des cocktails de xénobiotiques auxquels l'abeille est exposée par les pratiques vétérinaires et agricoles.

## Chapitre 6 : Aptitude des abeilles sauvages et domestiques à fournir un indicateur ou une sentinelle

Voyons maintenant quelle est l'aptitude des abeilles *Apis*/non-*Apis*, sauvages ou domestiques, à fournir un indicateur écosystémique ou une sentinelle.

### 6.1. L'abeille comme indicateur écosystémique.

Les indicateurs écosystémiques témoignent

- de la composition de l'écosystème (en présence de quelles associations végétales/animales sommes-nous ?) et/ou
- de son état (cet écosystème est-il sain ou altéré ?).

L'abeille mellifère a, chez nous, quasiment disparu en tant qu'animal sauvage (voir points 1.2.1. et 5.1). Des apiculteurs lui fournissent habitat, soins vétérinaires (médication contre la varroose, suppression de reproducteurs sensibles aux maladies...), et nourriture (la plupart des apiculteurs de Belgique procèdent à un nourrissage hivernal, certains utilisent occasionnellement une pâte protéinée) ; ils multiplient les colonies et procèdent à des hybridations, au besoin par insémination. La présence ou l'absence d'abeilles mellifères, relevées dans un transect par exemple, est par conséquent totalement dépourvue de signification d'un point de vue écologique. **En revanche, la présence de colonies sauvages ou férales sur le territoire pourrait être considérée dans le cadre d'un indicateur « abeilles sauvages »** ; en effet, cette présence ne va de pair qu'avec le maintien de zones naturelles sur le très long terme. Nous avons vu toutefois que la présence/l'absence de colonies de ce type ne reflète pas exactement l'état des paramètres « habitat » et « ressources » dans la mesure où un troisième paramètre, la varroose, est susceptible d'interférer avec les deux premiers en éliminant des colonies ; en outre, certaines colonies férales sont installées en fait en milieu anthropique, dans une sous-toiture par exemple – mais cela est vrai aussi pour les colonies d'abeilles non-*Apis* fréquentant ce type d'habitat.

Les abeilles non-*Apis* quant à elles constituent un ensemble remarquable par

- sa richesse spécifique : celle-ci inclut des espèces généralistes mais aussi des espèces étroitement inféodées à un milieu, à un habitat ou à une espèce florale,
- la variété de ses ressources,
- la variété de ses habitats.

Ces qualités les désignent comme capables de fournir d'excellents indicateurs écosystémiques.

En outre, des espèces plus communes et dont la toxicologie et la pathologie sont connues (par exemple les Bourdons, *Bombus spp.*) sont également aptes à fournir une sentinelle.

Il nous paraît de première importance de continuer à développer la connaissance que nous avons des abeilles sauvages présentes sur notre territoire, de la variété des

espèces, et des ressources et habitats afin de constituer une palette large de données à partir desquels construire des outils de suivi (d'une espèce, d'un panel d'espèces) capables de couvrir largement nos écosystèmes et de rendre compte de leur qualité. Ce n'est qu'en développant une connaissance contemporaine globale de la faune des abeilles de Belgique qu'il sera possible de préciser le rôle des différentes espèces comme indicateurs et/ou sentinelles dans les milieux semi-naturels, urbains et dans les agro-écosystèmes.

On relèvera qu'un tel travail devra nécessairement s'appuyer sur une équipe disposant des compétences adéquates en taxonomie des abeilles sauvages, vu l'expérience que nécessite l'identification des espèces.

## ***6.2. L'abeille comme sentinelle.***

Une bonne sentinelle est :

- une espèce qui, par son habitat, par ses habitudes, est exposée aux contaminants recherchés;
- une espèce qui réagit à la contamination par des manifestations d'ordre pathologique, que ces manifestations concernent la reproduction, la physiologie ou le comportement des individus ; cette réponse doit pour bien faire être mesurable ;
- une espèce dont les populations sont aisées à prélever et à dénombrer ; la taille et la densité de ces populations doivent en outre être suffisantes pour permettre le dénombrement et l'établissement d'une statistique ;
- une espèce dont la biologie et la pathologie sont suffisamment connues pour permettre l'interprétation des résultats des études.

L'abeille mellifère rencontre remarquablement bien ces différents critères.

### **6.2.1. Exposition de l'abeille mellifère aux contaminants environnementaux.**

La colonie d'abeilles est exposée aux contaminants environnementaux principalement par le fait du butinage ; les quelque 10 000 butineuses d'une ruche explorent en effet les sources possibles sur une surface importante, dépendant du rayon de butinage. Celui-ci est ordinairement de 800m-1km si les sources alimentaires sont suffisantes ; le maximum usuel est de 3 km, exceptionnellement 10 km (Beekman et Ratnieks 2000) ; usuellement on considère, dans les études relatives à l'abeille comme bioindicateur, qu'une surface de 7 km<sup>2</sup> est couverte, ce qui suppose un rayon de butinage de 1,5 km (e.a. Conti et Botré 2001, Tonelli *et al.* 1990 ; Abrol 2012). Plusieurs voies d'exposition sont concernées, que nous allons examiner successivement.

#### **6.2.1.1. L'air.**

L'abeille est exposée aux contaminants de l'air par la respiration, qui chez l'abeille peut être active ou passive. Notamment la collecte par l'abeille de radionucléides

(voir point 7.1. ci-dessous) se ferait par voie gazeuse, via le système respiratoire et les membranes externes (Tonelli *et al.* 1990).

Toutefois, c'est un autre mécanisme de collecte qui a suscité le plus de littérature. Les abeilles, on l'a vu, sont caractérisées par leur alimentation exclusivement végétale et disposent de particularités anatomiques qui constituent autant d'outils de collecte du pollen : brosses à pollen, généralement disposées sur la face interne des pattes postérieures, et corbicules où le pollen est tassé. Les abeilles récoltent le pollen en se brossant elles-mêmes ; les brosses récoltent les grains qui adhèrent au corps, un système efficace dans la mesure où la surface corporelle retient et même attire les grains de pollen. A cet effet le corps des abeilles est couvert de poils branchus, qui constituent d'ailleurs le critère taxonomique permettant de discriminer les abeilles des guêpes au sein de la super-famille des Apoïdae<sup>65</sup>. Ces poils sont calibrés de manière à retenir les particules de la dimension des grains de pollen, qui est de 10 à 100 microns environ<sup>66</sup>. En outre, le corps de l'abeille (comme d'autres insectes pollinisateurs, d'ailleurs), possède une charge électrostatique qui provoque l'adhésion de particules chargées, ce que sont les grains de pollen, au point que ces forces électriques sont capables de détacher le pollen de la fleur pour le faire adhérer au corps de l'abeille (Vaknin *et al.* 2001). Ces caractéristiques font, des abeilles, des collecteurs particulièrement efficaces des particules contaminantes (Abrol 2012).

C'est ce mécanisme qui explique les contaminations massives de ruchers observées dans deux cas mentionnés ci-avant, à savoir l'affaire Pennicap-M®, et les contaminations liées aux poussières de semis provenant de semences traitées à l'aide d'insecticides systémiques. Dans les deux cas, les abeilles ont collecté les poussières avec le pollen et les ont emmagasinées de même, produisant la mort différée de nombreuses larves intoxiquées lorsqu'elles ont reçu la bouillie préparée par les nourrices avec le pollen contaminé. Les abeilles en effet ont été capables de rentrer à la ruche, dans le cas du Pennicap-M® parce qu'elles étaient en contact avec l'enveloppe de la microcapsule et non avec le contaminant lui-même, dans le cas des néonicotinoïdes parce que la toxicité du contaminant, en contact avec le corps, dépend du degré d'humidité du milieu dans lequel elles évoluent jusqu'au moment où elles peuvent se nettoyer, leur probabilité de survie étant élevée en conditions d'humidité relative faible (Marzaro *et al.* 2011 ; Tapparo *et al.* 2012).

Tout ceci concerne l'ensemble des espèces d'abeilles. Ce qui distingue l'abeille mellifère comme sentinelle pour la contamination de l'air, c'est la force de ses populations, qui permet une couverture plus complète et plus représentative du territoire butiné. En outre, le rayon de butinage de l'abeille mellifère est important ; d'autres abeilles peuvent butiner aussi loin (les Bourdons (Hagen *et al.* 2011)) voire

---

<sup>65</sup> Voir notamment le BWARS-bee-book, An introduction to bees in Britain, chapitre 1, p.6. Le livre est disponible sur Internet :

[http://www.bwars.com/sites/www.bwars.com/files/diary\\_downloads/Bees\\_in\\_Britain\\_Chapters\\_1\\_3edit\\_G\\_Allen\\_2.10.12.pdf](http://www.bwars.com/sites/www.bwars.com/files/diary_downloads/Bees_in_Britain_Chapters_1_3edit_G_Allen_2.10.12.pdf).

<sup>66</sup> On trouvera par ailleurs une photographie de ces poils branchus dans la planche réservée à l'abeille par le réseau américain Extension : <http://www.extension.org/pages/21748/adult-bee-anatomy-basic-bee-biology-for-beekeepers#.UgTzluDBASo>.

plus loin (l'abeille charpentière (Pasquet et al. 2008)) mais le rayon de butinage d'une majorité de solitaires est plus réduit.

#### 6.2.1.2. Le nectar et le pollen

Une colonie d'abeilles mellifères, par son potentiel de récolte, constitue un outil de premier ordre, s'agissant d'effectuer des prélèvements dans l'environnement: on peut estimer grossièrement qu'une colonie effectue chaque jour environ 10 millions de micro prélèvements dans l'environnement (10 000 butineuses effectuant chacune 10 vols, et 100 prélèvements par vol), et cela dans un rayon de l'ordre du km, variant suivant les ressources du lieu et du moment (Sabatini 2005).

Collectant le nectar et le pollen, les abeilles sont exposées aux contaminants de contact présents à la surface des fleurs. Par exemple, la contamination via des fleurs recevant des dépôts d'arsenic d'origine industrielle a provoqué des mortalités massives dans les ruches en Serbie (Terzić *et al.* 2000).

Elles sont également exposées aux contaminants présents dans le pollen et le nectar. De tous les exemples que l'on peut citer, celui qui a fait couler le plus d'encre concerne les quatre insecticides systémiques utilisés en traitement de semences ou de sol, imidaclopride, fipronil, clothianidine et thiamethoxam. Toutefois, d'autres substances phytosanitaires systémiques, appliquées par pulvérisation, se retrouvent également dans le pollen et le nectar. C'est le cas notamment des fongicides systémiques, comme le boscalid, qu'on retrouve dans les deux matrices, ou encore le prothioconazole, qui contamine le nectar (Wallner 2009). On relèvera aussi que de nombreuses substances réputées non systémiques sont détectées dans les analyses de matrices apicoles. Chauzat *et al.* (2010) détectent, dans certains échantillons de pollen prélevés aléatoirement dans 24 ruchers de France, des composés réputés non systémiques<sup>67</sup> comme la deltaméthrine, l'endosulfan ou le parathion. Certaines autres molécules non systémiques et non présentes dans le pollen sont détectées dans un nombre significatif d'échantillons de cire ; c'est le cas notamment de la cyfluthrine, de la cyperméthrine, du mévinfos. Le même constat est fait par Mullin *et al.* (2010) : ils ont détecté dans les ruches étudiées 121 substances différentes, dont de nombreux fongicides, pyréthriinoïdes et organophosphorés réputés non systémiques et néanmoins présents dans le pollen. Cette présence s'explique par la faculté qu'ont les plantes de concentrer certaines substances à partir de l'air, faculté qui varie selon les caractéristiques des molécules et en particulier selon leurs coefficients de partition octanol/eau et octanol/air (Villa *et al.* 2000). En outre, la translocation n'est pas limitée au xylème ; elle peut également se faire par le phloème (voir notamment Aajoud *et al.* 2008), qui est capable de lier et transporter des lipides (Benning *et al.* 2012). L'idée est largement répandue, que des substances liposolubles, dont le coefficient de répartition octanol/eau ( $\log P_{ow}$ ) est élevé, ne sont pas systémiques et ne risquent donc pas de se retrouver dans les matrices apicoles ; elle n'est toutefois pas correcte. L'hydrosolubilité ou la liposolubilité d'une substance n'est en effet que pauvrement corrélée avec sa capacité de translocation dans la plante (Klittich *et al.* 2008).

---

<sup>67</sup> Voir notamment Footprint : <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm>.

En conséquence, l'abeille, via le butinage, est en contact avec un grand nombre de contaminants qu'elle peut accumuler dans la ruche. La matrice la plus représentative à cet égard est, en général, le pollen : celui-ci rassemble une proportion plus grande des contaminants auxquels est exposée la ruche, que la cire ou les abeilles (voir les tableaux dans Mullin *et al.* 2010 notamment ; voir aussi l'exposé de Monique L'Hostis au colloque du 6 juin 2013).

### 6.2.1.3. L'eau

Une colonie d'abeilles mellifères a besoin d'eau ; Seeley (1985) estime ce besoin à 25L environ par an. L'eau ne peut être mise en réserve par les abeilles. Celles-ci doivent donc effectuer une régulation constante et disposent pour ce faire de l'outillage *ad hoc* (leurs antennes sont sensibles au degré d'humidité de l'air (Lacher 1964 *in* Ellis *et al.* 2008)). Cette régulation implique des entrées et des sorties, à savoir (Nicolson 2008):

- entrées :
  - l'eau métabolique produite lors de la contraction des muscles de vol, soit des abeilles en vol, soit des abeilles chauffeuses. Cette eau métabolique, que nous produisons également par la respiration, représente une quantité négligeable chez nous, mais importante chez les abeilles vu le caractère extrêmement élevé de leur métabolisme.
  - l'eau évaporée à partir du nectar lors de la confection du miel. Le nectar en effet contient généralement de 15 à 40% de sucres ; le miel, lui, ne dépasse pas les 20% en sucre (idéalement le degré d'humidité relative du miel se situe entre 16,5 et 18%). Le nectar dilué est consommé directement par les nourrices pour qui il constitue une source d'abreuvement ; le surplus est mis en magasin et l'eau excédentaire est évaporée par les abeilles, qui au besoin ventilent intensément la ruche pour ce faire.
- sorties :
  - la préparation de la bouillie larvaire – cette eau sera en fait consommée par les nourrices et « passera » dans les sécrétions des glandes hypopharyngiennes de l'abeille et dans la préparation de la bouillie. Ce besoin est limité pendant la journée si la miellée donne, les rentrées de nectar apportant le plus souvent assez d'eau pour contenter les nourrices ; mais le travail de celles-ci se prolonge toute la nuit et pendant ce temps le nectar ne rentre pas. Le matin, la ruche a soif, et les porteuses d'eau sont souvent les premières à sortir, bien avant les butineuses.
  - le refroidissement de la colonie lorsque la température extérieure est telle que la ventilation ne suffit plus. Les abeilles projettent alors des gouttelettes d'eau sur les cadres du nid pour rafraîchir leur couvain.

Il est vraisemblable que l'eau apporte aux abeilles d'autres éléments qui lui sont favorables ; en effet, l'abeille apprécie beaucoup moins l'eau distillée que les eaux de pluie, ou que les eaux légèrement salines ou enrichies de matières organiques telles que feuilles en putréfaction, fumier, lisier (Butler 1940). Elle préfère de beaucoup

sucer l'eau à partir d'un support mouillé (terre ou mousse humide) que de boire dans une surface d'eau libre (constat d'apiculteur !). En conséquence, elle s'abreuve où elle veut, notamment dans les flaques et ornières humides des champs cultivés, aux goutte-à-goutte, aux abreuvoirs d'animaux... et il n'est pas toujours facile de l'habituer à visiter l'abreuvoir qu'on lui destine.

Dans les champs cultivés et aux abords des bâtiments agricoles et industriels, les eaux de flaque sont susceptibles d'être contaminées par les contaminants hydrosolubles (engrais, biocides, produits phytosanitaires). Une autre voie d'exposition est possible, qui a fait l'objet de bien des débats : les eaux d'exsudation (*guttation* en anglais). L'exsudation est un phénomène qui affecte les plantes dans certaines circonstances de température et de pression. La montée dans la plante de la sève brute est assurée conjointement par la transpiration de la plante et par la pression racinaire. Lorsque le flux transpiratoire est faible, la pression racinaire joue un rôle prépondérant et peut aller jusqu'à provoquer la sortie de perles d'eau en bordure des feuilles (pour la description du phénomène, voir notamment l'avis de saisine 2009-SA\_0065 de l'AFSSA française). Ce phénomène est courant au printemps, sur les jeunes plants de maïs en particulier ; il peut néanmoins se produire sur de nombreux types de plantes, sur des plants adultes, et à toutes les saisons (H. Riebe pers. com., Hoffmann et Castle 2012). Girolami *et al.* (2009) ont exposé des abeilles à des gouttelettes d'exsudation produites par des plantes issues de semences traitées aux nicotinoïdes ; les abeilles sont foudroyées, la concentration en toxique de ces gouttelettes excédant de beaucoup la CL<sub>50</sub>.

Depuis, plusieurs publications ont porté sur ce phénomène, pour tenter d'en appréhender l'ampleur et la signification sur le plan toxicologique (Shawki *et al.* 2006 ; Reetz *et al.* 2011 ; Hoffmann et Castle 2012 ; Tapparo *et al.* 2011). Pistorius *et al.* (2011) en ont réalisé une synthèse. Il en ressort :

- que la quantité de toxique sécrétée par la plante est effectivement très élevée, qu'elle décroît avec le temps et la croissance de la plante ;
- que la production par la plante d'eaux d'exsudation est ponctuelle, et plus occasionnel encore est le fait que l'abeille va s'y abreuver ;
- mais que néanmoins des mortalités d'abeilles surviennent par ce fait dans un certain nombre de cas ; les substances concernées sont retrouvées dans les abeilles.

Les mortalités dues aux eaux d'exsudation sont d'abord des mortalités aiguës, qui touchent les récolteuses d'eau ; plusieurs centaines d'abeilles sont trouvées mortes devant la ruche pendant chacune des journées où se produit le phénomène. Ces mortalités ne surviennent que dans un rayon réduit car les abeilles collectent l'eau aussi près que possible de la ruche – cette collecte est pour elles une activité à risques car elle se fait tôt le matin et par tous les temps. Selon Pistorius *et al.* (2011), ces mortalités seraient limitées et n'affecteraient pas les colonies sur le long terme. L'impact global, sur la biodiversité, de la toxicité des eaux d'exsudation n'a pas été pris en compte dans l'évaluation des molécules ; ce problème nécessiterait pourtant un examen attentif.

#### 6.2.1.4. Autres voies de contamination.

Outre ces voies, les butineuses sont bien évidemment exposées de manière directe aux pulvérisations de produits phytosanitaires appliqués par ce moyen. En principe, les produits toxiques pour les abeilles ne peuvent être pulvérisés lors des floraisons ; les abeilles sont donc exposées soit lors de mésusages, soit par la dérive sur bordures de champs fleuries par exemple. Cette exposition se fait principalement par contact ; on relèvera que certaines substances, notamment les pyréthriinoïdes, sont plus toxiques par contact que par voie orale (très exactement, la  $DL_{50}$  de contact est plus petite que la  $DL_{50}$  orale ; la toxicité chronique est trop mal connue pour qu'on puisse généraliser ce constat fait sur exposition aiguë). Cette voie d'exposition, classique, est largement prise en compte dans l'évaluation des risques environnementaux des pesticides, évaluation dont les fondements ont été conçus pour des produits pulvérisés<sup>68</sup>.

Une autre voie d'exposition n'est toujours pas prise en compte actuellement, et reste largement méconnue. Il s'agit des sécrétions extraflorales. De nombreuses plantes possèdent des nectaires extrafloraux, qui sécrètent des substances sucrées à la base des feuilles ou des capitules floraux<sup>69</sup>. Bagnoli (1975) cité par Hurd (1980), observant des abeilles sur tournesol, estime que 10% de ces abeilles butinaient, non sur les fleurs, mais sur les nectaires extrafloraux<sup>70</sup>. Nous n'avons pu trouver aucune forme d'évaluation du risque lié à la contamination éventuelle de ces sécrétions.

#### **6.2.2. Manifestations pathologiques apparentes et mesurables**

L'abeille est très sensible aux pesticides nous l'avons vu. Elle présente une large gamme de symptômes en présence de contaminants toxiques. En font partie les signes cliniques d'intoxication aiguë : tremblements, troubles de la locomotion, désorientation, agressivité, nettoyages anormalement fréquents... (nombreuses études, e.a. Visser et Blacquièrre 2010, Brunet *et al.* 2011), ou encore effet *knock-down* (Rieth 1986). Ces troubles peuvent être observés à l'entrée de la ruche mais aussi au champ lors du butinage ; un canevas a été proposé, qui permet d'en quantifier l'importance en valeur relative (nombre de signes chez l'abeille sous traitement relativement au nombre de signes chez l'abeille de contrôle), dans les études sous tunnel (Giffard et Mamet 2008).

---

<sup>68</sup> Le schéma d'évaluation du risque des pesticides pour les abeilles débute, en premier degré, par le calcul d'un coefficient de risque fondé sur les  $DL_{50}$  et les taux d'application ; ce coefficient, le HQ (Hazard Quotient) est purement empirique, et a été fixé sur base des cas concrets d'incidents survenus sur produits pulvérisés (SANCO 2002) avec pour conséquence que le seul schéma d'évaluation existant pour les abeilles ne tient en compte que cette voie d'application. Cette situation, évidemment délétère, est en cours de changement, l'EFSA travaillant actuellement à la mise au point d'un autre schéma d'évaluation (EFSA 2012, EFSA 2013).

<sup>69</sup> Voir notamment l'article de R.F. Mizell sur le site de l'Université de Floride : <http://edis.ifas.ufl.edu/in175> (consulté le 12 août 2013)

<sup>70</sup> On trouvera une librairie photographique montrant les sécrétions extraflorales du tournesol au lien suivant : [http://www.sunflowerusa.com/gallery/library\\_sub.asp?categoryID=21&subcategoryID=178#top](http://www.sunflowerusa.com/gallery/library_sub.asp?categoryID=21&subcategoryID=178#top).

Quant aux troubles chroniques, notamment sublétaux, ils ont fait l'objet d'études déjà évoquées précédemment. Ces études, et d'autres encore, proposent un large éventail de méthodes pour la mesure des troubles comportementaux (apprentissage, navigation...) ou physiologiques (fertilité, durée de vie...) (Kievits *et al.* 2012). Les études en question ne sont toutefois pas des études de monitoring ; elles visent essentiellement à définir les effets, sur un paramètre physiologique ou comportemental prédéfini, d'une ou de plusieurs substances données. Les méthodes proposées conviennent toutefois davantage à la mise en œuvre d'un schéma d'évaluation qu'à celle d'un projet d'abeille sentinelle, car elles sont focalisées sur un nombre limité de paramètres d'observation reliés chacun à une gamme de dosages connus d'une ou de plusieurs substances données. Les biomarqueurs paraissent par contre de grand intérêt dans une telle démarche, car ils sont de nature à fournir une image globale de la santé de l'abeille (état du système immunitaire notamment) en même temps qu'une information relative aux contaminants auxquels l'abeille est exposée. Paramètres très sensibles, ils constituent un système d'alarme précoce en matière d'exposition de l'abeille (Badiou-Bénéteau *et al.* 2012); en outre, chaque biomarqueur ayant une réaction particulière en présence de chaque contaminant, l'utilisation d'un panel de biomarqueurs permet l'établissement de profils toxicologiques caractéristiques de chaque contaminant. Cette matière est à ses débuts et pourrait être largement développée ; mais elle pourrait d'ores et déjà entrer dans le cadre d'un projet original de veille environnementale et de veille de l'abeille elle-même.

Enfin, les manifestations pathologiques sont plus ou moins individuelles ou collectives suivant la nature du contaminant et suivant la voie d'exposition. Les butineuses exposées à un toxique de contact de type organophosphoré ou carbamate, par exemple, formeront une couche d'abeilles mortes en fond de ruche ; exposées aux pyréthrinoides, elles ne rentreront pas à la ruche et l'apiculteur trouvera ses hausses<sup>71</sup> complètement dégarnies lors de la visite qu'il ne manquera pas de faire en constatant l'effondrement de l'activité aux trous de vols. Les contaminants toxiques du nectar et du pollen provoquent l'apparition de symptômes touchant rapidement l'ensemble des membres de la colonie, vu l'importance des flux d'échanges au sein de celle-ci (Crailsheim 1992 ; DeGrandi-Hoffmann et Hagler 2000) ; on l'a vu avec les exemples du Penncap-M® et des poussières de semis. On notera toutefois qu'un certain nombre de contaminations donnent lieu à une intoxication différée ; si celle-ci est en outre de type chronique et sublétale, il devient difficile d'établir le lien entre le collapsus de la ruche et le contaminant (ou les contaminants) qui l'a provoquée ; l'épidémiologie viendra alors au secours du chercheur, pour autant que celui-ci puisse s'appuyer sur des données (par exemple d'utilisation des produits phytosanitaires par exploitation ou par parcelle) dont il pourra rechercher la corrélation avec les phénomènes constatés dans les ruchers concernés.

---

<sup>71</sup> Les hausses sont une partie de la ruche, constituée d'une caisse et de cadres que l'on pose sur le corps de ruche pour l'agrandir au moment où les abeilles récoltent le miel. C'est le miel de hausse, exclusivement, qui est récolté par l'apiculteur.

### **6.2.3. Populations aisées à dénombrer, taille suffisante**

L'abeille fournit des populations nombreuses d'individus ; la mesure des paramètres individuels (biomarqueurs par exemple) peut donc aisément être effectuée sur un grand nombre d'individus. Toutefois de nombreux paramètres n'ont de sens que considérés au niveau de la colonie. Ainsi en va-t-il de la pathologie : c'est l'état de la colonie qui est pris en compte et non celui de l'abeille ; la mortalité des abeilles de la colonie est un phénomène normal et toute colonie en bonne santé compte des abeilles mortes au pied de la planche de vol<sup>72</sup>. Dans les études épidémiologiques, c'est donc la colonie qui est considérée, et la statistique s'établit sur un nombre de colonies et non sur un nombre d'individus. La Belgique compte une trentaine de milliers de colonies d'abeilles selon le FAOSTAT ; une collaboration avec le monde apicole devrait par conséquent pouvoir fournir un nombre adéquat de colonies pour la réalisation de telles études.

### **6.2.4. Connaissance suffisante de la biologie/pathologie de l'espèce**

La biologie, la pathologie et la toxicologie de l'abeille mellifère sont des sciences en pleine expansion, déjà riches, on l'a vu, d'un solide édifice de connaissances. Celles-ci constituent une base permettant à la fois de choisir les paramètres et d'interpréter les mesures qui en sont faites, dans le cadre d'un projet de type « sentinelle ».

De nombreux champs n'en restent pas moins à explorer : par exemple, il serait intéressant d'étudier l'influence que pourraient avoir, sur la physiologie des abeilles d'hiver (biomarqueurs : lipofuscine, vitellogénine (voir Münch *et al.* 2013)), les xénobiotiques auxquelles elles sont exposées depuis l'automne, vu que les mortalités dont souffrent les abeilles mellifères en Belgique sont surtout hivernales, et présentent un tableau qui suggère un déficit de longévité des individus constituant la grappe hivernale.

### **6.2.5. Conclusion : l'abeille mellifère comme sentinelle**

L'abeille mellifère répond donc remarquablement à toutes les conditions requises pour constituer une espèce sentinelle (exposition, manifestations pathologiques, échantillonnage aisé, espèce suffisamment connue d'un point de vue scientifique).

Si la physiologie d'un insecte diffère de celle d'un vertébré, bien des mécanismes biochimiques fondamentaux (mécanismes enzymatiques de la production d'énergie, mécanismes de la neurotransmission, etc.) sont largement similaires ; et si la toxicité de bien des insecticides est sélective, nettement moindre pour les vertébrés de ce qu'elle est pour les arthropodes (e.a. Iwasa *et al.* 2004), cette plus grande sensibilité de l'insecte peut faire de celui-ci un système d'alarme précoce vis-à-vis de toxiques dont les conséquences négatives ne se révèlent parfois, chez l'être humain, que dans le très long terme.

---

<sup>72</sup> ... ce qui ne signifie pas qu'un symptôme apparaissant sur quelques rares individus isolés ne doit pas être tenu en compte ; tout dépend de la nature du symptôme en question. Par exemple, deux-trois momies de couvain plâtré suffisent à signifier qu'*Ascospheera apis* s'est réveillé dans la colonie...

La colonie d'abeilles intègre plusieurs voies d'exposition qui rendent compte de quasiment tous les compartiments environnementaux (air, eau, végétation, et via celle-ci certaines caractéristiques du sol) ; elle échantillonne les trois media par lesquels les contaminants peuvent être transportés, solides, liquides et gaz - en particulier, elle est un collecteur hors pair des contaminants particuliers de l'air. Ses butineuses couvrent des aires importantes, fréquentent des endroits difficilement accessibles par l'homme et reviennent ensuite en un point fixe - la ruche. Tout ceci fait de la colonie d'abeilles un outil de collecte exceptionnel.

En outre, les différentes matrices apicoles qu'il est possible d'échantillonner - abeilles, miel, pollen, cire, propolis - sont capables de retenir ou d'accumuler quasiment tous les composés, aussi bien hydrophiles que lipophiles puisque certaines de ces matrices ont une base aqueuse tandis que d'autres sont pour partie ou totalement lipidiques ; les rayons étant préservés de la lumière, la photolyse y est très limitée, ce qui permet la bonne conservation des contaminants organiques dont beaucoup sont sensibles à la lumière et détruits en quelques heures ou quelques jours à l'air libre. La ruche constitue donc un outil d'échantillonnage de premier intérêt.

Une veille simple, mais régulière des colonies, suffit à déceler bien des problèmes environnementaux, les abeilles elles-mêmes constituant un outil de détection qui agit par deux voies, soit en exposant des troubles (mortalités, troubles comportementaux), soit via les résidus provenant d'une analyse régulière de matrices apicoles. Nous avons d'ailleurs vu qu'en dehors même de tout projet de recherche, l'abeille a montré son aptitude de sentinelle à plusieurs reprises, et cela à ses propres dépens : des milliers de colonies ont été perdues à ce jour par le fait de pollutions, industrielles pour partie, et surtout phytosanitaires. Ces problèmes, s'ils ont frappé durement le secteur apicole, ont servi de déclencheur à l'investigation scientifique de domaines inconnus jusque là ; ils ont de plus permis d'initier une réflexion large sur l'évaluation des risques des pesticides, avec des résultats dont l'intérêt dépasse de loin celui de la seule abeille mellifère.

Par ailleurs, le réseau d'apiculteurs présents sur le territoire constitue un réseau d'échantillonnage potentiel préexistant. Ces apiculteurs exercent sur leurs colonies une surveillance constante, ce qui constitue un avantage important puisque tout problème, toute situation anormale, tout événement remarquable, peuvent être signalés immédiatement à l'organe de recherche en charge du projet de veille.

Dans ces conditions il n'est pas étonnant que des colonies d'abeilles mellifères aient été très tôt utilisées dans le monitoring environnemental.

Enfin, l'abeille est aussi une « espèce-phare » telle que définie plus avant (voir point 3.1.1.). Elle est au centre de mythes depuis la plus haute antiquité<sup>73</sup> ; et la disparition des abeilles alimente, elle aussi, un phénomène de nature mythique, où des récits se détachent du réel mais sont largement véhiculés car ils traduisent un puissant sentiment collectif. Un bon exemple nous est fourni par une phrase

---

<sup>73</sup> Sur le mythe d'Aristée, lire l'essai remarquable de JP Albert dans la revue *Persée* : « Vierges nées d'un taureau mort » ; et sur sa prolongation dans l'Occident chrétien, le livre de Gilles Tétart « Le sang des fleurs », Odile Jacob éd. L'essai de JP Albert est disponible sur le Net : [http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/metis\\_1105-2201\\_1992\\_num\\_7\\_1\\_978](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/metis_1105-2201_1992_num_7_1_978).

attribuée à Einstein, et qui a fait un « buzz » sur le Net : « Si l'abeille disparaissait, l'homme n'aurait plus que quatre années à vivre ». Cette phrase n'a probablement jamais été prononcée par Einstein<sup>74</sup> ; mais la vitesse avec laquelle elle s'est répandue à partir de son apparition (dans un communiqué de presse d'une association apicole, apparemment) suffit à montrer que nos concitoyens sont nombreux à vivre dans le sentiment que l'homme a franchi une limite dans ses relations avec la nature, et qu'au-delà de celle limite il se met lui-même en danger ; et que la mort des abeilles, quelle qu'en soit la cause, est le signal que la ligne rouge est franchie. Le sentiment que l'abeille tient ce rôle de sentinelle est fondé, on l'a vu. Que le grand public en ignore la plupart des raisons ne change rien au fait que l'enjeu a été parfaitement ressenti. Le travail sur l'abeille n'est donc pas le domaine réservé d'un cénacle de savants ou d'une élite de techniciens : la résonance qu'il a dans le public peut en faire un outil performant d'éducation permanente au fonctionnement des systèmes vivants et à l'importance des équilibres naturels, et ce pour nos concitoyens de tous les âges.

---

<sup>74</sup> Voir à ce propos le commentaire de Snopes : <http://www.snopes.com/quotes/einstein/bees.asp>.

## Chapitre 7 : L'abeille sentinelle : projets réalisés ou existants

L'abeille a été utilisée à plusieurs reprises comme sentinelle, et cela pour des contaminations diverses : radioactivité, métaux lourds, hydrocarbures, pesticides agricoles. De très nombreuses études ont été réalisées en ce sens. Toutes ne nous sont pas accessibles, parce qu'elles sont antérieures à l'époque du numérique (beaucoup datent des années '70 ou '80) et parce que certaines n'ont jamais été traduites en anglais et n'existent que dans des langues qui ne nous sont pas directement accessibles. Celli et Maccagnani (2003), et Balayannis et Balayannis (2008) en citent un certain nombre ; d'autres nous sont connues au travers d'articles plus récents. Ce qui figure ci-dessous n'est donc pas exhaustif, mais constitue un échantillon représentatif de ce qu'on trouve dans la littérature consacrée à chacun des points abordés.

### 7.1. Détection de la radioactivité.

#### 7.1.1. Autour des sites nucléaires américains

Des colonies d'abeilles ont été utilisées à partir des années '70 aux USA pour la détection de la radioactivité et pour l'estimation de la biodisponibilité d'éléments radioactifs aux alentours de sites nucléaires tels celui de Los Alamos et de White Rock/Parajito Acres (Nouveau-Mexique), ou encore de Hanford (Washington)<sup>75</sup>. Les matrices analysées sont les abeilles elles-mêmes et (ou) le miel ; les éléments recherchés sont le tritium, le césium 137, le plutonium et d'autres radionucléides.

Pour ce faire, les colonies d'abeilles sont placées en bordure du site ou sur celui-ci ; à Los Alamos les colonies étaient posées près des conteneurs de déchets liquides. Les ruches sont échantillonnées après un certain temps d'exposition et des échantillons d'abeilles et de miel sont prélevés et congelés puis envoyés en laboratoire pour analyse. Des échantillons d'eaux de surface et de végétation sont prélevés parallèlement, pour confronter les valeurs de radioactivité qu'on y trouve à celles retrouvées dans les abeilles. A Los Alamos, un tel réseau de veille « abeilles » est resté en place pendant 17 ans, entre 1979 et 1995 (Fresquez *et al.* 1997).

Il ressort de ces études que les abeilles conviennent bien au monitoring de la radioactivité. Par exemple, les concentrations en tritium qu'on y retrouve coïncident avec celles des eaux de surface ; en saison de butinage ces concentrations évoluent pour se rapprocher de celles de la végétation. Les concentrations en césium137 sont celles de la végétation du site. De ces études les auteurs concluent que les

---

<sup>75</sup> Les sites de Los Alamos et de Hanford figurent parmi les premiers et les plus grands centres nucléaires aux USA ; ils ont été fondés pendant la seconde guerre mondiale et ont tous deux joué un rôle de premier plan dans la mise au point des armes nucléaires (voir Wikipedia : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Laboratoire\\_national\\_de\\_Los\\_Alamos](http://fr.wikipedia.org/wiki/Laboratoire_national_de_Los_Alamos) et [http://fr.wikipedia.org/wiki/Complexe\\_nucléaire\\_de\\_Hanford](http://fr.wikipedia.org/wiki/Complexe_nucléaire_de_Hanford)).

abeilles exposées à la radioactivité montrent, pour les différents éléments radioactifs mesurés, des concentrations représentatives des concentrations environnementales, celles de l'eau, de l'air et de la végétation notamment ; les abeilles sont donc utilisables pour veiller la radioactivité, par exemple pour conforter la fiabilité d'études de monitoring réalisées par d'autres moyens (Simmons *et al.* 1990).

### **7.1.2. En suite de l'accident de Chernobyl**

Suite à l'accident de Chernobyl, un projet de monitoring de la contamination environnementale a été mené par des chercheurs des universités de Bologne et de Modène (Tonelli *et al.* 1990). Ils ont, à cette fin, prélevé et analysé des échantillons de pollen, de miel et d'abeilles provenant de ruchers de plusieurs régions d'Italie (Piémont, Lombardie, Vénétie, Frioul, Emilie-Romagne et Latium). Les échantillons de miel montrent nettement cette contamination, notamment par l'iode ; celle-ci, maximale après l'accident (en mai 1986, pour mémoire) retombe rapidement pour devenir nulle en juin de la même année. La contamination du miel varie toutefois en fonction de paramètres tels que l'époque de récolte et le temps écoulé entre deux récoltes, et l'origine botanique du miel dans la mesure où toutes les plantes ne retiennent pas les éléments radioactifs de la même façon ; pour ces raisons le miel n'est pas la matrice la plus adéquate. Son analyse n'en conduit pas moins à des observations intéressantes : par exemple, certaines valeurs rencontrées ( $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$ ) reflètent fidèlement celles observées pour la contamination de l'air, tandis que le rapport  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  est nettement plus élevé que celui de l'air ou de la végétation, ce qui montre l'existence d'un processus de concentration au niveau du nectar.

Les concentrations observées dans le pollen reflètent fidèlement celles observées dans l'air. Contrairement au miel, le pollen apparaît comme une excellente matrice pour ce type d'études, ce qui serait dû à la surface d'exposition large qu'offrent les grains, qui par ailleurs sont en contact constant avec l'environnement, que ce soit sur la fleur ou pendant le transport. Le pollen est en outre facile à récolter à la trappe, et la collecte peut être datée avec précision. Quant aux abeilles, les niveaux de  $^{137}\text{Cs}$  qui y ont été quantifiés reflètent fidèlement la contamination du sol. Selon cette étude toujours la cire pourrait aussi faire l'objet d'investigations. L'étude a pu mettre en évidence que sur un des sites, une autre contamination radioactive se superposait à celle de Chernobyl.

## **7.2. Détection des métaux**

L'abeille est utilisée depuis plusieurs décennies pour le monitoring des métaux. Des études ont été réalisées à ce propos depuis les années '80 et jusqu'aujourd'hui, notamment aux USA, au Mexique (Reyes Carillo et Gallardo 2008), en Iran (Sadeghi *et al.* 2012), en Espagne (Rodriguez García 2006), en Italie (Conti et Botrè 2001), au Royaume-Uni (Jones 1997), aux Pays-Bas (Van der Steen *et al.* 2012), en Pologne (e.a. Madras-Majewska et Jasinski 2003 et 2005 ; Roman 2010), en Tchécoslovaquie (Veleminsky *et al.* 1990), en Finlande (Fakhimzadeh et Lodenius 2000) et dans notre pays, à Bruxelles – cette dernière est exposée avec un peu plus de détails puisqu'elle concerne notre territoire. Certaines ne nous ont pas été accessibles parce qu'anciennes, non publiées sur le Net, ou non traduites en anglais ; leurs résultats majeurs sont synthétisés dans les études plus récentes.

Dans la plupart des études, l'abeille est utilisée pour le monitoring de contaminations environnementales. L'une envisage toutefois une autre possibilité, celle d'utiliser l'abeille et son miel comme outils de prospection minière. Cette étude anglaise (Jones 1997), qui s'est attachée à examiner cette possibilité pour une série de métaux (Ag, Cu, Cd, Pb) ne conclut toutefois pas à l'intérêt de l'abeille pour ce type d'investigation. Il apparaît en effet que le miel reflète mal les contaminations – il est en fait sous-contaminé, par rapport aux abeilles notamment. Quant aux abeilles, les variations de concentrations que l'on y trouve en fonction des différents sites ne reflètent pas les variations existantes au niveau des concentrations dans le sol ; elles ne conviennent donc guère à cette fin et sont, selon les auteurs, un meilleur indicateur des contaminations atmosphériques.

### **7.2.1. Le monitoring environnemental**

Les études de contamination environnementale existantes confirment ce fait. Ces études testent l'intérêt d'utiliser l'abeille et ses produits pour le monitoring des métaux – le plus souvent des métaux lourds, mais parfois aussi d'autres éléments métalliques (Van der Steen *et al.* 2012, Sadeghi *et al.* 2012). Le type d'environnement surveillé diffère suivant l'étude ; il peut s'agir d'environnements urbains (Conti et Botrè 2001, Roevros *et al.* 2004 ; Roman 2010) ou industriels (Höffel 1985 *in* Roman 2010 ; Reyes Carillo et Gallardo 2008), ou encore d'abords de routes à grand trafic (Leita *et al.* 1996, Pratt et Sikorski 1985 *in* Madras-Majewska et Jasinski 2003), auxquels le plus souvent s'ajoute un échantillonnage en milieu agricole ou forestier servant de témoin. Certaines études couvrent tout un territoire national (Madras-Majewska et Jasinski 2003 par exemple). Les matrices utilisées sont les abeilles (toujours), généralement prélevées au trou de vol et congelées ; Leita *et al.* 1996 ont utilisé les abeilles mortes rejetées par les ruches. A celles-ci s'ajoutent, selon l'étude, le miel et le pollen, ainsi que la cire et la propolis dans l'étude de Conti et Botrè (2001) ; une étude envisage aussi la contamination du couvain (Madras-Majewska et Jasinski 2003).

Quoique certains auteurs estiment que le miel convienne au monitoring environnemental, notamment des métaux (Rodriguez García *et al.* 2006), plusieurs études montrent que cette matrice est loin d'être la meilleure. En effet, ces métaux ne s'y accumulent pas et le miel apparaît moins contaminé que ne le sont les abeilles (Conti et Botrè 2001, Madras-Majewska 2003, Sadeghi *et al.* 2012...), ce qui laisse à penser que le processus dont il est issu comporte un certain effet de filtre (Fakhimzadeh et Lodenius 2000) ; en fait, les teneurs des éléments dans le miel et les abeilles ne sont même pas corrélés (Roman 2010). Le couvain d'abeilles apparaît lui aussi peu pollué dans l'étude de Madras-Majewska et Jasinski (2003) mais cette dernière ne concerne que le plomb. En revanche, l'abeille elle-même est une très bonne matrice ; les concentrations que l'on y trouve varient selon le site et reflètent celles qui lui sont propres – voir par exemple la corrélation entre la diminution de la pollution relevée dans les abeilles et l'éloignement par rapport aux zones industrielles dans l'étude mexicaine (Reyes Carillo et Gallardo 2008). Le pollen, la cire et la propolis conviennent également à ce type de monitoring (Conti et Botrè 2001). La concentration dans les abeilles varie avec la saison, certains éléments étant plus concentrés au printemps et d'autres à l'automne (Roman 2010). Les métaux se concentrent surtout à la surface de l'insecte, probablement à cause de l'aptitude des

poils de l'abeille à retenir les contaminants en particules (Leita *et al.* 1996, qui considèrent trois éléments : Pb, Cd, Zn). Les abeilles, on s'en souviendra, sont un support éphémère car les générations se succèdent dans la ruche, très rapidement en saison. Des matrices telles que la cire et la propolis, qui restent dans la ruche plusieurs années de suite, sont quant à elles capables d'accumuler les éléments qui s'y dissolvent au fil du temps ; la matrice la plus contaminée par le plomb dans l'étude de Madras-Majewka et Jasinski (2003) était la propolis.

Deux études soulignent la possibilité d'une contamination des échantillons par les parties métalliques des ruches (Van der Steen *et al.* 2012 et Conti et Botrè 2001). Dans la seconde les ruches ont été construites spécialement pour la réalisation de l'étude, en évitant l'usage de toute pièce métallique pouvant engendrer ce type de problème.

D'autres études du même type existent vraisemblablement sans avoir donné lieu à publication. Une au moins a fait l'objet récemment d'articles dans les journaux espagnols : à Tapa de Casariego (Asturies), des abeilles ont été utilisées pour garantir que le site que souhaite exploiter la compagnie Astur Gold pour rouvrir une mine d'or ne souffre pas de contamination par les métaux. Le projet a été mené en collaboration avec le FAPAS (Fondo para la Protección des los Animales Salvajes). Les promoteurs du projet insistent sur le fait qu'une telle méthode, outre qu'elle est fiable, est bon marché : son coût total a été d'environ 300€, pour l'analyse de 25 métaux (sources : *Abejas para detectar metal*, article d'El Pais, 22 août 2013 ; «*Abejas « detectives » en Salave*, la Nueva España, 26 août 2013). Ce projet fait également l'objet d'un petit film sur Youtube<sup>76</sup>).

### **7.2.2. Un cas particulier: le projet bruxellois**

En 2003-2004, l'Université libre de Bruxelles a conduit, en collaboration avec la Société royale d'apiculture de Bruxelles et ses environs (SRABE)<sup>77</sup> une « Etude préliminaire et de faisabilité sur la pertinence de l'utilisation de l'abeille comme bio-indicateur de la pollution à Bruxelles » (Roevens *et al.* 2004) ; cette étude, commanditée par l'IBGE (Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement), s'est centrée sur un seul élément, le plomb. Les résultats d'analyses sur les abeilles ont été comparés aux valeurs données par les capteurs du réseau de surveillance de la qualité de l'air de l'IBGE. Le miel et les abeilles étaient les matrices retenues. L'étude s'est étendue entre la mi-juin et la fin de juillet. Dans les abeilles, les teneurs en plomb diminuent fortement au cours de la seconde quinzaine de juin et la tendance est à la stabilisation à un niveau bas en juillet, la teneur de plomb remontant toutefois dans certains lots d'abeilles pendant la seconde quinzaine de juillet. Dans le miel les résultats sont beaucoup plus disparates et les auteurs notent : *Il semble établi dans la littérature que les abeilles disposent de mécanismes efficaces de décontamination qui leur permettent d'empêcher dans une large mesure la contamination du miel qu'elles produisent. Ces mécanismes ont pour effet de découpler jusqu'à un certain point les teneurs en plomb mesurées dans (ou sur) les abeilles et dans le miel.* On retrouve ainsi le constat évoqué ci-dessus. L'étude

---

<sup>76</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=uj-FHwtKwyc>

<sup>77</sup> La SRABE a un site web : <http://www.api-bxl.be/>.

bruxelloise n'est pas suffisamment large pour fournir des conclusions définitives. Elle a été réalisée à une époque où l'essence au plomb n'était plus utilisée, mais les teneurs dans les abeilles semblent suivre l'intensité du trafic routier. Les auteurs notent : *s'il se confirme que la pollution atmosphérique résiduelle par le plomb est toujours due à l'essence, l'abeille peut être considérée comme un bio-indicateur de l'exposition au plomb extrêmement sensible.*

### **7.3. Détection des pesticides**

La contamination des matrices apicoles, miel compris, par les substances phytosanitaires est une réalité préoccupante, pour la santé de l'abeille, mais aussi même pour la santé humaine (Al Waili *et al.* 2012). L'arrivée sur le marché de substances phytosanitaires utilisées en traitement de semences et de sol a suscité de nombreuses recherches relatives à la contamination de ces matrices<sup>78</sup> ; mais des études révèlent également la présence de substances moins attendues, car réputées non systémiques ou ne se prêtant pas à une exposition de l'abeille, comme nous le verrons ci-dessous.

Nous avons évoqué précédemment quelques études (voir point 5.5.2.3.), qui consistent en analyses d'ensemble, multirésidus, de matrices apicoles et en montrent la large contamination par ces substances, quelque soit leur nature (herbicide, fongicide, insecticide) (Chauzat *et al.* 2010, Mullin *et al.* 2010, Wu *et al.* 2012). Dans un article de revue, Karazafiris *et al.* (2011) font le point de manière très complète sur le problème de la contamination des miels, en ce compris par les pratiques apicoles (médication varroose, usage d'antibiotiques).

Plus spécifiquement dans le sens qui nous intéresse ici, plusieurs études ont été réalisées, qui relient ce type de mesures à l'état de l'environnement agricole, notamment en Italie et en Grèce.

L'étude grecque (Balayannis et Balayannis 2008) est partie de la collecte d'échantillons prélevés de manière aléatoire dans les ruchers existants de 6 régions du pays, allant du Sud pour la culture des agrumes, au centre pour le coton, et au nord pour le tournesol. Les recherches ont été focalisées sur les molécules insecticides utilisées dans ces cultures. Le coumaphos a été inclus dans la recherche car il est utilisé par les apiculteurs dans le traitement de la varroose. L'unique matrice analysée est le miel (50 échantillons). Sur la dizaine de molécules recherchées, trois seulement ont été détectées dans le miel : le chlorfenvinphos, le chlorpyrifos et le phorate. La présence du chlorfenvinphos étonne car ce pesticide n'est pas autorisé sur les agrumes, or il est fréquemment retrouvé y compris dans les échantillons d'Argolide ; l'étude conclut à un mésusage agricole.

En Italie, les études sont bien plus larges ; elles ont commencé dans les années '80 et se sont étendues jusqu'à constituer des projets de sentinelle plus généraux dont il sera question ci-dessous. Ghini *et al.* (2004) ont recherché 32 organophosphorés et

---

<sup>78</sup> Voir notamment le chapitre relatif au fipronil, point 4, et à l'imidaclopride, point 3 du rapport « Biocides et abeilles » précédemment évoqué

(<http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@mixednews/documents/ie2form/19081892.pdf>).

5 carbamates dans les abeilles. Celles-ci sont apparues largement contaminées, avec 58% des échantillons positifs au malathion, 53% au fénitrothion et 48% au pirimiphos méthyl. Certaines de ces contaminations étaient associées à des troubles des abeilles ; c'est le cas notamment pour le malathion (mortalité d'abeilles double de la normale après traitement des champs voisins). Le pirimiphos-éthyl contaminait 35% des abeilles : un résultat surprenant dans la mesure où l'abeille n'est en principe pas exposée à ce pesticide utilisé contre les insectes du sol.

Ces deux études ne fournissent que deux exemples, on pourrait vraisemblablement en trouver d'autres. Ils suffisent à comprendre que ce type de recherche est porteur de nombreuses informations, et de quelques surprises car l'on y retrouve des substances inattendues, soit parce qu'il y a eu mésusage (agricole, ou apicole), soit parce que les modèles relatifs au devenir environnemental des substances ne rendent pas pleinement compte de la réalité. Ce que Ghini *et al.* (2004) découvrent pour le pirimiphos-éthyl s'applique aussi au fipronil par exemple : cette molécule n'est appliquée qu'à l'abri de la lumière (en biocide comme agent de lutte contre les termites, fourmis et cafards, ou en produit phytosanitaire, en traitement du sol ou des semences). En conséquence son photométabolite n'est pas attendu. Il n'en est pas moins présent dans certaines études réalisées dans le cadre du DAR, mais en faible quantité de sorte qu'il n'est pas inclus dans la définition des résidus (EFSA 2006 : Final addendum to the Draft Assessment Report, active substance fipronil, p. 244). Ce métabolite, le désulfynil fipronil, est pourtant bien présent dans l'environnement, notamment dans le pollen (Chauzat *et al.* 2006) et les organismes marins (IFREMER 2007). De même d'autres monitorings « pesticides » réalisés en Italie ont-ils réservé des surprises telle la découverte de molécules interdites depuis longtemps, lindane, endosulfan ou parathion (Porrini 1993 *in* Celli et Mccagniani 2003).

#### **7.4. Projets généraux d'abeille sentinelle**

Le terme d' « abeille sentinelle » prête parfois à confusion.

Un gros projet intitulé « L'abeille sentinelle de l'environnement » est en fait un projet de sensibilisation du public à ce rôle de l'abeille mellifère (site Internet : <http://www.abeillesentinelle.net/>). Lancé par l'Union nationale de l'apiculture française (qui est à l'origine du slogan), ce projet vise les pouvoirs publics et les entreprises privées, les incitant à installer un rucher sur leur propriété et à adhérer à une charte par laquelle le partenaire s'engage, entre autres, à soutenir les actions du syndicat. « L'abeille sentinelle » organise également les APIdays, journées nationales de l'abeille ; ces journées, qui se déroulent en juin, proposent aux familles de nombreuses animations en relation avec l'abeille et la ruche.

En Australie, le « National Sentinel Hive Program » veille la santé de l'abeille, et principalement les parasites exotiques qui la déciment : *Varroa* spp., *Tropilaelaps* spp., frelon asiatique et acariose.

Ce n'est évidemment pas ce type de projets qui nous intéresse ici et nous nous centrerons sur les projets de grande envergure qui ont monitoré l'abeille, tant sur le

plan de sa santé que sur celui des contaminations environnementales dont elle était témoin ; et à travers l'abeille, l'environnement où elle évolue.

#### **7.4.1. Les projets italiens**

De nombreux scientifiques italiens sont investis, depuis des décennies déjà, dans des projets de monitoring centrés sur l'abeille ; une situation exceptionnelle que l'on doit, notamment, au rayonnement du prof. Giorgio Celli de l'Université de Bologne<sup>79</sup>, ainsi qu'à plusieurs personnalités de son équipe.

Ces projets ont été initiés dès les années '70, avec notamment le projet relatif aux organochlorés dont il a été question ci-avant (voir point 5.5.1.1.). De 1983 à 1986, un vaste réseau impliquant plusieurs centaines de ruches a été déployé dans le nord de l'Italie. Le fonctionnement en était simple : deux ruches étaient choisies par station ; toutes deux étaient équipées de trappes à mortes, et dès que la mortalité dépassait un seuil fixé, des échantillons étaient analysés. Ce système a permis l'identification des substances qui étaient à l'origine des mortalités dans 76% des cas ; il s'agissait toujours de produits phytosanitaires, dont des insecticides – diméthoate, parathion...- mais aussi des fongicides, notamment les dithiocarbamates<sup>80</sup>, substances dont sont établis, en santé humaine, les effets neuraux, immunodépresseurs et cancérigènes (Rath *et al.* 2011). Un monitoring extensif a été mené dans la province de Ferrare en 1987 et 1988 (Celli et Maccagniani 2003).

En 1986, suite à l'accident de Chernobyl, le monitoring a inclus la mesure de la radioactivité comme détaillé ci-dessus au point 7.1. (un prélèvement par semaine). Plus tard les métaux lourds ont été à leur tour intégrés dans le projet. Si les analyses de pesticides n'avaient lieu qu'en cas de mortalité suspecte, les analyses de métaux lourds étaient systématiques (prélèvements de butineuses et de miel tous les 15 jours) de même que celles de la radioactivité (prélèvements hebdomadaires) (Porrini *et al.* 2003).

Le projet ApeNet (ApeNet 2009 ; ApeNet 2011) est le fruit d'un décret de 2008, qui lui assigne pour mission d'éclaircir les causes des surmortalités d'abeilles en Italie. Il a donc un objet distinct de celui des travaux précédents mais n'en constitue pas moins une suite à ceux-ci sur le plan scientifique. Il a été mis en place en 2009. Ce projet se fonde sur un réseau de stations devant en principe couvrir toutes les régions d'Italie. En 2011, il comptait 930 colonies, réparties en 19 modules de 4 ou 5 ruchers (10 colonies par rucher). Quatre examens de routine ont lieu tous les ans ; ils consistent en une visite des colonies visant à établir leur état de santé, de nutrition, de développement (nombre d'abeilles et quantité de couvain), de mérage (présence, absence d'une reine/de cellules royales) ; sont considérés aussi la météo au moment de la visite, les alentours (types de végétation, de cultures) et l'état de

---

<sup>79</sup> Le rayonnement intellectuel de G. Celli (1935-2011) ne se bornait pas à l'entomologie et à l'éthologie; Celli était aussi un homme de littérature et de cinéma. Voir l'article qui lui est consacré dans la version italienne de Wikipedia : [http://it.wikipedia.org/wiki/Giorgio\\_Celli](http://it.wikipedia.org/wiki/Giorgio_Celli) ou encore l'*in-memoriam* que lui a dédié Stefano Maini : <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-279-287memcelli-maini.pdf>.

<sup>80</sup> Appartiennent à cette famille le zinèbe, le manèbe, le mancozèbe...

cet environnement. Les analyses d'échantillons portent sur les résidus de pesticides (toutes les matrices), l'identification des pollens et des éventuels agents pathogènes (abeilles : *Nosema* spp. et virus ; couvain : loque américaine). A côté de ces analyses courantes, un système d'alerte a été mis en place : une équipe d'intervention se rend sur place dès qu'un problème est signalé par un apiculteur. Cette équipe est intervenue deux fois en 2009 pour des incidents dus à des semis de maïs enrobés par néonicotinoïdes. Dans la suite elle n'a plus enregistré d'incidents de ce genre mais est intervenue à de nombreuses reprises hors zone à maïs (7 incidents en 2009, 21 en 2010 et 16 en 2011).

Ce monitoring a obtenu des résultats intéressants – notamment il a mis en évidence la présence enzootique de *Nosema ceranae* en Italie, a établi une distribution géographique des virus, a fondé une statistique des mortalités hivernales, et de manière générale a permis de construire une meilleure connaissance du secteur apicole italien.

En outre, le projet ApeNet a procédé à des investigations détaillées des effets des poussières provenant du semis de graines enrobées d'insecticides (on se souviendra à ce propos que l'Italie a été le théâtre d'incidents importants suite aux semis de maïs en 2008 dans la plaine Padane). Ces investigations incluent des essais de semis avec des enrobages de semences de différentes qualités et des semoirs équipés ou non de déflecteurs : des boîtes de Petri recueillant les poussières sont disposées le long du champ d'essai et leur contenu en substances actives déposées est quantifié. Des essais de toxicité sur les abeilles ont également été réalisés, en disposant le long du champ d'essai des cages contenant des abeilles vivantes, ou encore en entraînant les abeilles à fréquenter un nourrisseur situé, par rapport à la ruche, de l'autre côté du champ d'essai. Les auteurs en concluent que la réduction de l'émission des poussières obtenue par ces moyens ne suffit pas à éviter les effets inacceptables sur les abeilles.

Des recherches particulières ont également été menées sur la contamination des gouttes d'exsudation. Des tests de toxicité ont été réalisés en laboratoire ou au champ, portant sur les effets létaux et sublétaux des molécules utilisées en traitement de semences, notamment sur les facultés mémorielles et d'orientation, et sur le couvain d'abeilles.

Enfin, les auteurs ont procédé à l'estimation de l'importance agronomique de l'usage des molécules utilisées en traitement de semences.

Au projet ApeNet a succédé, depuis 2011, le projet BeeNet. Celui-ci a repris le réseau d'ApeNet, l'a agrandi et réorganisé. Il compte actuellement un millier de colonies. BeeNet poursuit la mise en œuvre du protocole de surveillance ordinaire d'ApeNet. Les premiers résultats de BeeNet sont disponibles en ligne (<http://www.reterurale.it/api>). Les conclusions générales (omniprésence de *Varroa* et du virus des ailes déformées ; remplacement quasi intégral de *N. apis* par *N. ceranae* sur le territoire italien) confirment ceux obtenus par ApeNet.

### **7.4.2. Le projet Oniris – CVFSE « abeille sentinelle de la santé des écosystèmes »**

Ce projet a été mené par le Centre Vétérinaire de la Faune Sauvage et des Ecosystèmes des Pays de la Loire (CVFSE) de l'Ecole Nationale Vétérinaire Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique (Oniris). Il est présenté de façon détaillée dans la thèse de doctorat d'Olivier Lambert qui en a été l'une des chevilles ouvrières (Lambert 2012). Il a été présenté par Monique L'Hostis lors du colloque du 6 juin 2013 à Bruxelles.

Ce projet est fondé sur l'échantillonnage et l'analyse de matrices prélevées dans 18 ruchers sur un transect paysager en pays de Loire ; son but était d'évaluer, au travers de trois matrices (abeille, miel, pollen), la présence dans l'environnement d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de plomb, de pesticides et de médicaments vétérinaires. Quatre types paysagers étaient représentés : urbain, bocager, agricole et insulaire.

Le projet, qui s'est étendu sur deux ans, visait à monitorer l'abeille, mais aussi l'environnement dans lequel elle évolue. Il comportait donc :

- une analyse détaillée de l'environnement de chaque rucher pour le classer dans un des écotypes, et en connaître les composantes ; cette analyse a été complétée par une enquête sur les pratiques phytosanitaires et vétérinaires ;
- l'analyse palynologique des pollens et miels récoltés afin d'identifier les sources alimentaires autant que faire se peut ;
- des analyses de résidus dans les abeilles et les autres matrices apicoles ;
- un suivi sanitaire des colonies et des analyses pathologiques pour évaluer la contamination des colonies par les agents infectieux recherchés ; et un suivi épidémiologique des ruchers.

L'aire de butinage (couverture du sol et linéaires de haies) a été caractérisée sur base des données provenant de CORINE Land Cover<sup>81</sup> et du registre parcellaire graphique PAC<sup>82</sup>.

Les prélèvements ont eu lieu quatre fois par an :

- au démarrage de la saison (premiers pics d'activité des abeilles)
- lors des floraisons de printemps
- lors des floraisons d'été
- en fin de saison lors des dernières floraisons (lierre notamment).

Toutes les analyses ont été faites dans les trois matrices abeille, pollen et miel.

Pour ce qui est des HAP : les trois matrices sont contaminées mais seules les abeilles et le pollen présentent des pics de contamination. Le pollen est la matrice la plus contaminée, et la contamination est liée au contexte environnemental du site.

---

<sup>81</sup> CORINE est une base de données européenne relative à la couverture du sol : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Corine\\_Land\\_Cover](http://fr.wikipedia.org/wiki/Corine_Land_Cover).

<sup>82</sup> Il s'agit en fait du registre parcellaire graphique réalisé sur base des déclarations contractuelles des agriculteurs pour l'obtention des aides octroyées dans le cadre de la Politique agricole commune.

L'utilisation du pollen et des abeilles permet de mettre en évidence les contaminations de fond ainsi que les pics. **Pollen et abeilles sont donc des matrices-sentinelles pour les HAP.**

Pour ce qui est du plomb : le miel est la matrice la moins contaminée (ce qui est concordant avec la littérature vue précédemment) ; le pollen est la matrice la plus contaminée et les abeilles sont la matrice la plus sensible. L'utilisation du pollen et des abeilles permet de mettre en évidence les contaminations de fond ainsi que les pics. **Pollen et abeilles sont donc des matrices sentinelles pour le plomb.**

Les pesticides et substances vétérinaires (celles utilisées dans la lutte contre la varroose) ont été analysés en multirésidus, avec une LOQ < 10 ng/g. La technique analytique a fait l'objet d'une publication (Wiest *et al.* 2011), de même que les résultats (Lambert *et al.* 2013). Le miel est la matrice la plus souvent contaminée mais aux moindres doses ; le pollen est moins souvent contaminé mais à doses plus élevées – mais les limites de détection sont plus importantes dans cette matrice que dans les abeilles et le miel. *La matrice abeille reflète directement les pratiques d'utilisation des pesticides et des médicaments vétérinaires et donne une image ponctuelle de la contamination de l'environnement alors que la matrice miel montre un effet mémoire de cette contamination et reflète plus les différences liées aux paysages.* (Lambert 2012 p. 2018).

Au total, en regard du fait que le miel est la matrice la moins contaminée pour des raisons évoquées précédemment (voir point 7.2.), les matrices les plus appropriées à la veille environnementale sont les abeilles et le pollen ; toutefois les limites de détection et de quantification dans le miel sont inférieures à ce qu'elles sont dans les autres matrices. Les auteurs conseillent aussi de « pooler » les échantillons par rucher pour contourner le problème de la variabilité entre colonies, liée au fait que chaque colonie a ses stratégies propres de butinage, ce qui génère des différences entre elles dans l'exposition aux pesticides.

Le nombre d'enquêtes réalisées (1242) est important. Ces enquêtes montrent le nombre important de traitements réalisés et de molécules différentes utilisées (223 en paysage agricole).

Sur le plan sanitaire, les ruchers ont été visités quatre fois par an et notés sur base de critères portant sur l'état de la ruche vue avant ouverture et pendant ouverture (902 notations sur le cours du projet). Douze agents infectieux ont été veillés (2 bactéries, 2 microsporidies et 8 virus). Ce suivi a montré

- l'importance des pratiques apicoles, en particulier le renouvellement régulier des reines et la lutte contre la varroose ;
- que les souches d'agents infectieux sont variables selon les colonies ce qui implique qu'il faut être vigilant lors des échanges de matériels biologiques ;
- que par ailleurs le portage asymptomatique est important (en moyenne 9 agents par rucher, 5 par colonie) ; que les seuils de pathogénicité ne sont pas connus.

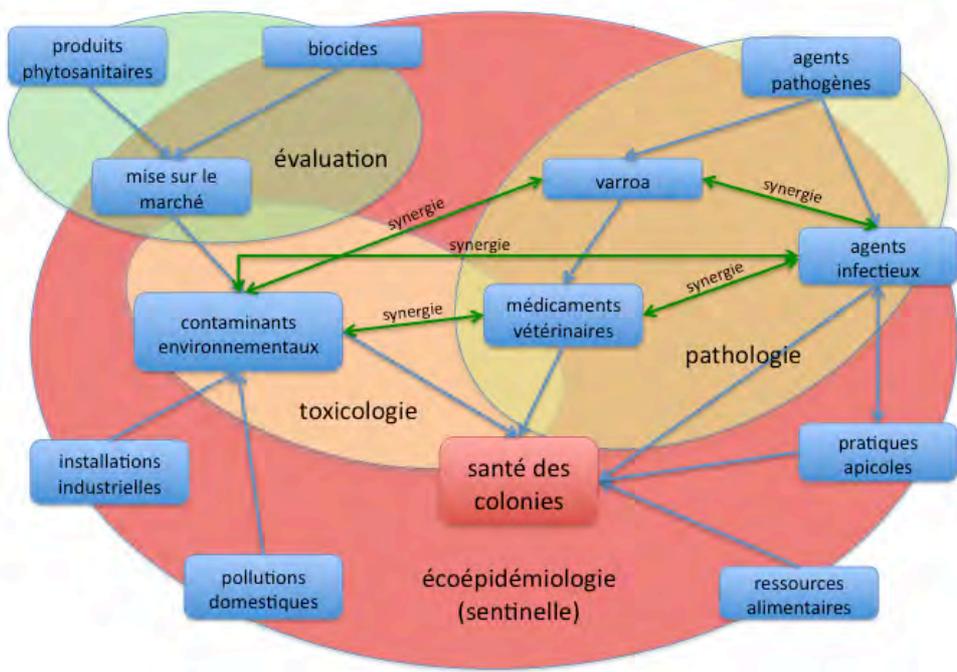
## **7.5. En conclusion...**

Les projets déjà réalisés montrent qu'un projet d'abeille sentinelle, visant à utiliser les colonies et les matrices apicoles pour effectuer une veille de l'abeille elle-même et de l'environnement où elle butine, est effectivement réalisable et fournit des données de grand intérêt dans la conduite des politiques environnementales.

Ce type de projet

- fournit une image de la situation de terrain,
- permet de déceler les contaminants auxquels une population (humaine, d'abeilles) est effectivement exposée, en ce compris les effets cocktails de ces contaminants dont les risques toxiques sont évalués individuellement alors qu'ils sont multiples sur le terrain,
- permet de relier, au niveau de cette contamination, un niveau de santé des colonies d'abeilles, celui-ci fournissant une alarme précoce par rapport à la santé humaine.

On se souviendra que le lien entre un problème sanitaire et un contaminant est très difficile à établir par des essais de type classique, tels qu'utilisés lors de l'évaluation des molécules (y compris les essais en champ), dès lors que la toxicité s'exerce de façon chronique et à un niveau subléthal. Seule une étude éco-épidémiologique (ce qu'est un projet de sentinelle) peut faire la clarté sur un tel lien. La réalisation d'une étude de type sentinelle constitue donc un complément nécessaire aux pratiques d'évaluation des molécules chimiques, qu'il s'agisse de substances biocides, phytosanitaires ou industrielles.



## **Chapitre 8 : Un projet d'abeille sentinelle/ d'abeille indicateur en Belgique ?**

### ***8.1. Indicateur ou sentinelle ?***

Nous avons vu précédemment que les abeilles sauvages sont aptes à fournir un indicateur écosystémique, tandis que l'abeille domestique est une excellente espèce sentinelle. Les deux types de projets se justifient pleinement sur le territoire belge.

1. La biodiversité est en danger sur notre territoire : une majorité des espèces qui y ont été répertoriées soit ont disparu, soit sont menacées<sup>83</sup>. Les coûts économiques et sociaux de l'inaction devant une telle situation sont élevés<sup>84</sup>. Des politiques de redressement s'imposent donc et des réalisations sont en cours. L'évaluation de ces politiques passe par des actions de monitoring ; les abeilles sauvages offrent une bonne opportunité à cet égard. Toutefois, en vertu de la répartition des compétences entre l'Etat fédéral et les Régions, les politiques concernées sont de la compétence de ces dernières – ce sont elles notamment qui organisent et pilotent Natura 2000, entre autres actions. La mise sur pied et le suivi d'un indicateur écosystémique « abeilles » relève donc à notre sens des Régions plus que du fédéral ; en tout état de cause, le projet devrait être conduit en lien étroit avec la participation belge au programme européen STEP<sup>85</sup> (voir l'intervention de Denis Michez et Nicolas Vereecken lors du colloque du 6 juin 2013).

2. Il en va tout autrement d'un projet d'abeille « sentinelle », qui entre pleinement dans les compétences du fédéral en ce qu'il lie l'environnement et la santé publique. Le présent rapport s'adressant à l'autorité fédérale, c'est ce volet que nous développerons ci-dessous.

### ***8.2. Intérêt d'un projet d'abeille-sentinelle en Belgique***

#### **8.2.1. L'abeille, projets existants.**

La situation de l'abeille domestique inquiète au niveau national comme international. Elle a suscité une série de projets, certains de grande ampleur par les montants financiers engagés. Il nous faut les passer brièvement en revue car ils constituent bien évidemment un contexte qu'un projet de type sentinelle ne peut ignorer. Nous ne reprendrons ici que les informations qui nous semblent pertinentes en regard de cet objectif ; pour le surplus le lecteur voudra bien consulter le plan fédéral « La santé des abeilles, notre santé aussi » (SPF SPSCAE 2012), qui en donne un inventaire complet.

---

<sup>83</sup> Source : <http://www.biodiv.be/biodiversity/statustrends>

<sup>84</sup> Voir par exemple [http://www.biodiv.be/biodiversity/about\\_biodiv/importance-biodiv](http://www.biodiv.be/biodiversity/about_biodiv/importance-biodiv).

<sup>85</sup> STEP est l'acronyme de Status and Trends of European Pollinators. STEP a un site : <http://www.step-project.net/?P=20>.

### 8.2.1.1. Au niveau européen

1. Le projet CoLoss (Prevention of Honey bee Colony Losses), financé par un programme COST<sup>86</sup>, a réalisé notamment un questionnaire standardisé pour établir un relevé des pertes qui soit cohérent entre pays, ainsi qu'un *Bee-Book* recensant les méthodes standardisées utilisables dans la recherche scientifique relative à l'abeille. Jusqu'à présent, CoLoss s'est fortement focalisé sur la piste des maladies ; toutefois, certaines des méthodes standardisées sont destinées à la toxicologie de l'abeille (par exemple un protocole de test sur couvain). Le budget total de l'action, qui s'est étendue sur 4 ans (2009 – 2012) est de 525 000 €. Le rapport final est disponible sur le Net : [http://w3.cost.eu/fileadmin/domain\\_files/FA/Action\\_FA0803/final\\_report/final\\_report-FA0803.pdf](http://w3.cost.eu/fileadmin/domain_files/FA/Action_FA0803/final_report/final_report-FA0803.pdf).

2. L'EFSA s'est également intéressée à la santé des abeilles, et cela sous deux angles<sup>87</sup>.

a. En août 2008, l'EFSA a remis un rapport intitulé « Bee mortality and bee surveillance in Europe »<sup>88</sup>. Ce rapport, réalisé à la demande de l'AFSSA française, collationne les monitorings « abeille » de différents types réalisés en Europe et se termine par une triple recommandation : (1) réaliser un protocole commun pour les monitorings nationaux afin de pouvoir combiner les données provenant des Etats membres pour réaliser un suivi épidémiologique de niveau européen, (2) collationner les données historiques relatives aux mortalités et affaiblissements et (3) effectuer la revue de ces données ainsi que de la littérature scientifique existante afin d'approcher les causes possibles des surmortalités.

b. D'autre part, les pesticides agricoles (certains d'entre eux, ou le cocktail qu'ils forment ensemble) sont fortement soupçonnés de jouer un rôle dans les surmortalités qui frappent l'abeille domestique. Dans ce contexte, l'EFSA a été chargée par la Commission européenne (courrier du 18 mai 2011) d'émettre un avis scientifique sur les méthodes actuelles d'évaluation et leurs limites, et d'élaborer un document de guidance en matière d'évaluation des risques des pesticides pour les abeilles. L'EFSA s'est également vu confier la réévaluation de quatre substances actives utilisées en traitement de semences et de sol (trois néonicotinoïdes et le fipronil). Elle a publié ces travaux entre le 25 mai 2012 et le 27 mai 2013 (EFSA 2012, EFSA 2013). Il en ressort que l'évaluation, telle qu'elle a été réalisée avant la mise sur le marché des substances citées, ne prend pas en compte l'ensemble des effets toxiques qu'elles sont susceptibles d'entraîner ; en particulier, les risques liés à l'exposition chronique des abeilles, qu'ils soient létaux ou sublétaux, sont insuffisamment couverts (EFSA 2012). Ce constat fait l'objet d'un consensus au sein de la communauté scientifique. En conséquence, les quatre substances actives qui ont été réévaluées ont fait l'objet d'avis qui soulignent que certains de leurs

---

<sup>86</sup> COST (European Cooperation in Science and Technology) est une structure intergouvernementale regroupant 36 Etats européens (voir le site de l'organisation : [http://www.cost.eu/about\\_cost](http://www.cost.eu/about_cost)).

<sup>87</sup> Voir la page consacrée par l'EFSA à la santé des abeilles : <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/beehealth.htm>.

<sup>88</sup> <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/154r.pdf>

risques toxiques n'ont pas été évalués. Voir les avis de l'EFSA sur le site de l'Autorité :

- néonicotinoïdes : <http://www.efsa.europa.eu/fr/press/news/130116.htm> ;
- fipronil : <http://www.efsa.europa.eu/fr/press/news/130527.htm>).

3. En réponse à la première conclusion du rapport EFSA relatif au monitoring des abeilles (avant-dernier paragraphe ci-dessus), le laboratoire de référence européen en matière de santé de l'abeille de Sophia-Antipolis a rédigé en juin 2011 des lignes-guides pour un projet pilote de surveillance des pertes de colonies d'abeilles<sup>89</sup>.

4. La Commission européenne, a remis en 2010 un volumineux rapport relatif à la santé de l'abeille<sup>90</sup> ; le Conseil a remis avis sur cette communication le 17 mai 2011<sup>91</sup> et le Parlement européen (Commission de l'agriculture et du développement rural) a pris une résolution sur le même sujet le 25 octobre 2011<sup>92</sup>. En outre, la Commission a débloqué des fonds en 2012 et 2013 pour financer des projets de monitoring dans plusieurs de ses Etats membres (Décisions d'exécution de la Commission des 4 juillet 2012 et 17 mai 2013). La Belgique fait partie des Etats membres destinataires de ces décisions. Enfin, se fondant sur les avis de l'EFSA, la Commission a suspendu les quatre molécules insecticides utilisées en traitement de semences ou de sol (règlements d'application 485/2013 du 24 mai 2013 et 781/2013 du 14 août 2013).

#### 8.2.1.2. Au niveau belge

1. En exécution de la décision de la Commission du 4 juillet 2012, l'AFSCA a lancé un Programme de surveillance pilote pour les maladies des abeilles 2012-2013<sup>93</sup>. Dans un courrier adressé aux fédérations apicoles, l'AFSCA précise comme suit les objectifs de ce monitoring : *nous souhaiterions obtenir plus d'informations sur le degré d'infection par le varroa et la présence de la loque, la nosérose et les maladies causées par des virus (ABPV, DWV et CBPV). Un screening sur la présence du petit coléoptère des ruches et l'acarien Tropilaelaps sera également effectué. Enfin, il sera examiné s'il existe une corrélation entre la mortalité d'hiver et la présence de ABPV et DWV.* Des prélèvements et examens cliniques sont prévus.

2. Dès avant cela, les universités de Liège (fac. de Gembloux) et Gand ont conclu avec le SPF SPSCAE des conventions de recherche relatives aux virus de l'abeille sur la période 2007-2010 (projet VIRBEE : Mise en place d'une méthode moléculaire de diagnostic des virus chez l'abeille domestique, *Apis mellifera* L. : détection et approche épidémiologique des maladies virales dans les ruchers en Belgique ; Promoteur : E. Haubruge ; co-promoteur : C. Saegerman) ainsi qu'au Varroa (projet MINBEE : projet : RT-06/07-MINBEE ; coordinateur : F. Jacobs,; copromoteur E.

---

<sup>89</sup> [http://ec.europa.eu/food/animal/liveanimals/bees/docs/annex\\_i\\_pilot\\_project\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/animal/liveanimals/bees/docs/annex_i_pilot_project_en.pdf)

<sup>90</sup> [http://ec.europa.eu/food/animal/liveanimals/bees/docs/honeybee\\_health\\_communication\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/food/animal/liveanimals/bees/docs/honeybee_health_communication_fr.pdf)

<sup>91</sup> [http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/fr/agricult/122024.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/fr/agricult/122024.pdf)

<sup>92</sup> <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A7-2011-0359&language=FR#title4>

<sup>93</sup> <http://www.afsca.be/apiculture/santeanimale/#programme>

Haubruge). Ces projets se sont clôturés en 2010. Sauf erreur les rapports n'en sont pas accessibles sur le Net. Virbee aurait permis d'établir la prévalence de 6 virus dans les colonies d'abeilles de Belgique (source : Abeilles et Cie, revue du CARI, n°136 p. 8) (mais les seuils de pathogénicité ne sont pas connus, NDLR). MinBee a mené des recherches sur l'utilité de l'acide formique dans la lutte contre Varroa, et conclut à l'absence d'intérêt de cette méthode.

3. Le CARI a conduit, en collaboration avec le CRA-Gembloux et la faculté de Gembloux un travail d'échantillonnage et de prélèvements dans les ruchers de Wallonie, avec pour but de réaliser une analyse de l'impact des virus et des pesticides sur la santé des colonies<sup>94</sup>. Il s'agit, sauf erreur, du premier projet incluant des analyses de contaminants dans un suivi de ruchers en Belgique. Ce projet est aujourd'hui terminé. Les résultats n'en sont pas encore publiés à ce jour.

4. Le SPF Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement a fait réaliser un rapport relatif à la toxicité de 4 molécules biocides pour les abeilles (imidaclopride, fipronil, deltaméthrine et cyperméthrine)<sup>95</sup>. Ce rapport, qui se fonde sur la littérature scientifique publiée et revue par les pairs, analyse sur cette base l'exposition de l'abeille à ces substances, ainsi que les risques létaux et sublétaux qu'elles comportent pour les abeilles, vu leurs caractéristiques toxiques par exposition aiguë et chronique.

### **8.2.2. L'abeille-sentinelle, intérêt en regard des travaux réalisés ou en cours**

On remarquera que de très nombreux travaux relatifs à la santé des colonies se sont bornés à l'examen des maladies d'origine infectieuse, qu'elles soient virales ou bactériennes, et ne prennent pas en compte les contaminants. Parallèlement, de nombreuses études concernent la toxicité potentielle, pour l'abeille, des contaminants de l'environnement, mais ces études ne comportent pas de volet épidémiologique. Seule l'étude CARI/CRA/FUSAGx rassemblait ces éléments mais cette étude, qui ne concernait que la partie sud du territoire, est à présent terminée.

Par ailleurs, les contaminants les plus susceptibles d'atteinte à la santé de l'abeille, à savoir les produits phytosanitaires et les biocides, subissent une évaluation de leurs risques toxiques – et notamment des risques pour les abeilles – dès avant leur mise sur le marché. Toutefois cette évaluation ne concerne qu'une substance, ou un produit à la fois. Nous avons vu en outre que cette évaluation ne prend pas en compte l'entière des risques pour les abeilles ; nous avons vu également qu'elle se fonde sur des présupposés qui ne sont pas toujours vérifiés dans la réalité des faits (cf. les exemples du pirimiphos-éthyl et du désulfynil fipronil, voir point 7.3.). Ces travaux sont menés en parallèle à ceux évoqués au paragraphe précédent, mais ne leur sont pas reliés.

---

<sup>94</sup> Voir Abeilles et Cie n° 142 p. 25 : [http://www.cari.be/medias/abcie\\_articles/142\\_plan\\_dp.pdf](http://www.cari.be/medias/abcie_articles/142_plan_dp.pdf).

<sup>95</sup> Rappel du lien :

<http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@mixednews/documents/ie2form/19081892.pdf>

On peut voir là l'effet de la répartition des compétences au sein des Etats comme de l'Europe : les services responsables de la santé de l'abeille s'intéressent à la pathologie de l'abeille ainsi qu'aux médicaments vétérinaires, mais non aux contaminants ; ceux-ci (biocides, pesticides agricoles, métaux lourds, HAP...) ressortissent en fait aux compétences d'autres services, compétents en matière d'évaluation de la toxicité et de l'écotoxicité des produits ou substances mais non en matière d'épidémiologie de l'abeille.

Il y a là un vide à combler, pour lequel un projet de sentinelle fondé sur l'abeille domestique paraît en tous points adéquat, puisque la nature même d'un tel projet est de joindre l'examen clinique des colonies, l'échantillonnage des matrices apicoles avec analyses chimiques et pathologiques, et l'épidémiologie descriptive et analytique, l'ensemble permettant de caractériser les problèmes – ce que les projets publiés à ce jour restent en défaut de faire – et de pister les liens éventuels entre, d'une part, maladies et contaminants, et d'autre part l'état sanitaire des ruchers. Un projet d'abeille sentinelle fait donc sens en regard des liens potentiels entre l'évaluation des contaminants chimiques et l'épidémiologie, entre la pathologie et la toxicologie, dans la mesure où il s'agit d'un projet d'éco-épidémiologie, partant de constats de terrain, et abordant la santé de l'abeille de façon intégrée et holistique.

Nous avons vu que la colonie d'abeilles est un système sensible aux contaminations environnementales, qui nous place face à une notion de « seuil tolérable » en matière d'atteinte aux écosystèmes dont elle est partie prenante (voir points 5.3.2. et 5.3.3. ci-dessus). Un projet d'abeille sentinelle permet de déceler de manière précoce les contaminations environnementales susceptibles d'impacter la santé d'autres espèces, qu'elles soient humaines, sauvages ou domestiques ; toutes ces contaminations ne sont en effet pas connues, et les projets existants ont, à plus d'une reprise, mis en évidence des substances dont la présence n'était pas attendue, notamment par mésusage de produits phytosanitaires ou biocides.

Un tel projet constitue enfin une manière d'appréhender les synergies possibles entre contaminants, et de faire le départ entre maladies primaires et secondaires, ce qui revêt une particulière importance en regard de l'opportunisme, fréquent en pathologie apicole comme on l'a vu.

### ***8.3. L'abeille-sentinelle : méthodes et paramètres de suivi***

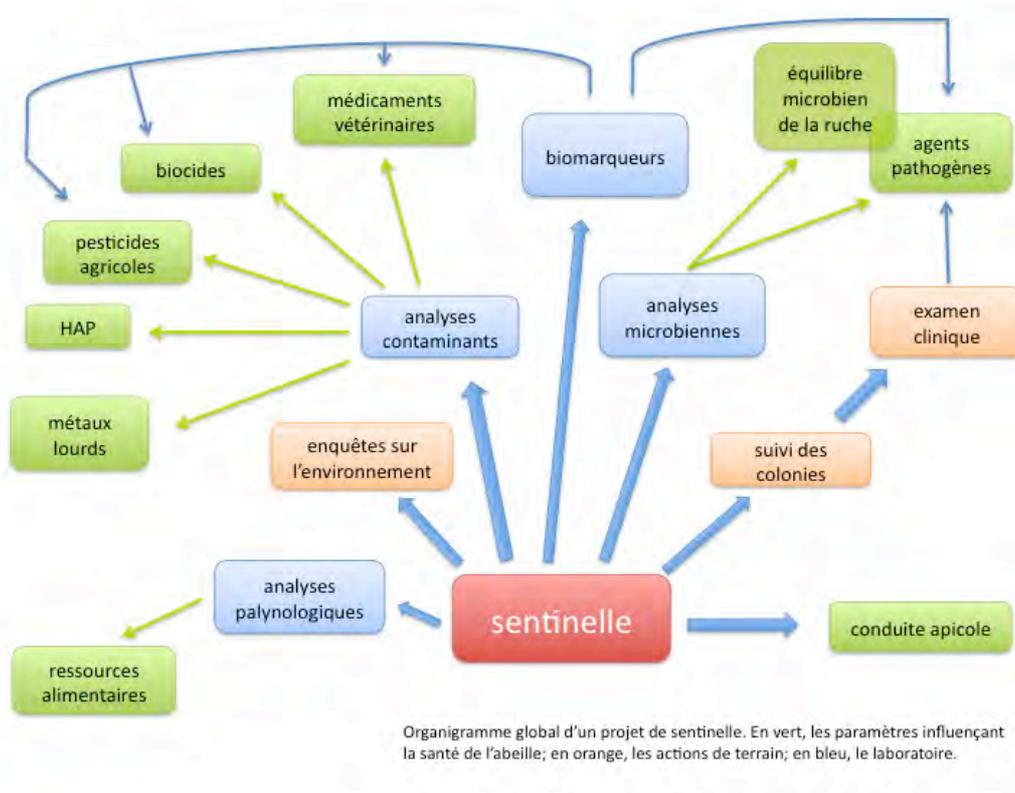
Un projet d'abeille – sentinelle est par définition multidisciplinaire ; il implique la collaboration de plusieurs équipes, apiculteurs et scientifiques (apiculteurs du réseau, spécialistes « abeilles », laboratoires d'analyses chimiques et pathologiques, épidémiologistes).

Un tel travail comporte plusieurs étapes :

1. La constitution d'un réseau de ruchers. Quels sites monitorer ? Combien de ruchers, combien de ruches par rucher ?
2. Le paramétrage du suivi des colonies :

1. Définition du calendrier des visites et d'un canevas d'observation
2. Définition d'un canevas de notes pour l'apiculteur, relatives à la conduite des colonies (en particulier : suivi du niveau d'infestation par la varroose – médicaments utilisés, dates d'application)
3. Définition d'un système d'alerte pour les évènements éventuels survenant hors visites
3. Paramétrage de l'échantillonnage : quelles matrices, quel calendrier ?  
Définition d'un protocole d'échantillonnage
4. Le paramétrage du suivi de l'environnement du rucher
  1. Qualification de l'environnement (types)
  2. Données relatives aux contaminants (utilisation de biocides – pesticides agricoles dans l'environnement, émissions industrielles) ; enquêtes
5. Le choix des analyses :
  1. Les analyses pathologiques : quels agents pathogènes/non pathogènes ? Quels biomarqueurs ? Quelles méthodes, qualitatives ou quantitatives) ?
  2. Les analyses chimiques : quelles substances ? Quelles limites de détection/quantification ? Mono- ou multirésidus ?
  3. Les analyses palynologiques.
6. Le traitement des données ; ce traitement impliquera l'usage de méthodes statistiques, notamment pour établir l'existence ou l'absence de corrélations entre les paramètres, et l'usage d'une cartographie.
7. Enfin, le projet, pour être novateur, devrait s'appuyer sur les développements scientifiques récents les plus pertinents, et au besoin s'accompagner de recherches permettant de pousser plus loin ces développements. Nous avons croisé plusieurs possibilités à cet égard au fil du texte ; nous en donnerons une synthèse en fin de ce chapitre.

Toutes ces étapes supposent une forme de communication : échange d'informations et d'expériences avec le secteur apicole, transmis d'informations vers le grand public, travail pédagogique.



### 8.3.1. La constitution d'un réseau de ruchers

L'emplacement des ruchers sous étude sera choisi en fonction des contaminants dont le donneur d'ordre entend faire le suivi : milieux urbains, suburbains, agricoles, industriels, bords de routes importantes...

Autant que faire se peut, des ruchers existants seront utilisés, au besoin d'autres seront installés. Il importe de s'assurer pour cela de la collaboration d'apiculteurs, sachant que ceux-ci devront prendre un certain nombre d'engagements pour assurer la fiabilité des données recueillies. Il importe aussi de s'assurer que les apiculteurs collaborant au projet disposent d'un minimum d'expérience apicole leur permettant de déceler et d'identifier des problèmes de type courant. Ils seront aussi entraînés à échantillonner (importance du moment : les abeilles mortes par exemple se prélèvent avant le lever du soleil pour éviter la photolyse des substances toxiques éventuellement présentes ; importance de l'aseptie pour les prélèvements destinés à l'analyse pathologique...); un système de marquage des échantillons sera prévu, pour leur parfaite traçabilité.

Toutes les ruches seront sur fond sanitaire (fond grillagé avec plateau coulissant), quel qu'en soit le modèle. Toutes seront à cadres mobiles<sup>96</sup>.

<sup>96</sup> Cette précision s'impose parce qu'aujourd'hui certains apiculteurs travaillent avec des ruches à barrettes (souvent de type Warré).

### 8.3.2. Le suivi des colonies

Si la conduite apicole est pratiquée par l'apiculteur, les visites programmées dans le projet de sentinelle seront prises en charge par la ou les personnes nommées ci-dessus « spécialistes de l'abeille », qui sont les responsables du projet. Ces personnes, si elles sont plusieurs, feront les premières visites ensemble, et referont, une fois l'an, une ou deux visites ensemble pour assurer la cohérence des observations. Ces visites sont de première importance : elles sont la seule source de données concernant la colonie considérée comme un ensemble, et nous avons vu l'importance que revêt chez l'abeille le niveau du superorganisme, du point de vue sanitaire.

Calendrier des visites : Le nombre de visites dans ce type de projet est généralement de quatre par an. C'est un minimum : idéalement il faudrait procéder aux visites :

- en début de saison (vers la mi-avril),
- en pleine miellée de printemps,
- en pleine miellée d'été,
- lorsque la ruche est en pré-hivernage (seconde quinzaine d'août),
- après nourrissage hivernal.

Un canevas d'observation précis est prévu ; il inclut l'observation devant la colonie et l'observation de la colonie ouverte, avec recensement des réserves et examen approfondi des abeilles et du couvain. Il inclut des observations relatives au comportement de l'abeille.

Tout problème fait l'objet d'un examen clinique approfondi et d'une description des symptômes suffisamment complète (aspect des abeilles, comportement) pour que les similitudes ou dissemblances entre cas puissent être établies. Des colonies mortes, notamment, il importe de savoir si la colonie entière est morte dans la ruche ou si le peuple est manquant en tout ou en partie ; si les réserves (pollen, miel) sont présentes ; en cas de mort hivernale, si la grappe était proche de ses réserves, etc. Les ruches à problèmes seront photographiées.

Canevas de notes de l'apiculteur : Parallèlement à ces visites, l'apiculteur lui-même visitera conformément à sa pratique. Il notera l'importance des chutes de varroa, avant traitement (de l'ordre de l'unité, de la dizaine... par semaine) et après traitement (de l'ordre de la centaine, du millier... sur l'ensemble du traitement). La présence d'abeilles à ailes déformées, à abdomen raccourci... sera toujours notée, avec estimation quantitative. En cours d'hivernage l'apiculteur surveillera ses colonies par examen externe, au minimum tous les quinze jours (idéalement toutes les semaines), s'assurera qu'elles sont toujours en vie, inspectera les plateaux de fond et alertera les responsables de l'étude en cas de problème. En tout temps il alertera le spécialiste de l'abeille qui le visite s'il observe un phénomène qui lui semble d'intérêt.

### 8.3.3. Echantillonnage

Les matrices à échantillonner sont choisies en fonction

- des substances que l'on souhaite monitorer. Les abeilles et le pollen (trappe) apparaissent comme d'excellentes matrices pour toutes les formes de monitoring, substances actives biocides et phytosanitaires, métaux, HAP et radioactivité ; le miel, substance dont il se confirme qu'elle apparaît « filtrée » par rapport aux contaminants auxquels la ruche est exposée, peut néanmoins servir utilement dans les analyses de substances actives vétérinaires et phytosanitaires, notamment parce qu'il est une substance aqueuse, qui dissout donc les substances hydrophiles que d'autres matrices dissolvent moins bien, et parce que les méthodes d'analyse qui le concernent autorisent des seuils de détection et de quantification plus bas que pour les autres matrices. Cire et propolis conviennent aux substances lipophiles.
- de la temporalité de l'image que l'on souhaite obtenir. Les abeilles ou le pollen donnent davantage une image instantanée de l'état de l'environnement, le miel, et surtout la cire et la propolis, offrant davantage une image cumulée sur le long terme ; la cire, la propolis sont les seules matrices adéquates pour la détection de bioaccumulations sur un temps de l'ordre de l'année.

#### 8.3.4. Le suivi de l'environnement du rucher

Ce point a deux fonctions :

- apprécier les ressources disponibles pour l'abeille
- connaître les sources de contaminations environnementales attendues.

Les ressources alimentaires seront évaluées par les spécialistes de l'abeille, par inspection des alentours pour les sources proches d'importance pour le développement et la santé hivernale de la colonie (par exemple la présence/l'absence du pollen de début et de fin de saison : saule Marsault, lierre...) et par consultation d'une source de données graphiques pour le paysage large (rayon de 1,5 km, rayon de 3 km).

Les contaminations peuvent être domestiques, industrielles, phytosanitaires ou liées aux biocides. Les contaminations domestiques ne peuvent être connues que par enquête. Les émissions industrielles peuvent être connues via les permis d'environnement (à solliciter auprès de la Région compétente), les PV de la police de l'environnement (idem) ou par enquête. La contamination par les eaux de ruissellement (biocides) ne peut être approchée que par enquête mais celle-ci se bornera au voisinage proche, l'abeille s'abreuvant à des sources proches de la colonie. La contamination par les produits phytosanitaires est connue via les registres d'utilisation obligatoires dans le cadre de la traçabilité des produits phytosanitaires (AFSCA)<sup>97</sup> ; elle peut aussi être approchée par type de culture (source : déclarations de superficies au Ministère régional de l'agriculture), par enquête ou, plus globalement, au travers des chiffres de vente des produits phytosanitaires dont dispose le SPF SPSCAE. Les caractéristiques toxiques des produits phytosanitaires et biocides font l'objet des dossiers d'évaluation que détient de même le SPF SPSCAE. En outre, la littérature scientifique fournit de

---

<sup>97</sup> Voir à ce propos le vade-mecum de l'AFSCA : [http://www.afsca.be/home-fr/\\_documents/2012-07-26\\_Vade-mecumpesticides\\_fr.pdf](http://www.afsca.be/home-fr/_documents/2012-07-26_Vade-mecumpesticides_fr.pdf)

nombreuses études relatives à la toxicité de différentes substances industrielles, biocides ou phytosanitaires pour l'abeille.

Les ondes électromagnétiques sont également susceptibles d'avoir un effet sur l'abeille. Les études réalisées jusqu'ici montrent que cet effet est lié à la proximité de la source (Harst *et al.* 2006 ; Kimmel *et al.* 2007 ; Sharma et Kumar 2010 ; Favre 2011) ; un projet de sentinelle peut être l'occasion de confirmer/infirmier ces données en travaillant à partir du champ.

### 8.3.5. Les paramètres suivis

Les analyses pathologiques. La définition de ces agents se fera en gardant à l'esprit le caractère opportuniste de la plupart des maladies de l'abeille. Le suivi préventif des colonies pour les parasites non (encore) présents sur notre territoire (le petit coléoptère du rucher et l'acarien *Tropilaelaps* spp.) n'est à notre sens pas à réaliser dans ce contexte – ce suivi est d'ailleurs réalisé par l'AFSCA. L'analyse quantitative de certains agents infectieux et notamment de virus (CBPV, ABPV, DWV), de l'agent de la loque américaine *Paenibacillus larvae*, et de *Nosema* spp. devrait, associé à la clinique, contribuer soit à la définition de seuils pathologiques soit à la reconnaissance du fait que de tels seuils ne peuvent être établis chez l'abeille, et à l'établissement des raisons de ce fait.

Ces analyses seront utilement étendues à d'autres souches microbiennes que celles usuellement recherchées dans ce type de projet. Nous avons vu en effet que des souches non pathogènes peuvent également constituer des marqueurs intéressants de l'état sanitaire de la colonie.

Les biomarqueurs constituent d'évidence une technique d'avenir, parce qu'elle est fiable et bon marché – imaginerait-on le diagnostic médical sans analyses sanguines ? Les paramètres de l'immunité et du stress oxydant (cellules sanguines, phénol oxydase, glucose-oxydase, glutathion-S-transférase...), nous paraissent particulièrement importants (Evans et Spivak 2009, Adam *et al.* 2005, Schmidt *et al.* 2008, Brunet *et al.* 2011).

Les analyses chimiques. Les méthodes d'analyse relatives à la recherche des traces dans les matrices apicoles ont considérablement évolué ces dernières années et de nombreuses publications en exposent régulièrement les dernières mises au point (voir e.a. Kamel 2010, Wiest *et al.* 2011). Les analyses pratiquées sont généralement des analyses multi-résidus mais celles-ci ne permettent pas actuellement des limites de détection/quantification suffisamment basses pour tous les contaminants. En effet ces limites doivent être pertinentes d'un point de vue toxicologique, c'est à dire qu'elles doivent permettre la détection au moins de tous les contaminants susceptibles de provoquer des effets toxiques chez l'abeille. Certains pyréthriinoïdes ou néonicotinoïdes sont susceptibles d'effets toxiques à des concentrations inférieures au ppb, ce qui implique la réalisation d'analyses monorésidus en parallèle aux multirésidus. Un bon système nous semble de pratiquer des analyses multirésidus et ponctuellement des analyses monorésidus, de manière aléatoire au début du projet, de manière ciblée ensuite si certaines substances sont systématiquement associées à certains contextes (une culture d'un type par exemple – attention, s'assurer alors qu'il n'y a pas eu d'extension d'usage l'année suivante !).

Les analyses palynologiques. Celles-ci seront réalisées sur le pollen et sur le miel lui-même, afin d'approcher les sources butinées par la colonie. On gardera cependant en mémoire que ces analyses ne donnent pas de ces sources un reflet complet, ni quantitativement représentatif<sup>98</sup>.

### 8.3.6. Le traitement des données

Sans traitement statistique approprié, tout le travail réalisé en amont restera largement inexploité. A notre sens, un tel travail est du ressort d'un épidémiologiste.

### 8.3.7. Développements scientifiques

L'abeille offre encore, nous l'avons vu, un champ largement ouvert à l'investigation scientifique, qu'elle soit fondamentale ou appliquée. Parmi les domaines qui nécessitent l'investigation, citons :

Les biomarqueurs. Certains paramètres ont d'ores et déjà fait l'objet d'investigations et montré leur aptitude à être utilisée comme biomarqueurs, révélateurs notamment du fonctionnement des systèmes immunitaire ou de détoxification. **Vu que la plupart des surmortalités en Belgique sont hivernales, il nous semblerait particulièrement judicieux de veiller les marqueurs du vieillissement, vitellogénine et lipofuscine** (voir à ce propos l'article de Münch *et al.* (2013)).

L'épidémiologie analytique. Des études suggèrent que les disparitions hivernales d'abeilles sont d'origine infectieuse ; d'autres suggèrent que ces maladies sont secondaires à l'affaiblissement. Faire le départ entre ces deux hypothèses nécessite une étude épidémiologique impliquant un réseau de ruchers suffisamment dense pour identifier d'éventuels foyers infectieux ou d'éventuelles sources de contamination. La mise en parallèle des signes cliniques (leur nature, leur extension), de la distribution géographique des cas cliniques et des événements constatés dans les biomarqueurs et les analyses pathologiques, des données relatives aux contaminations environnementales d'origine industrielle, domestique et agricole, devrait permettre d'avancer sérieusement dans l'analyse de la causalité des pertes hivernales de colonies d'abeilles, dont le caractère catastrophique semble s'être amplifié ces deux dernières années.

### 8.3.8 La communication.

On l'a dit plus haut, le travail sur l'abeille n'est pas le domaine réservé d'un cénacle d'experts. Un projet de sentinelle suppose aussi des échanges constants avec le secteur et toutes les parties intéressées, autorités publiques et société civile. La constitution d'un groupe de travail *ad hoc*, constitué par l'autorité compétente, apparaît souhaitable d'autant plus qu'un groupe de ce type existe déjà au niveau fédéral. De plus, le travail ne fait sens que si les résultats en sont communiqués vers

---

<sup>98</sup> Cette distorsion est due au fait que certaines plantes produisent beaucoup de pollen, d'autres peu voire pas du tout. Si la matrice analysée est le miel – et non le pollen lui-même – il faut tenir compte des contaminations par le pollen provenant des récoltes précédentes. Voir à ce propos l'article de P. Schweitzer, responsable du laboratoire du CETAM Lorraine : Appellations monoflorales et idées reçues... (1ère partie) : [http://www.apiservices.com/abeille-de-france/articles/appellation\\_monoflorale.htm](http://www.apiservices.com/abeille-de-france/articles/appellation_monoflorale.htm) (2008).

les autorités concernées (notamment les villes et les communes), vers les secteurs concernés (notamment les secteurs agricole et forestier) et vers le grand public, vis-à-vis de qui ils constituent un outil d'éducation permanente de sensibilisation à la biodiversité, et de bonnes pratiques de respect de l'environnement.

**... et de manière générale...**

Ce qui est dit plus haut ne l'est qu'à titre indicatif. Il est clair qu'un travail de type « abeille sentinelle » doit faire l'objet d'un projet détaillé quant à ses objectifs et aux moyens mis en œuvre pour les atteindre.

## Conclusions générales

Co-évoluées avec les plantes à fleurs dont elles tirent leur subsistance, toutes les espèces d'abeilles vivent en relation étroite et constante avec leur environnement.

Les abeilles sauvages constituent un ensemble extraordinairement diversifié, tant par les ressources que par les habitats. Si certaines espèces sont généralistes et adaptables, d'autres sont étroitement dépendantes de certaines espèces florales ou de certains milieux de vie. Ces caractéristiques autorisent l'usage de ces espèces, ou d'un panel de ces espèces comme indicateur écosystémique, permettant un suivi de la biodiversité et de son évolution sur le territoire pertinent. Certaines espèces sont également susceptibles de fournir une sentinelle ; mais la connaissance de la pathologie et de la toxicologie de ces abeilles reste à développer à cette fin. En tout état de cause, le développement d'un indicateur « abeilles sauvages non-*Apis* » apparaît souhaitable, mais nous paraît être du ressort des Régions plutôt que de l'Etat fédéral, en vertu de la répartition des compétences entre ces entités.

Quant à l'abeille mellifère, par l'abondance de ses populations, par sa facilité d'élevage, par l'étendue de ses territoires de butinage, par le fait qu'elle collecte efficacement les contaminants environnementaux et qu'elle y est sensible, elle constitue une espèce sentinelle de premier intérêt. Les connaissances acquises à ce jour en matière de biologie, de pathologie et de toxicologie de cette espèce paraissent suffisantes pour que les données issues d'un suivi épidémiologique des colonies puissent être exploitées efficacement. L'abeille mellifère se prête ainsi aisément à une approche de type éco-épidémiologique, confrontant les données environnementales à celles issues du suivi pathologique et toxicologique des colonies elles-mêmes.

La conduite d'un projet d'abeille sentinelle, par sa facette épidémiologique, constitue la seule approche qui soit à même de jeter la lumière sur les causes des pertes importantes qui touchent le cheptel apicole depuis près de vingt ans déjà. En outre, un tel projet permet d'appréhender l'état de l'environnement où vivent les colonies, un environnement qui est aussi le nôtre, et pour lequel l'abeille, par sa sensibilité aux contaminants toxiques, joue un rôle d'alarme précoce. Pour toutes ces raisons, un projet de sentinelle, loin de recouper les études et recherches déjà en cours, complète les approches existantes, notamment les études relatives à la santé de l'abeille ou l'évaluation scientifique des produits phytosanitaires et biocides.

Un tel projet relève d'une approche multidisciplinaire, supposant la collaboration entre épidémiologistes, spécialistes de l'abeille, chimistes et pathologistes. Il postule aussi la mise en place d'une collaboration entre l'autorité compétente, les scientifiques précités et le secteur apicole. Il constitue tout à la fois une opportunité de progrès scientifique et un outil pratique d'aide à la décision et de sensibilisation de toutes les parties concernées par le sort des pollinisateurs, et plus largement de l'environnement.

## Bibliographie.

- Aajoud A, Raveton M, Azrou-Isghi D, Tissut M and Ravanel P, 2008: How Can the Fipronil Insecticide Access Phloem?, J. Agric. Food Chem., 56 (10): 3732–3737
- Abbott VA, Nadeau JL, Higo HA and Winston M, 2008: Lethal and Sublethal Effects of Imidacloprid on *Osmia lignaria* and Clothianidin on *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae), Journal of Economic Entomology, 101(3): 784-796
- Abrol DP, 2012: Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production, Springer éd., 792 pp., DOI 10.1007/978-94-007-1942-2
- ACTA, 2006: Mise au point d'une méthodologie visant à évaluer les effets sublétaux de produits phytopharmaceutiques sur l'orientation de l'abeille domestique, rapport dans le cadre du huitième programme communautaire pour l'apiculture, non publié.
- Aizen MA and Harder LD, 2009: The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination, Current Biology 19: 915–918
- Alaux C, Brunet JL, Dussaubat C et al., 2009: Interactions between Nosema microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*), Environmental Microbiology 12: 774-782 - doi: 10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x.
- Aliouane Y, Kassimi el Hassani A, Gary V, Armengaud C, Lambin M and Gauthier M, 2008: Subchronic exposure of honeybees to sublethal doses of pesticides: effects on behavior, Environmental Toxicology and Chemistry 28: 17–26
- Alix A, and Vergnet Chr, 2007: Risk assessment to honey bees: a scheme developed in France for non-sprayed systemic compounds, Pest Manag Sci.63: 1069-1080
- Al-Waili N, Salom K, Al-Ghamdi A and Ansari M, 2012: Antibiotic, Pesticide, and Microbial Contaminants of Honey: Human Health Hazards, Review Article, The Scientific World Journal Volume 2012, Article ID 930849, 9 pages - doi:10.1100/2012/930849
- Amdam GV, Omholt SW, 2002: The regulatory anatomy of honeybee lifespan, J Theor Biol 216: 209–228.
- Amdam GV, Aase ALTO, Seehuus SC, Fondrk MK, Kari Norberg K and Klaus Hartfelder K, 2005 : *Social reversal of immunosenescence in honey bee workers*, Experimental Gerontology 40: 939–947
- Anderson KE, Sheehan TH, Eckholm BJ, Mott BM and DeGrandi-Hoffman G, 2011: An emerging paradigm of colony health: microbial balance of the honeybee and hive (*Apis mellifera*), Insect. Soc. 58: 431-444
- APENET 2009: Effects of coated maize seed on honey bees, Report based on results obtained from the first year of activity of the APENET project, CRA-Api (Unità di ricerca di apicoltura e bachicoltura, Bologna, Italy)
- APENET 2010: Relazione sull'attività svolta e sui risultati ottenuti nell'ambito del progetto APENET per la tematica "Effetti del mais conciato sulle api", Anno 2010, Unità di ricerca di apicoltura e bachicoltura, CRA-API, Italia

- APENET 2011: "Effects of coated maize seed on honey bees", Report based on results obtained from the second year (2010) activity of the APENET project, CRA-Api (Unita di ricerca di apicoltura e bachicoltura, Bologna, Italy)
- Aufauvre J, Biron DJ, Vidau C, Fontbonne R, Roudel M, Diogon M, Viguès B, Belzunces LP, Delbac F and Blot N, 2012: Parasite-insecticide interactions: a case study of *Nosema ceranae* and fipronil synergy on honeybee, Scientific Reports 2 326, Doi: 10.1038/srep00326
- Badiou-Bénéteau A, Crvalho SM, Brunet JL, Carvalho GA, Buleté A, Giroud B and Belzunces LP, 2012: Development of biomarkers of exposure to xenobiotics in the honey bee *Apis mellifera*: Application to the systemic.... Ecotoxicol. Environ. Saf. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.05.005>
- Baer B, 2005: Sexual selection in Apis bees, Review article, Apidologie 36: 187–200
- Baker N, Wolschin F and Amdam G, 2012: Age-related learning deficits can be reversible in honeybee *Apis mellifera*, Experimental Gerontology 47: 764-772
- Balayiannis G and Balayiannis P, 2008: Bee Honey as an Environmental Bioindicator of Pesticides' Occurrence in Six Agricultural Areas of Greece Arch Environ Contam Toxicol 55:462–470
- Balderrama NM, Almeida LO and Núñez JA, 1992: Metabolic rate during foraging in the honeybee, J. Comp. Physiol. B 162: 440–447
- Barbara GS, Zube C, Rybak J, Gauthier M and Grûnewald B, 2005: Acetylcholine, GABA and glutamate induce ionic currents in cultured antennal lobe neurons of the honeybee, Apis mellifera, J Comp Physiol A 191: 823–836
- Barchuk R, Cristino AS, Kucharski R, Costa LF, Simões ZLP and Maleszka R, 2007: Molecular determinants of caste differentiation in the highly eusocial honeybee *Apis mellifera*, BMC Developmental Biology 7: 70 - doi: 10.1186/1471-213X-7-70
- Batra LR, Batra SWT and Bohart GE, 1973: The mycoflora of domesticated and wild bees (Apoidea), Mycopathologia et Mycologia applicata 49(1): 13-44
- Beekman L and Ratnieks FLW, 2000: Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L., Functional Ecology 2000 14: 490–496
- Belzunces, LP, Tchamitchian S and Brunet JL, 2012: Neural effects of insecticides in the honey bee, review, Apidologie, INRA, DIB and Springer-Verlag, DOI: 10.1007/s13592-012-0134-0
- Benning UF, Tamot B, Guelette BS and Hofmann-Behring, New aspects of phloem-mediated long-distance lipid signaling in plants, Frontiers in plant Science 3(53), 10pp.
- Bernadou A, Démares F, Couret-Fauvel T, Sandoz JC and Gauthier M, 2009: Effect of fipronil on side-specific antennal tactile learning in the honeybee, Journal of Insect Physiology 55: 1099–1106
- Bernard J, 2007: Apprentissages visuels chez l'abeille *Apis mellifera*: de la généralisation à l'extraction de règles, Thèse de doctorat, UFR Sciences de la Vie et de la Terre, Université Toulouse III-Paul Sabatier, Toulouse, France
- Bernard J, Stach S and Giurfa M, 2006: Categorization of visual stimuli in the honeybee *Apis mellifera*, review, Anim Cogn 9: 257–270
- Bloch G, 2010: The Social Clock of the Honeybee, J Biol Rhythms 25: 307-317 - DOI: 10.1177/0748730410380149
- Bloch G, Francoy TM, Wachtel I, Panitz-Cohen N, Fuchs S et Mazar A, 2010: Industrial apiculture in the Jordan valley during Biblical times with Anatolian honeybees, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 107: 11240–11244

- Boes KE, 2010: Honeybee colony drone production and maintenance in accordance with environmental factors: an interplay of queen and worker decisions, Review article, Insect. Soc.: 57: 1–9
- Bommarco R, Lundin O, Smith HG and Rundlö M, 2012: Drastic historic shifts in bumble-bee community composition in Sweden, Proc. R. Soc. B 279: 309-315.
- Bortolotti L, Montanari L, Marcelino J, Medrzycki P, Maini S and Porrini CI, 2003: Effects of sublethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees, Bulletin of insectology, 56: 63–67
- Bortolotti L, Sabatini AG, Mutinelli F et al., 2009: Spring honeybee losses in Italy, Hazards of Pesticides to Bees - 10th International Symposium of the ICP-Bee Protection Group Proceedings, Julius-Kühn-Archiv 423: 148-152
- Bosch J and Kemp WP, 2002: Developing and establishing bee species as crop pollinators: the example of *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees, Review article, Bulletin of Entomological Research 92: 3–16
- Brandt R, Rohlfing T, Rybak J, Krofczik S, Maye A, Westerjoff M, Hege HC, Menzel R, 2005: Three-dimensional average-shape atlas of the honeybee brain and its application, The journal of comparative neurology, 492: 1–19
- Breeze TD, Bailey AP, Balcombe KG and Potts SG, 2011: Pollination services in the UK: How important are honeybees?, Agriculture, Ecosystems & Environment, published online 20 May 2011, doi:10.1016/j.agee.2011.03.020: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.020>.
- Brittain C, Williams N, Kremen C and Klein A-M, 2013: Synergistic effects of non-*Apis* bees and honeybees for pollination services, Proc R Soc B 280: 20122767: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2767>.
- Brittain CA, Vighi M, Bommarco R, Settele J and S.G. Potts SG, 2010: Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales, Basic and Applied Ecology 11: 106–115
- Brunet JL, Tchamitchian S, Kairo G, Guillot P, Badiou A, Zitouni G, Cousin M et Belzunces LP, 2011: *Action des pesticides a faibles doses chez l'abeille : approche multimarqueurs d'exposition*, in Jean-Marie Barbançon et Monique L'Hostis, Ed., Journée Scientifique Apicole, Arles, 11 février 2011, pp 65-70
- Burdock GA, 1998: Review of the Biological Properties and Toxicity of Bee Propolis (Propolis), Food and Chemical Toxicology 36: 347-363
- Butler BG, 1940: The choice of drinking water by the honeybee, J Exp Biol XVII(3): 253-261
- Camazine S, 1991: Self-organization Pattern Formation on the Combs of Honey Bee Colonies, Behavioural Ecology and Sociobiology, 28 (1) : 61-76
- Camazine S, 1993a: The regulation of pollen foraging by honey bees: how foragers assess the colony's need for pollen, Behav Ecol Sociobiol 32: 265 272
- Camazine S, 1993b: Self-organization in Biological Systems, Princeton University Press, 538 pp.
- Camazine S, Visscher PK, Finley J and Vetter SR, 1999: House-hunting by honey bee swarms: collective decisions and individual behaviors, Insectes soc. 46: 348–360
- Cane JH, Sampson BJ and Miller SA, 2011: Pollination Value of Male Bees: The Specialist Bee *Peponapis pruinosa* (Apidae) at Summer Squash (*Cucurbita pepo*), Environ. Entomol. 40(3): 614-620
- Capaldi EA and Dyer FC, 1999: The role of orientation flights on homing performance in honeybees, The Journal of Experimental Biology 202: 1655-1666

Cardinal S and Danforth BN, 2013: Bees diversified in the age of eudicots, Proc R Soc B 280: 20122686. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2012.2686>

CEB 1982: Méthodes d'essais destinées à connaître les effets des insecticides sur l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.), méthode n° 95 (rapporteurs: Louveaux Jet Perrot A), Société française de phytoatrie et de phytopharmacie, Commission des essais biologiques, avril 1982

Celli G and Maccagnani B, 2003: Honey bees as bioindicators of environmental pollution, Bulletin of Insectology 56(1): 137-139

CEO et EBC, 2010: Is the future of bees in the hands of the pesticide lobby? European Commission allows corporations to shape the pesticide rules, novembre 2010, document disponible sur Internet : [http://www.beekeeping.com/articles/us/future\\_bees.pdf](http://www.beekeeping.com/articles/us/future_bees.pdf)

Chauzat MP, Faucon JP, Martel AC, Lachaise J, Cougoule N and Aubert M, 2006: A survey of pesticides residues in pollen loads collected by honey bees in France, J. Econ. Entomol. 99 (2): 253-262

Chauzat MP, Martel AC, Cougoule N, Porta P, Lachaise J, Zeggane S, Aubert M, Carpentier P and Faucon JP, 2010: An assessment of honeybee colony matrices, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) to monitor pesticide presence in continental France: Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 30 (1): 103-111

Chittka L and Geiger K, 1995: Can honeybees count landmarks, Anim. Behav. 49: 159-164

Claudianos C, Ranson H, Johnson RM, Biswas S, Schuler MA, Berenbaum MR, Feyereisen R, Oakeshott JG, 2006: A deficit of detoxification enzymes: pesticide sensitivity and environmental response in the honeybee, Insect Molecular Biology 15(5): 615-636

Colin, ME, Bonmatin JKM, Moineau I, Gaimon C, Brun S, Vermandere JP, 2004: A method to quantify and analyse the foraging activity of honey bees: relevance to the sublethal effects induced by systemic insecticides, Arch. Environn. Contamin. Toxicol. 47: 387- 95

Colla SR, Otterstatter MC, Gegear RJ and Thomson JD, 2006: Plight of the bumble bee: Pathogen spillover from commercial to wild populations, Biological Conservation 129: 461-467

Collet TS and Collet M, 2004: How do insects represent familiar terrain?, Journal of Physiology - Paris 98: 259-264

Colliot F, 1997: Patent EP 0 726 709 B1 Rhône-Poulenc 3 décembre 1997, disponible sur le Net : <http://www.freepatentsonline.com/EP0726709.pdf>

Conti ME and Botré F, 2001: Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination, Environmental Monitoring and Assessment 69: 267-282

Cooper R, 2008 : Using honey to inhibit wound pathogens, Nursing Time 104 (3) : 46-49, accessible sur le Net : <http://www.nursingtimes.net/nursing-practice-clinical-research/using-honey-to-inhibit-wound-pathogens/573427.article>

Couvillon MJ, Robinson EJH, Atkinson B, Child L, Dent KR and Ratnieks FLW, 2008: En garde: rapid shifts in honeybee, *Apis mellifera*, guarding behaviour are triggered by onslaught of conspecific intruders, Animal Behaviour 76: 1653-1658

Cox RL and Wilson WT, 1984: Effects of permethrin on the behavior of individually tagged honey bees, *Apis mellifera* L (Hymenoptera: Apidae), Environ. Entomol. 13: 375-378

Cox-Foster DL, Conlan S, Holmes E *et al.* 2007: A Metagenomic Survey of Microbes in Honey Bee Colony Collapse Disorder, Science 318: 283-287

Crailsheim K, 1992: The flow of jelly within a honeybee colony, J Comp Physiol B, 162:681-689

Crane E, 2004: A short history of knowledge about honey bees (*Apis*) up to 1800, Bee World 85 (1) : 6-11

- Crotti E, Sansonno L, Prosdocimi E *et al.* 2013: Microbial symbionts of honeybees: a promising tool to improve honeybee health, *New Biotechnol.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2013.05.004>
- Dacher M and Gauthier M, 2008: Involvement of NO-synthase and nicotinic receptors in learning in the honey bee, *Physiology & Behavior* 95: 200–207
- De la Ruá P, Jaffé R, Raffaele Dall’Olio R, Irene Muñoz and Serrano J, 2009 : Biodiversity, conservation and current threats to European honeybees, *Apidologie* 40: 263–284
- Dechaume-Moncharmont FX, Decourtye A, Hennequet C *et al.* 2003: Statistical analysis of the honeybee survival after chronic exposure to insecticides. *Environ Toxicol Chem* 22(12): 3088-3094
- Decourtye A, Armengaud C, Renou M, Devillers J, Cluzeau S, Gauthier M and Pham-Delègue MH, 2004: Imidacloprid impairs memory and brain metabolism in the honeybee (*Apis mellifera* L), *Pestic. Biochem. Physiol.* 78 (2): 83-92
- Decourtye A, Devillers J, Genecque E, Le Menach K, Budzinski H, Cluzeau S and Pham-Delègue MH, 2005: Comparative sublethal toxicity of nine pesticides on olfactory learning Performances of the Honeybee *Apis mellifera*, *Arch. Environ. Contamin. Toxicol.* 48: 242–250
- Decourtye A, Lacassie E and Pham-Delègue M-H, 2003: Learning performances of honeybees (*Apis mellifera* L) are differentially affected by imidacloprid according to the season, *Pest Manag Sci* 59: 269–278
- DeGrandi-Hoffman G and Hagler J, 2000: The flow of incoming nectar through a honey bee (*Apis mellifera* L.) colony as revealed by a protein marker, *Insectes soc.* 47 : 302–306
- Delaplane KS and Mayer DF, 2000: *Crop pollination by bees*, CABI éd., 332pp.
- DeSavigny CB, 1971: Microencapsulated methyl and ethyl parathion insecticide in aqueous carrier, United States Patent 3,959,464, published online: <http://www.freepatentsonline.com/3959464.html>
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM, 2007: The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods, *Annu. Rev. Entomol.* 52: 81–106
- Dyer FC, 2002: The Biology of the Dance Language, *Annu. Rev. Entomol.* 47: 917-949
- EFSA 2012: Scientific Opinion on the science behind the development of a risk assessment of Plant Protection Products on bees (*Apis mellifera*, *Bombus spp.* and solitary bees), Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), *EFSA Journal* 2012, 10(5) 2668, 275 pp., doi: 10.2903/j.efsa.2012.2668. Available online: <http://www.efsa.europa.eu/efsajournal>
- EFSA 2013: EFSA Guidance Document on the risk assessment of plant protection products on bees (*Apis mellifera*, *Bombus spp.* and solitary bees), *EFSA Journal* 2013 11(7): 3295, 266 pp.
- Eiri DM and Nieh JC, 2012: A nicotinic acetylcholine receptor agonist affects honey bee sucrose responsiveness and decreases waggle dancing, *The Journal of Experimental Biology* 215: 2022-2029
- El Hassani AK, Dacher M, Gary V, Lambin L, Gauthier M and Armengaud C, 2007: Effects of Sublethal Doses of Acetamiprid and Thiamethoxam on the Behavior of the Honeybee (*Apis mellifera*), *Archives Environmental Contamination Toxicology* 54: 653-661
- El Hassani AK, Dupuis JP, Gauthier M and Armengaud C, 2009: Glutamatergic and GABAergic effects of fipronil on olfactory learning and memory in the honeybee, *Invert. Neurosci.* 9 (2): 91-100
- Elekovich MM and Roberts SP, 2005: Honey bees as a model for understanding mechanisms of life history transitions, *Review, Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 141: 362 – 371

Ellis MB, Nicolson SW, Crewe RM, Dietemann V, 2008: Hygropreference and brood care in the honeybee (*Apis mellifera scutellata*) Journal of Insect Physiology 54: 1516-1521

Engel MS, 2005: Family-group names for bees, American Museum of Natural History n° 3476 (11 May 2005), 33 pp.

Engel MS, Hinojosa-Díaz IA and Rasnitsyn AP, 2009: A honey bee from the Miocene of Nevada and the biogeography of *Apis* (Hymenoptera: Apidae: Apini), Proceedings of the California Academy of Sciences, Series 4 60(3): 23–38

Evans JD and Lopez DL, 2004: Bacterial Probiotics Induce an Immune Response in the Honey Bee (Hymenoptera: Apidae), J. Econ. Entomol. 97(3): 752-756

Evans JD and Spivak M, 2009: Socialized medicine: Individual and communal disease barrier in honey bee, J Invertebr Pathol. 103 Suppl 1: S62-572

Evison SEF, Roberts KE, Laurenson L, Pietravalle S, Hui J, et al., 2012: Pervasiveness of Parasites in Pollinators. PLoS ONE 7(1): e30641. doi: 10.1371/ journal.pone.0030641

Fahrenholz L, Lamprecht I and Schricker B, 1989: Thermal investigation of a honeybee colony: thermoregulation of the hive during summer and winter and heat production of members of the different bee castes, J. Comp. Physiol. B 159: 551 – 560

Fakhimzadeh K and Lodenius M, 2000: Heavy metals in Finnish honey, pollen and honeybees, *Apiata* 35(2): 85-95

Favre D, 2011: Mobile phone-induced honeybee worker piping, *Apidologie* 42(3): 270-279

Fletcher M and Barnett L, 2003: Bee pesticide poisoning incidents in the United Kingdom Bulletin of Insectology 56(1): 141-145

Foret S, Kucharski R, Pittelkow Y, Lockett GA and Maleszka R, 2009: Epigenetic regulation of the honey bee transcriptome: unravelling the nature of methylated genes, *BMC Genomics* 2009, 10:472 - doi:10.1186/1471-2164-10-472

Forster R, 2009: Bee poisoning caused by insecticidal treatment of maize in Germany in 2008, *Julius-Kühn Archiv* 423: 126-133

Franklin MT, Winston ML and Morandin LA, 2004: Effects of Clothianidin on *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) Colony Health and Foraging Ability, J. Econ. Entomol. 97(2): 369-373

Fresquez PR, Armstrong DR and Pratt LH, 1997: Radionucleides in bees and honey within and around Los Alamos national laboratory, *Journal of Environmental Science and Health A* 32(5) : 1309-1323

Gallai N, Salles JM, Settele J and Vaissière BE, 2009: Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol Econ* 68(3): 810–821

Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R et al. 2013: Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance, *Science* 339: 1608-1611

Garnery L, Cornuet JM and Solignac M, 1992: Evolutionary history of the honey bee *Apis mellifera* inferred from mitochondrial DNA analysis. *Mol. Ecol.* 1: 145–154

Garnery L, Franck P, Baudry E, Vautrin D, Cornuet J M et Solignac M, 1998a: Genetic diversity of the west European honey bee (*Apis mellifera* and *A. m. iberica*). I. Mitochondrial DNA. *Genetics Selection Evolution* 30: S31-47

Garnery L, Franck P, Baudry E, Vautrin D, Cornuet J M et Solignac M, 1998b: Genetic diversity of the west European honey bee (*Apis mellifera* and *A. m. iberica*). II. Microsatellite loci. *Genetics Selection Evolution* 30: S49–74

Genome consortium: The Honeybee Genome Sequencing Consortium, 2006: Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*, *Nature* 443: 931 – 949

Gerig L, 1991: Die Bedeutung von Insegar für Obstbau und Bienenzucht. *Schweiz. Bienen-Z.* 1991: 257-266

- Ghini S, Fernández M, Picó Y, Marín R, Fini F, Mañes J and Girotti S, 2004: Occurrence and Distribution of Pesticides in the Province of Bologna, Italy, Using Honeybees as Bioindicators, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47: 479–488
- Giffard H and Mamet O, 2009: Behavior of honey bees; a guideline to assess troubles in bee foraging activity under insect-proof tunnels, *Julius-Kühn Archiv* 423: 71-73
- Gil Mariana, 2009 : Reward expectation in Honey bee, thèse de doctorat, Freie Universität Berlin. Cette thèse est accessible sur le net : [http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS\\_derivate\\_000000005491/PhD\\_Thesis\\_M\\_Gil\\_2009\\_without\\_CV.pdf?hosts](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000005491/PhD_Thesis_M_Gil_2009_without_CV.pdf?hosts)
- Gill RJ, Ramos-Rodriguez O, Raine NE, 2012: Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees, *Letter, Nature* 11585, doi: 10.1038/
- Gilliam M, 1979: Microbiology of pollen and bee bread: the yeasts, *Apidologie* 10 (1): 43-53
- Girolami V, Marzaro M, Vivan L, Mazzon L, Greatti M, Giorio C, Marton D and Tapparo A, 2011: Fatal powdering of bees in flight with particulates of neonicotinoids seed coating and humidity implication, *J. Appl. Entomol* 136(1-2): 17-26
- Girolami V, Mazzon L, Squartini A, Mori N, Marzaro M, Di Bernardo A, Greatti M, Giorio C and Tapparo A, 2009: Translocation of Neonicotinoid Insecticides From Coated Seeds to Seedling Guttation Drops: A Novel Way of Intoxication for Bees, *J. Econ. Entomol.* 102(5): 1808-1815
- Giurfa M, 2003: The amazing mini-brain: lessons from a honey bee, *Bee World* 84(1): 5-18
- Giurfa M, Zhang S, Jenett A, Menzel R and Srinivasan MV, 2001: The concepts of 'sameness' and 'difference' in an insect, *Nature* 410 (6831) : 930–933
- Goulson D and Sparrow KR, 2009: Evidence for competition between honeybees and bumblebees; effects on bumblebee worker size, *Journal of Insect Conservation* 13(2): 177-181.
- Grandjean M, Hanin Y et Rousseaux V, 2006: Occupation du territoire en Région wallonne, Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'Etat de l'Environnement wallon; Région wallonne éd.
- Gregorc A and Ellis JD, 2011: Cell death localization in situ in laboratory reared honey bee (*Apis mellifera* L.) larvae treated with pesticides, *Pesticide Biochemistry and Physiology* 99: 200–207
- Greig-Smith PW, Thompson HM, Hardy AR, Bews MH, Findlay E and Stevenson JH, 1994: Incidents of poisoning of honeybees (*Apis mellifera*) by agricultural pesticides in Great Britain 1981–1991, review article, *Crop Protection* 13(8): 567-581
- Guez D, Suchail S, Gauthier M, Maleszka R and Belzunces LP, 2001: Contrasting effects of Imidacloprid on habituation in 7- and 8- days-old honeybees, *Neurobiology of Learning and Memory*, 76 (2): 183–191
- Guez D, Zhu H, Zhang SW and Srinivasan MV, 2010: Enhanced cholinergic transmission promotes recall in honeybees, *Journal of Insect Physiology* 56: 1341–1348
- Hagen M, Wikelski M and Kissling WD, 2011: Space Use of Bumblebees (*Bombus* spp.) Revealed by Radio-Tracking. *PLoS ONE* 6(5): e19997. doi: 10.1371/ journal.pone.0019997
- Han F, Wallberg A and Webster MT, 2012: From where did the Western honeybee (*Apis mellifera*) originate?, *Ecology and Evolution* 2(8): 1949–1957
- Han P, Niu CY, Lei CL, Cui JJ and Desneux N, 2010: Use of an innovative T-tube maze assay and the proboscis extension response assay to assess sublethal effects of GM products and pesticides on learning capacity of the honey bee *Apis mellifera*, *L. Ecotoxicology* 19: 1612–1619
- Hardstone MC and Scott JG, 2010: Is *Apis mellifera* more sensitive to insecticides than other insects? *Pest Manag Sci.* 66(11): 1171-1180

- Harst W, Kuhn J and Stever H, 2006: Can Electromagnetic Exposure Cause a Change in Behaviour? Studying Possible Non-Thermal Influences on Honey Bees – An Approach within the Framework of Educational Informatics, ACTA SYSTEMICA – IIAS International Journal, VI, (1): 1-6
- Henry M, Beguin M, Requier F, Rollin O, Odoux JF, Aupinel P, Aptel J, Tchamitchian S and Decourtye A, 2012: A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees, *Science* 336: 348-350
- Hewitt GM, 1999: Post-glacial re-colonization of European biota, *Biological Journal of the Linnean Society* (1999), 68: 87–112
- Hurd PD, LaBerge WE and Linsley EG 1980: Principal sunflower Bees in North America with emphasis on the Southwestern United States (Hymenoptera: Apoidea), Smithsonian Institution Press, 1980, published online: [http://www.sil.si.edu/smithsoniancontributions/zoology/pdf\\_hi/sctz-0310.pdf](http://www.sil.si.edu/smithsoniancontributions/zoology/pdf_hi/sctz-0310.pdf)
- Hyne RV and William A. Maher WA, 2003: Invertebrate biomarkers: links to toxicosis that predict population decline (Review), *Ecotoxicology and Environmental Safety* 54: 366–374
- IFREMER 2007 : Etat de la contamination du Bassin d'Arcachon par les insecticides et les herbicides sur la période 2005-2006. Impact environnemental. Accessible en ligne : <http://archimer.ifremer.fr/doc/2007/rapport-2398.pdf>
- Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT and Roe M, 2004: Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*, *Crop Protection* 23 (2004) 371–378.
- Jacob-Remacle A, 1990 : Abeilles sauvages et pollinisation, brochure éditée par la Région wallonne, accessible sur Internet : <http://biodiversite.wallonie.be/servlet/Repository/remacle-abeilles-sauvages-pollinisation.pdf?ID=27804&saveFile=true>
- Jacob-Remacle, 1989: Abeilles et guêpes de nos jardins, Gembloux: Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, 48pp.
- Jaffé R, Dietemann V, Allsopp MH, Costa C, Crewe .M, Dall'Olio R, de la Rúa P, El-Niweiri MAA, Fries I, Kezic N, Meusel MS, Paxton RJ, Shaibi T, Stolle E, Moritz RFA, 2010: Estimating the density of honey bee colonies across their natural range to fill the gap in pollinator decline censuses, *Conservation Biology* 24: 583-593
- James R and Xu J, 2008: Chalkbrood Control In The Alfalfa Leafcutting Bee *in* Proceedings, 2008 California Alfalfa & Forage Symposium and Western Seed Conference, San Diego, CA, 2-4 December, 2008
- Jamet L, Gehrart RW and Voeste D, 2011 for BASF SE (Ludwigshafen): US Patent Application US 2011/0046123 A1, (synergies fipronil – neonics—fungicides), : <http://www.freepatentsonline.com/y2011/0046123.html>
- Jensen AB, Palmer KA, Boomsma JJ and Pedersen BV, 2005: Varying degrees of *Apis mellifera ligustica* introgression in protected populations of the black honeybee, *Apis mellifera mellifera*, in northwest Europe, *Molecular Ecology* 14: 93–106
- Jeschke P, Nauen R, Schindler M and Elbert A, 2011: Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids, *J. Agric. Food Chem.* 59: 2897–2908
- Johnson RM, Wen Z, Schuler MA and Berenbaum M, 2006: Mediation of Pyrethroid Insecticide Toxicity to Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) by Cytochrome P450 Monooxygenases, *J. Econ. Entomol.* 99(4): 1046-1050
- Jones KC 1997: Honey as an indicator of heavy metal contamination, *Water, Air, and Soil Pollution* 33: 179-189
- Kadala A, Charreton M, Jakob I, Le Conte Y and Collet C, 2011: A use-dependent sodium

- current modification induced by type I pyrethroid insecticides in honeybee antennal olfactory receptor neurons, *NeuroToxicology* 32: 320–330
- Käfer H, Kovac H and Stabentheiner A, 2012: Upper thermal limits of honeybee (*Apis mellifera*) and yellowjacket (*Vespa vulgaris*) foragers, *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. ent.* 18: 267-270
- Kakamand FAK, Mahmoud TT and Amin ABM, 2008: The role of three insecticides in disturbance the midgut tissue in honeybee *Apis mellifera* L. workers. *Journal of Dohuk University* 11(1): 144-151
- Kamel A, 2010: *Refined Methodology for the Determination of Neonicotinoid Pesticides and Their Metabolites in Honey Bees and Bee Products by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS)*, *J. Agric. Food Chem.* 58: 5926–5931
- Karazafiris E, Tananaki C, Thrasyvoulou A and Menkissoglu-Spiroudi U, 2011: Pesticide Residues in Bee Products, *Pesticides in the Modern World - Risks and Benefits*, Dr. Margarita Stoytcheva (Ed.), 560pp., chap. 6: 89-12, published online: <http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-risks-and-benefits/pesticide-residues-in-bee-products>
- Khoury DS, Myerscough MR and Barron AB, 2011: A Quantitative Model of Honey Bee Colony Population Dynamics, *PLoS ONE* 6(4): e18491. doi: 10.1371/ journal.pone.0018491
- Kievits J, Dermine M, Lortsch JA, Mouret C and Simon-Delso N, 2012: Assessment of pesticides risk for bees: methods for PNEC measurements, *Julius-Kühn Archiv* 437: 45-54
- Kimmel, S., Kuhn, J., Harst, W., Stever, H., 2007: Electromagnetic Radiation: Influences on Honeybees (*Apis mellifera*), published online: [http://www.hese-project.org/hese-uk/en/papers/kimmel\\_iaas\\_2007.pdf](http://www.hese-project.org/hese-uk/en/papers/kimmel_iaas_2007.pdf)
- Klein A-M, Vaissière B, Cane JH, Steffan-Deventer I, Cunningham SA, Kremen C and Tscharnke T, 2007: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Proc. R. Soc. B* 274: 303–313
- Klittich CJR, Green FR III, Ruiz JM, Weglarz T and Blakeslee BA, 2008: Assessment of fungicide systemicity in wheat using LC-MS/MS, *Pest Manag Sci* 64: 1267–1277
- Kremen C, Williams NM and Thorp RW, 2002: Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification, *PNAS* 99 (26): 16812-16816
- Krohn PW et al., 2008: US Patent, US 2008/0261811 A1 (synergies betalaxyl M – metalaxyl M and neonicotinoids, available online: <http://www.faqs.org/patents/app/20080261811>
- Kuwabara M, 1957: Bildung eines bedingten Reflexes von PAVLOVs Typus bei der Honigbiene, *Apis mellifica*, *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI Zool.* 13 : 458–464
- Kuwabara M, 1957: Bildung des bedingten Reflexes von Pavlovs Typus bei der Honigbiene, *Apis mellifica*, 北海道大學理學部紀要, *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University Series VI. ZOOLOGY*, 13(1-4): 458-464
- Lambert O, 2012: Contamination chimique de matrices apicoles au sein de ruchers appartenant à des structures paysagères différentes, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France, accessible en ligne: <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00833765>
- Lambin M, Armengaud C, Raymond S and Gauthier M, 2001: Imidacloprid-Induced Facilitation of the Proboscis extension Reflex Habituation in the Honeybee, *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 48: 129–134
- Lautenbach S, Seppelt R, Liebscher J, Dormann CF, 2012: Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit, *PLoS ONE* 7(4): e35954. doi:10.1371/ journal.pone.0035954
- Laycock I, Lenthall KM, Baratt AT and Cresswell JE, 2012: Effects of imidacloprid, a

- neonicotinoid pesticide, on reproduction in worker bumble bees (*Bombus terrestris*), *Ecotoxicology*, published online, DOI 10.1007/s10646-012-0927-y
- Le Conte Y, Mohammedi A and Robinson GE, 2001: Primer effects of a brood pheromone on honeybee behavioural development, *Proc. R. Soc. Lond. B* 268: 163-168
- Leita L, Muhlbachova G, Cesco S, Barbattini R and Mondini C, 1996: Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination, *Environmental Monitoring and Assessment* 45: 1-9
- Leoncini I, Le Conte Y, Costagliola G, Plettner E, Toth AL, Wang M, Huang Z, Jean-Marc Bécard JM, Crauser D, Slessor KN, and Robinson GE, 2004: Regulation of behavioral maturation by a primer pheromone produced by adult worker honey bees, *PNAS* 101 (50): 17559-17564
- Lorenz K, 1954: *Psychologie et phylogénèse, in Trois essais sur le comportement animal et humain*, Seuil éd., 1970
- Losey JE and Vaughan M, 2006: The economic value of ecological services provided by insects, *BioScience* 56: 311-323
- Madras-Majewska B and Jasiński S, 2003: Lead Content Of Bees, Brood And Bee Products From Different Regions Of Poland, *Journal of Apicultural Science* 47(2): 47-54
- Madras-Majewska B and Jasiński Z, 2005: The Content Of Mercury In Honeybee Body Originating From Different Region Of Poland, *ISAH – Warsaw* 2: 497-500
- Marzaro M, Vivan L, Targa A, Mazzon L, Mori N *et al.* 2011: Lethal aerial powdering of honey bees with neonicotinoids from fragments of maize seed coat. *Bull. Insectol.* 64: 119-126
- Maxim L and van der Sluijs J, 2010: Expert explanations of honeybee losses in areas of extensive agriculture in France: Gaucho® compared with others supposed causal factors, *Environ. Res. Lett.* 5: 014006 (12pp) - doi: 10.1088/1748-9326/5/1/014006
- Menzel R and Giurfa M, 2001: Cognitive architecture of a mini-brain: the honeybee, review, *Trends in Cognitive Sciences* 5(2): 62-71
- Menzel R, 1999: Memory dynamics in the honeybee, *J Comp Physiol A* 185: 323-340
- Menzel R, 2012: The honeybee as a model for understanding the basis of cognition, *Review, Nature* 13: 758-768
- Menzel R, Leboulle G, Eisenhardt D, 2006: Small brains, bright minds. *Cell* 124: 237-239
- Michener CD (2007) *The Bees of the World*, 2nd edn. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Michez D, 2006: La nouvelle classification des abeilles (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes) ou la chute de l'abeille mellifère (*Apis mellifera* L.) de son piédestal, *Osmia* 1:23-26
- Millor J, Pham-Delègue M, Deneubourg JL and Camazine S, 1999: Self-organized defensive behavior in honeybees, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 12611-12615
- Mommaerts V, Sterk G and Smagghe G, 2010: *Bumblebees and neonicotinoids: a bioassay to evaluate sublethal effects on foraging behavior*, *Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet.* 21: 19-27
- Morandin LA and Winston ML, 2003: Effects of Novel Pesticides on Bumble Bee (Hymenoptera: Apidae) Colony Health and Foraging Ability, *Environ. Entomol.* 32(3): 555-563
- Moritz RFA, Kraus FB, Kryger P and Crewe RM, 2007: The size of wild honeybee populations (*Apis mellifera*) and its implications for the conservation of honeybees, *Journal of Insect Conservation* 11 (4): 391-397
- Müller A and Kuhlmann M, 2008: Pollen hosts of western palaeartic bees of the genus *Colletes* (Hymenoptera: Colletidae): the Asteraceae paradox, *Biological Journal of the Linnean Society* 95: 719-733

Mullin CA, Frazier M, Frazier JL, Ashkraft S, Simonds R, vanEngeldorp D and Pettis JS, 2010: High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: Implications for honey bee health. PLoS ONE doi:10.1371/journal.pone.0009754

Münch D et Amdam GV, 2010: The curious case of aging plasticity in honey bees, FEBS Lett., doi:10.1016/j.febslet.2010.04.007

Münch D, Kreibich CD and Amdam GV, 2013: Aging and its modulation in a long-lived worker caste of the honey bee, The Journal of Experimental Biology 216: 1638-1649

NAS, 1991: Animals as Sentinels of Environmental Health Hazards, National Academy of Sciences, Committee on Animals as Monitors of Environmental Hazards, Board on Environmental Studies and Toxicology and National Research Council, National Academies Press, ISBN: 0-309-59489-8, 176 pp.

Neumann P and Carreck NL, 2010: Honey bee colony losses, Journal of Apicultural Research 49(1): 1-6

Nguyen BK, Saegerman C and Haubruge E, 2008: Etude sur la contamination des miels par *Paenibacillus larvae* en Région wallonne et relation avec l'expression clinique de la loque américaine dans les colonies d'abeilles domestiques, Ann. Méd. Vét. 153: 219-223

Nicolson SW, 2008: Water homeostasis in bees, with the emphasis on sociality, Review, The Journal of Experimental Biology 212: 429-434

Oldroyd BP, 2012: Domestication of honey bees was associated with expansion of genetic diversity, Molecular Ecology 21: 4409-4411

Ollerton J, Winfree R and Tarrant S, 2011: How many flowering plants are pollinated by animals?, Oikos 120: 321-326, doi: 10.1111/j

Oomen PA, De Ruijter A, Van Der Steen, 1992: Method for honeybee brood feeding tests with insect growth-regulating insecticides, OEPP/EPPO Bulletin 22: 613-616

Otterstatter MC and Thomson JD, 2008: Does Pathogen Spillover from Commercially Reared Bumble Bees Threaten Wild Pollinators?. PLoS ONE 3(7): e2771. doi: 10.1371/journal.pone.0002771.

Owens Ch, 1971: The thermology of wintering honey bee colonies, Technical Bulletin n° 1429, Agricultural Research Service, USDA

Paini DR, 2004: Impact of the introduced honey bee (*Apis mellifera*) (Hymenoptera: Apidae) on native bees: A review, Austral Ecology 29 (4) : 399-407

Pankiw T, 2004: Brood Pheromone Regulates Foraging Activity of Honey Bees (Hymenoptera: Apidae), J. Econ. Entomol. 97(3): 748-751

Papaefthimiou C and Theophilidis G, 2001: The Cardiotoxic Action of the Pyrethroid Insecticide Deltamethrin, the Azole Fungicide Prochloraz, and Their Synergy on the Semi-Isolated Heart of the Bee *Apis mellifera macedonica*, Pesticide Biochemistry and Physiology 69: 77-91

Parker R, Melathopoulos AP, White R, Pernal SF, Guarna MM and Foster LJ, 2010 : Ecological Adaptation of Diverse Honey Bee (*Apis mellifera*) Populations, PLoS ONE 5(6): 1-12

Pasquet RS, Peltier A, Hufford MB, Oudin E *et al.*, 2008: Long-distance pollen flow assessment through evaluation of pollinator foraging range suggests transgene escape distances, PNAS 105(36): 13456-13461

Peeters M, Schlessers M, Réveillon A, Franklin A, Collin Cl & Van Goethem J, 2006 : La biodiversité en Belgique: un aperçu. Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, 20 pp.

Pernal SF, Sewalem A and Melthopoulos AP, 2012: Breeding for hygienic behaviour in honeybees (*Apis mellifera*) using free-mated nucleus colonies, Apidologie 43:403-416

- Petersen JD, Reiners S and Nault BA, 2013: Pollination Services Provided by Bees in Pumpkin Fields Supplemented with Either *Apis mellifera* or *Bombus impatiens* or Not Supplemented. PLoS ONE 8(7): e69819. doi: 10.1371/journal.pone.0069819
- Pettis JS, vanEngelsdorp D, Johnson J and Dively G, 2012: Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen *Nosema*, Naturwissenschaften - DOI 10.1007/s00114-011-0881-1
- Pilling ED and Jepson PC, 1993: Synergism between EBI fungicides and a pyrethroid insecticide in the honeybee (*Apis mellifera*), Pesti.Sci. 39: 293-297
- Pistorius J, Brobyn T, Campbell P, Forster *et al.*, 2012: Assessment of risks to honey bees posed by guttation, Julius-Kühn Archiv 437: 199-208
- Porrini C, Sabatini AG, Girotti S, Ghini S, Medrzycki P, Grillenzoni F, Borlotti L, Gattavechia E and Celli G, 2003: Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination, Apiacta 38: 63-70
- Rader R, Howlett BG, Cunningham SA, Westcott DA, Newstrom-Lloyd LE, Walker MK, Teulon DAJ. and Edwards W, 2009: Alternative Pollinator Taxa are Equally Efficient but not as Effective as the Honeybee in a Mass-flowering Crop, Journal of Applied Ecology 46: 1080-1087
- Ramirez-Romero R, Chaufaux J and Pham-Délègue MH, 2005: Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honeybee *Apis mellifera*, a comparative approach, Apidologie 36: 601-611
- Rasmont P, Pauly A, Terzo M, Patiny S, Michez D, Iserbyt S, Barbier Y and Haubruge E, 2005: The survey of wild bees (Hymenoptera, Apoidea) in Belgium and France, in: Status of the World's Pollinators, Rome, Food and Agriculture Organisation of the United Nations: 18 pp.
- Rath NC, Rasaputra KS, Liyanage R, Huff GR and Huff WE, 2011 : Dithiocarbamate Toxicity - An Appraisal, Pesticides in the Modern World - Effects of Pesticides Exposure, Dr. Margarita Stoytcheva (Ed.), ISBN: 978-953-307-454-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-effects-of-pesticides-exposure/dithiocarbamate-toxicity-an-appraisal>
- Rath W, 1999: Co-adaptation of *Apis cerana* Fabr. and *Varroa jacobsoni* Oud, Apidologie 30: 97-110
- Ravoet J, Maharramov J, Meeus I, De Smet L, Wenseleers T *et al.*, 2013: Comprehensive Bee Pathogen Screening in Belgium Reveals *Crithidia mellificae* as a New Contributory Factor to Winter Mortality, PLoS ONE 8(8): e72443. doi: 10.1371/journal.pone.0072443
- Reetz JE, Zühlke S, Spittler M and Wallner K, 2011: Neonicotinoid insecticides translocated in guttated droplets of seed-treated maize and wheat: a threat to honeybees? Apidologie 42: 596-606
- Reyes-Carillo JL and Gallardo RO: Las abejas melíferas biomonitores de metales pesados en el aire, Biblioteca Dr. Egidio G. Rebonato, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Mexico, 5 pp.
- Rieth JP, 1986: The repellent effect of pyrethrinoids insecticides on honey bees, Physiological Entomology 13(2): 213-218
- Rodríguez García JC, Iglesias Rodríguez R, Peña Crecente RM, Barciela García, García Martín S and Herrero Latorre C, 2006: Preliminary Chemometric Study on the Use of Honey as an Environmental Marker in Galicia (Northwestern Spain), J. Agric. Food Chem. 54(19): 7206-7212
- Roevens N, Wauthier W, Vanderborgt JP and Loijens M, 2004: Etude préliminaire et de faisabilité sur la pertinence de l'utilisation de l'abeille comme bio-indicateur de la pollution à Bruxelles, note de synthèse, Université libre de Bruxelles, note publiée sur le site ISSUU.com : [http://issuu.com/api-bxl/docs/etude\\_pollution](http://issuu.com/api-bxl/docs/etude_pollution) (consultation 13 août 2013)

- Roman A, 2010: Levels of Copper, Selenium, Lead, and Cadmium in Forager Bees, Polish J. of Environ. Stud. 19(3): 663-669
- Romanelli A, Moggio L., Montella R.C. et al., 2011. Peptides from royal jelly: studies on the antimicrobial activity of jelleins, jelleins analogs and synergy with temporins. J. Pept. Sci. 17: 348-352
- Rortais A, Arnold G, Halm MP and Touffet-Briens F, 2005: Modes of honeybees exposure to systemic insecticides: estimated amounts of contaminated pollen and nectar consumed by different categories of bees, Apidologie 36: 71-83
- Rucker RR, Thurman WN and Burgett M, 2012: Honey bee pollination markets and the internalization of reciprocal benefits, Amer. J. Agr. Econ. 94(4): 956-977; doi: 10.1093/ajae/aas031
- Ruijter A. de, Steen J. van der (1987) A field study on the effect on honey bee brood of Insegar (fenoxycarb) applied on blooming apple orchard, Apidologie 18, 355-357
- Ruttner F, Tassencourt L and Louveaux J, 1978: Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera* L., Apidologie 9: 363-381
- Sadeghi A, Mozafari AA, Reza Bahmani R and Shokri K, 2012: Use of Honeybees as Bio-Indicators of Environmental Pollution In the Kurdistan Province of Iran, Journal of Apicultural Science 56(2): 83-88
- SANCO 2002: Guidance Document on Terrestrial Ecotoxicology Under Council Directive 91/414/EEC, SANCO/10329/2002 rev 2 final, 17 October 2002
- Schiro J, 2002: Affaiblissement des colonies d'abeilles, maladies ou intoxication? Intervention à la journée scientifique de l'AFSSA: Analyse des phénomènes d'affaiblissement des colonies d'abeilles: constat par les professionnels de l'apiculture, Maisons-Alfort, 10 septembre 2002
- Schmickl T and Crailsheim K, 2001: Cannibalism and early capping: strategy of honeybee colonies in times of experimental pollen shortages, J Comp Physiol A 187: 541-547
- Schmid MR, Brockmann A, Pirk CWW, Stanley DW and Tautz J, 2008: Adult honeybees (*Apis mellifera* L.) abandon hemocytic but not phenoloxidase-based immunity, Journal of insect physiology, 54 (2), 439-444
- Schmid-Hempel P, 1987: Efficient nectar-collecting by honeybees 1. Economic models, Journal of Animal Ecology 56: 209-218
- Sharma VP and Kumar NR, 2010: Changes in honeybee behaviour and biology under the influence of cellphone radiations, Current Science 98(10): 1376-1378
- Schneider CW, Tautz J, Gruenewald B and Fuchs S, 2012: RFID Tracking of Sublethal Effects of Two Neonicotinoid Insecticides on the Foraging Behavior of *Apis mellifera*. PLoS ONE 7(1): e30023. doi: 10.1371/journal.pone.0030023
- Schneider SS and Lewis LA, 2004: The vibration signal, modulatory communication and the organization of labor in honey bees, *Apis mellifera*. Review article, Apidologie 35: 117-131
- Schöning C, Gisder S, Geiselhardt S, Kretschmann I, Bienefeld K, Hilker H and Genersch E, 2012: Evidence for damage-dependent hygienic behaviour towards *Varroa destructor*-parasitised brood in the western honey bee, *Apis mellifera*, The Journal of Experimental Biology 215: 264-271
- Scott-Dupree CD, Conroy L and Harris CR, 2009: Impact of Currently Used or Potentially Useful Insecticides for Canola Agroecosystems on *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae), *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae), and *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae), J. Econ. Entomol. 102(1): 177-182
- Seeley T, 1992: The tremble dance of the honeybee: messages and meaning, Behav Ecol Sociobiol (1992) 31: 375-383

- Seeley TD, 1985: Honeybee ecology, A study of adaptation in social life, Princeton University Press, Princeton, 216 pp.
- Seeley TD, Camazine S and Sneyd J, 1991: Collective decision-making in honey bees : how colonies choose among nectar sources, *Behav Ecol Sociobiol* 28 : 277 – 290
- Sgolastra F, Renzi T, Draghetti S, Medrzycki P, Lodesani M, Maini S, Porrini C, 2012: Effects of neonicotinoid dust from maize seed-dressing on honey bees, *Bulletin of Insectology* 65 (2): 273-280
- Sharma D and Abrol DP, 2005: Contact Toxicity of Some Insecticides to Honeybee *Apis mellifera* (L.) and *Apis cerana* (F.), *J. Asia-Pacific Entomol.* 8(1): 113-115.
- Shavit O, Dafni A and Ne'eman G, 2009: Competition between honeybees (*Apis mellifera*) and native solitary bees in the Mediterranean region of Israel—Implications for conservation, *Israel Journal of Plant Sciences* 57: 171–183
- Shawki MA-A, Titéra D, Kazda J, Kohoutková J, Táborský V, 2006: Toxicity to honeybees of water guttation and dew collected from winter rape treated with Nurelle D®. *Plant Protect. Sci.*, 42: 9–14
- Shemesh Y, Eban-Rothschild A, Cohen M and Bloch G, 2010: Molecular Dynamics and Social Regulation of Context- Dependent Plasticity in the Circadian Clockwork of the Honey Bee, *The Journal of Neuroscience* 30(37): 12517–12525
- Simmons MA, Bromenshenk JJ and Gudatis JL, 1990: Honeybees as monitors of Low Levels of Radioactivity, Pacific Northwest Laboratory Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle Memorial Institute, July 1990, 22pp.
- SPF SPSCAE 2012 : La santé des abeilles, notre santé aussi, actions additionnelles 2012-2014, Service public fédéral Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement, 23 octobre 2012
- Stoner A, Rhodes HA and Wilson WT, 1979: Case Histories of the effects of Microencapsuled Methyl Parathion (PennCap-M®) Applied to Fields Near Honey Bee Colonies, *American Bee Journal*, September 1979 : 648-652
- Stoner A, Sonnet PE, Wilson WT and Rhodes HA, 1978: PennCap-M Collection by Honey Bees, *American Bee Journal*, March 1978: 154-155
- Suryanarayanan S and Kleinman D, 2013: Be(e)coming Experts: The Controversy Over Insecticides in the Honey Bee Colony Collapse Disorder, *Social Studies of Science*, DOI: 10.1177/0306312712466186, published online: <http://sss.sagepub.com/content/early/2013/01/07/0306312712466186>
- Tapparo A, Giorio C, Marzaro M, Marton D, Solda L and Girolami V, 2011: Rapid analysis of neonicotinoid insecticides in guttation drops of corn seedlings obtained from coated seeds, *J Environ Monit.* 13(6): 1564-1568, published online: [http://www.boerenlandvogels.nl/sites/default/files/Tapparo\\_2011\\_c1em10085h.pdf](http://www.boerenlandvogels.nl/sites/default/files/Tapparo_2011_c1em10085h.pdf)
- Tapparo A, Marton D, Giorio C, Zanella A, Solda L, Marzaro M, Vivan L and Girolami V, 2012: Assessment of the environmental exposure of honeybees to particulate matter containing neonicotinoid insecticides coming from corn coated seeds, *Environ. Sci. Technol.* 46(5): 2592–2599
- Tasei JN, 2001: Effects of insect growth regulators on honey bees and non-*Apis* bees. A review, *Apidologie* 32: 527–545
- Taséi JN, Carré S, Moscatelli B and Grondeau C, 1988: Recherche de la DL50 de la deltaméthrine (Décis) chez *Megachile rotundata* F., abeille pollinisatrice de la luzerne (*Medicago sativa* L.) et des effets des doses infraléthales sur les adultes et les larves, *Apidologie* 19(3): 291-306.

Tautz J, 2009: L'étonnante abeille, De Boeck éd.

Taylor KS, Waller GD and Crowder LA, 1987: Impairment of a classical conditioned response of the honey bee (*Apis mellifera* L.) by sublethal doses of synthetic pyrethroid insecticides, *Apidologie* 18 (3): 243–252

Teeters BS, Johnson RM, Ellis MD and Siegfried BD, 2012: Using video-tracking to assess sublethal effects of pesticides on honey bees (*Apis mellifera* L.), *Environ Toxicol Chem.* 2012 31(6):1349-1354.

Terzić L, Krunić M, Stanisavljević L, Brajković M, Tomanović Ž, 2000: Air pollution of melliferous plants with arsenic : a constant cause of mass killing honeybees, *Acta biologica iugoslavica - serija D: Ekologija* 35(2): 115-121

Terzo M and Rasmont P, 2007: Abeilles sauvages, bourdons et autres insectes pollinisateurs, les livrets de l'agriculture 14, DGA, Ministère de la Région wallonne, 64 pp., brochure accessible sur internet: [http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/biblio\\_zoo.asp?author=terzo](http://www.zoologie.umh.ac.be/hymenoptera/biblio_zoo.asp?author=terzo).

The Honeybee Genome Sequencing Consortium, 2006: Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*, *Nature* 443: 931 – 949

Thorp RW, 1979; Structural, behavioral and physiological adaptation of bees (Apoidae) for collecting pollen, *Ann. Missouri Bot. Gard.* 66: 788-812

Tomisawa M and Casida JE, 2005: Neonicotinoid Insecticide Toxicology: Mechanisms of Selective Action, *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 45: 247–268

Tonelli D, Gattavecchia E, Porrini C, Celli G and Mercuri AM, 1990: Honey bees and their products as indicators of environmental radioactive pollution, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 141(2): 427-436

USDA 2012 : report on the National Stakeholders Conference on Honeybee Health, National Honey Bee Health Stakeholder Conference Steering Committee. Ce rapport est disponible sur Internet : <http://www.usda.gov/documents/ReportHoneyBeeHealth.pdf> (consultation le 12 juillet 2013)

Vaknin Y, Gan-mor S, Bechar A, Ronen B and Eisikowitch D, 2001: Are flowers morphologically adapted to take advantage of electrostatic forces in pollination?, *New Phytologist* 152: 301–306

Valdovinos-Núñez GR, Quezada-Euán JJ, Ancona-Xiu P, Mioo-Valle H, Carmona A and Ruiz-Sánchez E, 2009: *Comparative toxicity of pesticides to stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini)*, *J. Econ. Entomol.* 102 (5): 1737-1742

Van Heemert C, 1986: Onverwachten effecten bij een nieuw type bestrijdingsmiddel in de fruitteelt, *Bijenteelt VBBN* 9: 249

Van Nerum K and Buelens H, 1997: Hypoxia-controlled Winter Metabolism in honeybees (*Apis mellifera*), *Comp. Biochem. Physiol.* 117 A (4): 445–455

Vandame R, et Belzunces LP, 1998: Joint actions of deltamethrin and azole fungicides on honey bee thermoregulation, *Neuroscience Letters* 251(1): 57-60

Vandame R, Meled M, Colin ME, Belzunces LP, 1995: Alteration of the homing-flight in the honeybee *Apis mellifera* L. exposed to sublethal dose of deltamethrin. *Environ. Toxicol. Chem.* 14: 855-860

van der Steen JMJ, de Kraker J and Grotenhuis T, 2012: Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (*Apis mellifera* L.), *Environ Monit Assess* 184: 4119–4126

vanEngelsdorp D, Evans JD, Saegerman C, Mullin C, Haubruge E, et al., 2009: Colony Collapse Disorder: A Descriptive Study, *PLoS ONE* 4(8): e6481. doi:10.1371/journal.pone.0006481

- Velemínský M, Láznička P and Starý P, Honeybees (*Apis mellifera*) as environmental monitors of heavy metals in Czechoslovakia, *Journal Acta Entomologica Bohemoslovaca* 87(1): 37-44
- Vidau C, Paris L, Viguès B, Aufauvre J, Fontbonne R, Blot N, Diogon M, Texier C, El Alaoui H, Brunet JL, Belzunces LP et Delbac F, 2011 : Effets d'une infection par *Nosema ceranae* sur la sensibilité des abeilles à des doses sublétales de fipronil et de thiaclopride in Jean-Marie Barbançon et Monique L'Hostis, Ed., *Journée Scientifique Apicole*, Arles, 11 février 2011, pp 28-34
- Villa S, Vighi M, Finizio A, Bolchi Serini G, 2000: Risk assessment for honeybees from pesticide-exposed pollen, *Ecotoxicology* 9: 287-297
- Visser A and Blacquièrre T, 2010: Survival rate of honeybee (*Apis mellifera*) workers after exposure to sublethal concentrations of imidacloprid, *Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet.* 21: 29-34
- Wallner K, 2009: Sprayed and seed dressed pesticides in pollen, nectar and honey of oilseed rape. *Julius Kühn-Archiv* 423: 152-153
- Watmough J and Camazine S, 1995: Self-organized thermoregulation in honey bee clusters, *J. theor. Biol.* 176: 391-402
- Weinstock GM, Robinson GE, Gibbs RA, Weinstock GM, Weinstock GM et al (2006) Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*. *Nature* 443(7114): 931-949
- Wiest L, BuletéA, Giroud B, Fratta C, Amic S, Lambert O, Pouliquen H, Arnaudguilhem C, 2011: Multi-residue analysis of 80 environmental contaminants in honeys, honeybees and pollens by one extraction procedure followed by liquid and gas chromatography coupled with mass spectrometric detection, *Journal of Chromatography A*, 1218: 5743-5756
- Whitehorn PR, O'Connor S, Wackers FL and Goulson D, 2012: Neonicotinoid pesticide reduces bumblebee colony growth and queen production, *Science* 336: 351-352.\$
- Whitfield CW et al., 2006: Thrice Out of Africa: Ancient and Recent Expansions of the Honey Bee, *Apis mellifera*, *Science* 314: 642-645.\$
- Wilson WT and Menapace DM, 1979: Etude de la maladie de la disparition aux USA, article publié en français sur le site d'Apiservices: [http://www.beekeeping.com/spmf/sapmp/maladie\\_disparition\\_usa.htm](http://www.beekeeping.com/spmf/sapmp/maladie_disparition_usa.htm) (consultation le 18 mai 2009), traduction d'un article paru dans l'*American Bee Journal*, février-mars 1979
- Wilson-Rich N, Spivak M, Fefferman NH and Starks PhT, 2009: Genetic, individual and group facilitation of disease résistance in insect societies, *Ann. Rev. Entomol.* 54: 405-423
- Wu JY, Smart MD, Anelli CM and Sheppard WS, 2012: Honey bees (*Apis mellifera*) reared in brood combs containing high levels of pesticide residues exhibit increased susceptibility to *Nosema* (Microsporidia) infection, *J. Invertebr. Pathol.* 109(3): 326-329
- Yang X and Cox-Foster DL, 2005: Impact of an ectoparasite on the immunity and pathology of an invertebrate: Evidence for host immunosuppression and viral amplification, *PNAS* 102: 7470-7475
- Zacharias MA and Roff JC, 2001: Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique, *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 11: 59-76
- Zeder MA, Emshwiller E, Smith BD, Bradley DG, 2006: Documenting domestication: the intersection of genetics and archaeology, *Trends in Genetics* 22: 139-155
- Zenhua X, 2011: Managed honeybee colonies and honey production in China grew during the last decade, *Journal of Apiculture Science*, 55(1): 77-85



#### **Édition**

Octobre 2013

#### **Composition**

Publication scientifique rédigée par Janine Kevits (Nature & Progrès)  
Collaboration entre Nature & Progrès et le Service Public Fédéral Santé publique,  
Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement

#### **Mise en page**

Véronique Lux

#### **Pour en savoir plus**

SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement - [www.info-abeilles.com](http://www.info-abeilles.com)  
Nature & Progrès - [www.natpro.be](http://www.natpro.be)

#### **Éditeur responsable**

Dirk Cuypers - SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement  
Place Victor Horta 40 bte 10 - 1060 Bruxelles

#### **Dépôt légal**

D/2013/2196/64



