

L'ABEILLE DOMESTIQUE COMME  
BIO-INDICATEUR ÉCOTOXICOLOGIQUE DE POLLUANTS :  
LE CAS DE L'INSECTICIDE IMIDACLOPRIDE

Par

Stéphane Laramée

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement  
en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, mai 2007

## **IDENTIFICATION SIGNALITIQUE**

L'abeille domestique comme bio-indicateur écotoxicologique de polluants : le cas de l'insecticide imidaclopride

Stéphane Laramée

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement  
en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Centre universitaire de formation en environnement  
Université de Sherbrooke

avril 2007

Mots clés : abeille domestique, bio-indicateur, culture, doses,  $DL_{50}$ , exposition, gaucho, maïs, imidaclopride, insecticides, toxicité, risque.

## SOMMAIRE

Les bio-indicateurs sont souvent utilisés pour mesurer l'impact des activités humaines sur la nature. L'abeille domestique est un très bon bio-indicateur de polluants environnementaux car elle est quotidiennement en contact avec plusieurs éléments abiotiques des écosystèmes, tel que l'eau, l'air et les végétaux. Elle permet notamment de mesurer certains polluants atmosphériques (métaux lourds, HAP, etc), radioactifs et phytosanitaires.

En Europe, il y a un insecticide qui a causé beaucoup de controverses ces dernières années; il s'agit de l'imidaclopride, fabriqué par Bayer Crop Science. C'est un produit phytosanitaire ayant trois principales caractéristiques : il est neurotoxique (s'attaque aux neurones), systémique (présent partout dans la plante) et persistant (longue durée de vie). L'imidaclopride est suspecté d'affecter le comportement des abeilles et d'être en partie responsable de la dépopulation inexplicée des ruches. Plusieurs études ont été réalisées en Europe afin de vérifier si le produit en question pourrait être responsable des dommages observés chez les colonies d'abeilles. Les résultats sont variés; certaines études mentionnent que le produit est toxique alors que d'autres le nient. En se basant sur le principe de précaution, la France a retiré le produit du marché pendant une période indéfinie. Au Québec et au Canada, l'imidaclopride est homologué mais peu utilisé pour le moment. Ce sont les producteurs de pomme de terre qui sont les principaux utilisateurs de ce produit phytosanitaire.

La présente étude a été réalisée pour montrer les différentes applications de bio-indication avec l'abeille et, plus spécifiquement, pour estimer le risque de l'imidaclopride pour les abeilles du Québec. Les calculs de risque ont été réalisés avec la participation du directeur de l'essai, Raymond Van Coillie, expert en écotoxicologie. Les données utilisées pour calculer l'évaluation du risque des abeilles à la suite d'une exposition à l'imidaclopride ont été tirées du rapport final « *Imidaclopride utilisé en enrobage de semence (Gaucho®) et troubles des abeilles (2003)* » du Comité scientifique et technique de l'étude multifactorielle des troubles des abeilles, lequel comité a été créé par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales de France.

Les résultats ont montré qu'il y aurait effectivement un risque pour les butineuses et les travailleuses d'intérieur qui consommeraient du pollen de maïs traité à l'imidaclopride. Certaines suggestions sont donc apportées : approfondir les recherches en validant les données par des expériences réalisées sur des terrains québécois, utiliser l'imidaclopride seulement pour des situations d'urgences concernant les cultures de maïs, porter une attention particulière dans les recherches sur les insecticides similaires à l'imidaclopride (fipronil, clothianidine, etc.), stimuler les communications entre les agriculteurs et les apiculteurs et inclure d'autres facteurs potentiels dans l'analyse des dépopulations des ruches.

## **REMERCIEMENTS**

J'aimerais remercier tout d'abord mon directeur d'essai, Monsieur Raymond van Coillie, Raymond van Coillie, expert en toxicologie et analyses de risque, qui m'a bien encadré tout au long du développement de ce projet. Ses nombreuses expériences et ses connaissances approfondies en écotoxicologie ont apporté une expertise très importante à l'estimation du risque de l'imidaclopride pour les abeilles. Il a fait preuve d'une grande disponibilité, d'une ouverture d'esprit et d'un grand soutien pour l'accomplissement de ce travail. Merci aussi à son épouse qui a revu l'orthographe et la forme de l'essai.

Mais aussi, Madeleine Chagnon, chargée de projet au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault. Sans l'appui et l'implication de Madeleine Chagnon, ce travail n'aurait pas eu la même portée ni la même pertinence. Elle connaissait très bien l'importance de créer un projet d'éveil au sujet de l'imidaclopride et des autres insecticides à enrobage de semence. Mme Chagnon m'a mis en contact avec des personnes clés dans le domaine apicole et elle a su être opportuniste pour la présentation du dossier dans certains événements.

Émile Houle, technicien agricole au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault, a été d'une accessibilité exceptionnelle et m'a toujours tenu informé des articles intéressants pour le projet. Il a représenté un très bon allié.

André Pettigrew, agronome et conseiller en développement technologique à la Direction régionale de l'Estrie du MAPAQ, a été une des premières personnes à s'intéresser activement au dossier de l'imidaclopride au Québec. Il représentait une référence crédible et très fiable pour ce dossier. Sa contribution, tant pour l'apport d'information que pour la transmission de contacts, a permis au projet d'avancer solidement.

Jean-François Doyon, président de la Fédération des apiculteurs du Québec, s'est montré très intéressé par ce projet et appuie le développement de phases ultérieures qui permettront de mettre en lumière des solutions aux problématiques soulevées dans le présent document.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>IDENTIFICATION SIGNALITIQUE</b> .....	<b>II</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>III</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1 ABEILLE</b> .....	<b>4</b>
1.1 MORPHOLOGIE .....	4
1.2 COLONIE .....	5
1.3 BUTINAGE .....	5
1.4 POLLINISATION .....	7
<b>2 ABEILLE ET BIO-INDICATION</b> .....	<b>10</b>
2.1 BIO-INDICATION DE MÉTAUX LOURDS .....	13
2.1.1 <i>Rejets automobiles</i> .....	13
2.1.2 <i>Rejets industriels</i> .....	14
2.2 BIO-INDICATION DE PRODUITS RADIOACTIFS.....	14
2.3 BIO-INDICATION DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	15
<b>3 IMIDACLOPRIDE</b> .....	<b>18</b>
3.1 PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET FORMULE .....	18
3.2 CARACTÉRISTIQUES TOXICOLOGIQUES .....	18
3.2.1 <i>Neurotoxicité</i> .....	18
3.2.2 <i>Action systémique</i> .....	19
3.2.3 <i>Persistance</i> .....	19
3.3 MÉTABOLISATION .....	19
3.4 HOMOLOGATION .....	20
3.5 NOMS COMMERCIAUX .....	22
3.6 PRINCIPALES UTILISATIONS .....	22
3.7 CHEMINEMENTS DE L'IMIDACLOPRIDE .....	23
3.7.1 <i>Milieu urbain</i> .....	23
3.7.2 <i>Eaux souterraines</i> .....	24
3.7.3 <i>Cultures en rotation</i> .....	24

3.7.4	<i>Transplantation</i> .....	25
3.8	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS .....	25
<b>4</b>	<b>IMIDACLOPRIDE ET APICULTURE</b> .....	<b>26</b>
4.1	EN EUROPE.....	26
4.2	AU CANADA ET AU QUÉBEC .....	30
4.3	PARAMÈTRES TOXICOLOGIQUES.....	31
4.3.1	<i>Source d'exposition</i> .....	31
4.3.2	<i>Voies d'absorption</i> .....	32
4.3.3	<i>Doses</i> .....	32
4.3.4	<i>Effets néfastes</i> .....	32
4.3.5	<i>Relations dose-effet</i> .....	32
4.3.6	<i>Potentiels toxiques</i> .....	33
4.3.7	<i>Doses aiguës et doses chroniques</i> .....	33
4.3.8	<i>Risques toxiques</i> .....	34
4.4	EXEMPLES D'ÉTUDES RÉALISÉES.....	34
4.4.1	<i>En laboratoire</i> .....	34
4.4.2	<i>Sous tunnel (en serre)</i> .....	35
4.4.3	<i>En plein champ</i> .....	37
<b>5</b>	<b>ÉVALUATION DES EFFETS DE L'IMIDACLOPRIDE CHEZ L'ABEILLE</b> .....	<b>39</b>
5.1	DÉFINITION DES EFFETS ET DES CRITÈRES DE VALIDATION .....	39
5.1.1	<i>Effets létaux</i> .....	39
5.1.2	<i>Effets sublétaux</i> .....	40
5.2	DOSES TOXIQUES D'IMIDACLOPRIDE POUR L'ABEILLE.....	43
5.3	FACTEURS DE SÉCURITÉ .....	44
5.4	VALEURS ESTIMÉES SANS EFFET OBSERVÉ (VESEO) .....	44
<b>6</b>	<b>ÉVALUATION DE L'EXPOSITION DE L'IMIDACLOPRIDE</b> .....	<b>46</b>
6.1	DOSES RÉSIDUELLES D'EXPOSITION DE L'IMIDACLOPRIDE .....	46
6.2	ABEILLES EXPOSÉES ET QUANTITÉS ABSORBÉES DE MATIÈRES TRAITÉES .....	47
6.3	VALEURS ESTIMÉES D'EXPOSITION (VEE).....	49
<b>7</b>	<b>ESTIMATION DU RISQUE DE L'IMIDACLOPRIDE POUR L'ABEILLE AU</b> <b>QUÉBEC</b> .....	<b>50</b>

<b>8 SUGGESTIONS.....</b>	<b>57</b>
8.1 VÉRIFICATIONS SUR LE TERRAIN ET EN LABORATOIRE POUR LES DONNÉES CALCULÉES .....	57
8.2 APPLICATION DU PRINCIPE DE PRÉCAUTION .....	59
8.3 IDENTIFICATION DES INSECTICIDES SIMILAIRES À L'IMIDACLOPRIDE .....	60
8.3.1 <i>Clothianidine</i> .....	60
8.3.2 <i>Fipronil</i> .....	61
8.4 STIMULATION DES COMMUNICATIONS ENTRE LES ACTEURS CONCERNÉS.....	61
8.5 RÉALISATION D'ÉTUDES MULTIFACTORIELLES .....	62
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>64</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>67</b>
<b>ANNEXE 1 UTILISATIONS D'IMIDACLOPRIDE APPROUVÉES.....</b>	<b>72</b>
<b>ANNEXE 2 ÉTIQUETTES ET POSOLOGIES D'IMIDACLOPRIDE.....</b>	<b>73</b>
<b>ANNEXE 3 PESTICIDES TOXIQUES POUR LES ABEILLES .....</b>	<b>74</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Morphologie d'une abeille .....	4
Figure 1.2. Orientation de l'abeille domestique sur le terrain à l'aide de la danse .....	6
Figure 1.3. Pollinisation faite par le vent versus par l'abeille .....	8
Figure 2.1. Secteurs environnementaux visités par l'abeille .....	10
Figure 2.2. Trappe à abeilles mortes; mortalité faible versus mortalité sévère .....	12
Figure 2.3. Apiculteur de Paris .....	16
Figure 4.1. Cagette utilisée comme dispositif expérimental en laboratoire .....	34
Figure 4.2. Essai expérimental sur l'extension du proboscis .....	35
Figure 4.3. Serre expérimentale .....	36
Figure 4.4. Résultats des essais en plein champ de Bortolotti, été 2002 .....	38
Figure 7.1. Superficies de maïs-grain au Québec, 2006 .....	54

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1. Aliments homologués au Canada et limite maximale de résidu .....	22
Tableau 4.1. Historique du dossier Gaucho® en France .....	30
Tableau 5.1. Intervalles de valeurs des doses toxiques de l'imidaclopride, l'oléfine et le 5-OH-imidaclopride .....	43
Tableau 5.2. Facteurs de sécurité du CST .....	44
Tableau 5.3. Facteurs de sécurité utilisés dans la présente étude .....	45
Tableau 5.4. Valeurs estimées sans effet observé pour l'imidaclopride, l'oléfine et le 5-OH-imidaclopride .....	45
Tableau 6.1. Doses résiduelles d'exposition de l'imidaclopride .....	47
Tableau 6.2. Quantités absorbées de matières traitées par catégorie d'abeille .....	48
Tableau 6.3. Valeurs estimées d'exposition d'imidaclopride par voie orale .....	49
Tableau 7.1. Indices de risque de l'imidaclopride par voie orale .....	50
Tableau 7.2. Quantités d'imidaclopride pour certaines cultures horticoles du Québec ..	53
Tableau 7.3. Statistiques principales relatives au miel en 2005 .....	55
Tableau 7.4. Indices de risque de l'imidaclopride par voie orale pour le maïs .....	55
Tableau 7.5. Certaines cultures homologuées pour l'imidaclopride .....	56

## LISTE D'ACRONYMES

AFSSA	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
ARLA	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CNRS	Centre national de la recherche scientifique (France)
CRAAQ	Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
CRSAD	Centre de recherche en santé animale de Deschambault
CET	Centres d'encadrement technique
CST	Comité scientifique et technique (France)
DPT	Doryphore de la pomme de terre
DL <sub>50</sub>	Dose létale qui provoque la mort de 50% des sujets
DL <sub>50</sub> 48h	Dose létale qui provoque la mort de 50% des sujets en 48 heures
DT <sub>50</sub>	Demi-vie : temps que prend 50% de la substance à se dégrader
f	Facteur de sécurité
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HPLC	<i>High performance liquid chromatograph</i> Chromatographe liquide à haute performance
IR	Indice de risque
ISQ	Institut de la statistique Québec
LD	Limite de détection
LQ	Limite de quantification
LOEC	<i>Lowest observed effect concentration</i> Concentration la plus faible d'une substance conduisant à un effet
LOAEC	<i>Lowest observed adverse effect concentration</i> Concentration la plus faible d'une substance conduisant à un effet néfaste
LMR	Limite maximale de résidu
MAAPA	Ministre de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales (France)

MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (Québec)
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (Québec)
NPTN	National pesticide telecommunication network
NOEC	<i>No observed effect concentration</i> Concentration d'une substance sans effet observé
NOAEC	<i>No observed adverse effect concentration</i> Concentration d'une substance sans effet néfaste observé
REP	Réflexe d'extension du proboscis
UNAF	Union nationale de l'apiculture française
VEE	Valeur estimée d'exposition
VESEO	Valeur estimée sans effet observé

## **INTRODUCTION**

Les preuves de l'existence des abeilles sur terre datent depuis plus de 60 millions d'années. Certains paléontologues découvrirent leurs fossiles dans les ambres de la Baltique. En raison d'une complémentarité avec les plantes à fleurs, elles ont participé à l'émergence d'une biodiversité exceptionnelle. De nombreuses civilisations égyptiennes, grecques et indiennes étaient fascinées par cet insecte et ses confections (Moreaux, 2003). Encore aujourd'hui, l'homme peut bénéficier des divers produits de l'abeille et des services qu'elle rend à l'agriculture grâce à ses qualités de pollinisateur. Dans un contexte plus actuel, celle-ci est devenue une alliée hors pair pour la détection de la pollution de l'environnement.

Présentement, la surveillance écologique de l'environnement urbain et industriel fait appel à des techniques et des instruments de plus en plus complexes et coûteux. Heureusement, l'homme peut maintenant compter sur l'utilisation de l'abeille comme indicateur biologique, communément appelé bio-indicateur. Plusieurs polluants peuvent se trouver dans le pollen et le nectar recueillis par les abeilles. Ces produits peuvent ensuite être prélevés et analysés par l'homme à des fins de recherches. Sans le savoir, cet insecte joue un rôle de détective privé et révèle des données très pertinentes sur son environnement. Par contre, il arrive parfois que l'abeille soit victime d'une utilisation abusive d'un produit phytosanitaire ou qu'elle soit affectée par un produit qui ne la ciblait pas.

En France et en Italie, plusieurs apiculteurs ont vu la population de leurs ruchers diminuer à la suite de la venue de l'imidaclopride en semence enrobée sur le marché des insecticides. Plusieurs études ont été réalisées afin de déterminer si ce produit phytosanitaire était vraiment en lien avec cette dépopulation des ruches. La France a décidé de retirer l'insecticide du marché jusqu'à ce qu'il soit prouvé sécuritaire.

Au Québec et au Canada, l'imidaclopride en semence enrobée est homologué pour usage sur plusieurs cultures, mais les recherches n'ont pas été très élaborées car le produit n'est présentement pas utilisé à grande échelle. Il est donc temps de prévenir.

L'objectif principal de cet essai est d'estimer, à partir du rôle de bio-indication de l'abeille, le risque pour *Apis mellifera* lors de l'utilisation de l'imidaclopride en semence enrobée au Québec dans les cultures de maïs.

À cette fin, en premier lieu, l'abeille domestique et son rôle pour la bio-indication seront décrits. En second lieu, le cas de l'imidaclopride sera étudié en mentionnant ses propriétés chimiques et ses caractéristiques toxicologiques. En troisième lieu, pour bien comprendre le dossier qui est devenu très médiatisé, il y aura une synthèse des événements qui se sont déroulés en Europe, plus particulièrement en France, car c'est à cet endroit qu'il y a eu le plus de controverses. Il y aura également une mise à jour du sujet de l'imidaclopride au Canada et au Québec pour connaître la situation actuelle. En quatrième lieu, le volet recherche sera abordé en décrivant certaines études réalisées au sujet de la toxicologie de l'imidaclopride. En cinquième lieu, à partir des données approuvées par un groupe d'experts, l'estimation du risque de l'imidaclopride pour l'abeille sera calculée. Pour ce faire, il faudra évaluer les effets de l'imidaclopride ainsi que l'exposition des abeilles. Les indices de risques obtenus aideront à éclairer les enjeux pour le Québec. Finalement, des suggestions seront élaborées pour continuer les recherches et approfondir le dossier de l'imidaclopride au Québec.

Pour réaliser ce rapport, il y a d'abord eu une investigation auprès du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec et du Centre de recherche en santé animale de Deschambault pour valider la pertinence de l'étude. Ensuite, une revue de littérature, provenant notamment de documents professionnels et scientifiques, a été réalisée pour brosser un portrait du dossier de l'imidaclopride en Europe et au Québec. Les calculs de risque ont finalement été réalisés avec la participation du directeur de l'essai, Raymond Van Coillie, spécialisé en écotoxicologie. Les données utilisées pour calculer l'évaluation du risque des abeilles à la suite d'une exposition à l'imidaclopride ont été tirées du rapport final *Imidaclopride utilisé en enrobage de semence (Gaucho®) et troubles des abeilles (2003)* du Comité scientifique et technique (CST) de l'étude multifactorielle des troubles des abeilles, lequel comité a été créé par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales de France.

Le rapport du CST a été réalisé à l'aide de plusieurs spécialistes en apiculture, de références sur la biologie des abeilles et de données de toxicologie des abeilles. Des informations concrètes provenant d'apiculteurs et de Bayer Crop Science ont également été considérées.

# 1 ABEILLE

Les abeilles sont des insectes qui forment la super-famille des apoïdes. Il existe plus de 16 000 espèces d'abeilles décrites (Wikipedia, 2006a). La mieux connue est l'abeille domestique (*Apis mellifera*), une espèce sociale élevée par l'homme pour la production de miel. C'est une espèce plutôt calme dont on peut prélever sans danger une partie de la production. Au Québec, presque toutes les abeilles domestiques appartiennent à la race italienne *Apis mellifera ligustica Spinola*. Ces insectes portent des bandes dorées sur l'abdomen. Ils sont présents dans plus de 95 % des ruchers du Québec (Ville de Montréal, 2003).

## 1.1 Morphologie

L'abeille a un poids moyen d'environ 0,1 gramme (AFSSA, 2005). Son corps, comme tous les insectes, est divisé en trois parties : la tête, qui porte une trompe (*proboscis*) à la fois lécheur et suceur, le thorax formé de trois anneaux fusionnés portant chacun une paire de pattes dont les postérieures sont particulièrement adaptées à la récolte (brosse et peigne) et au transport (corbeille) du pollen et l'abdomen formé de sept segments généralement couverts de poils. Seules les femelles possèdent un dard vénimeux à la partie postérieure du corps (Wikipedia, 2006a).

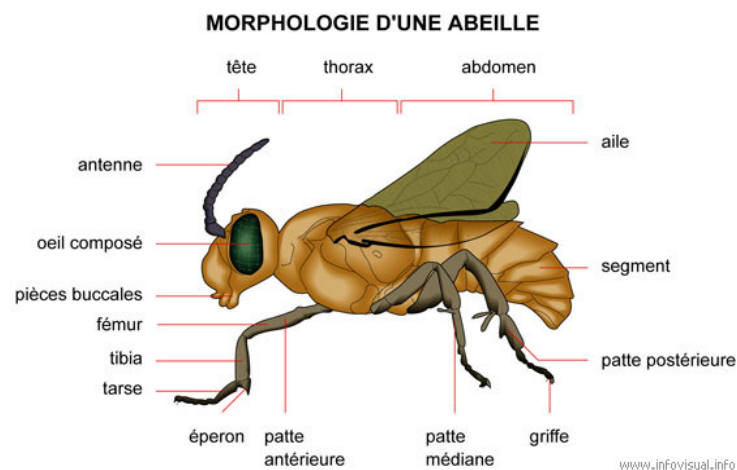


Figure 1.1 Morphologie d'une abeille. Tiré de Dery, 2006

## **1.2 Colonie**

Une colonie peut abriter entre 15 000 et 80 000 individus. Elle est constituée d'une reine unique, d'ouvrières et de faux-bourçons. La reine est la seule femelle fertile de la colonie. Elle pond environ un œuf par minute, depuis le début du printemps jusqu'à la fin de l'automne (Ville de Montréal, 2003).

Les ouvrières sont les individus les plus nombreux de la colonie (jusqu'à 40 000). Une ouvrière d'hiver vit quelques mois et une ouvrière d'été quelques semaines seulement. Au cours de sa vie, elle aura la tâche de nettoyeuse, nourrice, travailleuse d'intérieur, cirière, gardienne et finalement butineuse.

Les mâles, appelés aussi faux-bourçons, sont plus volumineux que les femelles et ne peuvent butiner ou transporter du pollen. On en compte environ 2 500 par colonie. Ils ne sortent habituellement que pour la période de reproduction.

Une ouvrière vit de 35 à 45 jours environ durant la saison active ou six mois si elle fait partie des abeilles qui hivernent. Un faux-bourçon vit environ 50 jours. L'espérance de vie d'une reine est de quatre à cinq ans mais les apiculteurs les gardent en moyenne deux ans. À la fin de l'été, un maximum de miel est entreposé dans la ruche afin de permettre aux abeilles d'avoir suffisamment de provisions pour passer l'hiver. Les faux-bourçons, devenus inutiles, sont chassés de la colonie par les ouvrières et meurent. Au Québec, l'abeille domestique est la seule espèce d'insecte capable de maintenir une colonie aussi nombreuse, avec une réserve de nourriture aussi importante, tout au long de la saison froide. Lorsqu'une colonie devient trop populeuse, la reine se prépare à partir avec la moitié des abeilles pour fonder une nouvelle colonie, ce qui est appelé l'essaimage (Ville de Montréal, 2003).

## **1.3 Butinage**

Le butinage est nécessaire pour récolter le nectar et le pollen qui constituent les besoins nutritionnels tant pour les abeilles adultes que pour le couvain. Les colonies utilisent des éclaireuses pour contrôler le butinage. Elles détectent les odeurs principalement par leurs antennes. Lorsqu'elles détectent une source riche en nectar ou en pollen, elles mémorisent son odeur, sa couleur, son apparence visuelle ainsi que sa position en

relation avec la ruche. Au retour, elles communiquent exactement l'endroit et la distance de la source par un comportement appelé communément « danse ». La direction est identifiée à l'aide de la position du soleil, la distance est représentée par la vélocité de la danse (rapide = près, lente = loin) et le type d'aliment est fourni par un échantillon gardé sur les poils de l'éclaireuse ou, dans d'autres cas, régurgité de son estomac (Schmuck, 1999).

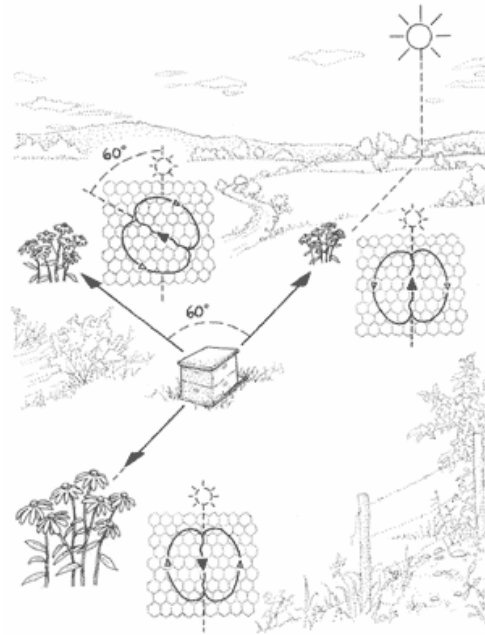


Figure 1.2 Orientation de l'abeille domestique sur le terrain à l'aide de la danse.  
Tiré de Mondor, 2006

Par rapport à leur petite taille, les abeilles butinent sur de larges territoires, soit sur un rayon moyen de 4km autour de la ruche (pouvant aller jusqu'à 6km), couvrant ainsi un territoire de 50km<sup>2</sup>. Avant de quitter la ruche, les butineuses se gorgent de miel ou de nectar et l'emmagasinent dans leur estomac afin de le consommer en guise de carburant durant leur travail.

Il y a plus de butineuses spécialisées dans la récolte de nectar (58%) que de pollen (25%); le reste (17%) récolte les deux produits équitablement (Doucet-Personeni *et al.*, 2003). Pour fabriquer 500 grammes de miel, les abeilles effectuent environ 17 000 voyages, butinent plus de 8 millions de fleurs et travaillent près de 7 000 heures. Il faut à l'abeille environ 2,5g de nectar pour fabriquer 1g de miel. Une colonie produit en moyenne 50 grammes de miel par année (Apis bruo csella, 2006). Pour assurer sa

subsistance, la colonie a besoin chaque année de 100 litres d'eau, 50 kg de pollen et 100 kg de miel (Aletru, 2006).

Le pollen permet de déterminer précisément la sorte de plantes que l'abeille a butinée. *Apis mellifera* a tendance à visiter la même région au même moment de la journée pendant plusieurs voyages ou jours consécutifs. Souvent, elle visitera qu'une seule espèce de fleurs par voyage ou par jour. Les échantillonnages d'une même espèce étant plus nombreux, cela augmente les probabilités de détection de la source d'une anomalie.

Bien que des ouvrières puissent voler en hiver à des températures légèrement supérieures à 0°C, le butinage ne commence pas généralement avant des températures de 12 à 14°C. Normalement, les butineuses sortent de la ruche lorsqu'il y a une luminosité de 0,66 langley ou plus. En outre, plus le vent est fort, moins les abeilles iront butiner (Winstron Mark, 1993).

#### **1.4 Pollinisation**

La pollinisation est la méthode de reproduction pour les plantes à fleurs et la façon de créer des fruits pour les arbres fruitiers. Ceux-ci utilisent le pollen provenant des étamines pour transmettre leurs gamètes mâles aux gamètes femelles localisées dans les stigmates. Le vent est un véhicule utilisé pour certaines fleurs mais ce n'est pas le plus efficace. La pollinisation de la plupart, comme les plantes entomophiles, est avantagée par la présence des insectes. Ce type de plante possède des fleurs odorantes aux couleurs vives avec une bonne ration de nectar afin de favoriser l'attirer des pollinisateurs. Cinq grands groupes de plantes cultivées sont concernés par cette forme de pollinisation : les arbres fruitiers (pommier, cerisier, etc.), les petits fruits (fraisier, framboisier, etc.), les oléagineux (tournesol et colza), les légumes (melon, tomate, etc.), les productions de graines et semences (luzerne, trèfle, etc.) et les semences légumières (carotte, oignon, etc.) (Brodhag, 2004).

Parmi les insectes pollinisateurs, l'abeille se classe première en terme d'efficacité. Voici les raisons principales de cette constatation.

### **Transport**

Ses nombreux poils permettent d'emmagasiner et de transporter en toute sécurité une grande quantité de pollen d'une fleur à l'autre.

### **Rendement**

Chaque jour, la butineuse visite en moyenne 225 000 fleurs présentes dans son champ d'action (Laby, 2006), ce qui assure une reproduction et des rendements considérables pour les agriculteurs. D'ailleurs, la grande majorité des agriculteurs louent des ruches lors de la période de floraison pour assurer une pollinisation de leur culture. On retrouve cette pratique notamment pour les bleuets, les concombres, les melons et les vergers. Au Québec, le prix d'une colonie a augmenté depuis les dernières années, passant de 62\$ en 2001 à 87\$ en 2005, générant respectivement des recettes de 1,3 million à 2 millions de dollars (ISQ, 2006a).

### **Qualité**

La pollinisation des arbres fruitiers et des petits fruits réalisée par les abeilles offre des meilleurs résultats que la pollinisation faite par le vent. L'échange de pollen est plus direct et plus profond avec l'abeille, ce qui augmente la qualité des fruits. Ces derniers auront une forme et un calibre plus régulier et leur pouvoir de conservation ainsi que leur concentration en sucre seront plus élevés (Apis bruo csella, 2006).



Figure 1.3 Pollinisation faite par le vent versus par l'abeille. Tiré de Apis bruo csella, 2006

## **Biodiversité**

Grâce à sa petite taille, ses habiletés à se faufiler dans des espaces serrés et l'utilisation de sa trompe, l'abeille peut, en allant chercher le nectar et le pollen, se frotter aux étamines et aux stigmates de fleurs possédant des corolles plus profondes et plus refermées; ceci augmente ainsi la diversité de fleurs qu'elle peut butiner. Les abeilles participent à la croissance de plus de 20 000 espèces végétales différentes (Brodhag, 2004). Elles sont donc des agents indispensables pour la diversité végétale qui représente un des indicateurs importants de la qualité de l'environnement. Sans le savoir, l'abeille joue un rôle vital pour les écosystèmes dont l'être humain est dépendant. D'ailleurs, Albert Einstein souligna à quel point l'abeille pouvait être un insecte indispensable pour l'homme lorsqu'il énonça la phrase suivante : « *Si l'abeille venait à disparaître, il ne resterait que quelques années à vivre pour l'être humain.* ». Effectivement, si l'abeille venait à disparaître, de nombreuses espèces végétales se verraient raréfier, ce qui engendrerait une diminution de l'alimentation ; ceci menacerait l'existence de plusieurs espèces animales. De nombreux écosystèmes seraient alors déséquilibrés et l'évolution de l'humain pourrait être éventuellement affectée.

## 2 ABEILLE ET BIO-INDICATION

Le but de la bio-indication est d'utiliser des organismes vivants (végétaux, insectes ou animaux) pour indiquer la présence de polluants dans l'environnement. Ces organismes, appelés bio-indicateurs, permettent de mesurer naturellement le degré, les effets ainsi que l'étendue de la pollution. En connaissant les risques d'empoisonnement des bio-indicateurs, on peut interpréter des extrapolations sur les risques d'intoxication pour d'autres organismes, incluant l'être humain. Les lichens et les mousses sont des bio-indicateurs végétaux très reconnus. Toutefois, du côté animal, l'abeille domestique joue aussi un rôle hors paire dans la détection de la pollution.

Plusieurs caractéristiques éthologiques et morphologiques font de l'*Apis mellifera* un détecteur écologique fiable et irréprochable (Porrini *et al.*, 2003a). Elle prélève des échantillons dans presque tous les secteurs environnementaux (sol, végétation, eau et air) lors de ces activités de butinage, fournissant ainsi plusieurs indicateurs pour chaque saison.

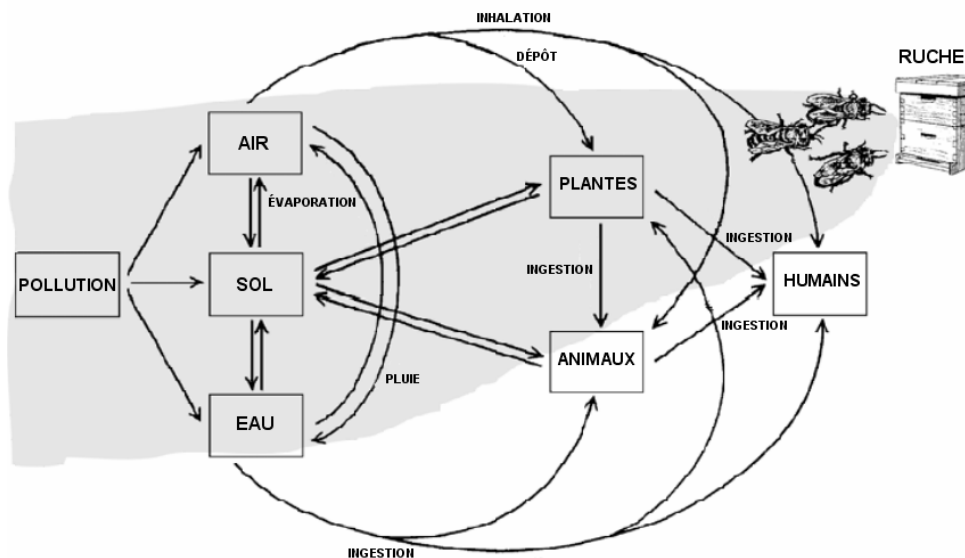


Figure 2.1 Secteurs environnementaux visités par l'abeille. Modifiée de Porrini *et al.*, 2003a

De plus, une bonne variété de produits sont amenés à la ruche (nectar, pollen, miellée, propolis et eau) et sont emmagasinés dans des cellules selon des critères variés, offrant ainsi une gamme de produits différents pour les analyses. D'autres avantages sont aussi très pertinents, tels que :

- organisme omniprésent dans l'environnement;
- présent sur tous les continents et dans la majorité des pays;
- espèce facile à multiplier;
- très haut taux de reproduction;
- durée de vie relativement courte;
- régénération continue de la colonie;
- besoins modestes en alimentation;
- son corps couvert de poils, ce qui le rend particulièrement approprié pour garder les substances avec lesquelles il entre en contact;
- très sensible à la majorité des produits phytosanitaires;
- grande mobilité et large aire de vol (rayon de 2 à 6 km) permettant une vaste zone de monitoring;
- apte pour des recherches dans différents types d'environnement (en laboratoire, en serre et en champs).

Il y a deux façons principales de détecter la pollution de l'environnement avec *l'Apis mellifera*, soit par l'analyse des abeilles mortes à la suite d'un haut taux de mortalité, soit par l'analyse de ses produits (miel, pollen et nectar).

Lorsque les abeilles ressentent un malaise dû à une intoxication, elles ont tendance à revenir à la ruche. Certaines meurent sur place, d'autres en chemin ou près de la ruche. Parfois, l'abeille intoxiquée dégage une odeur qui n'est pas tolérée par les gardiennes. Ces dernières tueront la butineuse et l'expulseront de la ruche. Normalement, lorsque le nombre d'abeilles mortes est supérieur à 250, des analyses chimiques sont faites pour détecter la présence de produits toxiques dans les cadavres. Des trappes à abeilles

mortes sont parfois installées par les apiculteurs devant les ruches pour faciliter l'évaluation de la mortalité.



Figure 2.2 Trappe à abeilles mortes, mortalité faible versus mortalité sévère.  
Tiré de Laramée, 2005

Des analyses palynologiques permettent de déterminer le type de pollen retrouvé sur le corps de l'insecte. Ces informations reliées à une carte localisant les aires de semences autour de la station de monitoring permettent d'estimer sur comment et où les abeilles ont été intoxiquées. Il y a des modèles plus dispendieux nécessitant une main-d'oeuvre qualifiée, qui, en plus des trappes d'abeilles mortes, sont munis de récupérateurs de pollen et de compteurs électroniques de butineuses sortant et entrant à la ruche.

Les pollens sont des marqueurs de la flore mellifère et anémophile. Ils sont, de par leur structure physico-chimique, des absorbeurs de polluants hydrophiles ou lipophiles. Les miels, quant à eux, sont des solutions de sucres complexes issus du nectar transformés par les organes digestifs de l'abeille. Les miels gardent la trace infinitésimale des produits phytosanitaires rencontrés par l'abeille lors du butinage. Ils permettent de détecter la présence de polluants les plus variés : minéraux, métaux lourds et produits chimiques organiques, cryptogamiques et microbiens.

Il est clair qu'aucun produit apicole commercialisé (pollen, nectar ou gelée royale) ne provient des ruches utilisées pour les études de bio-indication. Les produits de la ruche vendus sur le marché sont confectionnés à partir de fleurs qui sont exposées aux contaminants environnementaux normaux, au même degré que tout autre organisme végétal, animal et humain (Houle, 2006).

## 2.1 Bio-indication de métaux lourds

La présence de métaux lourds dans l'environnement peut être d'origine naturelle ou entropique. Beaucoup d'émissions proviennent des activités humaines des secteurs industriel et automobile. Étant donné qu'elles ne peuvent se déplacer, les fleurs sont des organismes qui peuvent être très exposés aux retombées de polluants atmosphériques. Le pollen peut donc être facilement contaminé. De plus, les plantes tirent les minéraux du sol pour leur alimentation; certains ingrédients peuvent alors passer du sol à la plante et se retrouver dans le pollen et le nectar de la fleur.

L'*Apis mellifera* est un insecte très poilu qui se promène partout autour de la ruche. Elle ramasse ainsi les poussières atmosphériques. Sans le vouloir, les polluants recueillis se retrouvent ensuite incorporés au pollen lorsqu'elle se brosse pour former les pelotes.

De nombreuses variables doivent être considérées lorsque l'on utilise l'abeille comme bio-indicateur de métaux lourds, soit :

- la température (la pluie ou le vent peut transporter les contaminants d'un autre secteur) ;
- la saison (le débit du nectar est plus grand au printemps, ce qui peut diluer le polluant) ;
- l'origine botanique (les fleurs ayant une morphologie plus ouverte laissent place à une plus grande exposition aux contaminants).

### 2.1.1 Rejets automobiles

L'Université de Pau et des Pays de l'Adour en France a fait des essais sur la bio-indication des métaux lourds et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) provenant de la circulation routière dans le but de déterminer les impacts de la pollution des transports sur les écosystèmes. Le groupe a placé deux ruches en bordure d'un axe routier et une troisième utilisée comme témoin à 1,5km de l'autoroute. Les résultats ont montré que le pollen a été plus efficace pour mesurer le zinc et le plomb. Ils ont indiqué des concentrations plus élevées pour les ruches situées près des axes routiers. Le miel, quant à lui, a été plus performant pour mesurer les HAP qui étaient surtout présents dans les ruches des axes routiers. Des résultats similaires ont été trouvés pour les HAP mesurés dans le corps des abeilles (Etchelecou, 2001).

### **2.1.2 Rejets industriels**

D'autres recherches ont montré l'efficacité d'utiliser le miel pour mesurer les rejets de métaux lourds d'une compagnie métallurgique de Copsa Mica, en Roumanie, qui a longtemps été reconnue comme une des villes les plus polluées de l'Europe. Malgré l'évidence de la pollution engendrée par les activités industrielles, la compagnie ne semblait pas vouloir admettre leurs impacts environnementaux. Cinq ruches ont été installées à différentes distances des rejets atmosphériques. Les analyses ont pu prouver que les émissions de métaux lourds provenaient bien de l'usine et que ceux-ci pouvaient fortement provoquer des impacts négatifs sur la végétation, la faune, l'agriculture et même l'être humain (Cecilia, 2005).

Au Québec, en plus d'au moins 15 autres méthodes de suivi, l'aluminerie Alcoa de Deschambault utilise le pollen des abeilles afin de mesurer les émissions atmosphériques des fluorures. Elle se sert de cet indicateur de performance depuis son implantation en 1992. Le Centre de recherche en science animale de Deschambault (CRSAD), situé à moins de 1km de l'usine, fournit chaque année, de mai à septembre, deux nouvelles ruches à l'aluminerie. Les ruches sont situées à environ deux kilomètres dans les vents dominants du nord-ouest. Chaque semaine, le personnel du CRSAD prend des échantillons de pollen dans chacune des ruches et les fournit à Alcoa pour leurs analyses. Les données obtenues permettent ainsi de vérifier la stabilité de leur système. Aucune anomalie ni mortalité d'abeille particulière n'a été détectée avec les ruches utilisées. Les responsables environnementaux de l'aluminerie Alcoa apprécient beaucoup l'utilisation du pollen des abeilles comme outil de bio-indication car cette méthode est de faible coût, elle est très accessible et permet de nombreux échantillonnages, minimisant ainsi les risques d'erreur des mesures (Richard, 2007).

## **2.2 Bio-indication de produits radioactifs**

Le pollen récolté par *Apis mellifera* permet de mesurer efficacement l'étendue de matières radioactives. Ce n'est qu'après la tragédie de Chernovyl que l'excellente efficacité de bio-monitoring a été démontrée sans équivoque. Une équipe de recherche d'Italie a trouvé, dans le contexte de Chernovyl, que, comparativement au miel et à la

cire, c'est le pollen qui est le meilleur produit pour le monitoring de la radioactivité. Dans l'incident de Algeciras (Espagne) en 1998, on a pu déterminer l'étendue du césium 137 grâce au pollen de l'abeille (Porrini *et al.*, 2003a).

### **2.3 Bio-indication de produits phytosanitaires**

La bio-indication des produits phytosanitaires avec les abeilles est une technique très importante, non seulement pour identifier les risques potentiels de l'empoisonnement des abeilles, mais aussi pour déterminer le degré de la contamination de l'environnement causé par des produits phytosanitaires. Dans plusieurs cas, la pollution causée par des applications erronées, abusées ou même illégales de produits phytosanitaires peut être prouvée grâce à l'abeille et à ses produits.

Pendant près de 20 ans, le groupe de recherche « Guido Grandi » de *l'Institute of Entomology of the University of Bologna* (Italie) a étudié la relation entre les abeilles et les produits phytosanitaires utilisés dans les champs agricoles (Porrini *et al.*, 2003b). Depuis 1980, plus de 400 stations de monitoring ont été installées en Italie. Celles-ci ont pu révéler quels étaient les produits phytosanitaires les plus utilisés dans les champs agricoles des régions étudiées. Ils ont déterminé que l'empoisonnement des abeilles italiennes était causé principalement par les produits phytosanitaires utilisés pour le traitement des semences agricoles, des vergers et des vignobles. Les insecticides les plus fréquents sont les organophosphates, les carbamates et les organochlorés. Le monitoring de ces produits indique des pratiques agricoles non spécialisées ou qui ne respectent pas le territoire. L'application de ces produits semble provenir surtout de motivations commerciales qui considèrent peu la protection des plantes (Porrini *et al.*, 2003b).

Le monitoring avec les abeilles permet également de déterminer des utilisations illégales. Par exemple, en 1995, du *lindane* a été trouvé dans certaines abeilles mortes d'une ruche située dans le centre-ville de Ravenna (Italie). L'utilisation de ce produit organochloré est permise seulement dans des zones très limitées de champs agricoles et pour seulement certaines cultures (Porrini *et al.*, 2003b).

Un des comportements des butineuses, qui réduit souvent les risques d'intoxication, est la répulsivité. En effet, les butineuses qui abordent une plante traitée aux produits phytosanitaires rebroussement généralement chemin sans se poser sur la fleur. C'est ainsi que les parcelles traitées voient se raréfier les pollinisateurs durant plusieurs heures suivant le traitement. Cet effet a des conséquences négatives sur la pollinisation, mais, d'un autre côté, est favorable à la conservation des abeilles *Apis mellifera*. Par contre, si l'insecticide est pulvérisé par avion ou hélicoptère, les butineuses sont touchées d'une manière beaucoup plus brutale, leur possibilité de fuite étant très réduite. De retour à la ruche, les abeilles contaminées sont, dans la grande majorité des cas, repoussées par les gardiennes et même souvent tuées sur place afin de ne pas contaminer la colonie et la reine. Certains insecticides ne causent pas de haut taux de mortalité chez l'abeille, mais peuvent provoquer des changements de comportements sévères, même à faibles doses (Charrière, 1999). Par ailleurs, la détection de produits phytosanitaires systémiques est difficilement réalisable par l'abeille car ils sont induits dans la plante par la racine.

En France, l'Union nationale de l'apiculture française (UNAF) a constaté que les abeilles vivent et produisent mieux en ville que dans la plupart des campagnes vouées à une production agricole intensive. Des ruches installées dans les villes de Montpellier, Nantes et Paris ont montré, à la suite d'analyses toxicologiques, que le miel est aussi pur et naturel en milieu urbain que dans les zones montagneuses éloignées de toute pollution. La très faible présence de produits phytosanitaires, la diversité florale et la température relativement élevée sont les principaux facteurs d'un constat partagé par tous les apiculteurs urbains possédant également des ruches en milieu rural (UNAF, 2006a).



Figure 2.3 Apiculteur de Paris. Tiré de Morgane, 2006

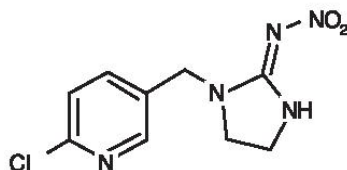
L'UNAF propose la mise en œuvre d'un projet national dans le but de sensibiliser, avec la participation d'institutions partenaires, les concitoyens au rôle majeur de l'abeille comme sentinelle de l'environnement. Ce vecteur de communication majeur, tant pour les apiculteurs que pour les collectivités territoriales, apportera des réponses concrètes aux interrogations d'aujourd'hui et concrétisera le rapprochement homme/nature. Les ruchers, peints aux couleurs des institutions partenaires, pourront être installés sur les toits, terrasses, espaces verts ou jardins publics. Pour optimiser l'outil de communication et le caractère « grand public », l'UNAF offrira des services tels que : entretien sanitaire des ruchers, extraction et récolte de miel en public, installation de « *webcam* » pour suivre l'évolution des colonies d'abeille en direct sur Internet, analyse toxicologique des produits de la ruche et organisation de conférences, d'expositions et de diffusion de films liés à l'abeille et à l'apiculture en milieu scolaire, institutionnel ou autre; etc. (UNAF, 2006b).

### 3 IMIDACLOPRIDE

L'imidaclopride est un insecticide créé en 1985 par l'entreprise Bayer Crop Science. Il a eu son approbation officielle au début des années 1990 et il a été le premier représentant de la famille des chloro-nicotinyles. Étant un des insecticides les plus utilisés mondialement depuis 1997, Bayer Crop Science a conçu un plan de prévention de résistance afin de garder ce produit le plus longtemps possible sur le marché (Bayer Crop Science, 1998).

#### 3.1 Propriétés chimiques et formule

Classe chimique :	chloro-nicotinyle
Apparence :	cristaux ou liquide (selon le produit)
Couleur :	incolore
Odeur :	très faible
CAS :	1-[(6-chloro-3-pyridinyle)-méthyle]-N-nitro-2-imidazonilidinime
CAS no :	138261-41-3
Formule :	$C_9H_{10}ClN_5O_2$
Structure :	



#### 3.2 Caractéristiques toxicologiques

L'imidaclopride possède trois principales caractéristiques toxicologiques, soit la neurotoxicité, l'action systémique et la persistance.

##### 3.2.1 Neurotoxicité

L'imidaclopride agit comme un inhibiteur compétiteur aux récepteurs nicotiques de l'acétylcholine (neurotransmetteur), c'est-à-dire qu'il bloque la transmission des impulsions des membranes synaptiques du système nerveux. Ce dysfonctionnement cause éventuellement la mort par tétanie (crises de contractures musculaires) et

dégénérescence neuronale. Une fois enclenché, le processus ne peut être que très lentement inactivé. L'imidaclopride a une meilleure efficacité sur les récepteurs nerveux des insectes que celui des mammifères. Il peut être rapidement et presque complètement absorbé par les tubes gastro-intestinaux des animaux. L'insecticide est ensuite rapidement éliminé par l'urine et les excréments (Bayer Crop Science, 1998).

### **3.2.2 Action systémique**

L'imidaclopride a une propriété systémique, c'est-à-dire qu'il se propage dans toutes les parties des espèces végétales au moyen de la sève. Il assure donc à la plante une protection contre les ravageurs racinaires et aériens. Puisqu'il est efficace de la levée jusqu'au stade de floraison de la plante, il peut se retrouver facilement dans le pollen et le nectar (Suchail *et al.*, 2003).

### **3.2.3 Persistance**

La demi-vie ( $DT_{50}$ ) est le temps que prennent 50% de la substance à se dégrader et (ou) être éliminés (Van Coillie, 2006). L'imidaclopride a une  $DT_{50}$  entre un et deux ans dans le sol, ce qui le caractérise comme étant considérablement persistant (ARLA, 2001). Certaines études canadiennes indiquent une demi-vie de cet insecticide dans le sol nu de 282 à 366 jours, dans le sol couvert de gazon de 224 à 257 jours et dans le sol planté de pommes de terre de 266 à 457 jours (ARLA, 1997). Cette persistance explique l'une des raisons pourquoi l'imidaclopride soit devenu le produit phytosanitaire le plus utilisé pour le contrôle de la coccinelle Doryphore de la pomme de terre (Kemp *et al.*, 2002).

## **3.3 Métabolisation**

Dans la plupart des cas, lorsqu'un xénobiotique (substance étrangère à l'organisme) pénètre dans un organisme, ce dernier essaie de l'éliminer en changeant sa structure moléculaire pour le rendre plus soluble et donc plus facile à excréter. C'est ce que l'on appelle la métabolisation (Van Coillie, 2006).

La métabolisation de l'imidaclopride dans les végétaux suit les étapes suivantes :

1. perte des groupes nitro;
2. hydroxylation à l'anneau imidazolidine;
3. hydrolyse en acide 6-chloronicotinique;
4. formation de conjugués (Bayer Crop Science, 1998).

Il y a six principaux métabolites dérivés de l'imidaclopride, soit le 5-hydroxy-imidaclopride, l'oléfine, l'acide 6-chloronicotinique, le 4,5-dihydroxy-imidaclopride et les dérivés urée et guanidine (Suchail *et al.*, 2001).

Parfois, la métabolisation peut aboutir à la formation de métabolites toxiques, voire plus toxiques que le produit parent. Ceci peut être particulièrement le cas avec le 5-OH-imidaclopride et l'oléfine dont les doses résiduelles peuvent être importantes (Suchail *et al.*, 2003).

### **3.4 Homologation**

En janvier 1995, l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada a reçu une demande d'homologation de la part de certains producteurs de pommes de terre et d'organismes apparentés pour l'utilisation d'Admire® en raison des problèmes graves de lutte antiparasitaire associés à la résistance du doryphore de la pomme de terre. L'ARLA a d'abord accordé une homologation temporaire pour l'Admire 240 F (en pâte fluide). Le produit a été vendu et utilisé pour la première fois dans l'est du Canada pendant la saison de croissance de 1995 contre le doryphore. Cette homologation a été accordée à la suite de données statistiques que Bayer Crop Science devait fournir concernant la persistance et la mobilité de la matière active dans le sol afin de répondre à certaines craintes. En 1999, l'imidaclopride était approuvé pour les cultures de pomme de terre dans tout le Canada (ARLA, 2001).

Comme d'autres organismes réglementaires, l'ARLA avait certaines inquiétudes au sujet de la persistance et de la mobilité de l'imidaclopride dans le sol. À l'aide des données disponibles à l'époque et à la suite de discussions avec les autorités provinciales, les représentants des producteurs et des organismes apparentés, l'ARLA a déterminé en 1997 l'étiquetage de l'imidaclopride comme suit :

- le nombre d'applications foliaires a été réduit à deux au lieu de quatre;
- une application au sol par année au maximum a été autorisée et elle ne pouvait pas être suivie par une application foliaire la même année;
- des zones tampons (15-30 m) ont été établies entre les sites aquatiques sensibles et les aires où le produit était utilisé;
- l'application a été limitée à l'utilisation de matériel au sol; les applications aériennes n'étaient pas autorisées;
- des cultures en rotation ne pouvaient pas être plantées dans les aires traitées avec Admire® dans les 12 mois;
- les applications ont été limitées à l'Est du Canada uniquement (ARLA, 1997).

Dans les cinq années qui ont suivi, l'emploi de l'imidaclopride a été homologué pour une dizaine de cultures, notamment pour les pommiers, la laitue, les tomates, la moutarde, le colza (canola) et les concombres de serre. Ceci a entraîné l'apparition de nouvelles préparations commerciales sur le marché canadien tel que Gaucho, Impower, Merit et Advantage (ARLA, 2001). Un sommaire des utilisations homologuées, des organismes ciblés, des doses permises ainsi que des dates d'homologation se trouve à l'Annexe 1 (ARLA, 2001). Le tableau 3.1 résume les aliments pour lesquels l'imidaclopride est homologué au Canada par l'ARLA ainsi que les limites maximales de résidu (LMR) en date du 5 avril 2005.

Tableau 3.1 Aliments homologués au Canada et limite maximale de résidu. Tiré de Gazette du Canada, 2005

Aliments	LMR (mg/kg)
Pâte de tomates	6
Cultures de brassica, laitue	3,5
Cerises douces, cerises sûres, purée de tomates	3
Raisins	1,5
Agrumes, bleuets, poivrons, tomates	1
Poires	0,6
Concombres, pommes	0,5
Pommes de terre	0,3
Mangues	0,2
Aubergines	0,08
Colza (canola), épis épluchés de maïs sucré, graines de moutarde, grains de maïs de grande culture, huile de coton, pacanes	0,05

### 3.5 Noms commerciaux

On retrouve l'imidaclopride sous plusieurs recettes commercialisées, notamment :

- Gaucho®, Admire®, Intercept<sup>MC</sup> et Confidor® pour le traitement du sol;
- Hachikusan® et Premise® pour le traitement des termites;
- Merit® et Provado® pour les soins professionnels de jardins et de gazon;
- Advantage® pour le contrôle des puces de chiens et de chats.

### 3.6 Principales utilisations

L'imidaclopride est très efficace contre les pestes qui sont normalement résistantes aux produits conventionnels. Il agit particulièrement sur les aphidés (pucerons), les altises (coléoptères), le doryphore de la pomme de terre et certains types de mouches. (Wikipedia, 2006b).

Au Canada, il cible principalement les espèces suivantes :

- doryphores des pommes de terre et des tomates;
- mineuse marbrée du pommier;
- pucerons dans la laitue de grande culture;
- pucerons et mouches blanches sur les plantes cultivées en serre (légumes et plantes ornementales);

- larve de taupin et vers de fil pour le maïs (en remplacement du *lindane*) ;
- hanneton européen et scarabée japonais sur les gazons en Ontario et au Québec (en remplacement des insecticides de type organophosphate, soit le chlorpyrifos et le diazinon, et de type carbamate, le carbaryle) (ARLA, 2001).

Au Canada, malgré son homologation sur plusieurs cultures, il est pratiquement employé que pour la production de la pomme de terre. On note, toutefois, une augmentation constante de la vente de produits phytosanitaires à base d'imidaclopride sur le marché québécois. De 1997 à 2001, la quantité vendue était de moins de 2 000 kg. En 2002, elle était supérieure à 2 000 kg et en 2003 elle dépassait les 6 000 kg, dont une quantité de 3 500 kg était pour des fins agricoles (Gorse, 2006). Ces valeurs demeurent plutôt faibles comparativement au carbaryle et au diazinon qui ont des quantités de vente annuelle moyenne d'environ 12 000 kg et 30 000 kg respectivement (Gorse, 2006).

### **3.7 Cheminements de l'imidaclopride**

La persistance et la solubilité de l'imidaclopride créer plusieurs cheminements.

#### **3.7.1 Milieu urbain**

La présence de l'imidaclopride s'étend des champs agricoles aux espaces verts urbains. Au Canada, l'application de l'insecticide est de plus en plus courante pour le traitement du ver blanc qui mange les racines des gazons. On utilise les recettes Merit et Provado pour les terrains gazonnés résidentiels, municipaux et les terrains de golf (Gorse, 2006). La dissipation de 90% de l'imidaclopride ( $DT_{90}$ ) dans un sol couvert de gazon prend entre un et deux ans; ceci lui permet de persister d'une saison à l'autre (ARLA, 2001). L'insecticide peut s'infiltrer dans certaines espèces florales que l'on retrouve en milieu urbain et qui sont attirantes pour les pollinisateurs, comme le trèfle, le pissenlit et plusieurs plantes à fleurs nectarifères cultivées dans des jardins résidentiels et municipaux. Vu qu'il existe des groupes apicoles qui tentent de développer et de jouir de leurs activités en milieux urbains (voir section 2.3), les risques d'exposition deviennent alors plus élevés pour les abeilles.

### **3.7.2 Eaux souterraines**

L'imidaclopride se décompose pendant quatre à huit semaines après l'application pour se lier fortement au sol (ARLA, 2001). Étant donné qu'il demeure longtemps dans le sol, des applications répétées augmentent l'accumulation de résidus. Par conséquent, dès que la capacité de fixation du sol est atteinte, l'imidaclopride peut être lessivé jusqu'aux eaux souterraines. Selon Bayer Crop Science, la demi-vie de l'imidaclopride dans l'eau est de quatre heures. Toutefois, le composé est très soluble dans l'eau. Ainsi, l'imidaclopride fraîchement appliqué ou non fixé peut être facilement entraîné par le ruissellement (ARLA, 2001). Aux États-Unis, des résultats provisoires présentés en 1998 par le titulaire d'homologation montrent que, après trois ans d'utilisation, des concentrations d'imidaclopride et de ses métabolites ont été mesurées dans des sites des états de New York et du Michigan. Ce qui est préoccupant, c'est qu'il n'y a pratiquement aucune mesure corrective qui peut être prise une fois que les eaux souterraines sont contaminées par un insecticide. Les eaux souterraines peuvent alimenter les terres humides et les eaux de surface, notamment dans les régions où la nappe phréatique est peu profonde (ARLA, 2001).

Au Québec, lors d'une campagne d'échantillonnage de 1999 à 2001, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a détecté l'imidaclopride dans 35 % des puits échantillonnés près de champs où l'on cultive la pomme de terre. La concentration maximale mesurée a été de 6,4 µg/l d'imidaclopride, une proportion préoccupante selon le MDDEP (Giroux, 2003).

### **3.7.3 Cultures en rotation**

Une autre problématique de la persistance de l'imidaclopride se retrouve chez les cultures en rotation. Pour préserver la qualité de leurs terres, certains agriculteurs alternent, après quelques années, leur type de culture. Par exemple, un agriculteur peut cultiver du trèfle à la suite d'une culture de pommes de terre. Si les pommes de terre ont été traitées à l'imidaclopride, ce dernier peut persister dans le sol jusqu'à l'année suivante et s'infiltrer dans le trèfle, sans que celui-ci ait été traité. Par exemple, des concentrations d'imidaclopride et de ses métabolites ont été retrouvées dans le sol de cultures en rotation (bette à cardes, blé, betterave, soja, pois et haricot) jusqu'à 300 jours après le traitement (ARLA, 1997). Ceci augmente davantage les risques

d'exposition pour les abeilles sachant que ces cultures sont très mellifères et attirantes pour elles. À la suite de la consultation de certaines données, l'ARLA a pris quelques mesures sécuritaires et autorise la rotation des cultures d'orge, d'avoine et de blé 30 jours après l'application d'Admire 240F et la rotation des cultures de pois et de haricots neuf mois après l'application d'Admire 240F (ARLA, 1997).

#### **3.7.4 Transplantation**

Certains producteurs font pousser des cultures en serre et ensuite les transplantent dans des champs pour qu'ils grandissent jusqu'à maturation (Pettigrew, 2006). Si l'agriculteur traite les plants dans la serre, il ne faut pas oublier que l'imidaclopride sera encore présent dans les cultures lorsque celles-ci se retrouveront dans les champs.

### **3.8 Avantages et inconvénients**

Depuis, son apparition sur le marché agricole, bon nombre de produits phytosanitaires ont été remplacés par cet insecticide systémique. Bien qu'il soit louangé par plusieurs agriculteurs notamment grâce à ses propriétés systémiques et persistantes, l'imidaclopride a quand même quelques aspects préoccupants. Voici un résumé des avantages et des inconvénients de l'insecticide imidaclopride.

Avantages :

- élimination d'insectes inaccessibles par certains produits phytosanitaires pulvérisés et préservation d'espèces non visées grâce à l'application par enrobage de semence;
- diminution des répétitions de traitement grâce à sa persistance dans le sol;
- peu ou pas de dégradation photochimique à l'abri des rayons solaires.

Inconvénients :

- contamination des eaux souterraines et introduction dans des cultures non traitées à cause de sa longue persistance dans le sol (surtout sous la forme d'insecticide en suspension aqueuse);
- toxicité pour les abeilles (pouvant affecter le rendement des colonies et la pollinisation).

## 4 IMIDACLOPRIDE ET APICULTURE

Malgré que l'imidaclopride soit un des insecticides les plus utilisés au monde, il fait face à de nombreuses polémiques, particulièrement dans le domaine apicole.

### 4.1 En Europe

À partir de 1994, plusieurs apiculteurs européens ont été victimes d'un taux anormal de mortalité et de perte d'abeilles. Des éleveurs d'abeilles français et italiens remarquent que les ruches situées près des semences de tournesol (majoritairement en France) et de maïs (majoritairement en Italie) traitées au Gaucho® montrent un haut niveau de dommage dû à la dépopulation des ruches, jusqu'à des pertes totales de colonies (Bortolotti *et al.*, 2003). En France, selon l'Union nationale des apiculteurs, le nombre de ruches a diminué de 1,45 million en 1996 à 1 million en 2003 et l'Agence française de sécurité sanitaire indique que la production nationale a, quant à elle, chuté de 40 000 tonnes à 25 000 tonnes par an (Wikipedia, 2006c).

Les éleveurs d'*Apis mellifera* rapportent sensiblement tous les mêmes symptômes chez les abeilles affectées :

- équilibre altéré (les abeilles manquent le bord de la ruche à leur arrivée);
- incapacité de voler (les abeilles rampent sur le sol en face de la ruche);
- faiblesse (les abeilles ne peuvent grimper à l'entrée de la ruche ni sur des tiges de gazons);
- apparence noire et reluisante sur l'abdomen;
- perte de poils;
- interdiction d'entrer des butineuses par des gardiennes;
- attaque des butineuses en activité par certaines abeilles;
- indifférence de certaines abeilles pour le tournesol;
- tremblement des abeilles lorsque touchées;
- désorientation (certaines abeilles ne retournent pas à la ruche) (Schmuck, 1999).

Environ le tiers des colonies touchées montre les symptômes décrits ci-dessus, ce qui engendre des répercussions également sur la colonie, soit :

- diminution de la population;
- perte massive de butineuses;
- nectar emmagasiné de façon inhabituelle;
- rendement du miel diminué (Schmuck, 1999).

Selon les apiculteurs, le grand coupable serait le Gaucho® car l'apparition des symptômes concorde avec le commencement de l'application de l'insecticide chez les agriculteurs. Bayer Crop Science et des experts externes ont donc mené plusieurs études pour évaluer la sécurité du produit. Aucune indication d'effet négatif n'a été trouvée. À ce stade, la plupart des discussions restent dans la plus grande confidentialité entre Bayer Crop Science et les associations d'apiculteurs. Toutefois, pendant l'été 1997, de véritables hécatombes dans les colonies d'abeilles furent remarquées dans plusieurs régions de France ; le produit Gaucho® revenait encore en cause et la controverse devint publique (Maus *et al.*, 2003).

En 1998, une étude à grande échelle a été réalisée par l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) et celle-ci concluait que le Gaucho® n'avait pas d'effet sur le comportement des abeilles, leur mortalité, l'évolution des ruches et les récoltes de miel (Maus *et al.*, 2003). Par ailleurs, une étude dirigée par Wilhelm Drescher en 1998 à l'Université de Bonn sur l'activité des abeilles dans les champs de tournesols dans la partie ouest de la France mentionne d'autres effets tels qu'une maladie virale causée par l'émergence de mites varroa résistantes aux acaricides (Wikipedia, 2006b).

En 1999, le ministre de l'agriculture du gouvernement français invoqua le principe de précaution et décida de suspendre l'usage du Gaucho® pour le traitement des semences de tournesols jusqu'en 2006 (Maus *et al.*, 2003).

Lors des différentes études entreprises, chaque laboratoire avait son propre protocole d'examen, ses critères d'évaluation et son type d'environnement pour les essais en cage, sous tunnel ou en champs. Aucune standardisation n'était établie afin de comparer efficacement, de façon cohérente et valide, les différentes études. C'est notamment la raison pour laquelle certaines études concluent positivement et d'autres

négalement sur les effets de l'imidaclopride sur les abeilles. Dans ces situations où il y a un nombre considérable de facteurs et d'acteurs, il est important d'établir des paramètres d'analyse communs tels que l'âge, la race, le nombre et le poids des échantillons pour les abeilles, les limites de quantification et de détection du toxique dans l'abeille, l'environnement des essais (type, température, luminosité, etc.), les doses d'exposition et les effets mesurés (coordination motrice, prise alimentaire, comportement de butinage, etc.).

En 1999, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation de la Pêche et des Affaires rurales (MAAPA) de la France a décidé de créer un Comité scientifique et technique (CST) chargé de piloter une étude multifactorielle des troubles des abeilles afin d'éclairer le dossier et d'arriver à une conclusion plausible.

Parallèlement, l'Unité de pathologie de l'abeille de l'AFSSA (2005), a pris l'initiative de mettre en place une enquête multifactorielle prospective à ce sujet. Avant d'entreprendre les démarches, le protocole de cette enquête a été présenté au CST qui l'a approuvé. Les études, démarrées en septembre 2002, consistaient à mesurer les résidus d'imidaclopride et de fipronil (Regent TS) à l'aide d'une campagne d'échantillonnage de 25 ruchers.

Le Regent TS est un insecticide dont les propriétés et les caractéristiques sont comparables à celles du Gaucho®. Il a également subi des accusations de préjudice chez les apiculteurs européens. Comme son cousin imidaclopride, le fipronil est un produit phytosanitaire qui enrobe les semences et agit sur la plante pendant sa croissance. Il a une rémanence dans le sol d'environ 120 jours. La compagnie Bayer Crop Science a vendu ce produit phytosanitaire à la compagnie BASF en 2003; comme le Gaucho®, il est soupçonné de provoquer des mortalités dans les populations d'abeilles domestiques (Wikipedia, 2006d).

En 2002, des mortalités sévères d'abeilles sont rapportées par des apiculteurs français. Selon Alain David de l'Union nationale des apiculteurs de France (UNAF), le cheptel diminue de 20 à 30% chaque année. L'AFSSA établit alors que le fipronil, la molécule active du Regent TS, pourrait être la cause (Briet et *al.* 2004).

De plus, le Regent TS est accusé d'incidences encore plus sérieuses. Il serait, en fait, une source potentielle de risque pour l'homme, ce qui ne serait pas le cas pour l'imidaclopride. En analysant les études faites sur le fipronil, le cancérologue Dominique Belpomme, a confirmé les périls encourus non seulement par des abeilles mais aussi par des vertébrés incluant l'humain. Le fipronil, pourrait se stocker dans les tissus graisseux avant de contaminer le fœtus et l'enfant lors de l'allaitement. Cet ingrédient actif est d'ailleurs classé comme possiblement cancérigène et très exigeant en matière de précaution d'usage par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) (Vignolle, 2004). En février 2004, le MAAPA annonce la suspension de la commercialisation de tous les produits de traitement à base de fipronil jusqu'à l'achèvement de la procédure communautaire d'évaluation. Cet avis se fonde sur « l'insuffisance d'informations permettant de caractériser notamment le comportement de la substance dans l'environnement et ses conséquences sur la faune sauvage ». Sachant que la molécule d'imidaclopride a des propriétés comparables à celles du fipronil, le ministre a également engagé le fabricant du Gaucho® (Bayer Crop Science) et ses utilisateurs de faire valoir leurs observations concernant une éventuelle suspension totale d'autorisation de mise sur le marché de cet insecticide (MAAPA, 2004).

Durant la même année (2004), le MAAPA, décide d'annoncer l'interdiction de l'usage du Gaucho® comme traitement de semences du maïs jusqu'à la réévaluation de cette substance par la Commission européenne prévue en 2006. Peu de temps avant cette décision, le Confidor®, un insecticide également à base d'imidaclopride, a fait l'objet d'un avis retirant l'autorisation de sa mise sur le marché français pour les usages sur les pommier, poirier commun et melon (Wikipedia, 2006b). Le tableau 4.1 résume l'évolution du dossier Gaucho® en France.

Tableau 4.1 Historique du dossier Gaucho® en France. Tiré de Bayer Crop Science, 2006

<b>1992</b>	Homologation pour le maïs.
<b>1993</b>	Homologation pour le tournesol.
<b>1995</b>	Un groupe d'apiculteurs pense qu'il y aurait un lien de causalité entre la mortalité observée chez les abeilles et l'utilisation du Gaucho pour le tournesol.
<b>1999</b>	Des études scientifiques indépendantes réalisées dans le monde entier montrent qu'il n'y a pas de lien de causalité entre l'utilisation du Gaucho et la mortalité observée chez les abeilles. L'usage du Gaucho est néanmoins suspendu pour le tournesol pour deux ans.
<b>2001</b>	Prolongation de la suspension d'emploi du Gaucho pour le tournesol durant deux années supplémentaires.
<b>2002</b>	Renouvellement d'homologation pour le maïs pour dix ans.
<b>2003</b>	Prolongation de la suspension d'emploi pour le tournesol durant trois années supplémentaires avec nécessité de réaliser une étude multifactorielle.
<b>2004</b>	Le 25 mai le ministre français de l'agriculture décide de suspendre provisoirement l'homologation du Gaucho pour le maïs en France jusqu'en 2006. Cette décision a été prise suite d'une révision du dossier Gaucho maïs en réponse à la décision du Conseil d'État prise le 31 mars demandant au ministère de réexaminer le dossier. De nombreuses associations d'agriculteurs et de semenciers français ont protesté vigoureusement contre cette décision.
<b>2006</b>	Aucune restriction d'emploi du Gaucho au niveau mondial excepté pour le tournesol et le maïs en France.

## 4.2 Au Canada et au Québec

Certains apiculteurs de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick ont manifesté pour des problèmes similaires aux apiculteurs français à la suite de l'installation de ruchers en bordure de champs de trèfles qui avaient été précédemment traités à l'imidaclopride (Admire®) pour une culture de pommes de terre. Ils demandèrent alors un moratoire sur l'utilisation de l'insecticide. Des études ont été réalisées par l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard pour mesurer, un et deux ans après l'application de l'insecticide Admire®, les résidus d'imidaclopride et des métabolites oléfine et 5-OH-imidaclopride dans le sol, le trèfle (feuilles et fleurs), certaines fleurs sauvages ainsi que le pollen et le nectar récoltés dans un champ de trèfles par les abeilles. Aucun métabolite n'a été détecté. La présence de l'imidaclopride a été identifiée dans le sol des dix champs traités; des concentrations négligeables ont été détectées dans les feuilles de trèfles de trois champs (Kemp *et al.*, 2002).

L'ARLA conclut, pour sa part, qu'il existe un risque pour les pollinisateurs en raison de la forte toxicité de l'imidaclopride pour les abeilles exposées au traitement direct ou aux résidus présents sur les cultures. Pour atténuer ce risque, l'agence suggère d'indiquer

sur les étiquettes que l'application du produit doit être évitée lors de la floraison des cultures, soit la période la plus sollicitée chez les abeilles (ARLA, 2001). Pourtant, sur les étiquettes de Gaucho® et d'Admire®, aucune mention n'est spécifiée à propos de la protection des pollinisateurs (voir les étiquettes à l'annexe 2). Plusieurs éleveurs d'abeilles voudraient que l'application de produit à base d'imidaclopride soit totalement prohibée, en concordance avec une législation pénale, pendant la période de pollinisation afin de réduire au maximum les risques d'intoxication des pollinisateurs. Selon eux, les agriculteurs auraient tout intérêt à protéger les abeilles car le rendement et la qualité de leurs productions dépendent en grande partie de leurs précieux services.

Au Québec, le sujet n'est pas très élaboré. Il n'y a pas eu d'étude qui a été réalisée sur l'imidaclopride et les abeilles. Le dossier a été abordé plutôt par des intérêts personnels et non professionnels. Les seuls grands utilisateurs sont les producteurs de pommes de terre. À la suite de préoccupations manifestées par les apiculteurs, il y a eu en février 2006 une réunion qui s'est tenue entre des apiculteurs et des agriculteurs (notamment des producteurs de pommes de terre) aux bureaux de l'Union des producteurs du Québec à Longueuil. La conclusion de cette rencontre a été que les apiculteurs devaient faire les démarches nécessaires pour montrer que les pertes d'abeilles pourraient être reliées à cette problématique. La fédération des apiculteurs du Québec a demandé aux éleveurs d'abeilles de rapporter toutes les mortalités inexplicables ou suspectes pouvant être en relation avec des produits phytosanitaires. Aucun rapport n'a été livré (Doyon, 2006). Il fallait donc se référer aux études déjà réalisées pour connaître leurs conclusions.

### **4.3 Paramètres toxicologiques**

Afin de bien comprendre l'ensemble des informations retrouvées dans les études, les principaux termes utilisés sont définis ci-dessous.

#### **4.3.1 Source d'exposition**

La source d'exposition qui contient le toxique peut être l'air, le sol, l'eau ou la nourriture, etc. Grâce à sa propriété systémique, l'imidaclopride se retrouve dans toutes les parties de la plante, incluant le nectar et le pollen. Ces deux produits vitaux pour l'abeille sont

recueillis quotidiennement pour le développement et la survie de la colonie. Ils représentent donc les sources principales d'exposition pour les abeilles.

#### **4.3.2 Voies d'absorption**

La voie d'absorption est le chemin qu'emprunte le toxique pour entrer dans l'organisme; il peut entrer, par exemple, par le nez, la peau ou la bouche. Étant donné que les abeilles mangent et manipulent le nectar et le pollen, les voies d'absorption orale et topique sont retenues pour les études.

#### **4.3.3 Doses**

Une dose est la quantité d'un produit administré dans le corps d'un sujet. Si on augmente la dose ou l'exposition, on augmente les effets néfastes ou la sévérité des effets. La dose est normalement exprimée en mg ou  $\mu\text{g}$  par kg de poids corporel (Van Coillie, 2006).

#### **4.3.4 Effets néfastes**

Les effets néfastes sont caractérisés par des changements biochimiques, des atteintes fonctionnelles ou des lésions pathologiques qui altèrent la performance d'un organisme entier ou réduisent son habileté à répondre à une contrainte additionnelle (Van Coille, 2006). Deux niveaux d'effet sont considérés, soit l'effet létal et l'effet sublétal. Les effets sublétaux se caractérisent par un changement de comportement ou une apparition de lésions (faibles ou graves) sans toutefois causer la mort du sujet. L'effet létal, quant à lui est synonyme de mortalité. Par contre, un effet sublétal peut devenir éventuellement létal. Par exemple, lorsqu'une butineuse est affectée de troubles de mémoire ou d'orientation ou de troubles physiologiques affectant les systèmes respiratoire ou circulatoire, elle risque de ne pas regagner sa ruche. Elle serait donc rapidement susceptible de mourir de faim ou de froid (Doucet-Personeni *et al.*, 2003).

#### **4.3.5 Relations dose-effet**

Il y a des doses létales (provoquent la mort) et des doses sublétales (engendrent des changements de comportements). Grâce à la relation dose-effet, les chercheurs peuvent

identifier des seuils de toxicité (doses limites qui provoquent des effets néfastes chez le sujet). Ces données permettent de comprendre certains aspects de la dynamique d'action du produit toxique comme le comportement, la physiologie et la biochimie.

Les seuils de toxicité les plus utilisés sont :

- LOEC : *lowest observed effect concentration*  
Concentration la plus faible d'une substance conduisant à un effet
  
- LOAEC : *lowest observed adverse effect concentration*  
Concentration la plus faible d'une substance conduisant à un effet néfaste
  
- NOEC : *no observed effect concentration*  
Concentration la plus faible d'une substance sans effet
  
- NOAEC : *no observed adverse effect concentration*  
Concentration la plus faible d'une substance sans effet néfaste.

#### **4.3.6 Potentiels toxiques**

Le potentiel toxique peut être évalué de façon simple par une dose létale 50 (DL<sub>50</sub>). Celle-ci est définie comme étant la dose qui provoque la mort de 50% des sujets. Une DL<sub>50</sub> 48h correspond à la mortalité de 50% des sujets en 48 heures. Plus la DL<sub>50</sub> est élevée, plus la toxicité du produit est faible et, inversement, plus la DL<sub>50</sub> est faible, plus la toxicité est élevée. Elle s'exprime en unités de masse de substance par masse corporelle, c'est-à-dire en g/kg. Elle sert souvent de départ aux études de toxicité car elle fournit un minimum de connaissances en identifiant les symptômes de l'intoxication et la dose toxique.

#### **4.3.7 Doses aiguës et doses chroniques**

Une dose aiguë est une dose, relativement forte, administrée à un sujet par une seule itération; elle agit rapidement en quelques heures à quelques jours. Une dose chronique est une dose, plus faible, soumise par récurrence à un sujet pendant une période de 10 ou 12 jours.

#### 4.3.8 Risques toxiques

Le risque est la probabilité qu'une substance produise un effet néfaste chez un sujet. Les étapes principales pour évaluer un risque sont l'évaluation des effets potentiels, l'évaluation de l'exposition et l'estimation du risque.

#### 4.4 Exemples d'études réalisées

Durant le débat entre les apiculteurs européens et Bayer Crop Science, plusieurs centres de recherches ont fait des expériences pour connaître les réactions des abeilles face à une exposition à l'imidaclopride. Différents types d'environnement ont été utilisés, soit en cage (laboratoire), sous-tunnel (serre) ou en plein champ.

##### 4.4.1 En laboratoire

La veille des essais, les abeilles prélevées dans la colonie sont immédiatement soumises à une brève anesthésie et sont ensuite réparties dans des cagettes de 20 à 30 individus.

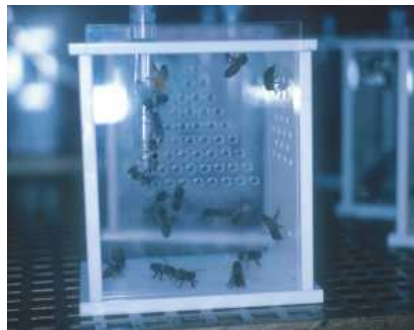


Figure 4.1 Cagette utilisée comme dispositif expérimental en laboratoire. Tiré de Suchail *et al.*, 2001

Ensuite, les abeilles sont soumises à un jeûne de deux heures pour stimuler leur appétit. Durant toute la durée de l'étude, elles sont placées dans une enceinte climatisée à 25°C dans l'obscurité avec une humidité relative de 60%. Certaines abeilles sont nourries avec 200ml de solution de saccharose (témoin) et d'autres sont nourries avec la même solution additionnée d'ingrédient actif. Après l'ingestion de leurs solutions, elles sont alimentées *ad libitum* (libre d'accès) avec une solution de saccharose à 50% (poids/volume). Les abeilles sont alimentées pendant dix jours consécutifs et le suivi des

effets est réalisé quotidiennement. Les essais sont répétés trois fois en renouvelant chaque fois les abeilles et les solutions de produits à tester.

Après 24 heures de leur exposition à l'imidaclopride et ses métabolites, les abeilles ont montré des comportements anormaux tels que des tremblements, culbutages et manques de coordination.

Normalement, la mortalité augmente avec la dose de matière active utilisée. Cependant, lors des tests de Suchail, la mortalité des abeilles intoxiquées a augmenté rapidement jusqu'à des 90% pour des doses inférieures à 150  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; puis, elle a diminué et s'est stabilisée autour de 60% pour des doses allant jusqu'à 2 000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Toutefois, 48h après l'ingestion d'imidaclopride, la mortalité augmente de façon continue en relation avec la dose (Suchail *et al.*, 2003).

L'INRA, en collaboration avec l'*European Community program for French beekeeping*, a effectué des tests sur la réponse de l'expansion du proboscis (trompe) à la suite d'une application d'une substance sucrée contaminée avec l'imidaclopride chez des abeilles d'hiver et d'été. Il a mesuré une LOEC de 12  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pour les abeilles d'été et 48  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pour celles d'hiver. Ceci révèle que les abeilles d'été pourraient être plus sensibles que celles d'hiver (Decourtye *et al.*, 2003).



Figure 4.2 Essai expérimental sur l'extension du proboscis. Tiré de Schmuck, 1999

#### 4.4.2 Sous tunnel (en serre)

Afin de démontrer que l'imidaclopride n'a pas d'effet sur les abeilles, Schmuck, chercheur chez Bayer Crop Science, a fait des expériences en serre avec des cultures

de tournesol. Le groupe a traité la culture avec 700g de Gaucho® WS70 par kg de semence, correspondant à 0,7 mg par graine. En conditions normales, aucun résidu d'imidaclopride n'a été détecté dans le nectar ni dans le pollen des tournesols au-delà des limites de détection (1,5 µg/kg). Le chercheur a également alimenté des butineuses pendant 39 jours avec des solutions de sirop de tournesol contaminées avec 2 à 20 µg/kg d'imidaclopride. Aucun effet néfaste (mortalité, activité d'alimentation, population de la colonie, etc.) n'a été observé (Schmuck *et al.*, 2001).



Figure 4.3 Serre expérimentale. Tiré de Schmuck, 1999

Toutefois, Bonmatin et ses collègues (2002) considèrent qu'il y a un manque de méthodologie pour détecter l'imidaclopride à des niveaux aussi bas. Un groupe composé de membres du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) de France, de l'AFSSA et de l'INRA a développé une méthode pour la détection d'une faible concentration d'imidaclopride dans le sol, les plantes et le pollen. Ils utilisent un chromatographe liquide haute performance (HPLC) couplé en tandem avec un spectromètre de masse (APCI-MS/MS). L'intervalle d'application est de 0,5-20 µg/kg d'imidaclopride avec un écart type de 1 µg/kg. La limite de détection (LOD) est de 0,1 µg/kg et la limite de quantification (LOQ) est de 1 µg/kg. Grâce à cette méthode, Bonmatin et son équipe ont trouvé des résidus de 5-8 µg/kg dans les fleurs et 2-3 µg/kg dans le pollen du tournesol et du maïs (Bonmatin *et al.*, 2003). Ces chercheurs mentionnent également que la concentration d'imidaclopride augmente lors de la floraison du tournesol et du maïs (Bonmatin, 2002).

#### 4.4.3 En plein champ

Bortolotti et son groupe (2003) ont effectué à l'Institut national de l'apiculture d'Italie, des tests en champs pour étudier les effets sublétaux de l'imidaclopride. Le but était de vérifier les deux symptômes les plus rapportés par les apiculteurs européens, soit la baisse d'activités des butineuses et leur incapacité de retourner à la ruche à la suite d'une intoxication à l'imidaclopride (Confidor®).

Bortolotti et son équipe ont été étonnés par le rétablissement des abeilles à la suite d'une intoxication. Ceci concorde avec les études de Curé qui montrent que les communications pour la localisation de la nourriture sont troublées à des doses d'imidaclopride de 100 µg/kg, diminuant par conséquent le butinage, mais le jour après le traitement, les activités redeviennent normales (Curé *et al.*, 2001). Selon Bortolotti *et al.* (2003), les abeilles intoxiquées retournent immédiatement à la ruche et régurgitent le contenu de leur estomac. Subséquemment, l'ingrédient actif n'a alors pas le temps de s'intégrer dans le système de l'abeille.

Lors des expériences de Bortolotti *et al.* (2003), les abeilles exposées à des concentrations d'imidaclopride ne pouvaient plus retourner à la ruche immédiatement après l'ingestion de l'ingrédient actif. Elles étaient forcées à demeurer dans le champ assez longtemps pour que le produit s'intègre dans leur système et se manifeste.

Quatre solutions sucrées ont été utilisées, soit une solution de référence (sans imidaclopride) et trois solutions contenant respectivement 100 µg/kg, 500 µg/kg et 1 000 µg/kg d'imidaclopride. La ruche, composée d'abeilles et d'une reine en santé, a été placée dans site éloigné d'au moins trois km de toute autre ruche afin d'empêcher toute perturbation dans les tests. Les butineuses ont été entraînées à s'alimenter sur une source artificielle (solution de référence) qui a été déplacée graduellement à 500 mètres de la ruche. Le chemin était linéaire et sans aucun obstacle. Après une période d'alimentation, deux groupes de 30 abeilles ont été identifiés et mis en cagette comme témoin. Ensuite, la solution a été changée pour celle contenant 100 µg/kg d'imidaclopride. Trente autres abeilles ont été capturées, identifiées et mises en cagette. La même procédure s'est poursuivie pour les concentrations de 500 et 1 000 µg/kg. Il y avait trois observateurs, un aux cages et à la source d'alimentation et deux à la ruche. Ceux-ci ont effectué trois observations, une lors des deux premières heures, une de la

4<sup>e</sup> à la 5<sup>e</sup> heure après le début des tests et finalement une pendant une heure, 24 heures après le début des tests.

Vu que des expériences en laboratoire de Medrzycki ont montré que l'ingrédient actif commence à affecter le comportement des abeilles de 30 à 60 minutes après l'ingestion (Medrzycki *et al.*, 2003). Le groupe de Bortolotti a libéré les abeilles seulement une heure après leur alimentation intoxiquée.

Ses observations rapportent que le comportement des abeilles traitées a changé. Ces dernières tremblaient, culbutaient, se déplaçaient plus lentement ou avaient un manque de coordination. Les résultats indiquent que presque toutes les butineuses de référence sont retournées à la ruche et ont recommencé leur travail entre 2 et 5 heures après leur libération. Les abeilles ayant consommé 100 µg/kg d'imidaclopride sont aussi retournées à la ruche mais avec un retard comparativement aux abeilles de référence. De plus, elles ont commencé à s'alimenter de nouveau seulement 24 heures après leur libération. Ceci soutient que la population n'était pas très affectée avec une concentration de 100 µg/kg et moins. Quant aux abeilles qui ont été intoxiquées avec des doses de 500 et 1000 µg/kg, elles ont complètement disparue après leur libération. Elles n'ont pas été vues pendant les 24 heures suivantes les tests, ni à la ruche, ni au site d'alimentation. Elles sont probablement mortes quelque part dans le champ. Une exposition à de telles doses peut donc fortement affecter la population d'une ruche (Bortolotti *et al.*, 2003).

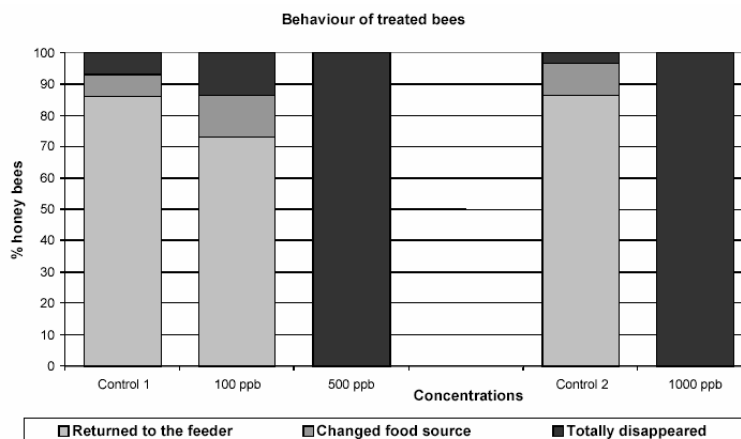


Figure 4.4 Résultats des essais en plein champ de Bortolotti, été 2002. Tiré de Bortolotti *et al.*, 2003

## 5 ÉVALUATION DES EFFETS DE L'IMIDACLOPRIDE CHEZ L'ABEILLE

Il s'agit de la première étape pour obtenir l'estimation du risque. Le but est d'identifier les effets néfastes liés aux différentes doses absorbées par les organismes. Ces doses toxiques seront ensuite utilisées avec un facteur de sécurité pour calculer des valeurs estimées sans effet observé (VESEO).

### 5.1 Définition des effets et des critères de validation

Pour déterminer les relations « dose-effet », le CST a choisi des effets à mesurer et des critères de validation dérivés des directives proposées par l'*International commission for plant-bee relationships*.

#### 5.1.1 Effets létaux

Effet mesuré :

- la mortalité de l'abeille.

Critères de validation :

- les abeilles sont maintenues dans des conditions se représentatives des conditions environnementales et ne sont pas être issues de ruchers chauffés; elles sont placées à l'obscurité en enceinte climatisée à 25°C ±2°C et à une humidité relative comprise entre 50 et 70%;
- l'âge et la race d'abeille, la méthode de collecte d'échantillonnage et la date d'expérimentation sont indiqués;
- l'unité expérimentale est une cage de dix abeilles;
- chaque test comporte au minimum : un traitement témoin, trois traitements contaminés avec une concentration différente, trois cages d'abeilles;
- chaque test se déroule durant environ dix jours;
- la mortalité est enregistrée toutes les 24 heures afin d'évaluer son évolution au cours du temps; dans les cages témoins, elle est inférieure ou égale à 15% de la population initiale d'abeilles après dix jours.

Résultats d'études validés :

- une mortalité, observée quatre heures après l'intoxication de l'abeille;
- la présence de deux phases ascendantes dans la relation dose-mortalité pour certaines races d'abeilles (*caucasica* principalement) en intoxication topique;
- une sensibilité à l'imidaclopride plus élevée par voie orale que par contact topique;
- une forte évolution de la mortalité au-delà de 24 heures.

### 5.1.2 Effets sublétaux

Effets mesurés :

- l'effet « *knockdown* » (paralysie complète);
- la coordination motrice (tremblements du corps suivi d'apathie);
- le réflexe d'extension du proboscis (REP); ceci permet d'évaluer les capacités de mémorisation et d'apprentissage olfactif sur lesquelles repose la perception des signaux environnementaux;
- la prise alimentaire (quantité de sirop ou de pollen prélevée par les abeilles); la quantité de sirop prélevée par une abeille n'est pas automatiquement ingérée car elle peut être stockée plusieurs heures dans son jabot et être régurgitée dans la colonie; par conséquent, les études à court terme mesurent plutôt des quantités prélevées par abeille alors que les études à long terme permettent d'estimer une quantité réellement absorbée par abeille;
- la reconnaissance entre congénères;
- la production de cire;
- \*le comportement de butinage (fréquentation des nourrisseurs et retour à la ruche);
- \*le comportement de reconnaissance d'une odeur;
- \*\*l'activité et le comportement de butinage des abeilles directement sur les capitules.

\* Études en serre et en plein champ seulement

\*\* Études en plein champ seulement

Critères de validation :

- l'imidaclopride est protégé de la lumière en ayant recours à l'obscurité et (ou) à des changements fréquents (maximum toutes les deux heures) afin d'éviter une photo dégradation;

Etudes en laboratoire :

- la fréquence et la durée du traitement sont précisées;
- un minimum de trois cagettes de dix abeilles par traitement est adopté;
- la mortalité du lot témoin ne doit pas dépasser 10 et 15%;
- le jeune préalable des abeilles dure entre deux et quatre heures;

Etudes sous tunnels (serre) :

- les dimensions des tunnels sont 7 à 8 m de large, 17 à 20 m de long et 3 à 3,5 m de hauteur;
- les ruches expérimentales sont homogènes, présentent un minimum des paramètres liés à la colonie et comportent des colonies d'un minimum de 4 000 abeilles;
- les études comportementales sont faites avec plusieurs séries d'observations qui ont une durée suffisante;

Etudes en plein champ :

- les champs sont suffisamment grands pour que les abeilles n'exploitent pas d'autres cultures (une abeille exploite en moyenne 6,3 km<sup>2</sup>);
- les champs témoins et traités sont bien séparés et la distance entre eux est connue;

- les colonies sont équilibrées, saines, normales et bien nourries; elles ont plus de 4 000 abeilles et sont placées dans les champs quelques jours avant l'essai;
- un minimum de trois colonies / traitement est adopté;
- les études comportementales comportent plusieurs séries d'observations qui doivent être régulières et comparables et ont une durée suffisante;
- les parcelles traitées et témoins ont des conditions de production nectarifère comparables (floraison, microclimat, sol variété, etc.).

#### Résultats d'études validés :

- une diminution, voire un arrêt, de la fréquentation des nourrisseurs contaminés;
- une baisse, en quantité de sirop prélevé et en durée, de la prise alimentaire des abeilles qui consomment un sirop contaminé;
- une réduction de l'activité de butinage chez les cultures traitées;
- un abaissement du recrutement dans le lot d'abeilles traitées;
- une inhibition des capacités de reconnaissance d'une odeur dans le lot d'abeilles traitées;
- une augmentation des danses tremblantes et du nombre de contacts trophallactiques (échange de nourriture) dans le lot d'abeilles traitées;
- une apparition de tremblements et de difficultés d'envol sur le nourrisseur;
- une immobilité et des chutes importantes des abeilles sur la planche de vol;
- une diminution du nombre d'abeilles sur le nourrisseur contaminé entre 20 et 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  d'imidaclopride;
- une activité furtive de butinage au champ et une exploitation anormale des fleurons;
- une fréquence réduite des visites au nourrisseur, placé à 500 m de la ruche (4 vols /30 min à 0,8 vol/30 min au bout de deux heures d'observation);
- une production de miel dans les champs traités inférieure à celle obtenue dans les champs témoins;

- une diminution en nombre et en précision des danses frétilantes (qui stimulent le butinage) et une augmentation des danses tremblantes (qui inhibent le butinage).

## 5.2 Doses toxiques d'imidaclopride pour l'abeille

Lors d'études toxicologiques, il est important de considérer les doses de toxicité des métabolites car ces derniers peuvent être parfois plus néfastes que le produit initial. Certaines études ont donc déterminé des doses de toxicité pour l'oléfine et le 5-OH-imidaclopride, soit les deux métabolites les plus significatifs. Il faut aussi mentionner la grande participation de Bayer Crop Science dans les études de toxicité. La majorité des études validées par le CST pour la toxicité létale aiguë ont été réalisées par ou pour l'entreprise Bayer Crop Science, soit 80% (8/10) des tests validés par voie orale et 87% (7/8) des tests validés par voie topique. Dans les études d'un effet subléta, on peut déterminer une LOEC et (ou) une NOEC. Le présent document a considéré la LOEC car elle-ci représente une dose toxique minimale générant un effet néfaste sur l'individu alors que la NOEC est une dose qui n'entraîne pas d'effet et n'est donc pas toxique.

Le tableau 5.1 illustre les doses toxiques de l'imidaclopride, de l'oléfine et du 5-OH-imidaclopride que le CST a validées. Il est à noter que ces doses sont pour des abeilles adultes seulement car aucun test n'a été fait pour les larves.

Tableau 5.1 Intervalles de valeurs des doses toxiques de l'imidaclopride, l'oléfine et le 5-OH-imidaclopride. Tiré de Doucet-Personeni *et al.*, 2003

Intervalles de valeurs des doses toxiques (ng de toxique / abeille)								
Toxiques	Doses							
	Létales (DL <sub>50</sub> )			Sublétales (LOEC)				
	Aigue (4 h)		Chronique (10 jrs)	Aigue				Chronique (10 jrs)
	Orale	Topique	Orale	Orale			Topique	Orale
	L	L	L	L	ST	PC	L	L
Imidaclopride	4 à 71	6,7 à 242	12 x 10 <sup>-3</sup>	2,5 à 34,7	0,075 à 7	0,5 à 1,4	0,1 à 40	0,25 à 0,87
Oléfine	28 à 35,7	ND	12 x 10 <sup>-3</sup>	12,5 à 35	0,02 à 0,05	0,5 à 1,4	ND	ND
5-OH-imidaclopride	153 à 258	ND	12 x 10 <sup>-3</sup>	4,6	0,075 à 0,21	ND	ND	ND

ND : non déterminé, L : laboratoire, ST : sous tunnel, PC : plein champ

### 5.3 Facteurs de sécurité

Le facteur de sécurité, parfois appelé facteur d'incertitude, permet de définir une dose non toxique à partir d'une valeur toxique en divisant cette dernière avec ce facteur.

Le CST s'est inspiré du *Technical guidance documents* de la Commission européenne pour identifier des facteurs de sécurité. Ceux-ci tiennent compte des variations intra-laboratoires et inter-laboratoires des données de toxicité, de l'extrapolation des données de toxicité à court terme à des données à long terme et de l'extrapolation de valeurs obtenues en laboratoire à celles du milieu plein champ. Environnement Canada (1999) recommande l'emploi des facteurs de sécurité qu'il dénomme facteurs d'extrapolation et (ou) facteurs d'évaluation.

Tableau 5.2 Facteurs de sécurité du CST. Tiré de Doucet-Personeni *et al.*, 2003

Informations disponibles	Facteurs de sécurité
Concentration létale 50% obtenue lors de tests de toxicité aiguë (par ex. plantes, vers de terre ou micro-organisme)	1 000
Concentration sans effet (NOEC) obtenue lors d'un essai de toxicité chronique (par ex. plantes)	100
Concentration sans effet (NOEC) obtenue lors d'essais de toxicité chronique sur deux espèces représentant 2 niveaux trophiques	50
Concentration sans effet (NOEC) obtenue lors d'essais de toxicité chronique sur trois espèces représentant 3 niveaux trophiques	10
Données en plein champ	Cas par cas

### 5.4 Valeurs estimées sans effet observé (VESEO)

La valeur estimée sans effet observé se calcule en divisant une dose de toxicité par un facteur de sécurité.

$$\text{VESEO} = \text{dose toxique} / \text{facteur de sécurité}$$

Le choix des facteurs de sécurité (f) pour la présente étude a été fait à partir des informations fournies à leur sujet par Environnement Canada (1999) et le CST (2003).

Tableau 5.3 Facteurs de sécurité utilisés dans la présente étude. Inspiré de Environnement Canada, 1999 et Doucet-Personeni *et al.*, 2003

Cas	Facteurs de sécurité
Une seule donnée de DL <sub>50</sub> aiguë	1 000
Une seule donnée de toxicité chronique ou sublétales (LOEC)	100
Trois données de toxicité chronique ou sublétales (LOEC)	10

L'utilisation des facteurs de sécurité mentionnés ci-dessus a permis de définir les VESEO présentés au tableau 5.4.

Tableau 5.4 Valeurs estimées sans effet observé pour l'imidaclopride, l'oléfine et le 5-OH-imidaclopride

VESEO (dose toxique / f) (pg de toxique / abeille)								
Toxiques	Doses							
	Létales (DL <sub>50</sub> )			Sublétales (LOEC)				
	Aiguës		Chroniques (10 jrs)	Aiguës			Chroniques (10 jrs)	
	Orales	Topiques	Orales	Orales		Topiques	Orales	
	L	L	L	L	ST	PC	L	L
<i>f</i>	1 000	1 000	10	50	10	5	50	10
Imidaclopride	4	6,7	1,2	50	7,5	100	2	25
Oléfine	28	ND	1,2	250	2	100	ND	ND
5-OH-imidaclopride	153	ND	1,2	92	7,5	ND	ND	ND

ND : non déterminé, L : laboratoire, ST : sous tunnel, PC : plein champ

## 6 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION DE L'IMIDACLOPRIDE

L'évaluation de l'exposition est la deuxième étape pour calculer l'estimation du risque. Pour évaluer les valeurs estimées d'exposition (VEE), il faut dans un premier temps mesurer les doses résiduelles du toxique retrouvées dans les voies d'exposition, c'est-à-dire la concentration d'imidaclopride dans le nectar ou le pollen. Ensuite, on identifie les organismes qui sont les plus susceptibles d'être exposés au toxique par ces voies d'exposition et on détermine les quantités de matières exposées qu'ils absorbent. Les VEE sont obtenues en multipliant les doses résiduelles du toxique par les quantités absorbées de matières traitées.

### 6.1 Doses résiduelles d'exposition de l'imidaclopride

Plusieurs laboratoires européens ont mesuré des doses résiduelles d'imidaclopride de certaines matrices (voies d'exposition) pour les cultures principalement touchées par les polémiques, soit le maïs et le tournesol. Le CST a établi des critères afin de valider les données présentées dans les rapports d'études et a ensuite calculé des doses moyennes de résidus (tableau 6.1). Aucune mesure n'est disponible pour les métabolites oléfine et 5-OH-imidaclopride.

Critères de validation :

- un nombre d'échantillons suffisant provenant de sites distincts;
- un historique complet et sans ambiguïté des échantillons et des méthodes d'échantillonnages;
- un poids d'échantillon conforme;
- des échantillons représentatifs des conditions naturelles environnementales;
- des limites de quantification et de détection identifiées et suffisamment basses ( $LQ \leq 1 \mu\text{g}/\text{kg}$ ;  $LD \leq 0,5 \mu\text{g}/\text{kg}$ ).

Tableau 6.1 Doses résiduelles d'exposition de l'imidaclopride. Tiré de Doucet-  
Personeni *et al.*, 2003

Cultures	Matrices (voies d'exposition)	Doses résiduelles d'exposition de l'imidaclopride (µg/kg)
Maïs	Pollen	3,5
	Pollen de panicule	7,5
	Feuilles et tiges*	3,7
	Parties mâles*	3
Tournesol	Pollen	3,35
	Nectar	1,9

\* A titre indicatif seulement

## 6.2 Abeilles exposées et quantités absorbées de matières traitées

Toutes les catégories d'abeille d'une colonie sont susceptibles d'entrer en contact avec l'imidaclopride. Les butineuses récoltent le pollen et le nectar et les ramènent à la ruche. Les abeilles d'intérieur les récoltent et les emmagasinent dans des cellules. Ces deux produits peuvent être consommés immédiatement ou dans quelques semaines, voire quelques mois plus tard. Ils sont utilisés comme source d'alimentation mais le nectar sert aussi à la confection du miel et de carburant pour la thermorégulation de la ruche.

Les butineuses, les travailleuses d'intérieur, les jeunes ouvrières (nourrisses) et les larves sont particulièrement exposées à l'imidaclopride à cause de leur alimentation et leurs activités.

Tableau 6.2 Quantités absorbées de matières traitées par catégorie d'abeille. Tiré de Doucet-Personeni *et al.*, 2003

Catégories d'abeille	Voies d'exposition	Voies d'absorption	Quantités absorbées de matières traitées
Butineuses	Pollen	orale	Source essentielle de protéines, la butineuse consomme entre 1 et 4,5mg de pollen par jour.
		topique	Le pollen est cumulé en pelotes sur les pattes et les poils des butineuses tout au long de leur travail. Une moyenne de 20mg de pollen par voyage est transportée par les butineuses. Cependant, il n'y a pas de données concernant la biodisponibilité de l'imidaclopride dans une pelote de pollen. Ceci ne permet pas de calculer la dose d'exposition par voie topique. Le corps de l'abeille est aussi susceptible d'entrer en contact avec l'imidaclopride avec la formule commerciale Confidor® qui peut être pulvérisé sur les plantes en dehors de la période de floraison mais aucune donnée n'est accessible pour cette exposition.
	Nectar	orale	Avant de partir dans leur zone de butinage, les abeilles consomment du nectar pour se donner de l'énergie. Le nectar est également ingéré comme carburant lors des activités de butinage qui se déroulent sur de larges territoires. Une butineuse consomme en moyenne 345mg de nectar pour 12 heures de travail quotidien.
Jeunes ouvrières (nourries)	Pollen	orale	Une jeune ouvrière consomme environ 60 mg de pollen pendant ses 10 premiers jours.
Larves	Pollen	orale	Les abeilles consomment en moyenne 1,7mg de pollen pendant leur stade larvaire; ceci représente que 5% de leur alimentation, ce qui est négligeable comme exposition.
	Nectar	orale	Les larves consomment le sucre provenant du nectar. Selon leur âge, les larves consomment entre 3 et 46mg de nectar.
Travailleuse d'intérieur (thermorégulation)	Nectar	orale	La thermorégulation est l'activité qui demande la plus grande consommation de nectar. La quantité d'énergie dépensée par les abeilles d'intérieur est en fonction de la température extérieure qui fluctue selon les saisons (été ou hiver) et la période de la journée (jour ou nuit). La zone de couvain est maintenue à une température moyenne de 34°C, le centre de l'essaim à environ 15 °C et la périphérie de la ruche à 5 °C. Une colonie d'abeille européenne consomme environ 70 kg de miel par année et 22 kg pendant l'hiver (-4 °C à +7 °C). Le miel utilisé pour la thermogénèse est constitué du nectar de la dernière espèce florale butinée. En considérant que le miel de réserve provient à 100% de la culture de tournesol, les travailleuses consomment entre 0,63 et 2,5g de nectar (0,25 à 1g de miel) de tournesol pour la thermorégulation en période hivernale.

### 6.3 Valeurs estimées d'exposition (VEE)

Les valeurs estimées d'exposition sont obtenues à partir de la multiplication des doses résiduelles d'exposition (section 6.1 et tableau 6.1) par les quantités absorbées de matières traitées (section 6.2 et tableau 6.2).

$$\text{VEE} = \text{dose résiduelle} \times \text{quantité absorbée}$$

Les VEE pour l'oléfine et le 5-OH-imidaclopride ne peuvent être calculées car aucune dose résiduelle mesurée dans le nectar ou le pollen n'est disponible pour ces métabolites. De plus, n'ayant pas de données accessibles de la biodisponibilité de l'imidaclopride par voie topique, seules les VEE par voie orale sont considérées. Finalement, les larves ne sont pas retenues dans le tableau car il n'y a pas de doses toxiques disponibles pour cette catégorie.

Tableau 6.3 Valeurs estimées d'exposition d'imidaclopride par voie orale

Catégories d'abeille	Cultures	Voies d'exposition	VEE* Imidaclopride Voie orale (pg d'imidaclopride / abeille)	
			100% d'absorption de matières traitées	50% d'absorption de matières traitées
Butineuse	Maïs	Pollen	16 (3,50µg/kg x 4,5mg / jour)	8 (3,50µg/kg x 2,25mg / jour)
		Panicule (pollen)	34 (7,50µg/kg x 4,5mg / jour)	17 (7,50µg/kg x 2,25mg / jour)
	Tournesol	Pollen	15 (3,35µg/kg x 4,5mg / jour)	8 (3,35µg/kg x 2,25mg / jour)
		Nectar	655 (1,9µg/kg x 345mg / 12hrs)	328 (1,9µg/kg x 173mg / 12hrs)
Jeune ouvrière (Nourrisse)	Maïs	Pollen	210 (3,50µg/kg x 60mg / 10jrs)	105 (3,50µg/kg x 30mg / 10jrs)
		Panicule (pollen)	450 (7,50µg/kg x 60mg / jour)	225 (7,50µg/kg x 30mg / jour)
	Tournesol	Pollen	201 (3,35µg/kg x 60mg / 10jrs)	100 (3,35µg/kg x 30mg / 10jrs)
Travailleuse d'intérieur (Thermo-régulation)	tournesol	Nectar	4 750 (1,9µg/kg x 2,5g) (pour des températures externes de -4 à +7 °C)	2 375 (1,9µg/kg x 1,25g) (pour des températures externes de -4 à +7 °C)

\* VEE calculées à partir des valeurs des tableaux 6.1 et 6.2

## 7 ESTIMATION DU RISQUE DE L'IMIDACLOPRIDE POUR L'ABEILLE AU QUÉBEC

L'estimation du risque est calculée à l'aide des VEE (tableau 6.3) et des VESEO (tableau 5.3). Le rapport VEE sur VESEO permet d'obtenir un indice de risque (IR) pour les différentes catégories d'abeilles ciblées à la suite d'une exposition d'une dose toxique d'imidaclopride provenant de cultures traitées. Si l'indice de risque est supérieur ou égale à 1, il y a un risque un formel; sinon le cas n'est pas préoccupant. Plus l'indice de risque est élevé, plus les risques d'intoxication pour les abeilles sont importants.

$$IR = VEE / VESEO$$

IR < 1 = pas de risque formel

IR ≥ 1 = risque formel possible, IR > 10 = risque élevé, IR > 100 = risque très élevé

Tableau 7.1 Indices de risque de l'imidaclopride par voie orale

IR (VEE / VESEO)* Imidaclopride Voie orale														
Catégories d'abeille	Cultures	Voies d'exposition (VEE) (pg / abeille)	Doses (VESEO) (pg / abeille)											
			Létales (DL <sub>50</sub> )				Sublétales (LOEC)							
			Aiguë		Chronique (10 jrs)		Aiguë						Chronique (10 jrs)	
			L (4)	L (1,2)	L (50)	ST (7,5)	PC (100)	L (25)						
			100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%		
Butineuse	Maïs	Pollen (16)	4	2	13	7	0,3	0,15	2	1	0,2	0,1	0,6	0,3
		Panicule (34)	9	4	28	14	0,7	0,45	4,5	2	0,3	0,15	1,4	0,7
	Tournesol	Pollen (15)	4	2	12	6	0,3	0,15	2	1	0,2	0,1	0,6	0,3
		Nectar (655)	164	82	546	273	13	7	87	43	6	3	26	13
Jeune ouvrière (Nourrisse)	Maïs	Pollen (210)	53	27	175	88	4	2	28	14	2	1	8	4
		Panicule (450)	113	56	375	187	9	4	60	30	5	2	18	9
	Tournesol	Pollen (201)	50	25	167	84	4	2	27	13	2	1	8	4
Travailleuse d'intérieur	Tournesol	Nectar (4 750)	1188	594	3958	1979	95	48	633	317	48	24	190	95

L : laboratoire, ST : sous tunnel, PC : plein champs

\*Voir les tableaux 5.3 et 6.3

Les IR (tableau 7.1) montrent qu'avec l'absorption d'au moins 50% de matières traitées, toutes les catégories d'abeilles retenues dans l'étude, soit les butineuses, les jeunes ouvrières et les travailleuses d'intérieur, sont exposées à un risque formel d'intoxication par voie orale avec des doses létales d'imidaclopride, c'est-à-dire 4 ng/abeille pour des doses létales aiguës et 12 pg/abeille pour des doses létales chroniques (voir tableau 5.1). Les risques sont particulièrement très préoccupants concernant les doses létales chroniques qui affichent des indices de risque entre 6 et 3 958. Les abeilles les plus vulnérables sont les jeunes ouvrières et les travailleuses d'intérieur à cause de leur grande consommation de matières traitées. Leur mortalité peut préoccuper les apiculteurs car elle peut être à l'origine d'un affaiblissement de la colonie. En effet, si le taux de mortalité des nourrices est élevé, il y a aura moins de butineuses (pour compenser la perte), donc une diminution de l'apport de nourriture à la ruche et, par le fait même, une diminution de la population. S'il y a une mortalité sévère chez les travailleuses d'intérieur, les colonies auront plus de difficultés à maîtriser des variations de température et seront plus vulnérables aux froids et aux chaleurs intenses. Le pollen et le nectar peuvent être emmagasinés pendant de longues périodes à l'intérieur de la ruche; l'intoxication peut donc se poursuivre au moins une saison. Les butineuses courent également un risque d'intoxication avec des doses létales d'imidaclopride même si leur indice de risque est moins élevé que celui des jeunes ouvrières ou les travailleuses d'intérieur, ce qui peut également affecter la population des colonies.

Les IR des doses sublétales, malgré qu'ils soient plus faibles que ceux des doses létales, sont aussi préoccupants, surtout pour les nourrices et les travailleuses d'intérieur. Ces données pourraient expliquer certains phénomènes rapportés par des apiculteurs comme l'emmagasinage anormal du nectar et la diminution du rendement du miel. Les expériences sous tunnel montrent des IR supérieurs ou égaux à 1 pour toutes les catégories d'abeilles, ce qui peut correspondre à des comportements étranges des butineuses. Par contre, les IR des tests en laboratoire et en plein champ indiquent que les butineuses ne seraient pas exposées à des risques sublétaux significatifs. D'autres études devraient être réalisées pour préciser les effets sublétaux de l'imidaclopride sur les butineuses.

Les abeilles sont des organismes très sensibles à l'insecticide imidaclopride. En effet, si on compare la dose létale par voie orale de l'imidaclopride pour le rat avec celle pour l'abeille, on s'aperçoit que l'abeille est 11 250 fois plus sensible à l'ingrédient actif que le rat (voir ci-dessous). Cette comparaison surhigne le potentiel de toxicité de l'imidaclopride pour les abeilles (Van Coillie, 2006).

- DL<sub>50</sub> aiguë, voie orale, abeille :  
4 ng d'imidaclopride / abeille (CST, 2003)  
4 ng d'imidaclopride / 0,1g  
40 µg d'imidaclopride / kg
- DL<sub>50</sub> aiguë, voie orale, rat :  
450 mg d'imidaclopride / kg (Bayer Crop Science, 1998)  
450 000 µg d'imidaclopride / kg

$$450\ 000 / 40 = 11\ 250$$

Les estimations de risque confirment clairement qu'il a un risque potentiel pour les abeilles qui, sous toute évidence, sont très sensibles à l'imidaclopride. Même Bayer Crop Science signale la toxicité de l'ingrédient actif au sujet de l'abeille à la section 8.4 du bulletin technique du Gaucho® : « *The active ingredient imidacloprid is toxic to bees* » (Bayer Crop Science, 1998). Pourtant, le fabricant semble ne pas vouloir l'admettre dans le débat avec les apiculteurs français. Le dossier, devenu rapidement médiatisé, a eu une répercussion à l'échelle mondiale dans le domaine apicole. Il se donc pourrait que Bayer Crop Science veule minimiser les mauvaises réputations de son meilleur insecticide systémique. L'entreprise pharmaceutique a doté son site Internet d'une section réservée spécifiquement sur les abeilles. Bayer Crop Science ne confirme pas clairement que l'imidaclopride est potentiellement toxique pour les abeilles mais soutient plutôt que les effets néfastes seraient dû à un problème multifactoriel autre que l'insecticide, comme l'acarien *Varroa*, des bactéries, des champignons, des virus, des parasites, des facteurs climatiques extrêmes ou des fécondations artificielles (Bayer Crop Science, 2006).

Pour le moment, le risque d'intoxication à l'imidaclopride est relativement faible pour les abeilles du Québec car cet insecticide est peu utilisé pour les cultures autres que celle de la pomme de terre, laquelle n'est d'ailleurs pas très fréquentée par les pollinisateurs.

Par exemple, en pomiculture, l'ingrédient actif est utilisé seulement lors d'une infestation importante de ravageurs secondaires (Pettigrew, 2006).

Le tableau 7.2 indique la quantité utilisée d'imidaclopride pour certaines cultures horticoles du Québec pour l'année 2005. Les données ont été extraites par la MAPAQ des bilans des Centres d'encadrement technique (CET) du Québec. Au total, 14 CET ont été scrutés, représentant 340 producteurs et 14 782ha. Seules les données des producteurs, membres d'un CET, ont été enregistrées. Il est donc probable que la quantité totale utilisée de l'insecticide soit plus élevée que celle recueillie. Il est à noter que les superficies relevées sont celles où il y a eu une intervention phytosanitaire avec l'imidaclopride. Il se peut que plus d'un traitement ait été réalisé et que les entreprises aient utilisé le produit sur la totalité ou une portion de la superficie cultivée. Les données sont considérées pour un seul traitement et pour une superficie totale cultivée.

Tableau 7.2 Quantités d'imidaclopride pour certaines cultures horticoles du Québec. Inspiré de Pettigrew, 2006

Cultures	Imidaclopride								
	Admire 240 F			Intercept 60WP			TOTAL		
	Superficie (ha)	Qté. (kg)	Nb d'entr.	Superficie (ha)	Qté. (kg)	Nb d'entr.	Superficie (ha)	Qté. (kg)	Nb d'entr.
Pomme de terre	8529	1378	77	10	1	1	8539	1379	78
Maraîcher	262	1	3	1	1	1	263	2	4
Pomme	134	3	8	ND	ND	ND	134	3	8
Autres	26	3	26	11	6	7	37	9	33
TOTAL	8951	1385	114	22	8	9	8973	1393	123

ND : non disponible

Le tableau 7.2 fait ressortir que la culture de la pomme de terre consomme largement la majorité de l'imidaclopride.

Parmi les des deux cultures étudiées dans les calculs d'estimation du risque aux sections précédentes (maïs et tournesol), seul le maïs représente une culture de grande surface au Québec. En fait, en terme de superficie, elle est la deuxième plus importante après le foin (745 000ha) avec 395 000ha. La Montérégie est la région qui couvre le plus de culture de maïs-grain avec près de 233 000ha (voir la figure 7.1).

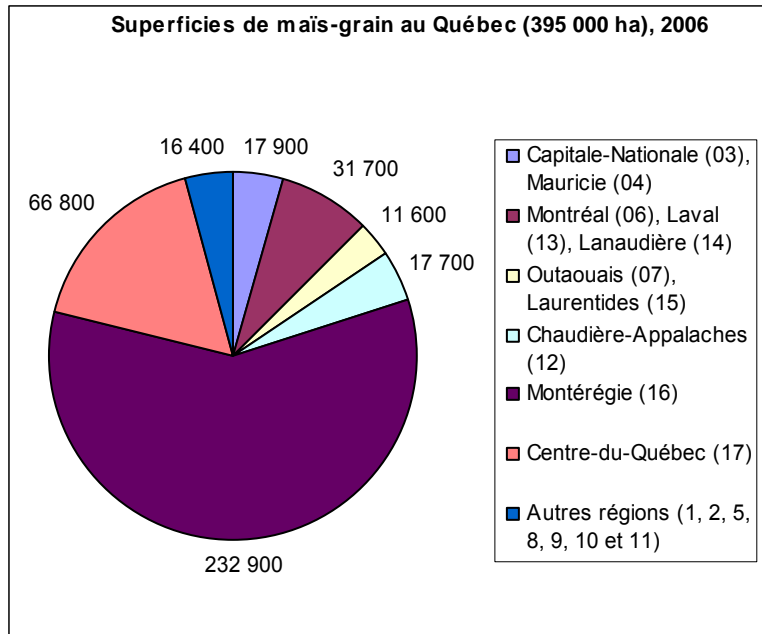


Figure 7.1 Superficies de maïs-grain au Québec, 2006. Inspiré de ISQ, 2006b

La quantité d'imidaclopride utilisée pourrait considérablement augmenter si les producteurs de maïs décidaient de l'adopter comme produit phytosanitaire en enrobage de semence. Prenons par exemple une situation où l'usage des semences enrobées à l'imidaclopride serait de même intensité dans le maïs que dans la pomme de terre. La culture de la pomme de terre est pratiquée sur 19 500 hectares (ISQ, 2006c) dont 8 539 hectares (tableau 7.2) sont traités avec l'imidaclopride, ce qui représente 44% de la production. Si on considère ce même pourcentage d'utilisation pour la culture de maïs, on obtient 173 000ha de superficie traitée à l'imidaclopride. Cela correspond à 21 fois plus de surface traitée à l'imidaclopride que celle de la pomme de terre. Les apiculteurs pourraient s'inquiéter car le maïs est une culture relativement attirante pour les abeilles et de nombreuses colonies se trouvent en Montérégie. En effet, la Montérégie avec l'Estrie sont les régions qui ont les plus grands nombres d'apiculteurs et de colonies d'abeilles au Québec. Par le fait même, elles génèrent la plus grande quantité de miel et de revenus pour le domaine apicole québécois. En 2005, 73 apiculteurs ont élevé 10 803 colonies générant 428 tonnes de miel et un peu plus de deux millions de dollars (tableau 7.3). Sachant qu'il existe un risque potentiel pour les abeilles qui sont exposées au pollen de maïs (tableau 7.4), l'utilisation de l'imidaclopride pourrait avoir une répercussion négative significative sur la production apicole de ces régions.

Tableau 7.3 Statistiques principales relatives au miel en 2005. Tiré de ISQ, 2006d

Regroupement de régions administratives	Apiculteurs	Colonies	Production		Ventes		
			Par colonie (kg/col.)	Total (t)	Total (t)	Prix moyen (\$/kg)	Total (k\$)
Bas-Saint-Laurent (01), Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (11)	25	1 940	56	109,6	86,2	7,28	627,6
Saguenay-Lac-Saint-Jean (02), Capitale-Nationale (03), Côte-Nord (09), Chaudière-Appalaches (12)	55	7 307	47	337,6	285,1	4,41	1 257,50
Mauricie (04), Centre-du-Québec (17)	29	4 808	44	98,1	60,2	5,04	303,4
Estrie (05), Montérégie (16)	73	10 803	44	469,8	428,7	4,73	2 029,50
Montréal (06), Outaouais (07), Abitibi-Témiscamingue (08), Nord-du-Québec (10), Laval (13)	29	2 548	80	204,8	86,5	5,93	512,9
Lanaudière (14), Laurentide (15)	46	6 179	62	381,8	262,1	5,82	1 526,70
<b>Total</b>	<b>258</b>	<b>33 586</b>	<b>52</b>	<b>1 601,70</b>	<b>1 208,80</b>	<b>5,2</b>	<b>6 257,60</b>

Tableau 7.4 Indices de risque de l'imidaclopride par voie orale pour le maïs

IR (VEE / VESEO)* Imidaclopride Voie orale														
Culture	Catégories d'abeille	Voies d'exposition	Doses											
			Létales (DL <sub>50</sub> )				Sublétales (LOEC)							
			Aiguë		Chronique (10 jrs)		Aiguë						Chronique (10 jrs)	
			L		L		L		ST		PC		L	
			100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%
Maïs	Butineuse	Pollen	4	2	13	7	0,3	0,15	2	1	0,2	0,1	0,6	0,3
		Panicule	9	4	28	14	0,7	0,45	4,5	2	0,3	0,15	1,4	0,7
	Jeune ouvrière (nourrisse)	Pollen	53	27	175	88	4	2	28	14	2	1	8	4
		Panicule	113	56	375	88	9	4	60	30	5	2	18	9

L : laboratoire, ST : sous tunnel, PC : plein champs

\*Voir le tableau 7.1

Parmi les autres cultures homologuées, le bleuets et le concombre demandent également une attention particulière, même si ces cultures ne couvrent pas des grandes superficies. Ce sont des cultures mellifères très attirantes pour les abeilles et sont dépendantes d'*Apis mellifera* pour leur pollinisation. En 2005, les producteurs de bleuets ont loué 11 156 colonies d'abeilles et les producteurs de concombres 776 colonies. Les pomiculteurs sont les deuxièmes plus grands utilisateurs de ruches pour la pollinisation avec une location de près de 6 000 colonies pour l'année 2005. Au total, ces trois producteurs ont loué 53% de toutes les colonies d'abeilles du Québec pour cette même année (ISQ, 2006a). S'il advenait que les producteurs utilisent l'imidaclopride et que les indices de risques s'y avèrent élevés, les impacts pourraient être considérables pour

l'apiculture québécoise. Dans le bulletin technique du Gaucho®, Bayer Crop Science suggère l'utilisation de l'enrobage de semences au lieu des recettes foliaires afin de minimiser les impacts négatifs sur les pollinisateurs (Bayer Crop Science, 1998). C'est une précaution, mais elle n'est pas optimale vu que l'imidaclopride est systémique et que sa persistance dure plus d'une saison.

Tableau 7.5 Certaines cultures homologuées pour l'imidaclopride

<b>Cultures homologuées</b>	<b>Superficies totales au Québec (ha)</b>	<b>Attirances pour les abeilles</b>	<b>Locations de colonie (unité)</b>
Pomme de terre	19 300	Faible	NA
Maïs	420 000	Moyenne	NA
Pomme	6 689	Élevée	5 983
Bleuet	ND	Élevée	11 156
Concombre	562 (pour conserveries)	Élevée	776

## **8 SUGGESTIONS**

À la suite des résultats préoccupants de l'estimation du risque et des informations obtenues à propos des implications de l'imidaclopride pour l'abeille, certaines suggestions sont élaborées pour aider à orienter les recherches et les développements de ce dossier pour le territoire québécois.

### **8.1 Vérifications sur le terrain et en laboratoire pour les données calculées**

Les estimations de risque calculées dans le présent rapport ont été réalisées à l'aide de données provenant du rapport d'étude du CST, lequel a fait un travail exhaustif afin de valider les résultats de ces expériences. Ceux-ci sont donc crédibles et fiables. Toutefois, des vérifications sur le terrain et en laboratoire seraient très pertinentes afin de valider les données et les adapter au marché québécois, comme par exemple le type de culture (maïs-grain, concombre, laitue, etc.), le type de sol (argileux, limoneux, sableux, etc.), l'âge et le type d'abeille, la période de floraison et les conditions météorologiques. Le protocole des études devrait inclure les critères de validation établis par le CST (section 5.1). De cette façon, les données pourraient être comparées à celles employées dans ce rapport. Le CRSAD pourrait être un partenaire important pour ce type d'études. Le Centre possède de nombreuses ruches, des équipements spécialisés et une main d'œuvre expérimentée dans la recherche apicole.

Les études sur le terrain sont aussi pertinentes que celles faites en laboratoire. Lors des essais en laboratoire, on a la possibilité de contrôler certaines variables comme la source et de la quantité de nourriture que les abeilles ont ingérée. Lors des études sous tunnels ou en champ, il est difficile de distinguer les abeilles qui consomment le sirop contaminé de celles qui en consomment partiellement ou pas du tout car les deux nourrisseurs (contaminé et non contaminé) sont dans le même espace. Une expérience diminuant ces inconvénients serait de prendre des mesures dans deux serres séparées. Les ruches employées, dans chacune des serres devraient avoir des caractéristiques identiques. Une serre aurait seulement du sirop contaminé et l'autre aurait uniquement du sirop pur. Les données seraient ainsi beaucoup plus révélatrices. Pour être encore plus près de la réalité, des cultures attirantes pour les abeilles, comme le concombre ou

la courge pourraient être utilisées au lieu de sirops. Certaines auraient subi un traitement à l'insecticide et d'autres non. De cette façon, les doses résiduelles dans le nectar, le pollen et le sol des cultures traitées pourraient également être mesurées. Il faudrait identifier la quantité d'imidaclopride retrouvée dans les produits à l'intérieur de la ruche pour connaître sa décomposition, non seulement dans le nectar, le pollen et le miel mais aussi dans les larves et les abeilles travailleuses d'intérieur car ces deux catégories sont très exposées à cause de leur alimentation. Il serait aussi souhaitable mesurer les métabolites oléfines et 5-OH-imidaclopride qui sont potentiellement toxiques pour l'abeille.

Tel que dans les expériences Porrini (2003 a et b), des essais sur le terrain devraient être faits pendant lesquels les butineuses ne peuvent pas retourner à la ruche pour être certain que l'ingrédient actif soit ingéré par les abeilles. Souvent, lorsqu'un organisme a subi un empoisonnement, il est préférable qu'il fasse le moins d'effort possible afin d'empêcher que le poison se propage dans le corps par des activités physiques. C'est peut-être une des raisons qui explique que lorsque l'abeille ressent une intoxication, elle se rend à la ruche dans le but de se reposer et d'éliminer le poison. Par contre, plus la butineuse a été infectée loin de la ruche, plus elle dépense de l'énergie pour revenir auprès de sa colonie. Le produit toxique s'introduit alors plus rapidement dans son corps et pourrait occasionner la mort avant son retour. Cela pourrait peut-être expliquer une des causes de la dépopulation des colonies.

De plus, comme les butineuses peuvent travailler pendant plusieurs heures avec du pollen contaminé sur leurs pattes, il serait très pertinent de recueillir des données exploitables pour l'analyse toxicologique par voie topique. En utilisant des serres et en ne donnant pas accès à l'intérieur de la ruche pour qu'elle dépose son pollen, on pourrait simuler de longues heures de travail en contact avec le produit contaminé pour la butineuse.

En outre, il serait intéressant de comprendre pourquoi certaines abeilles manifestent des symptômes sublétaux pendant une certaine période de temps à la suite d'une intoxication à l'imidaclopride et retrouvent des comportements tout à fait normaux par la suite comme a remarqué Suchail (2003). Pourtant, Bayer Crop Science mentionne

qu'une fois enclenché, le processus neurotoxique de l'imidaclopride est rarement irréversible (Bayer Crop Science, 1998).

Au Québec, l'imidaclopride est utilisé pour des cultures d'aubergines et de laitues avant la transplantation aux champs. Il est également employé dans des cultures en rotation. Par exemple, une culture de pommes de terre peut être traitée quelques fois à l'imidaclopride avant de laisser la place à un autre type de culture. Il serait alors suggéré de faire une étude fiable, selon le protocole validé par le CST, sur l'accumulation de l'imidaclopride dans le sol après plusieurs traitements successif pour les doses résiduelles d'une culture qui a suivi une rotation de même que pour une culture transplantée.

## **8.2 Application du principe de précaution**

Les estimations du risque de ce présent essai ont révélé des risques potentiels pour les abeilles. La toxicité de l'imidaclopride a même été validée par Bayer Crop Science et l'ARLA. En France, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales a décidé d'être sécuritaire et a exigé que le produit chimique en question soit retiré du marché jusqu'à ce qu'il soit prouvé non dangereux pour les abeilles et l'être humain. Au Québec, le principe de précaution s'applique aussi; « dans le doute, on s'abstient ». L'imidaclopride pourrait demeurer sur le marché, mais, pour les cultures attirantes pour les abeilles (incluant le maïs), il pourrait être utilisé seulement pour des cas d'urgences approuvés par l'ARLA selon des homologations spéciales. L'imidaclopride n'est pas encore beaucoup utilisé au Québec. Ceci n'occasionnerait donc pas d'impact économique ni des problèmes d'écoulement de stocks qu'ont subits les agriculteurs français.

Pour minimiser les risques d'intoxication des abeilles, on devrait suggérer de prohiber l'utilisation de l'imidaclopride en suspension aqueuse (et probablement d'autres produits similaires) lors de la période de pollinisation. Cette mention devrait être clairement identifiée sur l'étiquette de chaque produit concerné. Pour raffermir la situation, il pourrait y avoir des clauses pénales.

### **8.3 Identification des insecticides similaires à l'imidaclopride**

La compagnie Bayer Crop Science n'a pas arrêté de produire des insecticides pour le traitement des semences malgré la grande polémique européenne à leur sujet. Il existe notamment deux autres produits phytosanitaires neurotoxiques importants à considérer en regard de leurs effets nocifs pour les abeilles, le clothianidine et le fipronil.

#### **8.3.1 Clothianidine**

Bayer Crop Science a mis sur le marché l'insecticide systémique Poncho 600 dont l'ingrédient actif est le clothianidine. Ce dernier a beaucoup de ressemblances avec l'imidaclopride, ce qui inquiète les apiculteurs québécois avec raison. C'est un produit neurotoxique employé pour contrer l'altise sur le canola et le colza, la chrysomèle des racines du maïs, l'altise du maïs, le ver-gris noir, la mouche des légumineuses, le ver fil-de-fer et le ver blanc sur le maïs. Le clothianidine est très soluble dans l'eau et possède un fort potentiel d'entraînement par lessivage. Il est également très persistant dans le sol en condition aérobie avec une durée de vie de 495 à 990 jours (ARLA, 2004). Sa toxicité pour les abeilles est similaire à l'imidaclopride avec une dose létale ( $DL_{50}$ ) par voie orale de 3,8 ng/abeille et une dose létale par voie topique de 44 ng/abeille (Schmuck *et al.*, 2003). D'ailleurs, Bayer Crop Science mentionne clairement, dans un document technique, qu'à la suite de ces études, ce produit est hautement toxique pour *Apis mellifera*. Les critères de classification pour un produit dangereux du Conseil de l'union européenne annoncent également la même conclusion. Selon eux, un produit phytosanitaire est considéré sécuritaire pour les abeilles si le quotient (HQ) entre la dose maximale d'application permise et la  $DL_{50}$  est plus petit que 50. Le HQ du clothianidine, pour une dose d'application de 50 g/ha est 10 000, ce qui le classe comme étant extrêmement dangereux pour les abeilles (Schmuck *et al.*, 2003). Bayer Crop Science mentionne sur son site Internet que le clothianidine ne présente qu'un faible risque pour plusieurs espèces non visées, mais ne spécifie pas qu'il est toxique pour les pollinisateurs (Bayer Crop Science, 2003)

L'ARLA a homologué ce produit pour une durée temporaire. Il serait prudent, avant d'entreprendre une grande commercialisation de ce produit au Canada, de faire des études préventives plus approfondies sur le potentiel toxique du clothianidine envers les

abeilles (notamment via l'accumulation dans le sol) plus particulièrement pour les cultures de maïs et les légumineuses attirantes pour les pollinisateurs.

### **8.3.2 Fipronil**

Le fipronil, ingrédient actif du Regent TS, est un autre insecticide systémique aux propriétés similaires à l'imidaclopride et au clothianidine. Toutefois, il n'est pas homologué au Canada, ce qui ne présente pas vraiment d'inquiétude actuellement pour les apiculteurs. Connaissant son potentiel toxique, il serait également vigilant d'entreprendre des études avant son introduction sur le marché canadien.

## **8.4 Stimulation des communications entre les acteurs concernés**

Bien que les apiculteurs et les agriculteurs soient unis par l'Union des producteurs agricoles (UPA) du Québec, les communications entre les différents acteurs de ces deux parties peuvent être parfois difficiles. Il faudrait que les informations concernant les insecticides utilisés par les agriculteurs (nom de l'insecticide, quantité utilisée, période d'application, etc.) soient facilement accessibles pour les apiculteurs afin qu'ils puissent avoir des outils d'analyse lors de mortalités ou de comportements inexplicables chez les abeilles. Les informations pourraient être admissibles, par exemple, par l'entremise de l'UPA, d'Agri-réseau, du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) ou par un comité de concertation entre agriculteurs et apiculteurs.

Il pourrait aussi avoir un code ou un protocole d'utilisation pour les produits phytosanitaires utilisés par des cultivateurs situés dans un rayon de six km d'un éleveur d'abeilles. Par exemple, il pourrait être prescrit que les agriculteurs qui désirent employer des produits à base d'imidaclopride devraient aviser les apiculteurs avoisinants. Les éleveurs d'abeilles en seraient avertis et pourraient donc avoir le choix d'ouvrir ou de fermer les ruches. De plus, ils pourraient analyser plus attentivement les effets observés.

## 8.5 Réalisation d'études multifactorielles

Les produits phytosanitaires neurotoxiques (comme l'imidaclopride) ne sont pas les seuls qui peuvent être dommageables pour *Apis mellifera*. L'annexe 3 affiche une liste de plusieurs pesticides considérés toxiques pour les abeilles. Tant les agriculteurs que les apiculteurs devraient leur porter une attention particulière.

Il existe également des parasites et des virus qui font des ravages considérables chez les colonies d'abeilles. Par exemple, le varroa, qui est souvent ciblé par les fabricants d'insecticides lors des problèmes de mortalités inexplicables des abeilles. Le varroa est un acarien de la grosseur d'une tête d'épingle qui vit en surface de l'abeille. Il se transporte facilement d'une colonie à l'autre. On le retrouve maintenant en Asie, en Afrique, en Europe et en Amérique. Les abeilles infestées par le varroa ont souvent des ailes déformées, un affaiblissement général, une perte de poids d'environ 25% et une durée de vie raccourcie jusqu'à deux fois. On les voit souvent ramper à l'entrée de la ruche. De plus, les plaies provoquées par le varroa servent de point d'entrée pour les infections virales, ce qui rend les colonies plus vulnérables (Hanley *et al.*, 1995). Certains des symptômes énumérés ressemblent à ceux rapportés par les apiculteurs français (section 4.1) dans le cas de l'imidaclopride.

Il faut être conscient que l'abeille travaille sur un large territoire, elle consomme parfois de l'eau polluée, reçoit des rejets atmosphériques (industriels, automobiles, etc.) et fait face à divers parasites et virus. On peut également ajouter des prédatations d'*Apis mellifera* comme celles par l'hyménoptère *Vespa velutina nigrithorax* d'origine asiatique (Pfyffer, 2007) et les larves du cleptoparasite *Meloe franciscanus* (Hancock, 2007). La consommation de pollen et de nectar provenant de cultures génétiquement modifiées soulève aussi plusieurs questions et inquiétudes chez les éleveurs d'abeilles. De plus, de nombreux apiculteurs importent des abeilles provenant d'autres pays pour satisfaire leur production, ce qui peut introduire de nouvelles maladies sur le marché local. Il ne faut pas oublier que ces abeilles importées ont peut-être des difficultés à s'adapter aux nouvelles conditions climatiques de leur l'environnement hôte. Les facteurs d'effets néfastes sont donc nombreux.

Les pertes d'abeilles deviennent alertantes. Aux États-Unis, le phénomène a été baptisé Colony Collapse Disorder (CCD). Les éleveurs d'abeilles américains ont subi une perte de plus de 1,5 million de ruches, représentant 40 fois le nombre total de ruches au Québec (Asselin, 2007). En Europe, certains apiculteurs ont perdu jusqu'à 90% de leurs ruches.

Les recherches devraient donc se focaliser sur les régions qui subissent de fortes mortalités d'abeilles et (ou) des symptômes inexplicables et faire des analyses plus détaillées. Ces analyses devraient inclure la varroase et les autres parasites, l'origine des reines et des paquets d'abeilles, les variations de température, les produits phytosanitaires utilisés dans le voisinage (à environ six km de rayon) ainsi que leur dose et leur période d'application, etc. Il faudrait aussi divers spécialistes (chimistes, biologistes, scientifiques, etc.) qui participent à ces recherches. De cette façon, il y aurait plus de chances de trouver des réponses à plusieurs questions et, à la suite de la compréhension du ou des problèmes, des ajustements pourraient être appliqués.

## CONCLUSION

L'abeille est un organisme très important pour les écosystèmes et pour la pollinisation. Elle serait même essentielle à la survie de l'être humain selon Albert Einstein. Depuis des milliers d'années, les produits confectionnés par cet insecte sont appréciés des humains. Le miel a longtemps été l'une des principales sources de sucres dans leur alimentation et la cire leur permettait notamment de fabriquer des chandelles. Pour la nature, l'abeille représente un insecte indispensable vu que plus de 20 000 espèces végétales bénéficient notamment de ce pollinisateur pour leur propagation. La qualité du résultat est indéniable. L'humain l'a bien compris et il l'emploie de façon systématique pour la pollinisation de plusieurs cultures.

L'abeille est également un indicateur très performant pour détecter des polluants environnementaux. Elle travaille quotidiennement sur un large territoire (50km<sup>2</sup>), récolte le pollen et le nectar de plusieurs fleurs, s'approvisionne d'eau et entre en contact avec des rejets atmosphériques. Elle peut ainsi vraiment jouer un rôle de sentinelle. Des métaux lourds, des produits radioactifs et des insecticides peuvent être mesurés dans les produits de la ruche ou dans le corps des abeilles mortes. Lorsque le taux journalier de mortalité dépasse 250 individus par ruche, cela indique qu'il y a un problème dans la colonie. Les analyses peuvent déterminer les causes de cette mortalité, comme par exemple l'utilisation illégale ou inadéquate d'un insecticide. Par contre, certaines mortalités peuvent être parfois difficiles à expliquer et le blâme peut être redirigé vers diverses sources : c'est le cas de l'imidaclopride en France.

L'imidaclopride est un insecticide systémique (voyage dans toute la plante par la sève), neurotoxique (attaque le système nerveux) et persistant (a une longue durée de vie). Depuis son apparition en France et en Italie dans les cultures de maïs et de tournesols, les apiculteurs ont vu leurs ruchers diminuer de façon inquiétante. Ils ont alors blâmé l'insecticide pour leurs pertes. De nombreuses études ont été réalisées pour déterminer si vraiment l'imidaclopride pouvait affecter les abeilles comme les apiculteurs le prétendaient. Les résultats sont partagés. Face à cette incertitude, la France a décidé de retirer le produit du marché jusqu'à ce qu'il soit prouvé sécuritaire.

Au Québec, l'imidaclopride est homologué mais peu utilisé. Les producteurs de pommes de terre sont les principaux utilisateurs. Il faut donc poser des gestes de prévention.

Le principal objectif de l'essai est d'estimer le risque de toxicité de l'imidaclopride pour l'abeille au Québec. Les données recueillies et approuvées par un Comité scientifique et technique (CST) d'un groupe d'experts français ont été analysées comme source de référence fiable. Les résultats obtenus pour l'imidaclopride utilisé dans la culture de maïs ont montré qu'il y aurait des risques préoccupants avec des indices de risque entre 2 et 3 958 (un risque formel est présent lorsque l'indice de risque est supérieur à 1). Les abeilles les plus vulnérables seraient les jeunes ouvrières et les travailleuses d'intérieur face à leur forte consommation de matières contaminées. Certaines données ont également révélé que l'abeille est 11 250 fois plus sensible à l'imidaclopride que le rat. Même s'il est clairement écrit dans la fiche technique que l'imidaclopride est toxique pour l'abeille, Bayer Crop Science semble vouloir l'ignorer dans les débats avec les apiculteurs français.

Au Québec, il y a 395 000 hectares de culture de maïs-grain dont 232 900 hectares en Montérégie. Cette dernière et l'Estrie ont le plus grand nombre de colonies d'abeilles au Québec. Le potentiel de risque est donc élevé si les producteurs de maïs décident d'utiliser l'imidaclopride. Il faut également penser aux autres cultures attirantes pour l'abeille (les colzas, les bleuets, les concombres et les aubergines) qui peuvent être traitées avec l'imidaclopride et ainsi affecter les abeilles. Il faut considérer la persistance de l'insecticide dans les cultures en rotation ou en transplantation.

Certaines suggestions sont présentées pour confirmer et cibler le risque d'utiliser l'imidaclopride au Québec par rapport aux abeilles. En premier lieu, il faudrait vérifier les résultats de la présente étude en laboratoire et sur le terrain québécois en utilisant des critères de validation comme ceux du CST français. Il serait alors prudent d'appliquer le principe de précaution en utilisant l'imidaclopride que seulement lors de cas d'urgences pour les cultures de maïs et autres cultures attirantes pour les abeilles. En second lieu, des études de toxicité, utilisant les critères de validation du CST, pourraient également être réalisées pour le potentiel toxique d'autres insecticides similaires à l'imidaclopride comme le clothianidine. En troisième lieu, il serait important de stimuler les dialogues et

d'implanter un système de communication efficace entre les acteurs principaux impliqués, comme les producteurs agricoles et les apiculteurs. Finalement, les études de mortalité ou de comportements anormaux des abeilles devraient inclure d'autres facteurs potentiels, comme les parasites, les variations de température, les origines des abeilles et les prédateurs.

Ce projet a permis de réaliser que les activités de sentinelle de l'abeille permettent de révéler des informations très pertinentes, étonnantes et parfois même inquiétantes. En fait, elle peut représenter un signal d'alarme pour l'être humain. Si cette espèce sentinelle est sévèrement affectée par un polluant environnemental, on peut se poser de sérieuses questions sur les conséquences à long terme que ce polluant peut avoir sur l'être humain. Parfois, de grandes corporations ne veulent pas affronter de telles vérités pour ne pas nuire à leur croissance économique. L'imidaclopride et certains autres produits phytosanitaires neurotoxiques sont très persistants et on les retrouve de plus en plus dans l'environnement. Ils ont leurs vertus mais il faut demeurer très vigilant à leur égard. On peut aussi se questionner sur leur potentiel éventuel neurotoxique à long terme sur l'être humain. L'abeille aide à trouver des réponses à ces questions.

## RÉFÉRENCES

- AGENCE DE RÉGLEMENTATION DE LA LUTTE ANTIPARASITAIRE (ARLA) (1997). Note réglementaire R97-01, Admire®, Santé Canada, Ottawa, 6 p.
- AGENCE DE RÉGLEMENTATION DE LA LUTTE ANTIPARASITAIRE (ARLA) (2001). Note réglementaire REG2001-11, Imidaclopride, Santé Canada, Ottawa, 14 p.
- AGENCE DE RÉGLEMENTATION DE LA LUTTE ANTIPARASITAIRE (ARLA) (2004). Note réglementaire REG2004-06, Clothianidine, Poncho 600, Insecticide pour le traitement des semences, Santé Canada, Ottawa, 94 p.
- AGENCE FRANCAISE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DES ALIMENTS (AFSSA) (2005). Fiche enquête multifactorielle sur les troubles des abeilles, Paris, 4 p.
- ALETRU, F. (2006). Analyses et propositions relatives au maintien de la biodiversité végétale et de la faune pollinisatrice à travers une meilleure organisation de l'espace agricole, Centre d'élevage apicole, [http://www.apiculture.com/\\_menus\\_fr/index.htm?menu.htm&0](http://www.apiculture.com/_menus_fr/index.htm?menu.htm&0). Consulté le 10 novembre 2006.
- APIS BRUO CSELLA (2006). Des abeilles dans ma ville, L'abeille hôte de nos jardins, <http://www.apisbruocsella.be/pollenisation.html>. Consulté le 10 novembre 2006.
- ASSELIN, P (2007). La mort des ruches menace les cultures, Journal le Soleil, Édition du 5 avril 2007, Québec.
- BAYER CROP SCIENCE (1998). Gaucho®, BAY NTN 33893, Insectical seed dressing with systemic and root systemic activity, particularly against sucking, but also against other important pests. Bayer Technical Information, 8/800 2238-141- 9.98, 36 p.
- BAYER CROP SCIENCE (2003). Clothianidin – Ecotoxicological profile and risk assessment, [http://www.bayercropscience.com/bayer/cropscience/cscms.nsf/ID/2ndArticle012003\\_EN#French](http://www.bayercropscience.com/bayer/cropscience/cscms.nsf/ID/2ndArticle012003_EN#French). Consulté le 5 décembre 2006.
- BAYER CROP SCIENCE (2006). Le Gaucho et les abeilles, <http://www.bayercropscience.fr/srt/inter/flb/show?location.id:=1356>. Consulté le 15 décembre 2006.
- BONMATIN, J-M. (2002). Insecticide et pollinisateurs : une dérive de la chimie? Revue Science, Association française pour l'avancement des sciences, volume 2, p. 42-46.
- BONMATIN, J-M., MOINEAU, I., CHARVET, R., FLECHE, C., COLIN, M-E. et BENGSCHE, E-R. (2003). A LC/APCI-MS/MS method for analysis of imidaclopride in soils, in plants and in pollens, Analytical Chemistry, volume 57, No9, p. 2027-2033.

- BORTOLOTTI, L., MONTANARI, R., MARCELINO, J., MEDRZYCKI, P., MAINI, S. et PORRINI, C. (2003). Effects of sub-lethal imidaclopride doses on the homing rate and foraging activity of honey bees, *Bulletin of Insectology*, volume 56, No1, p. 63-67.
- BRIET, S. et PATRIARCA, B. (2004). *Insecticides : Gaymard vole au secours des abeilles*, Libération, édition du 24 février 2004, Paris.
- BRODHAG, C. (2004). Les abeilles butineuses assurent un service écologique, Documents, articles, [http://www.brodhag.org/article.php3?id\\_article=1#nb2](http://www.brodhag.org/article.php3?id_article=1#nb2). Consulté le 6 avril 2006.
- CECILIA, G. (2005). Chemical contamination of bee honey, Identifying sensor of the environment pollution, *Journal Central European Agriculture*, volume 6, No1, p. 467-470
- CHARRIÈRE, J-P. (1999). Intoxication d'abeilles, Communication no 35, Station fédérale de recherches en production animale et laitière, Berne, 34 p.
- CURÉ, G., SCHMIDT, H.W. et SCHUCK, R. (2001). Results of a comprehensive field research program with the systemic insecticide imidaclopride (Gaucho®), *Les colloques de l'INRA*, Paris, 1998, p. 49-59.
- DECOURTYE, A., LACASSIE, E. et PHAM-DELEGUE, M-H. (2003). Learning performances of honeybees (*Apis mellifera*) are differentially affected by imidaclopride according to the season, *Pest Management Science*, volume 59, No3, p. 269-278.
- DERY, B. (2006). Dictionnaire visuel, Volume 2 : Biologie animale, Morphologie d'une abeille, [http://www.infovisual.info/02/041\\_fr.html](http://www.infovisual.info/02/041_fr.html). Consulté le 10 décembre 2006.
- DOUCET-PERSONENI, C., HALM, M.P., TOUFFET, F., RORTAIS, A. et ARNOLD, G. (2003). Imidaclopride utilisé en enrobage de semences (Gaucho®) et troubles des abeilles, Rapport final, Comité scientifique et technique de l'étude multifactorielle des troubles des abeilles, Caen, France, 221 p.
- DOYON, J-F. (2006). Communication personnelle. Président de la Fédération des apiculteurs du Québec.
- ETCHELECOU, A. (2001). Programme écosystèmes, Transport et pollution, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France.
- ENVIRONNEMENT CANADA (EC) (1999). Guide des essais écotoxicologiques employant une seule espèce et de l'interprétation des résultats, Environnement Canada, Centre de technologie environnementale, Ottawa, SPEI/RM/34, 209 p.
- GAZETTE DU CANADA (2005). Règlement modifiant le Règlement sur les aliments et drogues (1367 — imidaclopride), Loi sur les aliments et drogues, Gouvernement du Canada, volume 139, No8, <http://gazetteducanada.gc.ca/partII/,2005/20050420/html/sor82-f.html>.

- GIROUX, I. (2003). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre, Campagne d'échantillonnage de 1999-2000-2001. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 34 p.
- GORSE, I. (2006) Communication personnelle. Conseillère scientifique, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Service des pesticides, Québec, 5 décembre 2006.
- HANLEY, A., DUVAL, J. (1995). La varroase des abeilles, Projet pour une agriculture écologique, <http://www.eap.mcgill.ca/AgroBio/ab370-08.htm#Symptômes%20et%20description>. Consulté le 5 janvier 2007.
- HANCOK, C. (2007). Abeilles : Elles sont les victimes d'un parasitisme inédit, Science et Vie, janvier 2007, p.81-83.
- HOULE, É. (2006). Communication personnelle. Technicien agricole au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault, décembre 2006.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE QUÉBEC (ISQ) (2006a). Statistiques relatives à la location de colonies à des fins de pollinisation selon le type de culture, Québec, Gouvernement du Québec, [http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm\\_finnc/filr\\_bioal/elevage/miel/index.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/elevage/miel/index.htm). Mise à jour le 12 avril 2006.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE QUÉBEC (ISQ) (2006b). Superficie des grandes cultures, rendement à l'hectare et production, par région administrative, Québec, [http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm\\_finnc/filr\\_bioal/culture/culture/am110006.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/am110006.htm). Mise à jour le 16 octobre 2006.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE QUÉBEC (ISQ) (2006c). Superficie, production, ventes hors secteur et recettes monétaires de la pomme de terre, par région administrative, Québec, [http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm\\_finnc/filr\\_bioal/culture/culture/am221006.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/culture/culture/am221006.htm). Mise à jour 18 juillet 2006.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE QUÉBEC (ISQ) (2006d). Statistiques principales relatives au miel par regroupement de régions administratives, Québec, 2005, [http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm\\_finnc/filr\\_bioal/elevage/miel/h1-2005.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/econm_finnc/filr_bioal/elevage/miel/h1-2005.htm). Mise à jour 11 avril 2006.
- KEMP, J.R. et ROGERS, R.E.L. (2002). Imidacloprid (Admire®) residue levels following In-furrow application in Potato Fields in Prince Edward Island and New Brunswick, Kentville, Nouvelle-Écosse, 4 p.
- LABY, F. (2006). L'abeille vient à la rencontre des citoyens, Actu-environnement, <http://www.actu-environnement.com/ae/news/1532.php4>. Consulté le 10 février 2006.
- LARAMÉE, S. (2006). L'abeille : sentinelle de l'environnement, Centre apicole de recherche et d'information, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique, 15 p.

- MAUS, C., CURÉ, G. et SCHMUCK, R. (2003). Safety of imidaclopride seed dressings to honey bees : a comprehensive overview and compilation of the current state of knowledge, *Bulletin of Insectology*, volume 56, No1, p. 51-57.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PÊCHE ET DES AFFAIRES RURALES DE FRANCE (MAAPA) (2004). Communiqué de presse, MAAPA, Paris, 23 février 2004.
- MEDRZYCKI, P., MONTANAR, R., BORTOLOTTI, L., SABATINI, A.G., MAINI, S. et PORRINI, C. (2003) Effects of imidaclopride administrated in sub-lethal doses on honey bee behavior, Laboratory tests, *Bulletin of Insectology*, volume 56 No1, p. 59-62.
- MONDOR, F. (2006). Abeille domestique, Insectarium de Montréal, Ville de Montréal, <http://www2.ville.montreal.qc.ca/insectarium/toile/nouveau/preview.php?section=fiches&page=31>. Mise à jour le 12 octobre 2006.
- MOREAUX, A. (2003). Au commencement était l'abeille, <http://home.nordnet.fr/~amoreaux/abeille/abeilles.htm>. Mise à jour le 24 août 2003.
- MORGANE, C. (2006). Les abeilles de Paris : un vrai roman photo! <http://www.hotels-paris-rive-gauche.com/blog/index.php/2006/06/20/819-photos-des-abeilles-de-paris-le-miel-de-paris>, Juin 2006.
- PETTIGREW, A. (2006). Communication personnelle. Agronome, conseiller aux entreprises d'arbres de Noël, apicoles et pommes de terre au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Direction régionale de l'Estrie, Sherbrooke, 30 novembre 2006.
- PFYFFER, J. (2007). L'actualité : Alerte au serial killer du sud-ouest, *Paris-Match Magazine* : 3017, Édition du 14 mars 2007, Paris.
- PORRINI, C., SABATINI, A.G., GIROTTI, S., GHINI, S., MEDRZYCKI, P., GRILLENZONI, F., BORTOLOTTI, L., GATTAVECCHIA, E. et CELLI, G. (2003a). Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination, *Apiacta*, volume 38, p. 63-70.
- PORRINI, C., SABATINI, A.G., GIROTTI, S., FINI, F., MONACO, L., CELLI, G., BORTOLOTTI, L. et GHINI, S. (2003b). The death of honey bees and environmental pollution by pesticides : the honey bees as a biological indicators. *Bulletin of insectology*, volume 56, No 1, p. 147-152.
- RICHARD, P. (2007). Communication personnelle. Responsable de l'environnement, Aluminerie Alcoa Deschambault, janvier 2007.
- SCHMUCK, R. (1999). No causal relationship between Gaucho® seed dressing in sunflowers and the French bee syndrome. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 52/99, p.250-299.

- SCHMUCK, R., SCHÖNING, R., STORK, A., SCHRAMMEL, O. (2001). Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L, Hymenoptera) by an imidaclopride seed dressing of sunflowers, *Pest Management Science*, volume 57, No 7, p. 225-238.
- SCHMUCK, R., KEPPLER, J. (2003). Clothianidin - Ecotoxicological profile and risk assessment, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, p. 26-58.
- SUCHAIL, S., BELZUNCES, L.P. et VAISSIÈRE, B.E. (2001). Toxicité subchronique de l'imidaclopride et de ses métabolites chez l'abeille domestique *Apis mellifera*, [http://www.beekeeping.com/abeille-de-france/articles/toxicite\\_subchronique.htm](http://www.beekeeping.com/abeille-de-france/articles/toxicite_subchronique.htm). Mise à jour le 17 mars 2001.
- SUCHAIL, S., BELZUNCES, L.P. et VAISSIÈRE, B.E. (2003). Toxicité aiguë de l'imidaclopride et de ses métabolites chez l'abeille domestique *Apis mellifera*, *Abeilles et Fleurs*, volume 643, p. 27-30.
- UNION NATIONALE DE L'APICULTURE FRANÇAISE (UNAF) (2006a). Première ouvrière de la biodiversité, l'abeille arrive en ville! Communiqué de presse, UNAF, Paris, 28 janvier 2006, France.
- UNION NATIONALE DE L'APICULTURE FRANÇAISE (UNAF) (2006b). L'abeille : sentinelle de l'environnement, <http://www.unaf-apiculture.info/>. Consulté le 22 décembre 2006.
- VAN COILLIE, R. (2006). Analyse de risques écotoxicologiques, Université de Sherbrooke.
- VIGNOLLE, F. (2004). Un expert dénonce les dangers d'un pesticide, *Le Parisien*, version électronique, édition du 30 janvier 2004, Paris.
- VILLE DE MONTREAL (2003). Abeille domestique, Insectarium de Montréal, <http://www2.ville.montreal.qc.ca/insectarium/toile/nouveau/menu.php?s=info&p=preview.php%3Fsection%3Dfiches%26page%3D31>. Mise à jour le 12 octobre 2006.
- WIKIPEDIA (2006a) Abeille, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Abeille>. Mise à jour octobre 2006.
- WIKIPEDIA (2006b). Gaucho, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Gaucho>. Mise à jour octobre 2006.
- WIKIPEDIA (2006c). Imidaclopride, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Imidaclopride>. Mise à jour octobre 2006.
- WIKIPEDIA (2006d). Fipronil, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fipronil>. Mise à jour octobre 2006.
- WIKIPEDIA (2006e). Pesticide toxicity to bees, [http://en.wikipedia.org/wiki/pesticide\\_toxicity\\_to\\_bees](http://en.wikipedia.org/wiki/pesticide_toxicity_to_bees). Consulté le 20 octobre 2006.
- WINSTON MARK, L. (1993). *La biologie de l'abeille*, Édition Frison-Roche, 274 p.

**ANNEXE 1**  
**UTILISATIONS D'IMIDACLOPRIDE APPROUVÉES**

Source : ARLA, 2001

**ANNEXE 2**  
**ÉTIQUETTES ET POSOLOGIES D'IMIDACLOPRIDE**

## **ANNEXE 3**

### **PESTICIDES TOXIQUES POUR LES ABEILLES**

Source : Wikipedia, 2006e