

# Les abeilles sont-elles menacées par l'utilisation de plantes transgéniques résistantes aux insectes?

Sabine Keil, Jörg Romeis, Peter Fluri\* et Franz Bigler  
Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (FAL),  
de Zurich-Reckenholz, CH-8092 Zurich

\* Station fédérale de recherche laitière (FAM), Centre de recherches apicoles, Liebefeld,  
CH-3003 Berne

*Les plantes transgéniques possédant des propriétés de résistance contre les parasites et les maladies contiennent des gènes étrangers qui, à l'origine, proviennent d'autres plantes, animaux ou micro-organismes et ont été implantés dans leur patrimoine génétique. Ces gènes sont en mesure de produire par exemple des protéines qui protègent la plante modifiée génétiquement contre les insectes qui autrement la dévoreraient ou contre encore une contamination par des champignons. On désire par là limiter l'emploi des produits phytosanitaires et réduire les dangers potentiels pour l'environnement, l'utilisateur et les consommateurs.*

Comme pour tout autre produit phytosanitaire, les plantes transgéniques doivent, avant d'être lancées sur le marché, passer des tests pour déceler d'éventuels effets secondaires sur les organismes non ciblés, en particulier les abeilles, qui sont très importantes des points de vue écologique et économique. Il faut savoir que les toxines peuvent être présentes dans toutes les cellules végétales, donc aussi dans le pollen qui est, en plus du nectar, la nourriture de base des abeilles. Aucune protéine transgénique n'a encore été détectée dans le nectar issu de plantes transgéniques (Malone & Pham-Delègue, 2001). La présente revue de littérature résume l'ensemble des connaissances publiées au sujet des menaces que représentent pour les abeilles les plantes transgéniques résistantes aux insectes. Puisque ces plantes produisent des protéines toxiques pour les insectes, ce sont elles qui présentent la plus forte probabilité d'occasionner des effets secondaires sur les insectes non ciblés, telles les abeilles. En revanche, le risque d'effets secondaires sur les abeilles des plantes transgéniques résistantes aux maladies ou aux herbicides est vraisemblablement moins important. En tous les cas, les abeilles sont au centre du débat qui porte sur l'évaluation des risques découlant des plantes transgéniques, car elles sont l'un des vecteurs de la transmission et de la propagation du matériel végétal transgénique (pollen), matériel qui peut éventuellement conduire au croisement des plantes transgéniques. Dernièrement, dans une étude qui a beaucoup fait parler d'elle, les chercheurs émettaient l'hypothèse que l'intestin de l'abeille pût éventuellement être le théâtre d'une transmission de matériel génétique (provenant du pollen) à des micro-organismes (transfert horizontal de gènes) (Reiche *et al.*, 1998). Celle-ci n'a cependant pas encore été prouvée.

Nous savons grâce aux études menées en biologie nutritionnelle de l'abeille que, en principe, tous les stades de développement de l'abeille peuvent être en contact avec la toxine lorsque celle-ci est contenue dans le pollen. Ce dernier est récolté par les ouvrières et apporté dans la ruche pour y être transformé. Le besoin en pollen dépend de l'âge de l'abeille et de sa fonction à l'intérieur de la colonie. Autrement dit, la quantité de pollen dont une abeille a besoin au cours de son développement varie au fil de son existence et est liée au stade présent de son développement et à la caste à laquelle elle appartient. Les larves en croissance ont un besoin en pollen plus élevé. Il en va de même des jeunes ouvrières dont les besoins en protéines sont importants en raison de la formation des glandes.



Les champs de colza en fleurs représentent une source abondante de nourriture pour les insectes pollinisateurs. Les colonies d'abeilles couvrent une partie importante de leur besoin en pollen et en nectar par le butinage du colza.

des nourricières, des tissus adipeux et d'autres organes. Vu que les butineuses rapportent à la ruche du pollen pour nourrir le couvain et les abeilles adultes, on ne peut exclure un risque de contamination de tous les stades de développement et castes (ouvrières, faux-bourçons, reine).

Les larves d'abeilles reçoivent comme nourriture de la gelée nourricière au cours des 3 à 4 premiers jours. Les larves plus âgées se nourrissent aussi de pollen et de miel, éventuellement de nectar. Les abeilles adultes terminent leur développement en l'espace de 8 à 10 jours. Au cours de cette période, le développement des organes internes (glandes nourricières, tissus adipeux) dépend de l'apport de pollen. L'importance d'un approvisionnement suffisant en pollen chez les jeunes ouvrières se manifeste dans la durée de vie : les jeunes abeilles qui souffrent d'une carence en pollen vivent moins longtemps (Maurizio, 1950). Le besoin en pollen des abeilles adultes est étroitement lié à leur fonction et diminue avec l'âge croissant (Hrassnigg & Crailsheim, 1998). Le pollen n'est pas seulement consommé par les ouvrières, mais aussi mélangé à du miel et à de la salive ; il se conserve ainsi mieux.

La récolte totale de pollen par colonie varie considérablement, environ entre 10 et 26 kilos par année (Wille *et al.*, 1985a). Le besoin en pollen par abeille s'élève à 163 mg, soit 36 mg de protéines pures de pollen (Wille *et al.*, 1985b)



Rayon de réserve. Lors des périodes avec une grande offre de pollen, les abeilles font des réserves qui sont consommées des semaines, voire des mois plus tard.

En général, sur une année, on constate que les pollens proviennent d'une multitude d'espèces végétales différentes. Cependant, à l'occasion d'une étude effectuée sur le plateau suisse, il a été observé que 51 % de la récolte totale de pollen d'une année proviennent principalement des plantes suivantes: maïs, colza, érable, dent-de-lion, plantain et saules (Wille *et al.*, 1985a).

Cette petite incursion dans la biologie nutritionnelle de l'abeille montre que les possibilités de contamination par du pollen transgénique sont nombreuses. Le survol qui suit porte sur les études effectuées jusqu'à aujourd'hui au sujet de l'influence sur les abeilles des plantes transgéniques résistantes aux insectes. Il convient de souligner que la plupart des études ont été réalisées avec de la toxine pure et non au moyen de plantes transgéniques.

<b>Glossar</b>	
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Bactérie du sol qui produit des protéines toxiques pour les insectes
Expression de gène	L'information génétique est exprimée et la protéine codée est ainsi synthétisée
Gène	Unité d'information la plus petite du matériel génétique
Herbicide	Produit phytosanitaire chimique qui est utilisé dans la lutte contre les mauvaises herbes
Transfert horizontal de gènes	Transfert d'informations génétiques d'une espèce à l'autre
Inhibiteur de la protéase	Inhibiteur des enzymes intestinaux responsables de la dégradation chimique des protéines
Toxine	Substance toxique
Transgénique	Désignation des organismes dans le génome desquels un ou plusieurs gènes d'un autre organisme ont été introduits artificiellement au moyen de méthodes génétiques

# Effets des plantes transgéniques

## a) Toxines de *Bacillus thuringiensis* (Bt)

*Bacillus thuringiensis* (Bt) est une bactérie du sol qui produit différents cristaux protéiniques, toxiques pour certains ordres d'insectes. Selon la sous-espèce de Bt (désigné par Cry), ces cristaux agissent spécifiquement sur les lépidoptères (papillons), les coléoptères ou les diptères (par exemple les mouches). Les toxines de Bt exercent une action sur le système de digestion des insectes, ce qui provoque l'interruption de la prise de nourriture. Dans les sprays à base de Bt, disponibles sur le marché, les toxines se trouvent sous une forme inactive et ne sont activées qu'une fois dans l'intestin après l'absorption de la nourriture. Ces sprays sont utilisés depuis plusieurs années avec beaucoup de succès dans la protection des plantes et sont réputés inoffensifs pour les insectes utiles. Étant donné que l'application de ces produits phytosanitaires n'a lieu généralement qu'après la floraison, que la persistance des bactéries dans l'environnement est faible et que les toxines se trouvent sous une forme inactive, le danger pour les abeilles et d'autres insectes pollinisateurs est considéré comme faible. Les plantes transgéniques au contraire, dans lesquelles un gène de Bt a été introduit, expriment ces protéines toxiques dans toutes les parties de la plante et donc aussi dans le pollen. Par ailleurs, à la différence des produits phytosanitaires à base de Bt, les toxines contenues dans les plantes transgéniques sont présents dans leur forme active.

### Essais avec de la toxine Bt épurée

La toxicité sur les abeilles des toxines épurées a fait l'objet de plusieurs études. Dans les études effectuées avec la toxine épurée CryIAC (efficace contre les lépidoptères) provenant de coton transgénique, aucun effet significatif sur la mortalité des larves et des abeilles adultes n'a été observé (Sims, 1995). La concentration testée dépassait celle contenue dans le pollen de coton transgénique de plus de 100 fois. On a administré à des larves âgées de 1 à 3 jours une solution contenant de la toxine (toxine dans de l'eau distillée) dans les rayons de couvain alors que les abeilles adultes ont reçu une solution d'eau et de miel à laquelle on a ajouté de la toxine. Des résultats analogues ont été obtenus lors d'études effectuées avec la toxine épurée CryIIA (efficace contre les lépidoptères et les diptères) et correspondant à la teneur en protéine produite dans du coton transgénique (Sims, 1995). Tant chez les larves (âgées de 2 à 3 jours) que chez les abeilles adultes (âgées de trois jours), on a constaté aucune augmentation de la mortalité après prise de la protéine CryIIA.

À l'occasion d'une étude ultérieure, la toxine épurée CryIIIB (efficace contre les coléoptères) a été administrée à des abeilles adultes au moyen d'une solution sucrée. La toxine n'a eu aucune influence sur le développement du couvain, les taux de survie des larves et le poids des pupes (Arpaia, 1996).

Dans une autre étude, on a administré, pendant sept jours, à des abeilles fraîchement écloses de la toxine épurée CryIBa (efficace contre les lépidoptères) dans trois concentrations différentes, mélangée à un milieu nutritif contenant du pollen (Malone *et al.*, 1999). Les résultats concernant la durée de vie et le taux de prise de nourriture n'ont montré aucune différence par rapport aux abeilles qui ont reçu du pollen sans toxine Bt. Lors d'une étude, publiée dernièrement, on a nourri des ouvrières pendant sept jours avec du pollen mélangé à de la toxine épurée CryIBa. Les abeilles, qui avaient été marquées d'une couleur, ont ensuite été replacées dans leur ruche et n'ont montré aucune différence significative au niveau de la durée de vie et de l'activité



Les larves multiplient par 1000 leur poids corporel au cours d'une période de six jours durant laquelle elles se nourrissent. Elles consomment avec la gelée nourricière une quantité de protéine provenant d'environ 160 g de pollen. Les butineuses transportent cette quantité au cours de 8 vols (20 mg de pollen par vol).

de vol par rapport aux abeilles de contrôle dont la nourriture était exempte de toxine (Malone *et al.*, 2001).

### Essais avec du pollen de plantes Bt transgéniques

Seule une étude a été effectuée sur le nourrissage de larves d'abeilles au moyen de pollen issu de plantes Bt génétiquement modifiées (Ahl-Goy *et al.*, 1995). Les larves, âgées de quatre jours, ont été nourries directement dans les cellules de couvain avec du pollen Bt et le groupe de contrôle avec du pollen de maïs non transformé. Aucun effet du pollen de maïs Bt n'a été constaté sur le développement des abeilles. Le taux de survie des larves dans le groupe de contrôle s'élevait à 65 %, soit un taux sensiblement plus bas que celui du groupe de larves (95 %) auquel on a administré la toxine. En raison de la description limitée des méthodes dans la publication, ces données ne peuvent toutefois pas être interprétées.

Dans un essai sous tunnel, on a étudié l'influence du maïs Bt transgénique (CryIAb) sur la mortalité, le développement du couvain et le butinage des abeilles (Schur *et al.*, 2000). Tout au long de la période d'essai, aucun effet négatif du pollen de maïs Bt sur les abeilles n'a pu être constaté, toutefois on a aussi relevé le premier jour de l'essai une mortalité étonnamment élevée dans le groupe de contrôle non traité par rapport au groupe traité. La description de la méthode est là encore insuffisante pour permettre une évaluation fiable.

### b) Inhibiteurs de la protéase

Les inhibiteurs de la protéase (IP) sont des inhibiteurs enzymatiques et peuvent être d'origine végétale, animale ou bactérienne. Chez les insectes, ils provoquent une inhibition des enzymes digestifs (protéases) dans l'intestin de sorte que la nourriture ne peut plus être transformée correctement, ce qui entraîne des carences qui finalement provoquent la mort. Les IP sont subdivisés en quatre groupes principaux selon leur activité de liaison (tableau 1).

Tableau 1. Aperçu des inhibiteurs de la protéase

Type de liaison	Inhibiteur de la protéase
Type « sérine »	BBI (Bowman-Birk soybean trypsin inhibitor)
	BPTI or Aprotinin (Bovine pancreatic trypsin inhibitor)
	CpTI (Cowpea trypsin inhibitor)
	POT-I (Potato Proteinase inhibitor I)
	POT-II (Potato Proteinase inhibitor II)
	SBTI (Soybean Kunitz trypsin inhibitor)
Type « cystéine »	Cystatin (chicken egg white cystatin)
	OC-I (Oryzacystatin)
Type « aspartame »	
Type Metallo	

Selon la spécificité de la liaison des IP et la composition des enzymes intestinaux d'une espèce déterminée d'insecte, l'inhibition peut toucher un ou plusieurs enzymes. Dans le cas de l'abeille, les enzymes protéolytiques, tels que les rotéases de type sérine, jouent un rôle important dans la dégradation des protéines, alors que les protéases de type cystéine n'ont pas été détectées (Jimenez & Gilliam, 1989). En conséquence, il faut s'attendre à un effet des inhibiteurs de la protéase du type « sérine » sur l'activité des enzymes intestinaux chez l'abeille. Jusqu'à aujourd'hui, aucune étude n'a été effectuée avec des plantes IP transgéniques relative aux effets sur des orga-

nismes non ciblés. Pour les études portant sur les effets des IP sur les abeilles, on a utilisé exclusivement des protéines épurées ; aucun essai avec des plantes IP ou avec du pollen provenant de plantes IP n'a été réalisé.

### Effet sur le taux de survie et la durée de vie

*Inhibiteurs de la protéase du type « sérine »* : la toxicité aigue des IP sur les abeilles a été étudiée dans des tests de courte et de longue durée et déterminée au moyen du taux de survie et de la durée de vie. Dans plusieurs études de courte durée (moins de quatre jours), aucun effet dommageable des IP n'a pu être constaté. L'ajout de BBI (voir tableau) issu de graines de soja n'a entraîné aucune augmentation de la mortalité après quatre jours chez les butineuses (âge inconnu), dans aucun des dosages testés (Belzunces *et al.*, 1994). De même, d'autres tests avec du BBI en haute concentration n'ont eu aucun effet toxique sur les abeilles adultes (âge inconnu). Ces concentrations se situaient bien au-dessus de la teneur en toxine que l'on peut escompter dans des plantes transgéniques (Bonadé-Bottino *et al.*, 1998). Dans une autre étude, on a nourri des abeilles âgées de deux semaines avec du BBI (au moyen d'une solution sucrée). Les abeilles traitées n'ont montré aucune différence au niveau du taux de survie par rapport au groupe de contrôles non traité (Girard *et al.*, 1998). Dans une étude de longue durée (80 jours) avec du BBI en concentration maximale, la solution contenant la concentration la plus élevée en IP a entraîné une augmentation de la mortalité des ouvrières fraîchement écloses (Pham-Delègue *et al.*, 2000).

L'administration d'une concentration élevée de BPTI a conduit après 8 à 16 jours à une augmentation de la mortalité chez les abeilles fraîchement écloses (Malone *et al.*, 1995). À l'occasion d'une étude de longue durée (60 jours), on a aussi relevé des effets toxiques. L'administration d'IP en haute concentration a eu pour conséquence une diminution de la durée de vie des abeilles traitées, alors que des concentrations plus basses n'ont eu aucun effet (Burgess *et al.*, 1996).

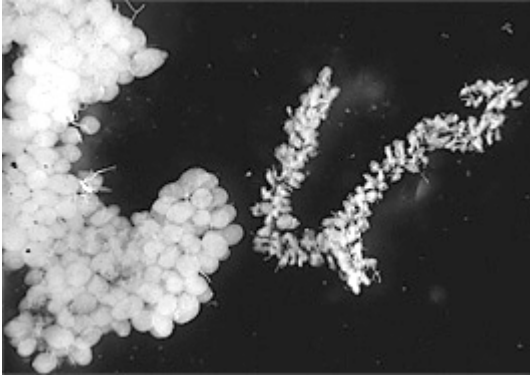
Dans une autre étude effectuée avec un inhibiteur de la protéase du type sérine, CpTI, on n'a constaté aucun effet – ni dans le cas d'une administration par le biais de la nourriture ni par celui d'une injection - sur la durée de vie des abeilles adultes (âgées de quinze jours) au cours des deux jours qui ont suivi (Picard-Nizou *et al.*, 1997). Une étude de courte durée rapporte une réduction significative de la durée de vie chez des abeilles fraîchement écloses qui ont reçu du POT-I et du POT-II (issus de pommes de terre) (Malone *et al.*, 1998). L'IP SBTI a eu pour conséquence, en haute concentration, une augmentation de la mortalité chez les abeilles fraîchement écloses après 8 à 16 jours (Malone *et al.*, 1995). Dans une étude de longue durée effectuée avec des abeilles fraîchement écloses, on a observé des effets toxiques 60 jours après l'administration de cet IP (Burgess *et al.*, 1996). Les auteurs d'une autre étude parviennent à des résultats semblables: ils ont constaté une hausse de la mortalité chez les ouvrières traitées avec du SBTI après 80 jours (Pham-Delègue *et al.*, 2000).

Il ressort d'un certain nombre études que l'activité des enzymes intestinaux diminue après l'administration d'un inhibiteur de la protéase du type sérine (Belzunces *et al.*, 1994; Burgess *et al.*, 1996; Malone *et al.*, 1995, 1998). Toutefois, on sait aussi que l'abeille est en mesure de contrer une baisse de l'activité enzymatique, par exemple en formant d'autres enzymes digestifs (Girard *et al.*, 1998).

*Inhibiteurs de la protéase de type cystéine*: le taux de survie des abeilles âgées de deux semaines qui ont reçu de la cystatine ou de l'OC-I dans une solution sucrée est semblable au taux du groupe de contrôle non traité (Girard *et al.*, 1998). De même, on n'a enregistré aucune influence des deux IP sur l'activité enzymatique de l'intestin (Girard *et al.*, 1998).



Après l'éclosion, les jeunes abeilles mangent pendant plusieurs jours du pollen de façon intensive et forment leurs organes (glandes nourricières ou tissus adipeux)



Comparaison de glandes nourricières: nourrice de 12 jours (à gauche) et butineuse de 24 jours (à droite). Pour que les glandes se développent de façon optimale, la jeune abeille doit pouvoir consommer suffisamment de pollen.

Il ressort clairement des études que des effets toxiques sur les abeilles se manifestent uniquement dans le cas des IP du type sérine, alors que les IP du type cystéine n'ont eu aucune influence sur la durée de vie dans les tests effectués jusqu'à présent. Toutefois, un effet dommageable des IP du type sérine apparaît seulement quand ceux-ci sont administrés en concentration élevée ; à noter que de telles concentrations ne se trouvent pas dans les plantes transgéniques. Il faut cependant relever que les études ont été réalisées exclusivement avec des abeilles adultes, bien que la consommation de pollen (mélange de gelée nourricière, entre autres pollens) ait déjà commencé au stade de larve, ce qui signifie que les larves sont aussi exposées à une menace d'intoxication par du pollen transgénique.

### Effet sur la capacité d'apprentissage

À côté d'études effectuées sur la toxicité liées aux IP et l'influence physiologique sur les enzymes intestinaux, l'effet sur la capacité d'apprentissage des abeilles a aussi été étudié. Dans les essais à ce sujet, on s'est servi du fait que les abeilles sortent leur langue (extension du proboscis) dès qu'elles sont en contact avec une solution sucrée. Si, simultanément, on leur présente un parfum déterminé, elles apprennent à associer le goût avec la récompense (solution sucrée). Le comportement est acquis lorsqu'elles sortent leur langue suite à la seule présentation du parfum.

*Inhibiteur de la protéase du type sérine* : dans un essai portant sur la capacité d'apprentissage, un nourrissage de quinze jours à base de BBI en haute concentration a eu pour conséquence une réduction significative de la capacité d'apprentissage, alors que des dosages plus faibles n'ont eu aucune influence (Pham-Delègue *et al.*, 2000). Par ailleurs, on a relevé aucun effet dû à la BBI lorsque les abeilles étaient nourries dans un premier temps avec de la nourriture exempte de toxines, puis avec des IP à l'âge de 14 à 16 jours (Girard *et al.*, 1998). Quant aux CpTI administré à haute dose, il a entraîné des modifications dans le comportement d'apprentissage chez des ouvrières âgées de 14 à 16 jours (Picard-Nizou *et al.*, 1997). L'inhibiteur SBTI n'a eu aucune influence sur la capacité d'apprentissage des abeilles (Pham-Delègue *et al.*, 2000).

*Inhibiteur de la protéase du type cystéine*: aucun effet sur la capacité d'apprentissage d'abeilles âgées de 14 à 16 jours n'a pu être constaté après l'administration de cystatine ni après celle d'OC-I (Girard *et al.*, 1998). De même, un mélange d'OC-I et de BBI n'a eu aucun effet dans aucune des concentrations testées sur la capacité d'apprentissage après une durée d'administration de quinze jours (Pham-Delègue *et al.*, 2000).

Il ressort des études effectuées jusqu'à ce jour que seuls les IP de type sérine peuvent avoir un effet sur la capacité d'apprentissage des abeilles.

## Discussion

Les études présentées ci-dessus au sujet de l'effet sur les abeilles des plantes Bt transgéniques et de leurs produits montrent que, jusqu'à aujourd'hui, aucun effet dommageable n'est apparu en condition de laboratoire. Par contre, on a observé des effets toxiques d'inhibiteurs épurés de la protéase dans des tests effectués en laboratoire. Sur la base des données disponibles, il n'est pas aisé de tirer des conclusions pour les conditions naturelles, car les études effectuées sont difficilement transposables en conditions naturelles (ruchers). Ceci est dû entre autres au fait qu'une grande partie des études ont été effectuées en laboratoire et au moyen de toxines épurées. À cela s'ajoute que, jusqu'à aujourd'hui, peu d'études ont été réalisées avec des larves en dépit du fait

que ce stade de développement peut aussi être exposé aux protéines transgéniques. La biologie nutritionnelle des abeilles montre que le contact avec du pollen transgénique est possible et qu'il existe donc une mise en danger potentielle de tous les stades larvaires et adultes de même que de toutes les castes, la consommation de pollen étant la source de protéines la plus importante. Chez les jeunes ouvrières par exemple, le besoin en pollen est particulièrement élevé en raison du développement des glandes nourricières. Les essais de nourrissage effectués jusqu'à présent avec des produits transgéniques ne tiennent que trop peu compte de ces aspects. Certes, les jeunes ouvrières ont aussi subi des tests, pourtant elles n'ont reçu de la toxine que sous forme diluée dans une solution sucrée et non sous la forme de pollen transgénique. Or, ce dernier point est d'autant plus important que, jusqu'à aujourd'hui, on ne sait pas encore clairement si et comment la toxicité du pollen transgénique se modifie lorsque celui-ci est pré-digéré par la nourrice et donné en nourriture aux larves et aux autres abeilles de la ruche.

Les essais effectués jusqu'à ce jour avec des toxines de *Bacillus thuringiensis* laissent supposer que le risque d'intoxication des abeilles par Bt est faible. Dans aucune des études effectuées sur les abeilles, la prise de toxine n'a été préjudiciable à la durée de vie des abeilles. Toutefois, là aussi, la plupart des études ont été effectuées uniquement avec des abeilles adultes d'âge différent et peu l'ont été avec des larves et avec utilisation de toxines épurées. Actuellement, les plantes Bt sont les seules plantes résistantes aux insectes qui sont commercialisées et plantées. On ne peut donc pas affirmer avec certitude qu'il n'existe aucun risque pour les abeilles, étant donné que nous ne disposons que de peu d'études réalisées avec des produits transgéniques, tel le pollen, et portant sur les divers stades larvaires, particulièrement menacés. Les deux seules études réalisées avec des plantes Bt transgéniques montrent certes qu'il n'y a aucun effet toxique pour les stades de développement testés, cependant dans les deux cas la description des méthodes est imprécise et le taux de mortalité des groupes de contrôle remet en question la pertinence des résultats.

Les études en laboratoire avec des IP montrent que les toxines peuvent, dans leur forme épurée, avoir des effets toxiques sur les abeilles. Des études avec des plantes IP transgéniques (par exemple avec du pollen) n'ont pas encore été réalisées. Dans les études de longue durée, on a constaté un effet sur la durée de vie des abeilles lorsque des concentrations élevées d'IP étaient administrées par le biais de la nourriture. Il semble évident que les IP du type sérine puisse entraîner un effet toxique, étant donné que les protéases de type sérine sont présentes dans le système digestif des abeilles. Aucune protéase de type cystéine n'a en revanche été décelée (Jimenez & Gilliam, 1989). Quelques études ont démontré que de faibles concentrations en IP de la sérine peuvent avoir une influence sur l'activité enzymatique sans pour autant augmenter la mortalité. Par ailleurs, la capacité d'apprentissage des abeilles a été influencée de façon négative après administration de quelques IP du type sérine, alors que cet effet n'a pas été observé après administration d'IP du type cystéine.

Dans un article publié récemment au sujet de l'effet des produits transgéniques sur les abeilles et les bourdons, les auteurs ont souligné que le manque d'informations sur la teneur exacte en toxine des produits transgéniques représente actuellement l'obstacle le plus important dans la planification de tests de toxicité avec des abeilles (Malone & Pham-Delègue, 2001). Toujours selon eux, ce dernier point et le manque de tests standard limitent la fiabilité des études réalisées jusqu'à aujourd'hui. De même, ils insistent sur la nécessité de posséder des études approfondies portant entre autres sur les larves et les abeilles d'autres castes (durée de survie et fertilité de la reine, faux-bourdons) de même que sur le développement des glandes nourricières des ouvrières. Dans un premier temps, il conviendrait de déterminer les concentrations de toxine dommageables



Le maïs de pollen est récolté intensivement par les abeilles en juillet/août et représente parfois jusqu'à 30% de la récolte annuelle de pollen d'une colonie. (Foto J. Hättenschwiler)

en fonction de la caste et des différents stades larvaires étant donné que le besoin en pollen varie selon le stade de développement. De plus, les résultats obtenus en laboratoire devraient être vérifiés au moins sous tunnel, voir en champ, avec des plantes transgéniques au lieu de protéines épurées. Lors du choix des plantes transgéniques, il faut tenir compte en outre du pouvoir d'attraction des fleurs. Ainsi, des études effectuées avec du colza transgénique ont montré que tant la quantité de nectar que sa qualité peuvent être modifiées (Picard-Nizou *et al.*, 1995).

## Conclusions

1. Les essais effectués jusqu'à aujourd'hui avec des plantes Bt et de la toxine Bt épurée n'ont eu aucun effet dommageable sur les abeilles.
2. On a constaté dans les essais en laboratoire effectués avec certains inhibiteurs épurés de la protéase que ceux-ci pouvaient avoir un effet toxique sur les abeilles.
3. Dans les essais, seule une partie des stades de développement ont été soumis à des tests, alors que l'on sait grâce à la biologie nutritionnelle de l'abeille qu'en principe tous les stades et castes peuvent entrer en contact avec du matériel transgénique (pollen).
4. Les études présentées ci-dessus ne permettent pas une appréciation définitive des risques pour les abeilles découlant des plantes transgéniques résistantes aux insectes.

## Résumé

L'introduction de plantes transgéniques pour lutter contre les insectes ravageurs soulève la question suivante : quels effets celles-ci peuvent-elles avoir sur les insectes utiles telles les abeilles ? Au cours des dernières années, plusieurs études ont été publiées sur l'influence de telles plantes sur les abeilles. Dans le présent article, nous présentons des études portant sur l'influence des toxines de *Bacillus thuringiensis* (Bt) et des inhibiteurs de la protéase (IP) sur les abeilles. Les effets étudiés englobent l'influence sur la durée de vie, sur l'activité des enzymes digestives de même que sur la capacité d'apprentissage des abeilles. La plupart des études ont été réalisées en condition de laboratoire et la toxicité des plantes transgéniques et des protéines épurées ont été étudiées dans des tests de courte et de longue durée. Tandis que les études effectuées avec des plantes Bt ou avec leurs produits n'ont fait état d'aucun effet dommageable sur les abeilles, on a pu observer en condition de laboratoire des effets toxiques dus aux IP sous forme épurée. Étant donné que pour les différentes phases de digestion dans l'intestin des abeilles les enzymes en particulier du type sérine sont importants, les IP qui ont une action sur ses enzymes exercent une grande influence. Les études présentées ci-dessus ne permettent aucune appréciation définitive des risques pour les abeilles découlant de plantes transgéniques résistantes aux insectes.

Traduction: Evelyne Fasnacht et Jean-Daniel Charrière (FAM)

## Littérature

- Ahl Goy, P., Warren, G., White, J., Privalle, L. Fearing, P. and Vlachos, D. (1995) Community impact: effects on microorganisms or insects. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt Berlin* **309**, 50-53.
- Arpaia, S. (1996) Ecological impact of Bt-transgenic plants: 1. Assessing possible effects of CryIIIB toxin on honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies *Journal of Genetics and Breeding* **50**, 315-319.
- Belzunces, L.P., Lenfant, C. di Pasquale, S. and Colin, M.E. (1994) In vivo and in vitro effects of wheat germ agglutinin and Bowman-Birk soybean trypsin inhibitor, two potential transgene products, on midgut esterase and protease activities from *Apis mellifera*. *Comparative biochemistry and Physiology* **109 B**, 63-69.
- Bonadé-Bottino, M., Girard, C., Jouanin, L., Le Métayer, M., Picard-Nizou, A.-L., Sandoz, G., Pham-Delègue, M.-H. and Jouanin, L. (1998) Effects of transgenic oilseed rape expressing proteinase inhibitors on pest and beneficial insects. *Acta Horticultura* **459**, 235-239.



- Burgess, E.P.J., Malone, L.A. and Christeller, J.T. (1996) Effects of two proteinase inhibitors on the digestive enzymes and survival of honey bees (*Apis mellifera*) *Journal of Insect Physiology* **42**, 823-828.
- Girard, C., Picard-Nizou, A.-L., Grallien, E., Zacommer, B., Jouanin, L. and Pham-Delègue, M.-H. (1998) Effects of proteinase inhibitor ingestion on survival, learning abilities and digestive proteinases of the honeybee. *Transgenic Research* **7**, 239-246.
- Hrassnigg, N. & Crailsheim, K. (1998) The influence of brood on the pollen consumption of worker bees (*Apis mellifera* L.) *Journal of Insect Physiology* **44**, 393-404.
- Jimenez, D.R. & Gilliam, M. (1989) Age-related changes in midgut ultrastructure and trypsin activity in the honey bee, *Apis mellifera*. *Apidologie* **20**, 287-303.
- Malone, L.-A., Giaccon, H.A., Burgess, E.P.J., Maxwell, J.Z., Christeller, J.T. and Laing, W.A. (1995) Toxicity of trypsin endopeptidase inhibitors to honey bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology* **88**, 46-50.
- Malone, L.-A., Burgess, E.P.J., Christeller, J.T. and Gatehouse, H.S. (1998) In vivo responses of honey bee midgut proteases to two protease inhibitors from potato. *Journal of Insect Physiology* **44**, 141-147.
- Malone, L.-A., Burgess, E.P.J. and Stefanovic, D. (1999) Effects of a *Bacillus thuringiensis* toxin, two *Bacillus thuringiensis* biopesticide formulations, and a soybean trypsin inhibitor on honey bee (*Apis mellifera* L.) survival and food consumption. *Apidologie* **30**, 465-473.
- Malone, L.A., Burgess, E.P.J., Gatehouse, H.S., Voisey, C.R., Tregidga, E.L. and Philip, B.A. (2001) Effects of ingestion of a *Bacillus thuringiensis* toxin and a trypsin inhibitor on honey bee flight activity and longevity. *Apidologie* **32**, 57-68.
- Malone, L.A. & Pham-Delègue, M.-H. (2001) Effects of transgene products on honey bees (*Apis mellifera*) and bumblebees (*Bombus* sp). *Apidologie* **32**, 1-18.
- Maurizio, A. (1950) The influence of pollen feeding and brood rearing on the length of life and physiological condition of the honeybee. *Bee world* **31**, 9-12.
- Pham-Delègue, M.-H., Girard, C., Le Métayer, M., Picard-Nizou, A.-L., Hennequet, C., Pons, O. and Jouanin, L. (2000) Long-term effects of soybean protease inhibitors on digestive enzymes, survival and learning abilities of honeybees. *Entomologia Experimentalis and Applicata* **95**, 21-29.
- Picard-Nizou, A.L., Pham-Delègue, M.H., Kerguelen, V., Douault, P., Marilleau, R., Olsen, L., Grison, R., Toppan, A. and Masson, C. (1995) Foraging behaviour of honey bees (*Apis mellifera* L.) on transgenic oilseed rapoe (*Brassica napus* L. var. *oleifera*). *Transgenic Research* **4**, 270-276.
- Picard-Nizou, A.-L., Grison, R., Olson, L., Pioche, C., Arnold, G. and Pham-Delègue, M.H. (1997) Impact of proteins used in plant genetic engineering: toxicity and behavioral study in the honeybee. *Journal of Economic Entomology* **90**, 1710-1716.
- Reiche, R., Horn, U., Wölfl, St., Dorn, W. und Kaatz, H.H. (1998) Die Honigbiene als Vektor der Genübertragung von transgenen Pflanzen in die Umwelt. *Apidologie* **29**, 401-402.
- Schur, A., Tornier, I. und Neumann, C. (2000) Bt-Mais und non Bt-Mais: Vergleichende Untersuchungen an Honigbienen (Tunnelzeltversuch), 47. Jahrestreffen der Bienenforschungsinstitute, 3.-5. April 2000, Blaubeuren, Deutschland (Poster).
- Sims, S.R. (1995) *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (CryIA(c)) protein expressed in transgenic cotton: effects on beneficial and other non-target insects. *Southwestern Entomologist* **20**, 493-500.
- Sims, S.R. (1997) Host activity spectrum of the CryIIA *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* protein: effects on Lepidoptera, Diptera, and non-target arthropods. *Southwestern Entomologist* **22**, 395-404.
- Wille, H., Wille, M., Kilchenmann, V., Imdorf, A. und Bühlmann, G. (1985 a) Pollenernte und Massenwechsel von drei *Apis mellifera*-Völkern auf demselben Bienenstand in zwei aufeinanderfolgenden Jahren. *Revue Suisse de Zoologie* (4), 897-914.
- Wille, H., Imdorf, A., Bühlmann, G., Kilchenmann, V. und Wille, M. (1985 b) Beziehung zwischen Polleneintrag, Brutaufzucht und mittlerer Lebenserwartung der Arbeiterinnen in Bienenstöcken (*Apis mellifera*). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* **58**, 205-214.