

La gestion de la durabilité des PGM résistantes à certains insectes

Jean-Baptiste BERGÉ et Agnès RICROCH

Tableau 1. Les toxines de Bt et les espèces de ravageurs des plantes qui y sont sensibles (avec le nom en français et en anglais)

Gènes cry	Lépidoptères	<i>Agrotis ipsilon</i>	Noctuelle, vert gris noir (black cutworm)	cry1Ac; cry1Ba; cry1Ca; cry1Ij
		<i>Artogeia rapae</i> (<i>Pieris rapae</i>)	Piérade du chou (small white cabbage)	cry1Ba1; cry1Ka1
		<i>Bombyx mori</i>	Bombyx du mûrier (silkworm)	cry1Ba1; cry1Ia1; cry1Ka1; cry9Ec1; cry33Aa1
		<i>Chilo suppressalis</i>	Pyrale du riz (asiatic rice borer, stripped stem borer)	cry1Ab; cry1Ah1;
		<i>Cydia pomonella</i>	Carpocapse des pommes et des poires (codling moth)	cry1Aa; cry2Aa2; cry15Aa1
		<i>Ephestia kuehniella</i>	Pyrale de la farine (mediterranean flour moth)	cry1Aa; cry1Ac; cry2Aa
		<i>Epinotia aporema</i>	Foreur de la tige (bean shoot borer)	cry1Ab
		<i>Helicoverpa armigera</i>	Noctuelle du cotonnier (cotton bollworm)	cry1Ab3; cry1Ah1; cry1Ca1; cry1Ea; cry2A; cry2Aa2
		<i>Helicoverpa punctigera</i>	Ver d'Australie (Australian native budworm)	cry1Ab3; cry1Ca1; cry2Aa2
		<i>Helicoverpa zea</i>	Ver de l'épi de maïs (corn earworm) (<i>Heliothis zea</i>)	cry1Fa1; cry2Aa1; cry2Ab2; cry9Ec1
		<i>Heliothis virescens</i>	Phalène verdoyante (tobacco budworm)	cry1Fa1; cry2Aa1; cry2Ab2; cry2Ac1
		<i>Hyphantria cunea</i>	Écaille fileuse (fall webworm)	cry1Ba1; cry1Ka1
		<i>Lymantria dispar</i>	Bombyx disparate (gypsy moth)	cry2Aa1; cry2Ab; cry2Ab2
		<i>Manduca sexta</i>	Sphinx du tabac (tobacco hornworm)	cry1Ac; cry1Ba; cry1C; cry1Ca; cry1Ea1; cry1Ea4; cry1Ij; cry2Ac1; cyt1Aa2; cyt2Aa1

Gènes cry (suite)	Lépidoptères (suite)	<i>Mamestra brassicae</i>	Noctuelle du chou (cabbage moth)	cry1Ac; cry1Ba; cry1Ca; cry1J
		<i>Ostrinia furnacalis</i>	Pyrale du maïs asiatique (asian corn borer)	cry1Ab; cry1Ah1; cry1Fa1; cry2Aa1; cry2Ab2
		<i>Plodia interpunctella</i>	Teigne des fruits secs (teigne du blé) (indianmeal moth)	cry9Ec1
		<i>Plutella xylostella</i>	Teigne des crucifères (diamondback moth)	cry1Ah1; cry1Ba1; cry1Bd1; cry1Ea2; cry1Gb1; cry1Ia1; cry1Ka1; cry2Ab1; cry9Ec1; cry33Aa1
		<i>Spodoptera exigua</i>	Noctuelle de la betterave (beet armyworm)	cry1Ab1; cry1Ac; cry1Ba; cry1Ba1; cry1Bd1; cry1C; cry1Ca; cry1Ca1; cry1Fa1; cry1Gb1; cry1Ij; cry1Ka1; cry9Ec1
		<i>Spodoptera frugiperda</i>	Chenille légionnaire d'automne (cutworm)	cry1C
		<i>Spodoptera littoralis</i>	Noctuelle (egyptian cotton leafworm)	cry1C; cry1Ca2; cry1D; cry1Ea1; cry1Fa1
		<i>Spodoptera litura</i>	Chenille défoliante (tobacco cutworm, cluster caterpillar)	cry1Ia1; cry9Ec1,
		<i>Trichoplusia ni</i>	Chenille arpeuteuse du chou (cabbage Looper)	cry1Aa; cry1Ab; cry1Ac; cry1Ba; cry1Ca; cry1Da; cry1Ea; cry1Fa; cry1Ja; cry2Aa1; cry2Ab2; cry2Ac1
	<i>Anomala corpulenta</i>	Flower beetle	cry8Ca2	
	Coléoptères	<i>Cotinis spp.</i>	June beetle	cry8Aa; cry8Ba1
		<i>Cyclocephala borealis</i>	Hanneton masqué (northern masked chafer)	cry8Ba1
		<i>Cyclocephala pasadenae</i>	Hanneton masqué de Pasadena (pasadena masked chafer)	cry8Ba1
		<i>Diabrotica undecimpunctata howardi</i>	Chrysomèle du concombre (spotted cucumber beetle, southern corn rootworm)	cry3Ba1; cry3Bb1; cry8Da1; cry34Aa2; cry34Aa2+cry35Aa2; cry34Ba1; cry34Ba1+cry35Ba1; cry35Aa2; cry35Ba1
		<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Doryphore (colorado potato beetle)	cry3Ba1; cry3Bb1; cry8Aa1
<i>Popillia japonica</i>		Scarabée japonais (japanese beetle)	cry8Ba1; cry8Ca1; cry8Da1; cry8Db	

Gènes cry (suite)	Nématodes	<i>Caenorhabditis elegans</i>	Nématode (nematode)	cry4Ba1
		<i>Meloidogyne hapla</i>	Galle racinaire (Northern root-knot nematode)	cry5Ba2; cry6Aa2; cry55Aa1
		<i>Panagrellus redivivus</i>	Microver (nematode)	cry6Aa1
		<i>Pratylenchus scribneri</i>	Nématode pathogène (plant parasitic nematode)	cry6Aa1
		<i>Pratylenchus spp.</i>	Nématode des lésions de racines (root lesion nematode)	cry4Ba1; cry6Ba1; cry12Aa1
Gènes cyt	Coléoptères	<i>Chrysomela scripta</i>	Chrysomèle du liard (cotton wood leaf beetle)	cyt1Aa4
		<i>Manduca sexta</i>	Sphinx du tabac (tobacco hornworm)	cyt1Aa2
Gènes vip	Lépidoptères	<i>Bucculatrix thurberiella</i>	Bucculatrix (cotton leaf perforator)	vip3A
		<i>Diatraea grandiosella</i>	Pyrale du Sud-Ouest (southwestern corn borer)	vip3A
		<i>Diatraea saccharalis</i>	Pyrale de la canne à sucre (sugarcane borer)	vip3A
		<i>Helicoverpa zea</i>	Ver de l'épi de maïs (bollworm)	vip3A
		<i>Heliothis virescens</i>	Phalène verdoyante (tobacco budworm)	vip3A
		<i>Pectinophora gossypiella</i>	Rose de la capsule du cotonnier (pink bollworm)	vip3A
		<i>Pseudoplusia includens</i>	Arpenteuse du soja (soybean looper)	vip3A
		<i>Spodoptera exigua</i>	Légionnaire de la betterave (beet armyworm)	vip3A
		<i>Spodoptera frugiperda</i>	Légionnaire (fall armyworm or armyworm)	vip3A
		<i>Trichoplusia ni</i>	Chenille arpenteuse du chou (cabbage looper)	vip3A
		<i>Helicoverpa armigera</i>	Noctuelle du cotonnier (cotton bollworm)	vip3Aa19
		<i>Spodoptera exigua</i>	Noctuelle de la betterave (beet armyworm)	vip3Aa19
		<i>Plutella xylostella</i>	Teigne des crucifères (diamondback moth)	vip3Aa19

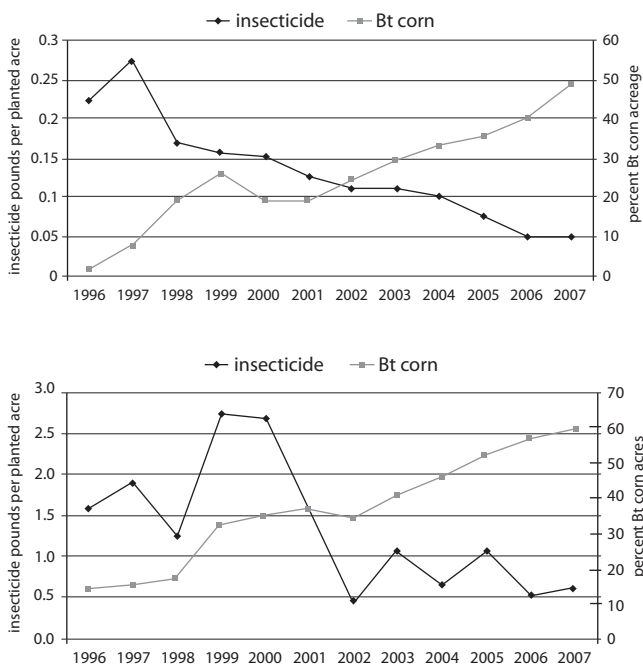
Tableau 2. Obtentions végétales transgéniques résistant à des insectes ayant reçu l'approbation pour l'utilisation dans un ou plusieurs pays. Tableau obtenu avec AgBios.

(http://www.cera-gmc.org/?action=gm_crop_database)

voir aussi http://www.gfrc.forestry.ca/bacillus/BtResults.cfm?lang=eng

Transgène	Ravageur(s) cible(s) principalement visé(s)	Cotonnier	Maïs	Pomme de terre	Transgènes « empilés »	Cotonnier	Maïs
Cry1Ab	<i>Ostrinia nubilalis</i>	+	+		Cry1A.105 + Cry2Ab		+
Cry1Ac	<i>Spodoptera exigua</i> , <i>Pectinophora gossypiella</i> , <i>Heliothis virescens</i> , <i>Helicoverpa zea</i> , <i>Pseudoplusia includens</i> , <i>Estigmene acrea</i> , <i>O. nubilalis</i> , <i>Sesamia nonagrioides</i>	+	+		Cry1A.105 + Cry2Ab + Cry3Bb1		+
Cry1F	<i>Spodoptera littoralis</i> , <i>O. nubilalis</i> , <i>Diaprera grandiosella</i> , <i>Agrotis ipsilon</i> , <i>Sesamia ssp</i>	+	+		Cry1A;105 + cry1Fa2 + Cry2Ab + Cry3Bb1 + Cry34Ab1 + Cry35Ab1		+
Cry2AB	<i>S. exigua</i> , <i>P. gossypiella</i> , <i>H. virescens</i> , <i>H. zea</i> , <i>P. includens</i>	+			Cry1Ab + Cry3A		+
Cry3A	<i>Diabrotica virgifera virgifera</i> , <i>Diabrotica longicornis barberi</i> , <i>Leptinotarsa decemlineata</i>		+	(*)	Cry1Ab + Cry3Bb1		+
Cry34Ab1	<i>Diabrotica spp.</i> , <i>D. v. virgifera</i> , <i>D. l. barberi</i> , <i>D. v. zea</i> (liste valable aussi pour Cry 35Ab1)		+		Cry1Ab + Vip3A(a)		+
Cry3Bb1	<i>Diabrotica spp.</i> , <i>D. v. virgifera</i> , <i>D. l. barberi</i> , <i>D. v. zea</i>		+		Cry1Ab + Vip3A(a) + cry3A		+
Cry9c	<i>O. nubilalis</i>		+		Cry1Ac + Cry1F	+	
Vip3A(a)	<i>Spodoptera frugiperda</i> , <i>S. exigua</i> , <i>H. virescens</i> , <i>H. zea</i>	+	+		Cry1Ac + Cry2Ab	+	
					Cry34Ab1 + Cry35Ab1		+
					Cry34Ab1 + Cry35Ab1 + Cry1F		+

* Cette variété de pomme de terre a été retirée du marché.



Graphique 1. Corrélation entre le développement des cultures de PGM-Bt et la diminution d'utilisation d'insecticides (Fernandez-Cornejo *et al.*, 2009).

Tableau 3. Quantités d'insecticides (kg/ha) sur culture de cotonnier-Bt et non-Bt en Chine, de 1999 à 2006 (d'après Wang *et al.*, 2009).

	1999	2000	2001	2004	2006
Cotonnier-Bt	11,5	20,8	24,1	23,4	24,5
Cotonnier non-Bt	77,5	47,3	64,1	37,8	45,4
non-Bt/Bt	6,7	2,3	2,7	1,6	1,9

Tableau 4. Quantités totales d'insecticides (kg/ha) utilisées pour le contrôle des bio-agresseurs primaires et secondaires dans les cultures de cotonnier-Bt en Chine de 2000 à 2006 (d'après Wang *et al.*, 2009).

L'ensemble des vers de la capsule				Les ravageurs secondaires (myrides compris)				Spécifique des myrides			
2000	2001	2004	2006	2000	2001	2004	2006	2000	2001	2004	2006
13,8	8,5	3,8	8,3	6,5	15,6	19,6	16,7	0,0	0,3	7,1	5,9

Tableau 5. Transgènes, autres que *cry* et *vip*, pouvant être utilisés pour empiler les résistances aux ravageurs dans les PGM-RI.

Protéine/ Plante d'origine	Plante transformée (GM)	Espèce d'insecte cible	Référence
Lectine de perce-neige	Tabac	<i>Myzus persicae</i>	Zhou, 1998 ; Zhao, 2001
	Riz	<i>Nilaparvata lugens</i> (cicadelle)	Maqbool, 2001 ; Nagadhara, 2003
Agglutinine de <i>Helianthus tuberosus</i>	Tabac	<i>M. persicae</i>	Zhou, 2001 ; Chang, 2003
Agglutinine de <i>Pinellia ternata</i>	Tabac	<i>M. persicae</i>	Yao, 2003
<i>Oryza</i> cystatine de riz	Pomme de terre	<i>M. persicae</i> ; <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Ashouri, 2004
Inhibiteur de trypsine de niébé	Cotonnier	<i>M. persicae</i> ; <i>Bemisia tabaci</i> ; <i>Lygus lucorum</i>	Cui, 2004
Augmentation de synthèse de cimbatriénoles du tabac (inhibition activité CYP1D16)	Tabac	Aphides	Wang, 2004
Agglutinine de <i>Arisaema heterophyllum</i>	Tabac	<i>M. persicae</i>	Yao, 2004
Inhibiteur de trypsine de niébé + Cry1Ac	Cotonnier	<i>A. gossypii</i> ; <i>Ligocoris lucorum</i> ; <i>B. tabaci</i>	Zhou, 2004
Agglutinine de <i>Allium sativum</i>	Riz	<i>N. lugens</i> ; <i>Nephotettix spp.</i> ; <i>Sogatella furcifera</i>	Yarasi, 2008
Agglutinine de <i>Sambucus nigra</i>	Tabac	<i>Myzus</i>	Shahidi-Noghabi, 2009
Avidine, streptavidine		Nombreux insectes (40 espèces testées)	Christeller, 2010

Tableau 6. Résumé des travaux analysés par Tabashnik *et al.* (2009)
sur la résistance des ravageurs cibles aux PGM-Bt.

Ravageur	PGM-Bt (transgène)	Pays	État de la résistance
<i>Busseola fusca</i>	Maïs (<i>cry1Ab</i>)	Afrique du Sud	Résistance sur le terrain avérée.
<i>Helicoverpa zea</i>	Cotonnier (<i>cry1Ac</i>)	États-Unis	
	Cotonnier (<i>cry2Ab</i>)	États-Unis	
<i>Spodoptera frugiperda</i>	Maïs (<i>cry1F</i>)	Puerto Rico	
<i>H. armigera</i>	Cotonnier (<i>cry1Ac</i>)	Chine	Soupçon de résistance sur le terrain. À confirmer.
	<i>Idem</i>	Inde	
<i>Pectinophora gossypiella</i>	<i>Idem</i>	États-Unis	Pas de sélection de résistance sur le terrain.
<i>H. armigera</i>	<i>Idem</i>	Australie	
	<i>Idem</i>	Chine	
	Cotonnier (<i>cry2Ab</i>)	Australie	
<i>H. punctigera</i>	Cotonnier (<i>cry1Ac</i>)	Australie	
	Cotonnier (<i>cry2Ab</i>)	Australie	
<i>H. zea</i>	Cotonnier (<i>cry1Ac</i>)	États-Unis	
	Cotonnier (<i>cry2Ab</i>)	États-Unis	
<i>Heliothis virescens</i>	Cotonnier (<i>cry1Ac</i>)	États-Unis	
	Cotonnier (<i>cry1Ac</i>)	Mexique	
	Cotonnier (<i>cry2Ab</i>)	États-Unis	
<i>Sesamia nonagrioides</i>	Maïs (<i>cry1Ab</i>)	Espagne	
<i>Diatrea grandiosella</i>	<i>Idem</i>	États-Unis	
<i>Diatrea saccharalis</i>	<i>Idem</i>	États-Unis	
<i>Ostrinia nubilalis</i>	<i>Idem</i>	États-Unis	
	<i>Idem</i>	Espagne	

RÉFÉRENCES bibliographiques

- ASHOURI A., 2004. « Seasonal occurrence and relative abundance of aphids on potato plants with classical and transgenic characters of resistance to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say) ». *Commun Agric. Appl. Biol. Sci.*, 69 (3) 273-280.
- CHANG T., CHEN L., CHEN S., CAI H., LIU X., XIAO G. & ZHU Z., 2003. « Transformation of tobacco with genes encoding *Helianthus tuberosus* agglutinin (HTA) confers resistance to peach-potato aphid (*Myzus persicae*) ». *Transgenic Research*, 12, 5, 607-614.
- CHRISTELLER J.T., MARKWICK N.P., BURGESS E.P.J. & MALONE L.A., 2010. « The Use of Biotin-Binding Proteins for Insect Control ». *Journal of Economic Entomology*, 103, 2, 497-508.
- MAQBOOL S.B., RIAZUDDIN S., LOC N.T., GATEHOUSE A.M.R., GATEHOUSE J.A. & CHRISTOU P., 2001. « Expression of multiple insecticidal genes confers broad resistance against a range of different rice pests ». *Mol. Breed.*, 7, 1, 85-93.
- NAGADHARA D., RAMESH S., PASALU I.C., RAO Y.K., KRISHNAIAH N.V., SARMA N.P., BOWN D.P., GATEHOUSE J.A., REDDY V.D. & RAO K.V., 2003. « Transgenic indica rice resistant to sap-sucking insects ». *Plant Biotechnol. J.*, 1, 3, 231-240.
- SHAHIDI-NOGHABI S., VAN DAMME E.J.M. & SMAGGHE G., 2009. « Expression of *Sambucus nigra* agglutinin (SNA-I) from elderberry bark in transgenic tobacco plants results in enhanced resistance to different insect species ». *Transgenic Research*, 18 : 249-259.
- WANG E.M., HALL J.T. & WAGNER G.J., 2004. « Transgenic *Nicotiana tabacum* L. with enhanced trichome exudate cembratrieneols has reduced aphid infestation in the field ». *Molecular Breeding*, 13, 1 : 49-57.
- YAO J., PANG Y., QI H., WAN B., ZHAO X., KONG W., SUN X. & TANG K., 2003. « Transgenic tobacco expressing *Pinellia ternata* agglutinin confers enhanced resistance to aphids ». *Transgenic Research*, 12, 6, 715-722.
- YAO JIAN-HONG, ZHAO XIU-YUN, QI HUA-XIONG, WAN BING-LIANG, CHEN FEI, SUN XIAO-FEN, YU SHAN-QIAN & TANG KE-XUAN, 2004. « Transgenic tobacco expressing an *Arisaema heterophyllum* agglutinin gene displays enhanced resistance to aphids ». *Canadian Journal of Plant Science*, 84, 3, 785-790.
- YARASI B., SADUMPATI V., IMMANNI C.P., VUDEM D.R. & KHAREEDU V.R., 2008. « Transgenic rice expressing *Allium sativum* leaf agglutinin (ASAL) exhibits high-level resistance against major sap-sucking pests ». *BMC Plant Biol.*, 14, 8, 102.
- ZHOU Y., TIAN Y., WU B. & MANG K., 1998. « Inhibition effect of transgenic tobacco plants expressing snowdrop lectin on the population development of *Myzus persicae* ». *Chin. J. Biotechnol.*, 14, 1, 9-16.
- ZHOU Y.G., TIAN Y.C. & MANG K.Q., 2001. « Cloning of AHA gene from *Amaranthus hypochondriacus* and its aphid inhibitory effect in transgenic tobacco plants ». *Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao*, 17, 1, 34-39.
- ZHOU H.X., GUO J.Y. & WAN F.H., 2004. « Effect of transgenic Cry1Ac + CpTI cotton (SGK321) on population dynamics of pests and their natural enemies ». *Acta Entomologica Sinica*, 47, 538-542.
- ZHAO C.Y., YUAN Z.Q., QIN H.M. & TIAN Y.C., 2001. « Studies on transgenic tobacco plants expressing two kinds of insect resistant genes ». *Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao*, 17, 3, 273-277.

La qualité des produits : des innovations quantitatives et qualitatives apportées par les biotechnologies

Pierre BARRET et Gérard PASCAL

Figure 1 (page 218). Intérêt des pommes de terre génétiquement modifiées pour la production industrielle d'amidon

