Centre
de Coopération
Internationale
en Recherche
Agronomique
pour le
Développement

Les plantes transgéniques résistant aux insectes:

Caractéristiques des variétés actuelles et futures

Marc GIBAND

Programme Coton, CIRAD-CA, Montpellier, France

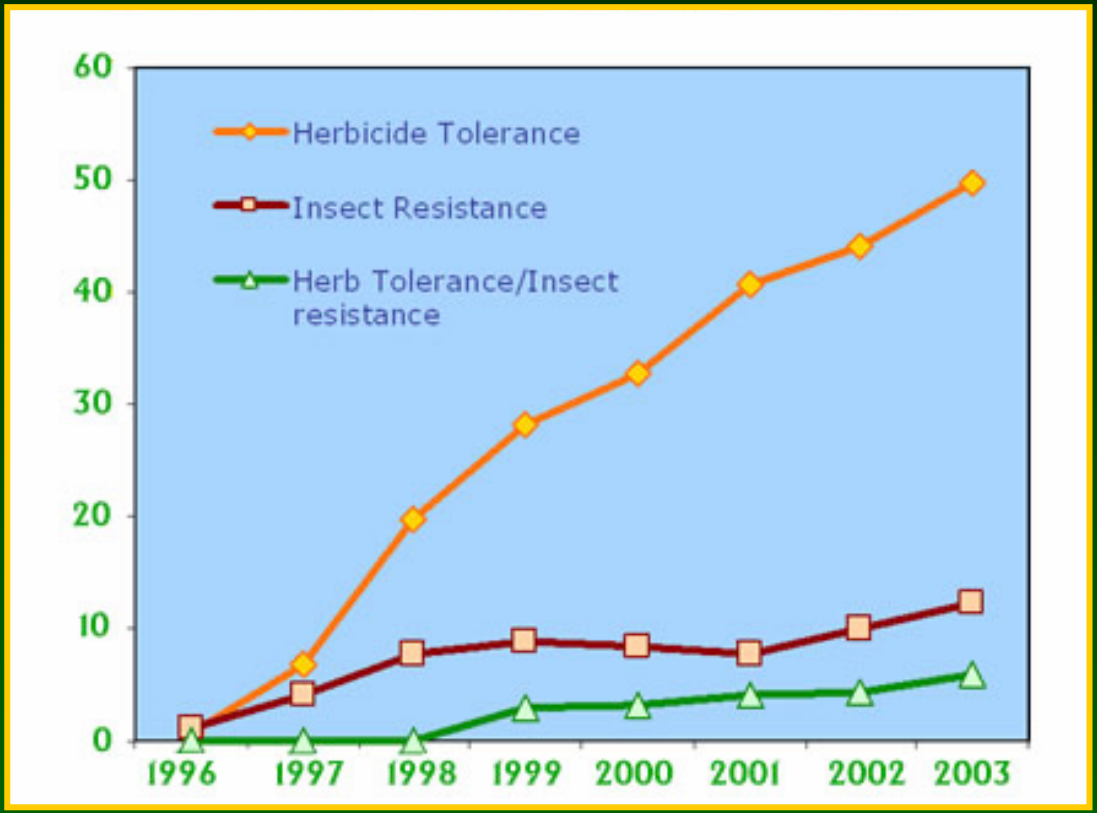
Ouagadougou - décembre 2004

Les plantes transgéniques résistant aux insectes:

Caractéristiques des variétés actuelles et futures

- Les différentes variétés et leurs caractéristiques
- Les plantes transgéniques et la gestion des résistances

Les superficies consacrées aux plantes résistant aux insectes



En 2003: 18 millions ha
(>25% des surfaces dédiées aux plantes transgéniques)

Global Area of Transgenic Crops, 1996 to 2003: By Trait

Country	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
	(mha)							
Herbicide Tolerance	0.6	6.9	19.8	28.1	32.7	40.6	44.2	49.7
Insect Resistance (Bt)	1.1	4.0	7.7	8.9	8.3	7.8	10.1	12.2
Bt/Herbicide Tolerance	--	<0.1	0.3	2.9	3.2	4.2	4.4	5.8
Virus resistance/Others	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Total	**1.7**	**11**	**27.8**	**39.9**	**44.2**	**52.6**	**58.7**	**67.7**

Source: Clive James, 2003.

Source: James, 2003

Les plantes transgéniques résistant aux insectes:

les espèces concernées (application commerciale)

Le cotonnier: 1ère commercialisation en 1996 (0,8 millions ha)
- 2003: 9 pays cultivateurs (5,8 millions ha)
- résistance aux insectes +/- tolérance aux herbicides

Le maïs: 1ère commercialisation en 1996
- 8 pays cultivateurs; 9,1 millions ha (13% des surfaces OGM)
- résistance aux insectes +/- tolérance aux herbicides

La pomme de terre: 1ère commercialisation en 1996, arrêt en 2001

Les plantes transgéniques résistant aux insectes dans le monde

Canada
maïs

Espagne
maïs

Chine
coton

USA
maïs, coton

Philippines
maïs

Indonésie
coton

Mexique
coton

Australie
coton

Honduras
maïs

Inde
coton

Colombie
coton

Argentine
maïs, coton

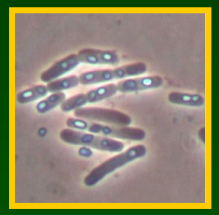
Uruguay
maïs

Afrique du Sud
maïs, coton

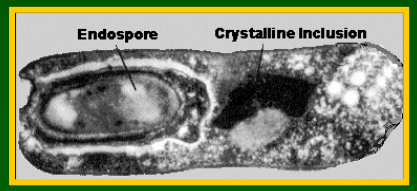
Modifié à partir de James, 2003

Les plantes transgéniques résistant aux insectes

- Transfert et expression de gènes codant pour des δ-endotoxines de *B. thuringiensis* (gènes *cry*)



- Dans le cas des variétés chinoises, le gène *cry* est associé au gène *CpTi* (inhibiteur de protéases du niébé)



- Chaque δ-endotoxine est active sur un spectre (relativement) étroit d'insectes cibles

- La construction génique utilisée aura une incidence sur le spectre des ravageurs contrôlés

Les plantes transgéniques résistant aux insectes: les toxines exprimées et les principaux ravageurs ciblés

Toxine	Insectes cibles	Nom commercial
Cry1Ab*	*Ostrinia nubilalis* *Sesamia nonagrioides*	YieldGard® / Attribute® NatureGard®/Knockout®/Maximizer®
Cry1Ac	*O. nubilalis*	Bt-Xtra® / DeKalBt®
Cry3Bb1	*Diabrotica spp*	MaxGuard® / YieldGard® Rootworm
Cry1Fa2	*O. nubilalis* *Diatrea grandiosella* *Spodoptera spp* *Agrotis ipsilon*	Herculex I®
Cry1Ab + Cry3Bb1	*O. nubilalis* + *Diabrotica spp*	YieldGard® Plus
Cry9C	*O. nubilalis*	Starlink®

* Différents évènements de transformation: Bt11, Event 176 (promoteur spécifique du pollen)

Les plantes transgéniques résistant aux insectes: les toxines exprimées et les principaux ravageurs ciblés

Toxine	Insectes cibles	Nom commercial
Cry1Ac*	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella*	Bollgard ®
Cry1Ac + Cry2Ab2 (2003)	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella* + *Spodoptera spp*	Bollgard II ®
Cry1Ac + Cry1Fa2 (2005)	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella* + *Spodoptera spp*	WideStrike ®
Vip3A** (2005?)	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella* *Spodoptera spp* *Agrotis ipsilon, …*	VipCot ®

* Cry1Ab/1Ac + CpTI en Chine

** Vip = « Vegetative Insecticidal Protein »

Les plantes transgéniques résistant aux insectes:

Quelques considérations sur la gestion des résistances aux toxines de *Bt*

L'example des cotonniers transgéniques

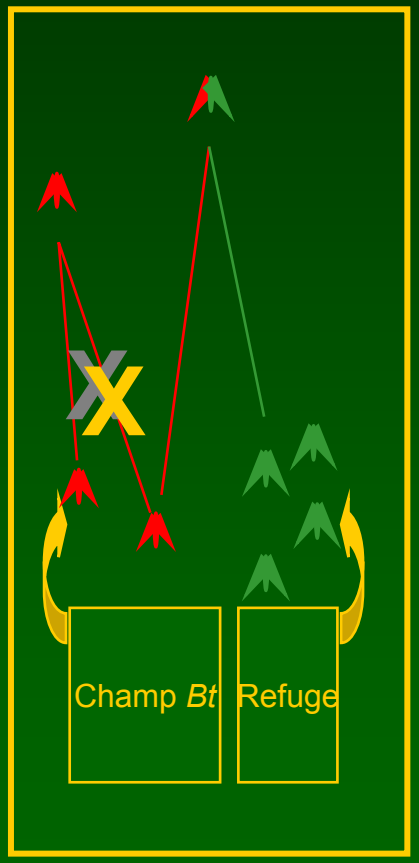
- Expression par la plante d 'une seule toxine (jusqu 'en 2003): CRY1Ac
- Promoteur «constitutif»: expression de la toxine au cours du développement de la plante

- Pression de sélection élevée => Développement rapide de résistance

- Stratégie de gestion de la résistance

La stratégie de gestion de la résistance aux toxines de *Bt*

Stratégie “Haute Dose” + “Refuge”

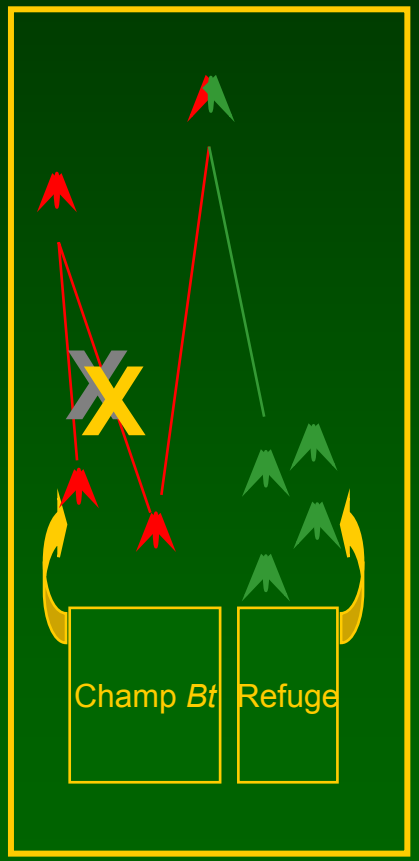


Une stratégie pragmatique

- prenant en compte “l’état de l’art” (gènes, promoteurs et plantes transgéniques disponibles, connaissances et capacités techniques disponibles)
- basée sur des modèles utilisant des hypothèses non vérifiées (manque de données réelles):
  - > allèles de R rares ($<10^{-6}$)
  - > R fonctionellement récessive
  - > haute dose (25 X DL_{50}, mortalité SS>99%)

La stratégie de gestion de la résistance aux toxines de *Bt*

Stratégie “Haute Dose” + “Refuge”

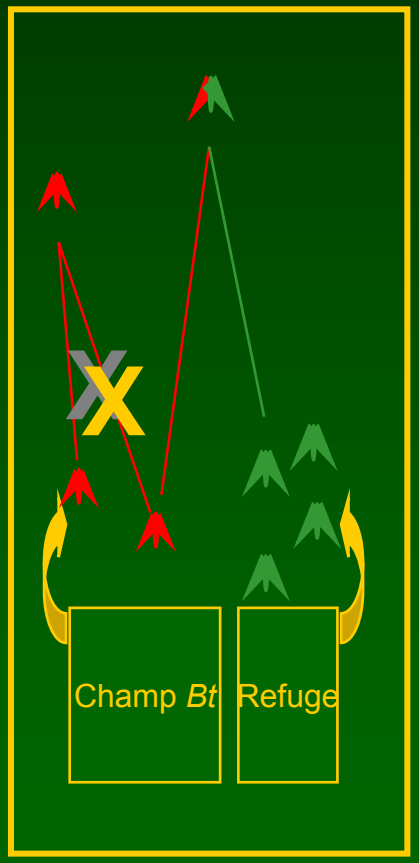


Les hypothèses émises ne sont pas vérifiées:

- Allèles de résistance rares:
  - *P. gossypiella* - CRY1Ac (USA): 3,6 X 10^{-3}
  - *H. zea* - CRY1Ac (NC-USA): 4,3 X 10^{-4}
  - *H. zea* - CRY2Ab (NC-USA): 3,9 X 10^{-4}

La stratégie de gestion de la résistance aux toxines de *Bt*

Stratégie “Haute Dose” + “Refuge”



Les hypothèses émises ne sont pas vérifiées:

- “Haute dose”… une notion relative

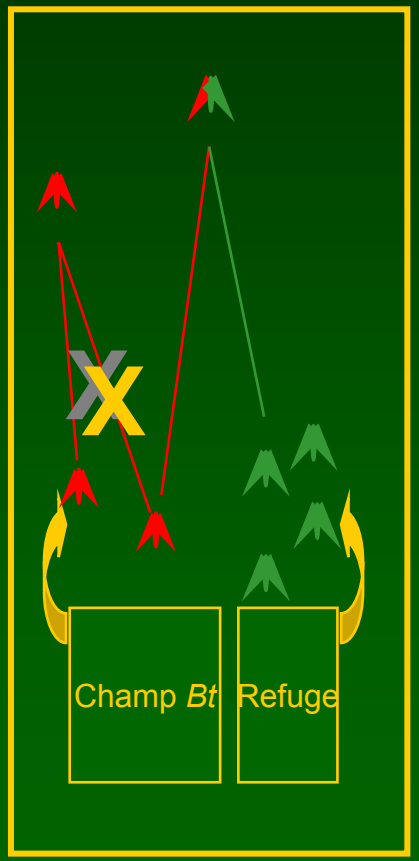
DL_{50} de CRY1Ac pour différents insectes (ng/cm^2):

- *H. virescens*: 0,6 - 4,3
- *H. zea:* 99 - 857
- *H. punctigera:* 108
- *H. armigera*: 38 - 248

(donnée adaptées de Liao *et al.*, 2002)

La stratégie de gestion de la résistance aux toxines de *Bt*

Stratégie “Haute Dose” + “Refuge”



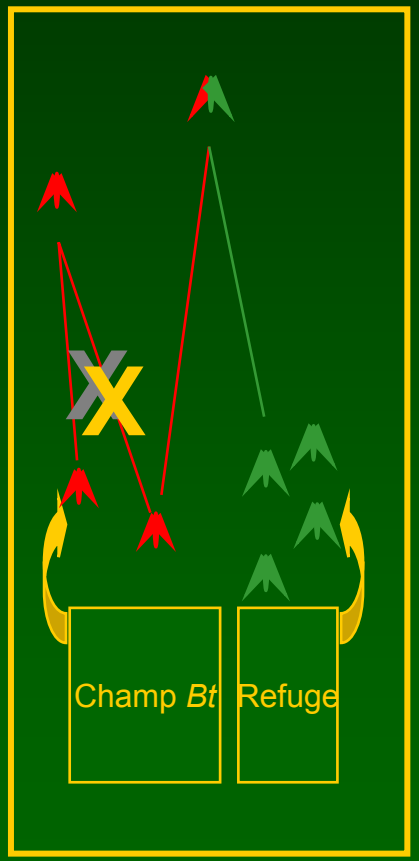
Les hypothèses émises ne sont pas vérifiées:

- “Haute dose”… une notion relative

Taux d’expression de la toxine variable
- en fonction de l’âge de la plante
- en fonction de l’organe
- en réponse à des stresses abiotiques

La stratégie de gestion de la résistance aux toxines de *Bt*

Stratégie “Haute Dose” + “Refuge”



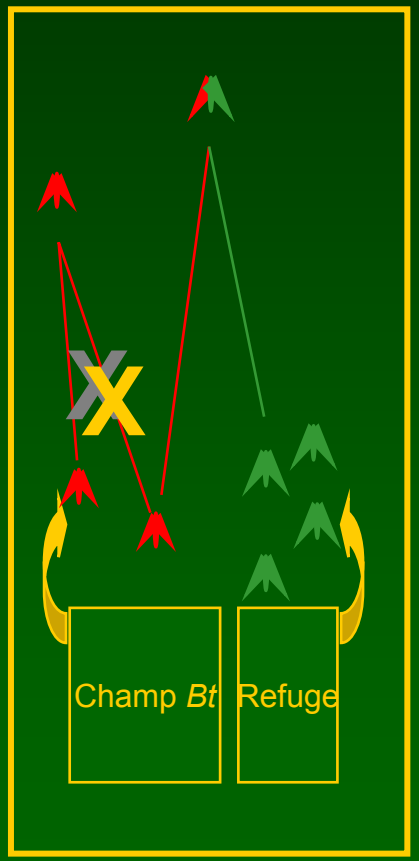
Les hypothèses émises ne sont pas vérifiées:

- “Haute dose”… une notion relative

  - Contrôle complet de *H. virescens*
  - Contrôle partiel de *H. zea*
    - Louisiane, 2000: 1-3 applications/an sur Bollgard (vs 4-8 sur non-*Bt*)
    - 2001: 50% des surfaces Bollgard (>1 million ha) traitées

La stratégie de gestion de la résistance aux toxines de *Bt*

Stratégie “Haute Dose” + “Refuge”



Les hypothèses émises ne sont pas vérifiées...

…. Mais aucune résistance détectée au champ parmi les différents insectes cibles.

La gestion de la résistance aux toxines de *Bt:*

L’apport des nouvelles variétés

Les plantes transgéniques résistant aux insectes: les toxines exprimées et les principaux ravageurs ciblés

Toxine	Insectes cibles	Nom commercial
Cry1Ac*	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella*	Bollgard ®
Cry1Ac + Cry2Ab2 (2003)	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella* + *Spodoptera spp*	Bollgard II ®
Cry1Ac + Cry1Fa2 (2005)	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella* + *Spodoptera spp*	WideStrike ®
Vip3A** (2005?)	*Helicoverpa spp / Heliothis virescens* *Pectinophora gossypiella* *Spodoptera spp* *Agrotis ipsilon, …*	VipCot ®

* Cry1Ab/1Ac + CpTI en Chine

** Vip = « Vegetative Insecticidal Protein »

La gestion de la résistance aux toxines exprimées par les plantes transgéniques*:*

L'apport des nouvelles variétés

Amélioration de la durabilité?

- 2 gènes > 1 gène ?

> molécules à mode d'action différent ?

> existence de résistance croisée ?

> pression de sélection pré-existante ?

> efficacité de chacune des molécules ?

> dose délivrée ?

La gestion de la résistance aux toxines exprimées par les plantes transgéniques*:*

L'apport des nouvelles variétés

Efficacité et taux d'expression

- *H. armigera* et *H. punctigera*
- Données moléculaires et biochimiques disponibles

DL_{50} (ng/cm^2)	CRY1Ac	CRY2Ab	CRY1Fa	VIP3a
H. armigera	115-248	421	4193	155
H. punctigera	108	412	286	22
S. frugiperda	>800	300-500	190	40

Taux (1)	1 - 3	10 - 30	
d'expression (2)			3 - 22
(feuilles)			
(µg/g pds frais) (3)	1 - 3		

La gestion de la résistance aux toxines exprimées par les plantes transgéniques*:*

L'apport des nouvelles variétés

- Augmentation du spectre d'activité => Amélioration de la protection

- Amélioration de la durabilité (diminution du risque de résistance) dépend du ravageur concerné

- Amélioration de la durabilité: variétés 2 gènes ne sont pas obligatoirement supérieures

Les plantes transgéniques résistant aux insectes

- Un outil pour la lutte contre les ravageurs des cultures
- Une certaine expérience dans leur gestion
- Maintenir une vigilance pour un bénéfice durable
- Adapter leur gestion aux environements où elles sont introduites
- Une technologie récente en cours d’évolution