



Evaluation détaillée du coton Bt

**Source: James, C. 2002. Global Review of Commercialized Transgenic Crops:
2001 Feature: Bt Cotton. ISAAA Briefs No.26. ISAAA: Ithaca, NY**

***Les articles suivants sont extraits du chapitre 9 de la publication originale
de Clive James, (2002) et ont été modifiés et mis à jour.***

Evaluation détaillée du coton Bt

(Source: James, C. 2002. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2001 Feature: Bt Cotton.
ISAAA Briefs No.26. ISAAA: Ithaca, NY.)

Les articles suivants sont extraits du chapitre 9 de la publication originale de Clive James, (2002) et ont été modifiés et mis à jour.

Published by: The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA).

Copyright: (2002) International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA)

Reproduction of this publication for educational or other non-commercial purposes is authorized without prior permission from the copyright holder, provided the source is properly acknowledged.

Reproduction for resale or other commercial purposes is prohibited without the prior written permission from the copyright holder.

Citation: James, C. 2002. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2001 Feature: Bt Cotton. *ISAAA Briefs* No. 26. ISAAA: Ithaca, NY.

ISBN: 1-892456-30-3

Publication Orders: Please contact the ISAAA SEAsiaCenter or write to publications@isaaa.org

ISAAA SEAsiaCenter
c/o IRRI
DAPO Box 7777
Metro Manila, Philippines

Info on ISAAA: For information about ISAAA, please contact the Center nearest you:

ISAAA AmeriCenter 417 Bradfield Hall Cornell University Ithaca NY 14853, U.S.A.	ISAAA AfriCenter c/o CIP PO 25171 Nairobi Kenya	ISAAA EuroCenter c/o John Innes Centre Colney Lane Norwich NR4 7UH United Kingdom	ISAAA SEAsiaCenter c/o IRRI DAPO Box 7777 Metro Manila Philippines
--	---	---	--

or write to info@isaaa.org

Electronically: For Executive Summaries of all *ISAAA Briefs*, please visit www.isaaa.org
The full versions of *ISAAA Briefs* are also published electronically on behalf of ISAAA by CABI Publishing through *AgBiotechNet* at: <http://www.agbiotechnet.com>

Evaluation détaillée du coton Bt

(Source: James, C. 2002. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2001 Feature: Bt Cotton. ISAAA Briefs No.26. ISAAA: Ithaca, NY.)

Les articles suivants sont extraits du chapitre 9 de la publication originale de Clive James, (2002) et ont été modifiés et mis à jour.

LE COTON Bt

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'évaluation des performances du coton Bt jusqu'à maintenant et à évaluer le potentiel mondial futur de variétés de coton Bt ou contenant des gènes nouveaux qui leur confèreraient une résistance aux principales phalènes/chenilles (Lépidoptères). Les insectes nuisibles ont une importance économique certaine pour tous les pays producteurs de coton du monde. Le coton Bt a été autorisé pour la commercialisation en 1996. Six ans après, en 2002, il est cultivé commercialement dans neuf pays : sept d'entre eux sont des pays en voie de développement (Chine, Inde, Indonésie, Argentine, Mexique, Afrique du Sud et Colombie [pré-commercialisation]) et deux, des pays industrialisés (USA et Australie). Aujourd'hui, de nombreuses publications fournissant des données expérimentales et détaillées relatives à la commercialisation des plantes cultivées Bt provenant d'études indépendantes qui évaluent les conséquences de la culture du coton Bt jusqu'à présent. Ces études donnent des informations concernant les effets de la culture du coton Bt sur la production, l'environnement, la santé, l'économie et la société tant dans des grandes que des petites fermes des pays en voie de développement et industrialisés.

Le contenu de ce chapitre est structuré de façon chronologique pour donner au lecteur une vision globale du coton en tant que plante cultivée, les données actuellement disponibles pour évaluer les performances du coton Bt jusqu'à aujourd'hui et esquisser son futur potentiel mondial. La priorité donnée aux pays en voie de développement est cohérente avec la mission de l'ISAAA qui aide les pays en voie de développement à évaluer le potentiel des nouvelles technologies. Le but principal est de

présenter un ensemble de données combinées qui faciliteront une discussion d'expert concernant les bénéfices potentiels que le coton Bt offre à la société en général. Les sujets présentés dans ce chapitre sont :

- Le coton en tant que plante cultivée
- La distribution mondiale du coton dans les pays en voie de développement et industrialisés, par région, production, consommation, importation et exportation
- Le nombre de producteurs de coton dans le monde entier et la taille des fermes
- Les insectes nuisibles du coton
- Les pertes dues aux insectes nuisibles du coton et le coût de leur contrôle
- L'utilisation mondiale des insecticides pour traiter le coton
- L'utilisation des gènes Bt chez le coton
- L'évaluation des risques environnementaux et les stratégies de recherches pour la gestion des insectes (IRM) (section séparée)
- L'adoption au niveau mondial coton Bt (section séparée)
- Des études de cas pour la Chine et l'Afrique du Sud (sections séparées)
- Une évaluation globale de l'expérience du coton Bt jusqu'à maintenant : bénéfices agronomiques, environnementaux, sociaux et économiques.
- Le futur potentiel mondial du coton Bt

2. Le coton en tant que plante cultivée

Le coton est la principale fibre au niveau mondial. Il est utilisé dans au moins la moitié de tous les textiles (Rabobank, 1996). Le coton en tant que plante cultivée a influencé le développement économique des pays depuis qu'il a été cultivé pour la première fois il y a 5'000 ou 10'000 ans (Stephens and Mosley, 1974). Le coton n'était pas connu en Europe jusqu'à la fin du Moyen-âge. Cependant, durant la révolution industrielle en Europe occidentale, il a joué un rôle important. Les transformations à grande échelle ont fait du coton la principale fibre pour l'habillement dès la fin du 19^{ème} siècle, époque à laquelle il représentait 80 % de tous les textiles. Aujourd'hui, bien que le coton conserve son statut de fibre la plus précieuse et de fibre naturelle préférée, les fibres synthétiques fabriquées par l'homme ont érodé la quote-part du coton qui ne représente maintenant plus qu'approximativement 40% des textiles. Environ 20 millions de tonnes de matériel brut valant grosso modo 20 milliards de dollars sont maintenant produites chaque année. 30% d'entre elles sont vendues comme matériel brut. En 2000-01, les prix du coton étaient historiquement bas avec 0,40 \$/livre et le niveau de l'assistance directe fournie par les gouvernements en 2000-01 se situait autour de 4 milliards de dollars. Le commerce des produits dérivés du coton représente presque la moitié des 115 milliards des ventes totales du secteur des textiles et des 133 milliards de dollars de vente du secteur de l'habillement (Rabobank 1996).

Le coton est cultivé dans les régions les plus chaudes de quelques 65 pays tropicaux, subtropicaux et tempérés dans le monde. Bien que le coton soit intrinsèquement une plante cultivée des climats chauds, quelques variétés s'adaptent bien aux régions les plus chaudes des pays tempérés de la zone de culture du coton où elles obtiennent des bons résultats. Le coton est cultivé dans de nombreux types de sols allant des sols sablonneux aux sols argileux, mais il préfère un terreau lourd. Le coton est une des plantes cultivées les plus efficace en terme d'utilisation de l'eau en ce sens qu'il produit une des plus grande quantité de matière sèches par litre d'eau. La période entre la plantation et la récolte dure de 140 à 250 jours (Hearn and Fitt 1992). Il est donc possible de

cultiver le coton dans des régions où la période sans gelées est inférieure à 180 jours. Le calendrier des opérations de plantation et de récolte du coton varie entre les hémisphères nord et sud. Les dates de ces opérations sont énumérées ci-dessous pour les principaux pays de la zone de culture du coton. Le Brésil est divisé en deux régions en terme de culture du coton : dans le sud du Brésil, le coton est produit de manière intensive avec un apport d'intrants alors que dans le nord, le coton pérenne est le plus utilisé par un système utilisant peu d'intrants.

	Plantation	Récolte
Hémisphère nord		
USA	Fév.-Mai	Sep-Nov
Chine	Avr-Juin	Sep-Oct
CEI*	Avr-Mai	Sep-Nov
Turquie	Avr-Mai	Sep-Nov
Grèce	Avr-Mai	Sep-Nov
Inde	Avr-Juin	Oct-Fév
Hémisphère sud		
Brésil (Nord)	Fév-Août	Août-Fév
Brésil (Sud)	Oct-Nov	Fév-Juin
Argentine	Sep-Oct	Fév-Mai
Australie	Sep-Oct	Avr-Juil.

Source: Modifié de Rabobank, 1996.

* CEI – Communauté des Etats Indépendants

Les besoins en eau sont critiques pour le coton. Idéalement, il préfère une première période humide pour promouvoir la croissance végétative suivie par une saison sèche durant laquelle les fleurs et les fruits mûrissent et sèchent. L'irrigation est fréquemment utilisée pour optimiser les disponibilités en eau. Le coton a besoin de beaucoup d'ensoleillement et d'une température moyenne optimale se situant entre 25 et 30 °C. La production de coton demande soit beaucoup de travail soit beaucoup de capital. Le premier type de production s'applique normalement aux pays en voie de développement où le coût du travail est bas et

les capitaux limités, alors que le second reflète plutôt le cas des pays industrialisés.

Le coton appartient au genre *Gossypium* et à la famille des *Malvaceae* qui comprend aussi l'arbuste à fleurs *Hibiscus* et le gombo. Plus de 95 % du coton commercial est du coton des régions montagneuses. Alors que le coton à longue fibre, *G. barbadense*, occupe une petite région intérieure dont la superficie est inférieure à 5%. Les deux espèces de coton cultivé sont autogames, allotétraploïdes et incompatibles avec les espèces sauvages diploïdes de coton. En dehors des espèces de coton, aucune espèce sauvage apparentée ne peut se croiser avec les deux variétés de coton cultivé (celui des régions montagneuses et celui à longue fibre). Deux espèces de coton asiatique, *G. arboreum* et *G. herbaceum* sont cultivées dans des petites régions d'Asie et d'Afrique. Ce sont des espèces diploïdes qui sont incompatibles avec tant avec le coton des régions montagneuses qu'avec celui à longue fibre.

Le coton des régions montagneuses ainsi que celui à longue fibre sont tous les deux des dicotylédones pérennes qui sont habituellement cultivés comme annuelles. A quelques exceptions près, les semences commerciales vendues dans le monde aux fermiers sont des variétés plutôt que des hybrides. L'Inde est un contre-exemple où environ 50% du coton est hybride.

Le coton est principalement cultivé pour la fibre bien qu'une petite quantité des graines soit utilisée comme source de nourriture et d'huile tant pour les hommes que pour les animaux. L'huile de graine de coton est raffinée avant d'être utilisée pour la consommation humaine car il faut enlever le gossypol, substance toxique pour les humains et les animaux monogastriques. Le fruit de la plante de coton est plus familièrement connu sous le nom de « graine ». Elle contient approximativement 10 graines (au sens botanique du terme) de coton qui sont entourées par les fibres qui croît depuis les enveloppes de la graine. La fibre du coton est le produit de base commercial qui génère un revenu pour les producteurs. Le rendement en fibre est d'environ un tiers du poids de la « graine » de coton qui est le produit récolté par le

fermier. La fibre est séparée des graines durant la transformation à la filature. Parce que le coton est autogame, les fermiers peuvent conserver une partie des graines pour les semer l'année suivante. Cependant, après la transformation à la filature, il reste des petites fibres qui sont encore attachées à la graine et qui nécessite une transformation supplémentaire avant de pouvoir être utilisée comme semence de haute qualité pour une production optimale de coton. Ainsi, en pratique, il est rentable pour les fermiers d'acheter de nouvelles semences chaque année. La production mondiale de fibre de coton a plus que doublé passant de 9,8 millions de tonnes en 1960-61 à 21,2 millions de tonnes en 2001-02. Le rendement en fibre a lui aussi plus que doublé passant de 305 kg/hectare à 653 kg/hectare durant les 20 dernières années alors que les superficies cultivées avec du coton sont restées approximativement les mêmes. En Amérique latine et en Afrique, les rendements ont été améliorés plutôt lentement durant les 20 dernières années bien que des gains significatifs aient été réalisés dans quelques pays comme la Chine en Asie.

3. Distribution mondiale, production, consommation, importations et exportations

Sur les 33,5 millions d'hectares de coton plantés en 2001-02, environ 70% étaient plantés dans les pays en voie de développement et seulement 30% dans les pays industrialisés. Les pays producteurs de coton du Top 10 (liste des principaux pays producteurs classés par région dans la table 1) représentent 80 % de la superficie mondiale de coton. Les 20 % restants sont cultivés dans les 55 autres pays. Parmi les cinq pays principaux producteurs de coton ayant planté chacun plus d'un million d'hectares (pour un total de 23,5 millions soit 70 % du total mondial), l'Inde possède de loin la plus grande superficie (8,7 millions d'hectares), suivie par les USA (5,6 millions d'hectares), la Chine (4,8 millions d'hectares), le Pakistan (3,1 millions d'hectares) et l'Ouzbékistan (1,5 millions d'hectares). Il convient de noter que 70% des superficies mondiales de coton se situent dans des pays du sud. Trois pays asiatiques dominant (Inde, Chine

et Pakistan); ensemble, ils plantent 50% du coton mondial. Six pays producteurs de coton du Top 10 sont du sud : trois sont situés en Asie (Inde, Chine et Pakistan), deux en Afrique (Mali et Bénin) et une en Amérique du Sud (Brésil). Les quatre autres pays sont les USA avec la deuxième plus grande superficie (5,6 millions d'hectares), deux font partie de la Communauté des Etats Indépendants (CEI) (Ouzbékistan (1,5 millions d'hectares) et Turkménistan (0,6 million d'hectares)) et le dernier se situe en Asie de l'ouest (Turquie – 0,6 million d'hectares).

La production mondiale de fibre a augmenté de 9,8 millions de tonnes dans les années 1960-61 à 21,2 millions de tonnes dans les années 2001-02 soit une augmentation de 116 % sur les quarante dernières années. Le Top 10 des pays producteurs de coton en terme de production totale en 2001 sont énumérés dans la table 2, accompagnés des données correspondantes sur le rendement. Ensemble, ils produisent 85% de la production mondiale de coton. Comme pour les données précédentes, basées sur les superficies de coton, six des pays producteurs du Top 10 sont des pays en voie de développement : Chine (5,3 millions de tonnes), Inde (2,5 millions de tonnes), Pakistan (1,8 millions de tonnes), Brésil (0,7 million de tonnes), Syrie (0,3 million de tonnes) et l'Égypte (0,3 million de tonnes).

La Chine avec un rendement élevé de 1'103 kg de fibres/hectare est le plus grand producteur mondial de fibres avec une production de 5,3 millions de tonnes. Elle est suivie par les USA (4,4 millions de tonnes). L'Inde et le Pakistan ont une production significativement plus basse que celle de la Chine. Bien qu'ayant de grandes superficies de coton, ils sont victimes de faibles rendements (287 kg/hectare et 593 kg/hectare, respectivement), alors que la Syrie, l'Égypte et le Brésil ont des rendements significativement plus importants (1,303 kg/hectare, 994 kg/hectare et 999 kg/hectare respectivement). L'Australie a de loin les rendements de fibres les plus élevés au monde avec un rendement de 1'658 kg/hectare, suivie par la Syrie (1'303 kg/hectare) et la Chine (1'103 kg/hectare) (ICAC 2002a). Ainsi, en général, les pays en voie de développement comme la

Chine, qui cultive le coton sur de grandes superficies et obtienne des rendements élevés excellent en terme de production totale. Alors que des pays comme l'Inde et le Pakistan qui cultivent de grandes superficies sont pénalisés en terme de production totale par de faibles rendements. L'Inde obtient le plus faible rendement du Top 10 des producteurs avec 287 kg/hectare, ce qui représente moins de la moitié du rendement mondial moyen (635 kg/hectare). Le Brésil, la Syrie et l'Égypte sont en compétition en terme de production totale car ces pays obtiennent des rendements élevés alors que les pays africains comme le Mali et le Bénin qui cultivent environ 500'000 hectares de coton sont mal placés dans la production totale à cause de rendements faibles (464 et 420 kg/hectare respectivement). En résumé, dans de nombreux pays en voie de développement, la principale contrainte pour augmenter la production est le rendement qui est faible. Ceci est dû à des contraintes abiotiques, biotiques et autres. Les insectes nuisibles, spécialement ceux de la famille des Lépidoptères, représentent une contrainte très répandue et importante dans tous les pays en voie de développement.

Table 1. Top 10 des pays producteurs de coton, par région, 2001-2002

Pays	Milliers d'hectares
1. Inde	8'730
2. USA	5'596
3. Chine	4'824
4. Pakistan	3'125
5. Ouzbékistan	1'453
6. Brésil	750
7. Turquie	654
8. Turkménistan	550
9. Mali	516
10. Bénin	415
Sous-total	26'613 (80%)
Autres	6'844
Total mondial	33'457

Source: ICAC, 2002a.

Table 2. Top 10 des producteurs de fibres de coton en 2001-2002

Pays	Milliers de tonnes	Rendement en fibres (kg/Ha)
1. Chine	5'320	1'103
2. USA	4'420	790
3. Inde	2'508	287
4. Pakistan	1'853	593
5. Ouzbékistan	1'055	726
6. Turquie	880	1'345
7. Brésil	750	999
8. Australie	670	1'658
9. Syrie	335	1'303
10. Egypte	314	994
Sous-total	18'105 (85%)	980
Autres	3'132	
Total mondial/Moyenne	21'237	635

Source: ICAC, 2002a.

En 2001, la consommation mondiale de coton était environ de 19,9 millions de tonnes et la production de 21,2 millions de tonnes. Il convient de noter que la Chine, l'Inde et le Pakistan, les trois plus grands consommateurs de coton, totalisaient 9,1 millions de tonnes, soit près de la moitié de la production mondiale de 21,2 millions de tonnes. Dans le Top 10 des pays, qui réunis consomment 78% du coton mondial (Table 3), sept sont des pays en voie de développement. Enumérés par ordre décroissant d'importance, on trouve la Chine (5,4 millions de tonnes), l'Inde (2,9 millions de tonnes), le Pakistan (1,8 millions de tonnes), le Brésil (0,9 million de tonnes), l'Indonésie (0,5 million de tonnes), le Mexique (0,4 million de tonnes) et la Thaïlande (0,4 million de tonnes). Ces 7 pays consomment environ 60% de la production mondiale. Quatre sont asiatiques, deux d'Amérique latine et l'Afrique se distingue par son absence. Les USA (1,7 millions de tonnes), la Turquie (1,3 millions de tonnes) et la Russie (0,4 million de tonnes) sont les trois autres consommateurs de coton importants

Beaucoup de pays en voie de développement qui sont de grands consommateurs de coton sont aussi des importateurs importants de coton (Table 4). Ce sont

Table 3. Top 10 des consommateurs de fibres de coton en 2001-2002

Pays	Milliers d'hectares
1. Chine	5'400
2. Inde	2'856
3. Pakistan	1'830
4. USA	1'655
5. Turquie	1'250
6. Brésil	860
7. Indonésie	525
8. Mexique	403
9. Thaïlande	371
10. Russie	364
Sous-total	15'514 (78%)
Autres	4'422
Total mondial	19'936

Source: ICAC, 2002a.

l'Indonésie, l'Inde, la Thaïlande, le Mexique et le Pakistan. Les pays en voie de développement grands consommateurs qui s'appuient sur des importations limitées incluent la Chine (importations de 100'000 tonnes) et le Brésil (150'000 de tonnes).

Le Top 10 des exportateurs de coton sont listés dans la Table 5 avec les USA qui sont de loin le plus grand exportateur (2'389'000 tonnes, ce qui équivaut à 38% des exportations mondiales), suivis par l'Ouzbékistan (729'000 tonnes), l'Australie (700'000 tonnes), la Grèce (257'000 tonnes) et la Syrie (187'000 tonnes). Il convient de noter que 4 exportateurs du Top 10 sont des pays de l'Afrique de l'Ouest (Mali, Bénin, Côte d'Ivoire et Burkina Faso). Ces pays francophones d'Afrique ont beaucoup souffert des faibles prix du coton ces dernières années et sont parmi les plus pauvres du monde. Les pertes dues aux insectes nuisibles du coton et la forte consommation d'insecticides exacerbent les problèmes liés aux faibles prix d'exportation particulièrement si ces dernières représentent au moins 50% des gains totaux d'exportation de ces pays. Si le coton Bt fait baisser les coûts de production mais que la productivité et les revenus sont augmentés, l'économie nationale de ces pays serait significativement avantagée.

En résumé, en tenant compte de la distribution mondiale du coton par région, production, consommation, importation et exportation, il est évident que les pays en développement sont des acteurs majeurs dans tous les aspects liés au coton. Ils pourraient ainsi potentiellement bénéficier de n'importe quelle technologie qui entraînerait une diminution des coûts de production et simultanément augmenterait la production et les revenus. De plus, des avantages significatifs en termes de bénéfices environnementaux, sociaux et sur la santé peuvent être obtenus si les infestations de nuisibles pouvant être contrôlées par Bt sont suffisamment contraignantes pour augmenter la productivité des variétés Bt. Les pays en développement qui ont déjà utilisé le coton Bt et obtiennent des bénéfices significatifs sont la Chine, l'Inde, l'Indonésie, l'Argentine, le Mexique et l'Afrique du Sud.

Table 4. Top 10 des importateurs de coton, 2001-2002

Pays	Milliers de tonnes
1. Indonésie	550
2. Turquie	500
3. Inde	450
4. Russie	390
5. Thaïlande	387
6. Mexique	383
7. République de Corée	331
8. Italie	285
9. Taiwan	280
10. Pakistan	275
Sous-total	3'831 (60%)
Autres	2'535
Total mondial	6'366

Source: ICAC, 2002a.

Table 5. Top 10 des exportateurs de fibres de coton, 2001-2002

Pays	Milliers de tonnes
1. USA	2'389
2. Ouzbékistan	729
3. Australie	700
4. Grèce	257
5. Syrie	187
6. Mali	181
7. Bénin	139
8. Côte d'Ivoire	133
9. Burkina Faso	126
10. Turkménistan	125
Sous-total	4'966 (78%)
Autres	1'400
Total mondial	6'366

Source: ICAC, 2002a.

4. Nombre de fermiers cultivant du coton dans le monde et taille des fermes.

Des statistiques documentées au sujet du nombre de fermiers cultivant du coton ne sont pas disponibles pour la plupart des pays producteurs de coton et par conséquent, les données de la table 6 se basent sur des estimations pour quelques pays. Le nombre de fermiers cultivant du coton dans les pays en voie de développement peut être sous-estimé dans quelques pays dans lesquels on enregistre une ferme par propriétaire terrien alors qu'en pratique les propriétés sont fragmentées et chaque « ferme enregistrée » est donc cultivées par plusieurs métayers. Ceci peut donc conduire à une sous-estimation importante du nombre de fermiers cultivant le coton et à une sur-estimation de la taille moyenne des fermes. Il faut donc voir dans les données de la table 6 plus un ordre de grandeur du nombre et de la taille des fermes plutôt qu'une estimation précise. Rien que pour la Chine, le nombre des fermiers peut varier de 9 à 13 millions en fonction des superficies plantées avec du coton Bt (Huang 2002). La moyenne de 11 millions est utilisée pour la Chine dans la table 6. Le nombre de fermiers cultivant du coton dans le monde entier est estimé à environ 20 millions (Table 6). A peu près 97% des fermiers (soit 19,3 millions) exploitent des fermes dans les pays en voie de développement d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine et seulement 2% (425'000) des pays de la CEI et de l'Asie de l'Ouest. Moins de 1% des fermiers cultivant du coton dans le monde sont des pays industrialisés : ils sont environ 30'000 fermiers producteurs de coton aux USA, 1'200 en Australie et la différence en Grèce et en Espagne.

Des 19,3 millions de producteurs de coton des pays en voie de développement, environ 89% (17,1 millions) de fermes se trouvent dans les pays en voie de développement d'Asie, 2,5 millions en Afrique (10% des producteurs mondiaux de coton) et approximativement 150'000 fermiers (<1%) en Amérique latine. 16,5 millions de fermiers produisant du coton soit 83% des fermiers cultivant du coton dans le monde sont recensés dans trois pays (Chine, Inde et Pakistan). Un très fort pourcentage (>90%) des fermiers produisant du coton dans les pays en voie de développement cultivent environ moins de deux

hectares de coton. Les fermiers du nord et de l'est de la Chine cultivent en moyenne moins de 0,5 hectare de coton. La moyenne des superficies de coton par ferme en Inde et au Pakistan est approximativement de deux hectares, alors qu'en Afrique et en Asie du sud-est, elle est de moins de 2 hectares. Cependant, en pratique, les superficies de coton peuvent être significativement plus petites en taille à cause de la mauvaise interprétation des enregistrements. Globalement, la taille des fermes produisant du coton dans les pays en voie de développement est petite et une forte proportion d'entre elles sont cultivées par des fermiers à bas revenus. La superficie moyenne des propriétés cultivées avec du coton est plus grande en Amérique latine (8 hectares) à cause de la taille sensiblement plus grande des fermes dans des pays comme l'Argentine. Aux USA, la taille moyenne des propriétés est d'environ 190 hectares et elle est de 330 hectares en Australie.

Ainsi, sur les 20 millions de fermiers cultivant du coton dans le monde, la plupart (97 % soit plus de 19 millions) sont des petits fermiers dans les pays en voie de développement comportant au plus 2 hectares de coton. En ce qui concerne le nombre de bénéficiaires potentiels du coton Bt, il est clair que les petits fermiers pauvres dans les pays en voie de développement sont des principaux acteurs de la production du coton mondiale. Par conséquent, ils devraient être les principaux bénéficiaires du coton Bt si ils pouvaient avoir accès à la technologie. Actuellement, 4 à 5 millions de petits fermiers cultivent du coton sur des superficies petites à modestes dans une trentaine de pays en voie de développement qui n'ont pas adopté le coton Bt et de ce fait les fermiers n'ont pas accès à une technologie compétitive vitale qui pourrait leur fournir d'importants bénéfices environnementaux, économiques, sociaux et pour la santé. Le coton est souvent la seule culture de rapport pour les pauvres fermiers cultivant du coton et une perte due aux insectes nuisibles peut avoir un effet désastreux sur leurs moyens d'existence. Le coton est aussi la principale exportation de beaucoup de pays producteurs de coton dans les pays en voie de développement. Pour eux, les pertes de production dues aux principaux insectes nuisibles de la famille des Lépidoptères contre lesquels le coton Bt offre une

Table 6. Estimation du nombre de fermiers cultivant du coton dans le monde et taille des propriétés de coton, 2001

Pays	Fermiers cultivant le coton (Millions))	Superficie de coton (Million d'hectares)	Moyenne des surfaces cultivées avec du coton par ferme
Chine	11,000 ¹	4,8	0,4
Inde	4,000 ²	8,7	2,2
Afrique	2,500*	4,3	1,7
Pakistan	1,500*	3,1	2,1
Asie de l'Ouest ³	0,125*	1,0	8,0
CEI ⁴	0,300*	2,5	8,3
Asie du sud-est	0,250*	0,5	2,0
Amérique latine	0,150 ⁵	1,2	8,0
USA	0,030 ⁵	5,6	187,0
Australie	0,001 ⁵	0,4	330,0
Autres	0,219*	1,3	5,9
Total	20.075	33,4	

Source: Rassemblé par Clive James, 2002, à partir de sources variées incluant ICAC, 1999.

¹le nombre de fermiers peut varier de 9 à 13 millions (Huang 2002). Communication personnelle. ²Ag. Statistics Division, Dept. de l'Agriculture, Inde 2000. ³Turquie, Syrie et Iran. ⁴Communauté des Etats Indépendants, Ouzbékistan, et al. ⁵Estimation de l'industrie. *Estimation. Noter que la moyenne des propriétés est basée sur le nombre actuel de fermiers qui est arrondi au millier le plus proche dans la table.

bonne protection, peuvent avoir un effet dévastateur sur leur économie nationale qui traîne des dettes épouvantables et souffre de la récession économique mondiale actuelle.

5. Les insectes nuisibles du coton

Les insectes nuisibles du coton sont une contrainte majeure pour la production à cause des pertes de rendement significatives et de la dégradation de la qualité qu'ils engendrent. Cependant, les niveaux d'infestation des nuisibles spécifiques varient énormément d'année en année, de pays à pays et de région à région (Benedict & Altman 2001). Quoique jusqu'à 1'326 espèces d'insectes aient été reportées sur le coton dans le monde (Matthews 1994), le nombre

d'insectes nuisibles, qui sont économiquement importants, sont peu nombreux. La plupart des insectes nuisibles majeurs appartiennent aux espèces des chenilles (*Lepidoptera*). Ils sont énumérés dans la table 7 qui donne des informations sur le nombre de pays pour lesquels des mesures de contrôle sont nécessaires ainsi que les principaux nuisibles que l'on trouve dans les 10 plus grands pays producteurs de coton (Benedict and Altman 2001).

Pour cette revue dont le but est d'évaluer les performances du coton Bt jusqu'à présent et d'évaluer son futur potentiel global, les insectes nuisibles de la famille des lépidoptères sont : le ver rose de la capsule du cotonnier (*Pectinophora gossypiella*), qui demande un contrôle dans au moins 26 pays, le ver américain de la capsule (*Helicoverpa armigera*) qui nécessite un contrôle dans 24 pays, la chenille épineuse du coton

Table 7. Principaux lépidoptères nuisibles dans les pays producteurs de coton du monde

Nom commun	Nom scientifique	Nombre de pays nécessitant un contrôle	Insectes nuisibles les plus importants dans les pays producteurs									
			USA	Mexique	Brésil	Egypte	Turquie	CEI ¹	Pakistan	Inde	Chine	Australie
Ver américain de la capsule	<i>Helicoverpa armigera</i>	24					X	X	X	X	X	X
Ver	<i>Helicoverpa punctigera</i>	1										X
Anthonome	<i>Helicoverpa zea</i>	7	X	X								
Vers gris	<i>Agrotis</i> spp. Et autres	16	X					X				
Noctuelle méditerranéenne	<i>Spodoptera literoralis</i>	6				X						
Ver rose de la capsule du cotonnier	<i>Pectinophora gossypiella</i>	26	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Chenille épineuse du coton	<i>Earias</i> spp.	19					X		X	X		
Ver du bourgeon du tabac	<i>Heliothis virescens</i>	4	X	X	X							

Table 8. Liste globale des 33 pays avec plus de 100'000 ha en 2001, listes des insectes nuisibles majeurs et nombre moyen de pulvérisations d'insecticide/saison.

Pays	Surface Milliers ha	Anthonome ¹ du coton	Ver rose de la capsule du cotonnier ¹	Autres ³ antoho- noms	Ver du bourgeon du tabac	Prodénia	Nombre de Pulvérisations d'insecticides ⁶
Inde	8'730	X	X	X		X	6-12
USA	5'596	X*	X		X	X	2
Chine	4'824	X	X				8-12
Pakistan	3'125	X	X	X		X	6
Ouzbékistan	1'453	X	X	X			2-3
Brésil	750		X		X	X	8
Turquie	654	X	X	X		X	4
Turkménistan	550	X	X				2-3
Mali	516	X		X		X	5
Bénin	415	X	X				6
Australie	404	X		X			10
Nigeria	403	X	X				3-4
Tanzanie	392	X	X	X			2
Grèce	381		X				4
Zimbabwe	364	X	X	X			4
Burkina Faso	351	X	X	X			7-8
Egypte	315		X			X	6-8
Tchad	312	X		X			5
Côte d'Ivoire	285	X	X	X			6
Myanmar	270	X	X	X			4
Tadjikistan	258	X		X			3
Syrie	257	X		X		X	2
Mozambique	213	X	X	X			4-5
Iran	206	X		X	X	X	4-5
Cameroun	202	X	X	X	X		5
Ouganda	200	X	X	X			2
Kazakhstan	184	X		X			2-3
Togo	165	X	X	X			3
Argentine	152	X	X		X	X	4
Paraguay	150	X	X		X	X	7
Zambie	125	X	X	X			5
Soudan	123	X					5-6
Pérou	102	X	X		X	X	4-5
Autres	1'029						
Monde	33,457						

Source: ICAC, 2002 Communication personnelle complétée par d'autres sources. X signifie que les insectes peuvent être présents comme nuisibles majeurs : ¹*Helicoverpa armigera* **H. zea* dans les USA ²*Pectinophora gossypiella* ³*Earias* et *Diparopsis* spp. ⁴*Heliothis virescens* et autres spp. ⁵Prodénia (ou ver du cotonnier) et autres *Spodoptora* spp. ⁶ Nombre moyen de pulvérisations/saison pour lesquels les maxima et les minima peuvent varier significativement.

(*Earias* spp.) présente dans 19 pays, les noctuelles terricoles (ou “vers gris”) (*Agrotis* spp.) problématique dans 16 pays, le ver de l’épi de maïs (*Helicoverpa zea*) important dans 7 pays, le ver du cotonnier (*Spodoptera litoralis*) nécessitant un contrôle dans 6 pays, le ver du bourgeon du tabac (*Heliothis virescens*) requérant un contrôle dans 4 pays et un ver (*Helicoverpa punctigera*) trouvé seulement en Australie. Les Prodénias (ou ver du cotonnier) (*Spodoptera* spp.) ainsi que quelques autres lépidoptères nuisibles comme *Diaporopsis* spp. et *Alabama argillacea*, qui sont généralement d’importance secondaire sur une échelle mondiale mais puissent être important dans quelques régions ou durant certaines années, ne sont pas inclus dans cette liste. Dans le continent américain, l’anthonome du cotonnier (*Anthonomus grandis*) est un nuisible important dans quelques pays mais il est actuellement en cours d’éradication aux USA. Durant les vingt dernières années aux Etats-Unis, le complexe Noctuelle/ Tordeuse/Pique bouton a été de loin le complexe d’insectes le plus important pour les dommages causés au coton et sur une base mondiale, le complexe des divers anthonomes est aussi le plus important.

La table 8 liste les 33 pays par ordre décroissant de superficie de coton cultivant plus de 100’000 hectares en 2001-02. Elle identifie les insectes nuisibles qui sont économiquement importants dans les pays respectifs. Le ver américain de la capsule (*Helicoverpa armigera*) est le plus répandu, présent dans 30 des 33 pays, ce qui correspond à une fréquence de 90%. Il est suivi par le ver rose de la capsule du cotonnier présent dans 82% des pays. Les autres anthonomes comprenant *Earias* et *Diaporopsis* spp. se trouvent dans 63% des pays, le ver du cotonnier ou Prodénia (*Spodoptera* spp.) dans 33% et le ver du bourgeon du tabac (*Helicoverpa virescens*) dans 21% des pays. Il est évident que le ver américain de la capsule (*Helicoverpa armigera*), le ver rose de la capsule du cotonnier et les autres anthonomes comme la chenille épineuse du coton en association avec *Heliothis* sont d’importance majeure et sont connus pour causer des dommages et des pertes très sévères dans le monde. Ces arthropodes lépidoptères se nourrissent sur différentes plantes cultivées et ils migrent d’une plante

cultivée à l’autre. Des fortes infestations par ces insectes nuisibles peuvent conduire à des pertes très lourdes et de ce fait, des contrôles biologiques, culturels et chimiques avec les insecticides sont utilisés pour tenter de les contrôler. Par exemple, en Ouzbékistan, la guêpe *Trichogramma* est largement utilisée comme agent de contrôle biologique mais mondialement, les pulvérisations d’insecticides restent la principale méthode de contrôle. Les données de la table 8 montrent que tous les 33 pays utilisent les pulvérisations d’insecticides avec une moyenne de 2 à 12 applications par an. Cependant dans beaucoup de pays comme la Chine et l’Inde, le nombre maximum de pulvérisations d’insecticide dans quelques régions du pays où les infestations sont très importantes, peut atteindre jusqu’à 30 pulvérisations par saisons.

La séquence des événements menant à l’application d’insecticide est déclenchée quand le niveau d’infestation excède le seuil économique. Des insecticides à large spectre non seulement ne diminuent pas la population des ennemis naturels mais souvent entraînent l’apparition de résistance à l’insecticide chez l’insecte nuisible. Cela conduit à des applications d’insecticide moins efficaces jusqu’à ce qu’éventuellement des considérations de coût conduisent à l’abandon de l’insecticide en question ou au changement vers un insecticide alternatif quand ce cycle, appelé « syndrome pesticide » est répété (Doutt and Smith 1971, Benedict and Altman 2001). Parce que des infestations de nuisibles induites par les insecticides ont causé par le passé des pertes catastrophiques dans les cultures, le choix d’une gestion intégrée des nuisibles (IPM), qui a eu différents degrés de succès sur une base mondiale, a été fait. Les insecticides, qui ont été utilisés dans le monde en 2001 pour une valeur commerciale de 1,7 milliards de dollars, restent la principale méthode de contrôle des insectes nuisibles pour le coton. L’adoption du coton Bt aux USA en 1996 et en Chine en 1997 représente un nouveau concept de contrôle qui est un élément important de l’IPM.

Les données de la table 9 fournissent une vue d’ensemble et un résumé des niveaux relatifs d’infestation (faible, moyen, moyen à fort, fort) des lépidoptères nuisibles dans le top 50 des pays

producteurs de coton. Les superficies respectives de coton pour chaque pays sont aussi indiquées par ordre décroissant. Dix-neuf des cinquante pays (38%) sont dans la catégorie 1 pour laquelle plus de 70% des superficies de coton du pays sont infestés par des lépidoptères nuisibles. La catégorie 1 comprend 10 pays asiatiques y compris ceux qui cultivent une grande superficie de coton, Inde, Chine, Pakistan et Australie qui représentent 50% de la superficie mondiale de coton d'environ 33,5 millions d'hectares. Sept pays du continent américain sont aussi présents dans la catégorie 1 avec l'Égypte pour le continent africain et l'Espagne pour l'Europe. La surface totale de coton dans les pays de la catégorie 1 est de 18,4 millions d'hectares, ce qui équivaut à 55% des 33,5 millions d'hectares cultivés dans le monde. Sept des neuf pays qui ont déjà commercialisé le coton Bt se trouvent dans la catégorie 1. Les deux seules exceptions sont l'Afrique du Sud qui est dans la catégorie 2 avec une infestation moyenne à forte et les USA dans la catégorie 3 avec des infestations moyennes. Les essais en champs avec des variétés de coton Bt ont été conduit dans deux pays supplémentaires de la catégorie 1 (Espagne et Bolivie) portant le nombre total de pays qui ont autorisé ou essayé en champs le coton Bt à 9 sur les 19 pays de la catégorie 1 soit presque la moitié.

Dans la catégorie 2, infestations moyennes à fortes, 21 pays africains de toutes les régions du continent sont répertoriés : des pays de l'Afrique de l'Ouest, de l'Est, du centre et du sud. La superficie totale de coton dans les 21 pays africains est de 4,3 millions d'hectares, ce qui équivaut à 13 % de la surface mondiale de coton. L'Afrique du Sud est le seul pays ayant adopté le coton Bt qui appartient à la catégorie d'infestation moyenne à forte. Les essais en champs du coton Bt ont été conduit au Zimbabwe.

La catégorie 3 avec des infestations moyennes, couvrant de 31 à 70% de la superficie nationale de coton, comprend seulement deux pays, les USA et le Brésil. Les Etats-Unis ont adopté le coton Bt en 1996 et le Brésil a conduit des essais en champs de coton Bt. La superficie totale de coton dans ces deux pays, qui ont un niveau d'infestation moyen, est de 6,3 millions d'hectares ce qui équivaut à 19% de la superficie mondiale de coton.

La catégorie 4 avec le plus faible niveau d'infestation (jusqu'à 30 % de la superficie nationale de coton infestée par des lépidoptères nuisibles) comporte seulement huit pays sur un total de 50. Cette catégorie inclue quatre états d'Asie centrale, l'Ouzbékistan, la Turquie, l'Iran, la Syrie en Asie de l'Ouest et la Grèce. Aucun de ces pays avec un faible niveau d'infestation n'a adopté le coton Bt mais il a été testé en champs en Turquie et en Grèce. La superficie totale de coton dans ces huit pays est de 3,9 millions d'hectares ce qui équivaut à seulement 12% de la superficie mondiale du coton.

En résumé, 55% de la superficie mondiale de coton est fortement infestée avec des lépidoptères nuisibles (>70% des cotons sont infectés), 13 % ont un niveau d'infestation moyen à fort, 20% un niveau moyen d'infestation (31 à 70% d'infestation), et 12% de la superficie mondiale de coton se trouvent dans la catégorie pour laquelle moins de 30% des superficies nationales de coton infestées. Ainsi, 88% de la superficie mondiale du coton, soit 29 millions d'hectares, sont sujets à des infestations moyennes à fortes (de 31% à plus de 70% des superficies infestées) par des lépidoptères, sont susceptibles de bénéficier plus du coton Bt que des variétés traditionnelles.

6. Pertes pour les cultures et coût du contrôle

Il est reconnu que les insectes nuisibles causent des pertes significatives aux récoltes et peuvent être une contrainte majeure pour la productivité dans le monde. En absence de mesures de contrôle (variétés résistantes, insecticides, contrôle des cultures, IPM), les pertes potentielles dues aux insectes nuisibles du coton sur une base mondiale seraient de l'ordre de 35 à 41 % (Oerke 2002). Les pertes actuelles qui se produisent de nos jours malgré les mesures de contrôle mises en place, sont estimées entre 7 et 24 % (Table 10). Les pertes des récoltes sont corrélées au niveau d'infestation qui variera selon les années, les pays, les variétés de plantes cultivées. Les données de la table 10 montrent la gamme des pertes de récolte actuelles et potentielles pour différentes régions du

Table 9. Niveaux d'infestation par des lépidoptères nuisibles et superficie cultivée avec du coton (en milliers d'hectare) dans le top 50 des pays producteurs de coton

Niveau d'infestation par des nuisibles (F, MF, M, FA)	Asie	Amérique	Afrique	Europe	Nombre total de pays
CATEGORIE 1	FORT	FORT	FORT	FORT	
	Inde (8'730)	Argentine (152)	Egypte (315)	Espagne (88)	19 (38%)
	Chine (4'824)	Paraguay (150)			
	Pakistan (3'125)	Pérou (102)			
	Australie (404)	Mexique (80)			
	Myanmar (270)	Colombie (41)			
	Thaïlande (49)	Bolivie (15)			
	Vietnam (30)	Equateur (5)			
	Indonésie (22)				
	Bangladesh (17)				
	Philippines (3)				
CATEGORIE 2			MOYEN A FORT		
			Mali (516)		21 (42%)
			Bénin (415)		
			Nigeria (403)		
			Tanzanie (392)		
			Zimbabwe (364)		
			Burkina Faso (351)		
			Tchad (312)		
			Cote d'Ivoire (285)		
			Mozambique (213)		
			Cameroun (202)		
			Ouganda (200)		
			Togo (165)		
			Zambie (125)		
			Soudan (123)		
			Ethiopie (45)		
			Afrique du Sud (44)		
			Ghana (34)		
			Sénégal (33)		
			Kenya (30)		
			Guinée (30)		
			Madagascar (29)		
CATEGORIE 3		MOYEN			
		USA (5,596)			2 (4%)
		Brésil (750)			
CATEGORIE 4	FAIBLE			FAIBLE	
	Ouzbékistan (1'453)			Grèce (381)	8 (16%)
	Turquie (654)				
	Turkménistan (550)				
	Tadjikistan (258)				
	Syrie (257)				
	Iran (206)				
	Kazakhstan (184)				
Nombre Total de pays et %	17	34% 9	(18%) 22	(44%) 2	(4%) 50 (100%)

Source: Clive James, 2002. Estimations des infestations complétées par des sources diverses. **L** signifie Faibles infestations par des lépidoptères nuisibles (jusqu'à 30% de la superficie nationale de coton atteintes) ; **M** une infestation moyenne par des lépidoptères nuisibles (entre 31 et 70 % de la superficie nationale de coton atteinte) ; **MH** des infestations moyennes à fortes par des lépidoptères nuisibles. **H**. des infestations par des lépidoptères nuisibles (plus de 70% des superficies nationales de coton affectées).

Table 10. Fourchette des pertes actuelles et potentielles dues aux insectes nuisibles du coton pour différentes régions du monde.

	% de pertes actuelles avec contrôle	% de pertes potentielles sans contrôle
AFRIQUE		
de l'Est	24	35
de l'Ouest	23	34
du Sud	21	37
du Nord	9	41
Asie		
du Sud-est	18	33
du Sud	17	36
de l'Est	9	37
du Nord-est	9	38
Ameriques		
Amérique du Sud	13	39
Andes	13	39
Amérique du Nord	11	38
Centrale	7	37
CEI	11	37
EUROPE	9	35
OCEANIE	7	38

Source: Oerke, 2002 dans CABI Crop Protection Compendium, 2002

monde. Ces données sont des estimations générales globales qui sont utiles parce qu'elles montrent les différences d'ordre de magnitude ou la distribution des pertes pour les différentes régions.

Les données indiquent que les pertes potentielles mondiales moyennes de récolte dues aux insectes nuisibles du coton, en absence de toute mesure de contrôle, seraient de l'ordre de 37% sans différence significative entre les régions du monde. La comparaison entre la perte estimée et la perte moyenne actuelle d'environ 21 à 22 % suggère que les contrôles actuels permettent de conserver environ 15% du

rendement. Bien qu'il n'y ait pas de différences significatives entre les régions pour les pertes potentielles, il y a une différence substantielle entre les continents et les régions en ce qui concerne les pertes actuelles. Les plus fortes pertes actuelles se produisent en Afrique où elles sont de l'ordre de 20%, suivi par l'Asie à environ 13%, les Amériques à 11% et le CEI, l'Europe et l'Océanie avec respectivement 11, 9 et 7%. La distribution des pertes actuelles montre qu'elles sont généralement supérieures dans les pays en voie de développement de la zone tropicale que dans les pays industrialisés des régions tempérées.

Table 11. Pertes dues aux insectes nuisibles du coton aux Etats-Unis et coûts du contrôle par les insecticides ou d'autres moyens, de 1994 à 2001

	Pertes de rendement %	Pertes de rendement \$/ha	Coût du contrôle \$/ha	Pertes et contrôle \$/ha	Valeur des pertes et du contrôle (Dollars US)
1994	6,0	65	123	187	\$1,0 milliards
1995	11,1	140	145	285	\$1,7 milliards
1996	6,6	110	113	225	\$1,2 milliards
1997	9,4	145	133	278	\$1,5 milliards
1998	8,0	128	158	286	\$1,2 milliards
1999	7,7	108	125	233	\$1,3 milliards
2000	9,3	138	155	293	\$1,7 milliards
2001	4,5	67	130	197	\$1,2 milliards

Source: d'après M.R. Williams, 2002a www.msstate.edu/Entomology/Cotton.html

L'estimation des pertes actuelles dues aux insectes du coton réalisées par Oerke (2002) pour l'Amérique du Nord qui inclus les USA et le Mexique est de 11 %. Des estimations détaillées des pertes dues aux insectes nuisibles du coton aux USA ont été compilées depuis 1979 par des entomologistes spécialisés pour le coton sur la région de culture du coton aux Etats-Unis (Williams 2002a, 2002b, 2001, 2000, 1999, 1998, 1997, 1996 www.msstate.edu/Entomology/Cotton). La moyenne des pertes rapportée pour les 18 dernières années (1979-1996) était de 7,5% (Williams 1997b). Le complexe Noctuelle/ Tordeuse/Pique bouton était considéré comme le complexe de nuisibles le plus important sur les 13 trouvés durant ces 18 années. Pour la période 1994 à 2001, les pertes de coton dues aux insectes aux Etats-Unis se situent dans une fourchette 4,5 à 11,1 % (Table 11) avec une valeur de perte/hectare se situant entre 65 et 145 \$/hectare avec une moyenne d'environ 100 \$/ha. Ceci se traduit par une perte annuelle d'environ 500 millions de dollars au niveau national pour les Etats-Unis.

En plus de la valeur en dollars de la perte de récolte, les données des Etats-Unis de la table 11 incluent aussi le coût du contrôle dont la principale composante est

celui des insecticides et de leur application. Durant la période 1994 à 2001, les coûts de contrôle se situent entre 113 et 158 \$/ha. En prenant en compte tant la perte de récolte que le coût de contrôle qui est le coût total associé aux insectes nuisibles du coton pour le fermier des Etats-Unis, on obtient une fourchette 187-293 \$/ha, ce qui est substantiel. Les insectes nuisibles provoquent des pertes annuelles nationales pour les Etats Unis de l'ordre de 1 à 1,7 milliards de dollars.

Si l'on tient compte que la plus grande proportion de coton est cultivée dans les pays en voie de développement de la zone tropicale où les infestations et les pertes de récoltes sont supérieures et où un plus grand nombre de pulvérisations d'insecticides sont nécessaires, le coût total dû aux insectes du coton est substantiel. En reconnaissant qu'il n'y a pas de base de données uniforme et de méthodologie disponible pour calculer des valeurs précises pour les pertes de récolte et les coûts de contrôle associés globalement aux insectes du coton, des données variées sont utilisées pour obtenir des estimations donnant une indication de l'ordre de magnitude. La base de données des USA (Williams 1997b, 2002a) est de loin la plus rigoureuse et la plus détaillée avec une moyenne à

long-terme pour les pertes de récolte de 7,5% plus les coûts de contrôle soit une valeur moyenne de 1,4 milliards de dollars annuellement. Les estimations de Oerke pour les pertes par régions du globe se situent entre 7 et 24 % avec une moyenne d'environ 15%.

Avec une perte brute de l'ordre de 15% globalement, la perte de récolte due aux insectes nuisibles du coton en se basant sur une production de 20 milliards de dollars en 2000-01 est estimée à 3 milliards de dollars plus 1,7 milliards de dollars pour les insecticides ce qui représente un coût total d'environ 5 milliards. Cette estimation est modérée étant donné que les coûts d'application des insecticides ne sont pas inclus. La moyenne annuelle des coûts pour les seuls Etats-Unis est de 1,4 milliards de dollars pour la période 1994-2001. Les pertes annuelles dues à l'anthrome seul sont estimées à 1,2 milliards de dollars en Chine (Jia 1998) et à 300 millions de dollars en Inde (King 1994). Il est clair d'après les dernières références et d'autres que le complexe de l'anthrome est le composant majeur des pertes de récolte associées aux insectes du coton tant dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés. Le complexe de l'anthrome du coton coûte probablement aux fermiers producteurs de coton dans le monde entier environ 3 milliards de dollars annuellement. Ceci comprend les pertes de récolte et les coûts de contrôle sans tenir compte des coûts liés aux heures de travail pour la pulvérisation. Les données expérimentales publiées au sujet de l'augmentation de la production du coton Bt par rapport au coton conventionnel, confirment les indications disponibles selon lesquelles une augmentation du rendement de 10% au moins est représentative pour les Etats-Unis (Kerby 1996, Benedict and Altman 2001). Cette augmentation de rendement peut atteindre plus de 30% dans les principaux producteurs de coton dans des pays comme l'Inde (Naik 2001) qui souffrent de fortes infestations par le complexe de l'anthrome. Ainsi, en excluant les coûts importants de main-d'œuvre liés à plusieurs pulvérisations d'insecticides sur les 33,5 millions d'hectares de coton, les insectes nuisibles coûtent au moins 5 milliards de dollars annuellement, le principal nuisible étant l'anthrome (ou ver des épis de maïs).

7. Le marché mondial des insecticides pour le coton

Sur une base mondiale, le coût des insecticides pour le coton au niveau de la ferme en 2001 était de 1,719 milliards de dollars (Wood Mackenzie 2002) (Table 12). Le coût des insecticides par hectare dans les pays en voie de développement peut s'élever à 200 \$/ha pour des pays comme le Brésil. En terme de pourcentage des coûts opérationnels de production du coton, les insecticides peuvent représenter jusqu'à 45% en Inde et au Pakistan. Calculé en pourcentage des dépenses totales nationales en insecticides pour toutes les plantes cultivées, les insecticides utilisés le coton sont les plus importants en Afrique du Centre et de l'Ouest avec 80%, puis au Pakistan avec 70%, en Inde avec 48% et au Brésil avec 25%. La dépendance en insecticides pour le coton des pays en voie de développement est forte et, dans plusieurs cas, elle représente des privations pour les producteurs quand le prix international du coton est faible et que le coton est la seule plante de rapport.

Les données de la table 12 donnent une vue générale des coûts des insecticides utilisés par les fermiers pour traiter le coton, qui atteint la somme de 1'719 milliards de dollars en 2001 pour le monde entier. Dans cette valeur les coûts de main-d'œuvre liés aux applications des insecticides par les producteurs ne sont pas inclus bien qu'ils soient très importants avec un nombre de pulvérisation moyen (au niveau mondial) compris entre 2 à 12 soit une moyenne d'environ 5,5 pulvérisations sur 33,5 millions d'hectares de coton. L'Asie est de loin, le plus grand marché pour les insecticides destinés au coton (961 millions de dollars). La majorité des pays concernés sont des pays en voie de développement (811 millions de dollars), principalement l'Inde, la Chine et le Pakistan. La CEI et l'Australie ont des marchés estimés à 92 et 57 millions de dollars respectivement. Il convient de noter que les ventes d'insecticides en Chine en 2001 diminuaient de plus de 10% par rapport à 2000, alors qu'elles étaient légèrement supérieures en Inde et au Pakistan en 2001. La diminution de la vente d'insecticides pour le coton en Chine est corrélée avec une augmentation significative des superficies cultivées avec du coton Bt d'environ 1 million d'hectare pour l'année 2001.

Table 12. Valeur globale des insecticides pour le coton au niveau de la ferme, 2001

Région/Pays	Millions de \$
ASIE	
Pays en voie de développement	811
CEI	92
Australie	57
Sous-total	961
Ameriques	
USA	340
Brésil	179
Amérique latine (Reste)	38
Sous-total	557
AFRIQUE	194
EUROPE	7
TOTAL MONDIAL	1'719

Source: Wood Mackenzie, 2002. Communication personnelle

Le coût des insecticides utilisés pour le coton en Asie, avec 961 millions de dollars, est 70% plus élevé que celui des Amériques (557 millions de dollars) où le marché le plus important est celui des Etats-Unis avec 340 millions de dollars ce qui correspond aussi à celui de l'Inde. Le marché des insecticides pour le coton en Afrique est important avec 194 millions de dollars et, contrairement à l'Asie, il n'y a pas de pays comme la Chine, l'Inde et le Pakistan, qui dominent et constituent une grande partie du pourcentage du marché. Au contraire, le marché africain comprend 22 pays qui ont chacun un marché évalué à une moyenne de moins de 10 millions de dollars. Le plus petit marché est celui de l'Europe (évalué à 7 millions de dollars) où le coton est cultivé en Espagne et en Grèce.

En résumé, l'Asie est le continent qui obtient la plus grande part (56%) du marché mondial des insecticides utilisés pour le coton suivi par les Amériques avec 32 %, l'Afrique (11%) et l'Europe avec moins de 1%. En Asie, les pays en voie de développement sont de loin les plus importants, représentant plus de 80% du marché avec le CEI (principalement l'Ouzbékistan) et l'Australie qui représentent respectivement seulement

respectivement 5 et 3 % du marché mondial. Les Amériques représentent 32 % du marché mondial avec les Etats-Unis qui sont le principal pays (60%), le Brésil (10%) et les 30% restant dans les autres pays en Amérique latine.

8 L'utilisation du gène Bt chez le coton

Bacillus thuringiensis est une espèce de bactérie formant des spores qui se trouve de façon commune dans le sol. Le gène Bt produit une protéine cristalline naturelle qui lorsqu'elle est ingérée par les insectes nuisibles cause la paralysie de leur tube digestif ce qui est létal. Les pulvérisations foliaires de Bt sont utilisées depuis 50 ans pour contrôler les insectes nuisibles et elles ont donc une longue histoire d'utilisation sûre. Les pulvérisations de Bt sont un des rares insecticides autorisés en agriculture biologique. Le coton Bt commercialement disponible aujourd'hui contient des gènes d'un isolat de *B. thuringiensis*, ssp *kurstaki* qui produit Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry2A (Benedict and Altman 2001).

8.1 Bollgard® et le double gène chinois Bt

Les gènes Bt qui sont actuellement utilisés proviennent de deux sources. Monsanto a développé et utilisé le gène Cry1 Ac dans ses variétés Bollgard® qui sont les plus largement utilisées dans les neuf pays qui cultivent du coton Bt. La seconde source est le gène Bt fusionné qui a été développé par l'Académie chinoise des Sciences Agricoles (CAAS) à Pékin, Chine. Les variétés de coton Bt du CAAS utilisées en plantations commerciales contiennent un gène Bt fusionné Cry1Ab/Cry1Ac. Ce coton est planté dans les quatre provinces de Anhui, Shangdong, Shanxi et Hubei (Jia 1998, James 1998). Le gène de la trypsine du niébé (ou mongette), CpTi, qui a un mécanisme de résistance aux insectes différent de celui du Bt, a aussi été incorporé par le CAAS dans un gène double avec le Bt pour quelques variétés. En 1999, les cotons du CAAS comportant un seul gène Bt et les cotons avec des gènes double Bt/CpTi, élaboré pour fournir une résistance plus durable, ont été plantés dans neuf provinces au lieu de 4 provinces en 1998.

Le gène Bt le plus répandu sur une base globale, Cry1Ac, a été incorporé dans le coton Coker 312 désigné sous le nom de MON 531 par Monsanto

(Perlak et al 2001) et nommé plus tard coton Bollgard®. Une efficacité de transformation élevée a été obtenue pour Coker avec *Agrobacterium tumefaciens*. Le Coker transformé a été ensuite rétrocroisé avec les lignées de Delta and Pine Land et d'autres sociétés qui ont les qualités agronomiques nécessaires pour être acceptées en plantation commerciale. Les données de la table 13 montrent l'efficacité du gène Cry1Ac présent dans la variété Bollgard® pour contrôler les principaux lépidoptères nuisibles du coton. Le plus fort niveau d'efficacité est obtenu pour le ver rose de la capsule du cotonnier (99%) suivi par le ver du bourgeon du tabac (95%) et l'anthonome avec (70 à 90%). Le contrôle des autres nuisibles du coton, le *Bucculatrix thurberiella* et le lépidoptère *Estigmene acrea* (Drury) est d'au moins 85% alors que celui de la noctuelle défoliatrice est de 20%.

Les avantages de la protéine Cry1Ac dans la variété Bollgard®, par rapport aux pulvérisations de coton avec Bt, résumés par Benedict and Altman, (2001), sont les suivantes :

- la protéine active donne une dose de contrôle moyenne à forte qui permet un excellent contrôle de quelques lépidoptères nuisibles

Table 13. Estimation du niveau de contrôle des chenilles nuisibles procuré par le coton Bollgard® I aux Etats-Unis

Nuisibles	% de Contrôle ¹
1. ver rose de la capsule du cotonnier	99
2. ver du bourgeon du tabac	95
3. anthonome avant la floraison	90
Floraison	70
4. <i>Bucculatrix thurberiella</i>	85 ou plus
5. <i>Estigmene acrea</i>	85 ou plus
6. noctuelle défoliatrice	20 ou moins

Source: Modifié à partir de Benedict and Altman, 2001. Données reproduites avec la permission des auteurs, J.H. Benedict and D.W. Altman du chapitre 'Commercialization of Transgenic Cotton Expressing Insecticidal Crystal Protein' pp. 137-201 dans J.J. Jenkins and S. Saha (ed) Genetic Improvement of Cotton: Emerging Technologies. Publié par Science Publications, Enfield, N.H., USA.

¹Mesuré comme un pourcentage de mortalité des larves récemment récoltées.

- la protéine active est exprimée dans toutes les parties de la plante.
- la protéine active est exprimée pendant toute la saison, et par la même, les fermiers ne sont plus obligés de se conformer au calendrier des traitements insecticides en relation avec l'infestation
- les lessivages des insecticides durant les pluies et les dégradations dues à la lumière du soleil ne doivent plus être pris en considération comme c'était le cas pour les pulvérisations.
- les fermiers sont moins exposés aux insecticides
- la technologie permet d'économiser du travail grâce à l'élimination ou à la réduction du nombre de pulvérisations d'insecticides.
- les risques de la production sont minimisés et le fermier est assuré d'un bon contrôle à un coût avantageux
- le coton Bt contribue à et fourni les bases d'une stratégie IPM

Parallèlement au déploiement des gènes Bt actuels dans les cotons commercialisés, des programmes de recherche et de développement ont été développés pour améliorer les cotons Bt. Le premier à être autorisé pour la production commerciale était le gène double gène Bollgard® II de la société Monsanto qui a été autorisé en septembre 2001 et en Australie pour la saison 2002-03. Il est prévu de l'utiliser en champs à l'échelle commerciale aux Etats-Unis dès que son autorisation légale sera donnée (elle est attendue en 2003). La société Dow AgroSciences a aussi annoncé qu'elle espérait commercialiser un coton Bt avec un gène double aux USA en 2004 (Dow AgroSciences 2002) et Syngenta prévoit de commercialiser un coton avec un nouveau gène VIP de résistance aux insectes aux USA en 2004 avec une libération volontaire ultérieure en Australie (Syngenta, 2002).

8.2 Le coton Bollgard® II

Le Bollgard®, la première génération de coton Bt développé par Monsanto avec un gène Bt Cry1Ac, a été cultivé avec succès sur plus de 10 millions hectares par des millions de fermiers dans neuf pays depuis son introduction en 1996. Les producteurs ont bénéficié des réductions d'utilisation d'insecticides, de forts rendements et des bénéfices économiques supérieurs. Tandis que la société a bénéficié d'un environnement plus sûr et des prix plus abordables pour le coton. . Bollgard® a apporté des bénéfices importants pour l'agronomie, l'environnement, la santé et l'économie tant pour les petits que pour les gros fermiers des pays en voie de développement et des pays industrialisés.

La stratégie de gestion des résistances des insectes (IRM) au coton Bt développée par Monsanto, en collaboration avec le Département de l'Agriculture des Etats-Unis (USDA) et les Universités, avant l'introduction du Bollgard® a anticipé les futurs développements du coton Bt et planifié le développement d'une deuxième génération de coton Bt amélioré qui contient deux gènes Bt maintenant désigné sous le nom de Bollgard® II. Le nouveau produit, Bollgard® II, événement 15985 a été développé avec la technique de transformation végétale par accélération de particule qui a permis d'ajouter le gène Cry2Ab à la lignée de coton DP50B contenant déjà le gène Cry1Ac (Carpenter et al 2002, Rahn et al 2001). Le Bollgard® II, seconde génération de la technologie de coton Bt, contient deux gènes différents qui codent pour des protéines de *Bacillus thuringiensis*: Cry2Ab et Cry1Ac. Le dernier gène code pour la protéine déjà présente dans la première génération de variétés de coton Bt. Les cultivars avec deux gènes Bt sont supposés fournir au cultivateur un contrôle plus grand pour une large palette d'insectes que la première génération de variétés Bt tandis qu'ils offrent un excellent contrôle pour le ver du bourgeon du tabac (*Heliothis virescens* (F.)) et le ver rose de la capsule du cotonnier (*Pectinophora gossypiella* (Saunders)) (Perlak et al 2001). Une meilleure efficacité contre plusieurs insectes nuisibles a été démontrée dans les essais en conditions de laboratoire ou de champs. Des essais biologiques (Perlak et al

2001) en utilisant un tissu végétal isolé ont montré que les variétés avec le deux gènes Bt ont une meilleure activité (Table 14) contre l'anthronome du coton (*Helicoverpa zea* (Boddie) (le contrôle qui a augmenté de 84,4 à 92,2%), la noctuelle défoliatrice (*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (augmentation de 16,1 à 100%), le légionnaire de la betterave (*Spodoptera exigua* (Hubner) (50.1 à 94.9%) et le *Pseudoplusia includens* (de 1,2 à 97,4%) (Perlak et al 2001, Stewart et al 2001). Il a été montré que la survie des anthonomes spécialement sur des structures florales est significativement plus faible avec les plantes Bt qui contiennent les deux gènes dans des essais biologiques sur tissus frais (Gore et al 2001). Dans les essais en champs, les dommages dus à l'anthronome du coton sont moins importants pour les variétés de coton exprimant à la fois les deux gènes en comparaison avec les variétés de coton Bt ne contenant qu'un seul gène, bien que la pression des anthonomes soit faible (Jackson et al 2001, 2000). Une amélioration de l'efficacité en champs a aussi été observée pour des études concernant le ver rose de la capsule du cotonnier en Arizona, USA (Marchosky et al 2001).

En plus d'augmenter l'efficacité, les variétés avec deux gènes peuvent, surtout, servir de nouvel outil pour combattre le développement potentiel des résistances chez les insectes dans les champs de coton en fournissant un deuxième mode d'action pour contrôler ces nuisibles. Les protéines Cry2A ont des caractéristiques distinctes de celles de la protéine Cry1Ac (English and Slatin 1992, English et al 1994) et la séquence en acides aminés des protéines est entièrement différente avec moins un pourcentage d'identité de séquences inférieur à 30% (Crickmore et al 1998). Les gènes appariés sont un outil utilisé pour retarder le début d'apparition de résistances (Roush 1994, Gould 1998). Les informations indiquent que le gène Cry2Ab produit une seconde dose élevée indépendante pour lutter contre le ver du bourgeon du tabac et ainsi les toxines appariées peuvent résulter en un contrôle redondant, aidant les stratégies de gestion des résistances (Greenplate et al, In press).

Par conséquent, le Bollgard® II représente un développement important dans trois perspectives.

Premièrement, les deux gènes diminuent la probabilité qu'une résistance se développe et ceci est une contribution très importante pour la durabilité de la résistance Bt (Gould 1998). Deuxièmement, ils augmentent l'efficacité du contrôle pour quelques-uns des principaux lépidoptères nuisibles. Troisièmement, ils augmentent le spectre des nuisibles qui peuvent être contrôlés en incluant plusieurs nuisibles secondaires y compris les vers du cotonnier (Prodenia) et les chenilles. Des essais en champs de grande surface confirment que le Bollgard® II donne un meilleur contrôle (Catchot 2001, Norman and Sparks 2001, Lorenz et al 2001, Penn et al 2001, Ridge et al 2000). Gianessi et al (2002) estiment que la plantation du Bollgard® aux USA seuls en 2001 a réduit les applications d'insecticides de 848 tonnes. L'amélioration du contrôle des principaux nuisibles du complexe Noctuelle/ Tordeuse/Pique bouton chez le Bollgard® II et le contrôle de lépidoptères nuisibles secondaires devrait réduire encore les besoins en insecticides aux USA et augmenter le rendement. Collectivement le Bollgard® II va faciliter la mise en œuvre de l'IPM et contribuer à un système de production de coton durable et lucratif.

Le Bollgard® II a été autorisé pour son utilisation en Australie en septembre 2002 et on attend que plus de 5'000 hectares seront plantés en 2002-03 avec le projet qu'il remplace la construction avec un seul gène INGARD®, entièrement en 2004-05. Contrairement à la construction comportant un seul gène, qui était limitée à 30% de la superficie, le Bollgard® II n'est pas sujet à cette restriction, et éventuellement occupera une superficie de 70% au moins de la superficie de coton en Australie. Aux USA, la demande pour le Bollgard® II est en instance et son introduction devrait se faire immédiatement aux USA en 2003. Il est probable que le Bollgard® I sera retiré de la production commerciale aux USA dès que le Bollgard® II deviendra disponible. Le Bollgard® II est un nouvel élément qui est important dans la stratégie de gestion de l'apparition de résistances chez les insectes nuisibles du coton. Il fournit un outil supplémentaire pour faciliter la mise en œuvre de l'IPM et pour optimiser la durabilité des gènes Bt et les bénéfices multiples et importants qu'il offre.

8.3 Autres nouvelles variétés de cotons résistant aux insectes attendus

En 2002, Dow AgroSciences a annoncé le développement d'un nouveau coton Bt avec des caractères qui confèrent une résistance à large spectre aux lépidoptères nuisibles du coton. Ces derniers incluent le ver du bourgeon du tabac, l'anthonome, le ver rose de la capsule du cotonnier, la noctuelle défoliatrice, le légionnaire de la betterave et les chenilles. La nouvelle variété de coton Bt contient deux gènes Cry1Ac et Cry1F, a été transformé avec *Agrobacterium tumefaciens* et a été rétrocroisé dans plusieurs variétés commerciales de coton de bonne qualité (Dow AgroSciences 2002, Personal Communication).

Un permis pour une utilisation expérimentale a été déposé par l'EPA fin 2001 et un dossier complet a été soumis durant la saison 2002, et une autorisation complète anticipée a été obtenue début 2004. Le nouveau coton Bt sera commercialisé par Phytogen Seed Co. et Dow AgroSciences qui sont en train de discuter la délivrance d'une autorisation large pour le produit avec plusieurs autres sociétés de semences de coton aux USA. Des possibilités de commercialisation internationale du produit sont en cours d'exploration. L'autorisation d'importation pour le produit est en cours d'examen au Japon, au Canada et au Mexique.

Syngenta prévoit de commercialiser un coton avec un nouveau gène de résistance aux insectes VIP aux USA en 2004 ; une dissémination volontaire prochaine en Australie (Syngenta 2002).

9 Bénéfices agronomiques, environnementaux, sociaux et économiques

Le coton Bt fournit des bénéfices multiples importants aux producteurs et à la société (Qaim and de Janvry 2002, Ismael et al 2002a,b,c, 2001, Carpenter et al 2002, Gianessi et al 2002, ISAAA 2002a,b,c,d,e, Huang et al 2002, Pray et al 2002, 2001, Naik 2001, Benedict and Altman 2001, Edge et al 2001, Perlak et al 2001, Traxler et al 2001). Ces bénéfices consistent

en des avantages agronomiques, environnementaux, sociaux et économiques importants. Ces bénéfices sont obtenus par les cultivateurs à travers de l'augmentation des rendements, de la réduction des coûts de production, de bénéfices environnementaux découlant de l'utilisation réduite des insecticides synthétiques à large spectre, de bénéfices pour la santé dérivant d'une utilisation d'une forme sûre de contrôle des insectes et de bénéfices sociaux qui arrivent grâce aux bénéfices accrus. Dans le même temps, il permet aux cultivateurs de gagner du temps pour les fermiers et leurs familles, spécialement dans les pays en voie de développement. Les principaux bénéfices agronomiques, environnementaux, sociaux et économiques sont discutés ainsi que les bénéfices secondaires qui en dérivent.

9.1 Bénéfices agronomiques

9.1.1 Augmentation du rendement et amélioration du contrôle des nuisibles

Le principal attribut agronomique du coton Bt sur les cotons traditionnels est sa capacité à produire des rendements significativement plus élevés en présence d'infestation par les principaux lépidoptères nuisibles. Ceci est le reflet du plus grand niveau de résistance donné par les gènes Bt, particulièrement vis-à-vis du complexe de l'anthonome. Des rendements supérieurs, ajoutés à des coûts de contrôle des insectes plus faibles sont habituellement les principaux éléments de l'augmentation de la rentabilité liée au coton Bt. Etant donné que les infestations des nuisibles varient de façon significative d'un pays à l'autre et d'une année à la suivante, l'augmentation de rendement du coton Bt devrait être aussi fortement variable. Les données de la table 14 énumèrent les augmentations moyennes des rendements (exprimées comme un pourcentage de la récolte du non-Bt correspondant) dans les huit pays qui ont autorisé et qui cultivent maintenant commercialement le coton Bt. Il est évident que les augmentations de rendement sont fortement variables et plusieurs caractéristiques qui méritent un commentaire.

Table 14. Augmentation globale des rendements pour le coton Bt dans quelques pays

Pays	% d'augmentation du rendement ¹
Inde	38
Argentine	35
Indonésie	30
Afrique du Sud	24
Mexique	11
USA	10+
Chine	5 to 10
Australie	pas significatif

Source: Rassemblé par Clive James, 2002

Données des pays ayant fait l'objet d'une étude de cas dans la publication originale

¹Augmentation par rapport aux non-Bt

En reconnaissant que les résultats obtenus jusqu'à maintenant se basent seulement sur des expériences en champs, il est remarquable que l'Inde, un pays situé dans les tropiques, ait rapporté quelques-uns des plus fortes augmentations moyennes de rendement associées avec la culture du coton Bt. Naik (2001) a rapporté une augmentation moyenne de 38%. De fortes augmentations de rendement du même ordre ont été régulièrement rapportées pour des essais en champs à grande échelle de plusieurs années sur plusieurs localisations en Inde. En 2001 quand les infestations par les insectes nuisibles du coton étaient fortes en Inde, l'augmentation des rendements dans les expériences était exceptionnellement élevée, jusqu'à 90% (ICAR 2002). Au contraire, la Chine, un pays tempéré qui souffre aussi de fortes infestations par des nuisibles qui, par moment, nécessitent jusqu'à 28-30 pulvérisations par saison, a régulièrement rapporté des augmentations de rendement plus modestes de 5 à 10% (Pray et al 2002, 2001). Les augmentations de rendement pour la Chine sont légèrement plus faibles que celles obtenues aux USA où l'augmentation moyenne est estimée à au moins 10% (Benedict and Altman 2001). Enfin, l'Australie qui applique normalement au moins 10 pulvérisations pour

Table 15. Augmentation de la production de fibres due au coton Bt aux USA

	Tonnes
1998	80'740
1999	117'935
2001	84'085

Sources: Carpenter and Gianessi, 2001; Gianessi et al., 2002

contrôler les fortes infestations, n'a pas annoncé d'augmentation significative du rendement sur la période de quatre ans, 1996/1997 à 1999/2000 (Fitt 2002 In Press). Des informations plus détaillées sur l'augmentation du rendement pour quelques pays se trouvent dans les cas d'études de pays dans les pages 85 à 136 de cette publication.

La littérature comporte de nombreuses confirmations que le coton Bt fournit un meilleur contrôle des nuisibles pour les principaux lépidoptères nuisibles, ce qui résulte en des augmentations significatives des rendements (Carpenter et al 2002, Pray et al 2002, Ismael et al 2002a,b,c, Benedict and Altman 2001, Edge et al 2001, Traxler et al 2001). Seulement aux USA, le coton Bt augmente la production de fibres de 80'704 tonnes en 1998, 117'935 tonnes en 1999 pour atteindre 84'085 tonnes en 2001 soit un total de 282'724 tonnes de fibres supplémentaires pour la période de trois ans (Gianesi et al 2002, Carpenter and Gianessi 2001) (cf. table 15). Aux USA en 2001, l'augmentation de fibres due au coton Bt est évaluée à 115 millions de dollars, ce qui équivaut à environ 3% de la production totale annuelle de fibres aux USA, estimée à environ 4 milliards. En Chine, l'augmentation des graines de coton (qui est d'environ trois fois le poids de la fibre) pour 1999 était de 80'000 tonnes sur 0,4 millions d'hectares et de 514'000 tonnes sur 1,5 millions d'hectares en 2001.

Table 16. Estimations des réductions du nombre de pulvérisations d'insecticides pour le coton Bt dans quelques pays par saison

Pays	Réduction du nombre de pulvérisations d'insecticides
Chine	Jusqu'à 14
Indonésie	Jusqu'à 8
Afrique du Sud	Jusqu'à 7
Australie	Jusqu'à 7
Inde	Jusqu'à 5
Mexique	Jusqu'à 3
Argentine	Jusqu'à 3
USA	Jusqu'à 2

Source: Rassemblé par Clive James, 2002 à partir de différentes sources et des études de cas par pays de la publication originale

9.2 Bénéfices environnementaux

9.2.1 Réduction de l'utilisation des insecticides sur le coton.

Le coton Bt a entraîné une diminution significative en nombre de pulvérisations d'insecticides nécessaires pour contrôler la majorité des lépidoptères nuisibles. De son côté, cette réduction a eu un impact majeur sur le nombre total de traitements insecticides du coton Bt. Comme prévu, la réduction du nombre de pulvérisations est en relation avec le degré d'infestation qui varie significativement selon les saisons et les pays. L'énumération de la table 16 indique que la plus forte diminution enregistrée au niveau national était celle de la Chine en 2001 où le nombre de pulvérisations nécessaires pour le coton Bt a diminué de moitié, de 28 à 14 pulvérisations, un gain de 14 pulvérisations.

L'Indonésie a rapporté une diminution de 10 à 2 pulvérisations soit un gain de 8 pulvérisations (ISAAA 2002e) et l'Afrique du Sud une diminution de 11 à 4 pulvérisations soit un gain de 7 pulvérisations pour

les petites fermes de la région des Makhathini Flats (Ismael et al 2002a,b,c). Le coton conventionnel en Australie nécessite habituellement au moins 10 pulvérisations et pour le coton Bt, le nombre de pulvérisations a été réduit à une moyenne de 11,2 à 6,5 soit un gain de 4,7 pulvérisations (Fitt 2002/In Press). D'autres sources rapportent que les producteurs de coton en Australie bénéficient de réductions importantes qui varient entre 27 et 61% avec une réduction moyenne de 43 % soit 7,7 pulvérisations de moins par hectare (Betz et al 2000). Avant la commercialisation du coton Bt en Inde en 2002, les données d'un grand nombre d'essais multi-localisations indiquent que, en moyenne, le coton Bt réduirait le besoin en insecticides de 7 à 2-3 pulvérisations soit un gain de 4-5 pulvérisations. Au Mexique, le nombre moyen d'applications d'insecticide a été réduit de 42% en 1999 et de 33% en 2000 (Sanchez-Arellano 2000). Traxler et al (2001) rapportent aussi une diminution de 5 à 2-3 pulvérisations pour le Mexique. L'Argentine (Qaim and de Janvry 2002) rapporte une réduction de 5 à 2-3 pulvérisations soit un gain de 2-3 pulvérisations. Aux USA, les gains associés avec le coton Bt ont été estimés à 2,2 pulvérisations (Benedict and Altman 2001). En tenant compte de l'envergure et de l'échelle de la réduction du nombre de pulvérisations d'insecticide dans huit pays qui cultivent le coton Bt, on peut conclure qu'en moyenne, le nombre de traitements a été réduit d'au moins la moitié, avec une réduction absolue qui varie de 2 à 14 pulvérisations. C'est une réduction importante qui a des implications énormes en terme d'impact sur l'environnement, la santé, le gain d'eau, l'économie et la société sur la vie des petits fermiers des pays en voie de développement.

En terme de volume absolu d'insecticide économisé, les gains les plus importants ont été réalisés en Chine et aux USA parce que ces pays ont de grandes superficies de coton. Pour la Chine, le gain de 14 pulvérisations en 2001 équivalait à une économie d'insecticide formulé de 54.6 /kg/hectare [de 87.5kg/hectare (pour les variétés non-Bt) à 32.9kg/hectare (variétés Bt)], pour une économie au niveau national de 78'000 tonnes d'insecticide formulé (Pray et al 2002, Huang et al 2002). En 2000, le nombre de pulvérisations nécessaires pour le coton Bt en Chine

Table 17. Réduction de l'utilisation de l'insecticide sur le coton en Chine en 1999, 2000, 2001

Année	Réduction du nombre de pulvérisations	Gain en insecticides (kg/ha)	Economies nationales en insecticide (produit formulé)
1999	13	48.9	20'000
2000	12	28.0	25'000 ¹
2001	14	54.6	78'000
Total/Moy.	Moyenne 13	Moyenne 44.7	Total 123'000

Source: Pray et al., 2002a. ¹Estimation à partir de données

diminue aussi de presque les deux tiers de 21 à 9 pulvérisations, soit un gain de 12 pulvérisations. Les économies correspondantes dans la quantité d'insecticides étaient de 28.0 kg/hectare [de 48.5kg/hectare (variétés non-Bt) à 20.5kg/hectare (variétés Bt)] pour une économie au niveau national d'environ 25'000 tonnes d'insecticide formulé. Pour la Chine en 1999, le nombre de pulvérisations nécessaires pour le coton Bt a encore diminué des deux tiers de 20 à 7 pulvérisations, soit une économie de 13 pulvérisations. Les quantités d'insecticides économisées étaient de 48,9 kg/hectare de 60,7 kg/hectares (variétés non-Bt) à 11,8 kg/hectare (variétés Bt). Les données de Pray et al (2002) indiquent que le coton Bt seulement en Chine réduit l'utilisation d'insecticide de 20'000 tonnes d'insecticide formulé en 1999 sur 0,4 millions d'hectares, 25'000 tonnes en 2000 pour environ 0,9 millions d'hectares et de 78'000 tonnes en 2001 sur environ 1,5 millions d'hectares pour une économie sur trois ans de 123'000 tonnes d'insecticide formulé (table 17). En résumé sur la période de 3 ans, de 1999 à 2001, en Chine, la moyenne annuelle des gains en insecticides pour le coton due à l'utilisation de variétés Bt était de 13 pulvérisations ce qui équivaut à 44,7 kg/hectare d'insecticide formulé pour un total substantiel de 123'000 tonnes d'insecticide formulé pour la période de trois ans.

Ces gains en insecticides sont importants quel que soit le critère et vont augmenter avec l'augmentation de la

superficie cultivée avec du coton Bt, spécialement dans les pays producteurs de coton largement infestés comme l'Inde. En outre, ces gains d'insecticides se produiront aussi dans des pays comme l'Australie et les USA, car les nouvelles technologies comme le Bollgard® II, qui sont introduites vont apporter un contrôle plus efficace des principaux lépidoptères et des autres nuisibles et un spectre d'action élargi contre les nuisibles secondaires. Les plus fortes économies par hectare associées avec le besoin d'insecticides ont été rapportées pour la Chine (jusqu'à 300\$/hectare), suivie par le Mexique (159 \$/hectare), les USA (50 \$/hectare), l'Afrique du Sud (45 \$/hectare), l'Australie (20 \$/hectare) et l'Argentine (17 \$/hectare). Des économies sont fort probables en Inde à partir de 2002

Le marché mondial des insecticides pour le coton, mesuré en tonnes de matière active (a.i) était estimé à 81'200 tonnes pour 2001 (Wood Mackenzie 2002). Parmi les pays qui cultivaient le coton en 2001, les principaux marchés pour les insecticides du coton étaient la Chine (16'000 tonnes), les USA (12'000 tonnes) et l'Australie (1'200 tonnes). Ensemble, ils représentent un tiers (36%) du marché mondial des insecticides pour le coton qui était de 81'200 tonnes en 2001. Le marché américain est atypique actuellement en ce sens qu'une forte proportion du marché (jusqu'à 75% en 2000) est liée à la campagne d'éradication de l'anthronome du cotonnier. Cependant, ce n'est pas un facteur d'erreur dans le calcul de

Table 18. Estimation de la réduction des insecticides (tonnes de matière active) associée à la culture du coton Bt en 2001, basée sur 0,45 kg de matière active par hectare et par pulvérisation.

Pays	Réduction des insecticides (tonnes de a.i.)	Utilisation d'insecticides (tonnes de a.i.)	% d'utilisation en 2001
Chine	9'450 ¹	16'000	61
USA	848 ²	2'720 ²	31 ⁴
Australie	329 ³	1'200	27
Autres	<100	300	—
Total	10'627⁵	20'220	13%⁵

Source: Rassemblé par Clive James 2002.

¹ Basé sur une réduction de 14 pulvérisations à 0,45 kg a.i./ha/pulvérisation

² Estimation de Gianessi et al, 2002

³ Basé sur la réduction de 5 pulvérisations à 0,45 kg a.i./ha

⁴ Utilisation totale aux USA de 10'800 tonnes parmi lesquelles une estimation de 8'080 tonnes est du malathion utilisé pour l'éradication de l'anthronome du cotonnier et un restant de 2'720 tonnes utilisées pour les autres nuisibles. (USDA/NASS. 2002)

Gianessi et al (2002) qui estime l'économie à 848 tonnes (a.i.) d'insecticide qui est due à la culture de 2,08 millions d'hectares de coton Bt aux USA en 2001, 1'224 tonnes en 1999 et 907 tonnes en 1998 (Carpenter and Gianessi, 2001), ce qui fait un total de 2'979 tonnes (a.i.) d'insecticides pour le coton. Il convient de noter que les gains en insecticides sont donnés en matière active (a.i.) alors que les estimations pour la Chine sont exprimées en produit formulé, et ne sont donc pas comparables.

Benedict and Altman (2001) ont estimé qu'aux USA, une réduction de 2,2 pulvérisations d'insecticides sur 1,1 millions d'hectares sur le coton Bt entraîne une économie de 1,09 millions de kg de matière active (a.i.) d'insecticide en 1998. Ce calcul se base sur 0,45 kg/ha de matière active (a.i.) pour une pulvérisation/hectare. Cette quantité (0,45 kg/hectare) est comparable aux quantités de matière active souvent utilisées par pulvérisation/hectare dans les pays en voie de développement où le nombre de pulvérisations est habituellement plus élevé qu'aux USA parce que les infestations de nuisibles sont plus fortes, les climats

tropicaux et sub-tropicaux étant favorables aux nuisibles et où des programmes de contrôles inefficaces doivent souvent se débrouiller avec des problèmes importants liés à la résistance des insectes aux insecticides.

Le calcul 0,45 kg/a.i./hectare/pulvérisation, utilisé par Benedict and Altman (2001) pour estimer les gains en insecticides (matière active), peut aussi être utilisée pour générer des estimations des économies en insecticides pour les principaux pays cultivant le coton Bt en 2001 en multipliant 0,45 kg par la réduction du nombre de pulvérisations x la superficie de coton (ha). Ainsi, pour l'Australie en 2001, le gain estimé en insecticides (a.i.) est de 0,45 kg x 5 pulvérisations x 146'000 hectares de coton Bt soit un gain de 329'000 kg (329 tonnes) de matière active. La quantité totale estimée d'insecticide utilisée pour le coton en Australie en 2001 était de 1'200 tonnes a.i., et ainsi l'économie estimée de 329 tonnes est équivalent à 27 % de 1'200 tonnes ou 22% de 1'660 tonnes (1'200 + 329) qui auraient été utilisées si le coton Bt n'avait pas été disponible (table 18).

Une estimation similaire pour la Chine génère un gain de 9'450 tonnes en 2001 à comparer avec un marché pour tous les insecticides utilisés pour le coton estimé en Chine à 16'000 tonnes (Wood Mackenzie 2002). Le gain de 9'450 tonnes équivaut à 61% des 16'000 tonnes d'insecticides pour le coton utilisés en Chine en 2001 ou 37% des 25'450 tonnes qui auraient été nécessaires si le coton Bt n'avait pas été disponible. Trois pays cultivaient 98% des 4,3 millions d'hectares de coton Bt en 2001. Les USA en cultivaient 60%, la Chine 35% et l'Australie 3 %, les 2 % restant étaient cultivés dans quatre pays (Indonésie, Mexique, Argentine et Afrique du Sud). En utilisant les estimations de gains de 329 tonnes pour l'Australie, de 9'450 tonnes pour la Chine et de 848 tonnes pour les USA (Gianessi et al 2002), le gain total estimé pour les insecticides (a.i.) utilisés sur le coton Bt en 2001 était de l'ordre de 10'627 tonnes. Ceci est équivalent à 13 % des 81'200 tonnes (a.i.) de tous les insecticides utilisés sur le coton dans le monde en 2001 (Wood Mackenzie 2002).

Il y a plusieurs bénéfices secondaires importants qui sont des implications découlant de la réduction de la quantité d'insecticides utilisés sur le coton. Cela comprend :

9.2.2 Moins d'insecticides dans les nappes souterraines et dans l'environnement.

Les diminutions substantielles d'insecticides associées à la culture du coton Bt (78'000 tonnes d'insecticides formulés utilisés en moins en Chine en 2001 et 848 tonnes d'insecticide (a.i.) aux USA) conduisent à une diminution significative des infiltrations dans les bassins hydrographiques, les aquifères, les sols et généralement dans l'environnement. Bien que les insecticides actuellement autorisés répondent à un maximum d'exigences des organismes de surveillance, de nombreux insecticides ont des effets létaux sur des organismes non-cibles et les animaux aquatiques dans les étangs et les ruisseaux (Edge et al 2001). C'est une préoccupation particulière pour les pays en voie de développement dans lesquels aucune surveillance

n'est entreprise pour détecter la pollution de ressources naturelles.

Pour étudier les effets potentiels de la commercialisation de plantes cultivées transgéniques sur la qualité de l'eau dans les aquifères et les bassins hydrographiques, plusieurs études récentes ont été réalisées aux USA avec des modèles informatisés utilisés par l'Agence américaine pour la Protection de l'Environnement (EPA). Les prévisions suggèrent que la substitution des insecticides conventionnels par du coton Bt aurait un impact positif sur la qualité de l'eau. Quelques premières expériences de surveillance de la qualité de l'eau ont confirmé les prévisions selon lesquelles les plantes cultivées transgéniques ont un impact positif important sur la qualité de l'eau. Les études suivantes sont en cours :

- Les prévisions des modèles informatisés de Estes et al 2001 suggèrent que la substitution des insecticides conventionnels par le coton Bt, le maïs Bt ou le maïs tolérant aux herbicides est susceptible d'avoir un impact positif sur la qualité de l'eau en réduisant de façon significative les concentrations en pesticides dans l'eau de surface et dans la nappe phréatique
- Une étude de surveillance du coton Bt dans le delta du Mississippi (Cullum and Smith 2001) a confirmé les prévisions informatiques selon lesquelles, en comparaison avec un coton traditionnel, le niveau de pyréthroïdes venant des insecticides était significativement plus faible dans les cultures de coton Bt.

9.2.3 Exposition des fermiers aux insecticides et implications pour leur santé

Les insecticides chimiques utilisés sur le coton ont une forte toxicité pour les humains (USEPA 2001). Inversement, les protéines insecticides produites dans le coton Bt sont considérées comme ne posant pas « de risques prévisibles pour la santé humaine » (USEPA

1998). Le remplacement des insecticides chimiques par les cotons Bt a clairement réduit les risques pour les employés des fermes et les autres personnes de la ferme qui pourrait y être exposés (Betz et al 2000). Ces effets sont particulièrement importants dans les régions du monde où les techniques modernes de pulvérisations ne sont pas toujours adoptées ou même disponibles pour l'utilisation. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime le nombre d'empoisonnements par les insecticides à 500'000 par an qui entraînent 5'000 décès (Farah 1994). Bien qu'il soit recommandé d'interpréter ces statistiques avec précautions (Yudelman et al 1998), pulvériser des insecticides peut être risqué si des précautions adéquates ne sont pas prises. Même dans les pays industrialisés où les fermiers prennent normalement les précautions nécessaires, la non-adhésion aux pratiques recommandées pour l'utilisation sûre et efficace des insecticides entraîne des empoisonnements par les insecticides chez les fermiers. L'Agence américaine de Protection de l'Environnement (EPA) aux USA estime que les travailleurs agricoles américains souffrent de 10 à 20'000 empoisonnements par les insecticides chaque année (Phipps and Park 2002).

Des études détaillées en Afrique du Sud (Rother 1998) confirment qu'à cause du manque de sensibilisation, de vêtements de protection inadéquats et de connaissances nécessaires, les femmes fermiers de la région des Makhathini Flats en Afrique du Sud mélangent souvent les insecticides avec leurs mains, jettent les surplus d'insecticides sans précautions de sorte que cela contamine les approvisionnements en eau pour l'usage domestique. Les femmes récoltent aussi des mauvaises herbes comestibles contaminées par les pulvérisations dans les champs de coton pulvérisés avec des insecticides. Les bénéfices pour la santé du coton Bt sont spécialement bénéfiques pour les femmes et les enfants car il empêche l'exposition directe (les femmes et les enfants participent activement au programme de pulvérisation) mais il réduit aussi la contamination des ustensiles pour l'eau car les containers d'insecticides abandonnés sont souvent réutilisés pour transporter l'eau (Ismael et al 2002a,b). Ces rapports et d'autres (Repetto and Baliga 1996, Rola and Pingali 1993) confirment que le risque

courant auquel les fermiers sont exposés, spécialement dans les pays en voie de développement, où les insecticides sont appliqués avec des conditions difficiles et risquées.

Les études détaillées du coton Bt en Chine de 1999 à 2001 ont toujours montré qu'en moyenne la fréquence des empoisonnements par les insecticides chez les fermiers utilisant du coton Bt est jusqu'à quatre fois plus faible que chez les fermiers utilisant du coton conventionnel, lequel requiert jusqu'à 28 pulvérisations par saison (Pray et al 2002). Il y a aussi des preuves liées aux circonstances en Afrique du Sud montrant que la culture du coton Bt entraîne une diminution des empoisonnements par les insecticides (Ismael et al 2002a).

L'industrie des plantes a depuis longtemps reconnu le besoin de créer des programmes d'éducation/d'information pour promouvoir l'utilisation sûre et efficace des produits de protection des plantes. Crop Life International a étendu ses activités et actuellement, des programmes d'informations pour une utilisation sûre des insecticides sont en cours dans plus de 70 pays (Crop Life International 2002).

9.2.4 Réduction des risques de production et augmentation des opportunités de cultiver du coton Bt.

Etant donné que les infestations par les lépidoptères nuisibles sont une des principales causes de la faiblesse et l'irrégularité des rendements, le coton Bt a réduit de manière significative les risques de production du coton pour les fermiers auquel ils confèrent une forte priorité. Ceci est particulièrement important quand les prix internationaux du coton sont faibles et quand les dommages causés par les infestations de nuisibles peuvent faire une différence entre un profit et une perte.

Quelques localisations posent des restrictions à l'utilisation du coton conventionnel. Ces restrictions peuvent être liées à des infestations de nuisibles exceptionnellement fortes et/ou la présence de souches

résistantes aux insecticides qui rendent la culture du coton non-rentable. Par exemple, dans la région chinoise de la rivière Jaune, la production de coton a diminué d'environ 3 millions de tonnes en 1991 à 1,4 millions de tonnes en 1993, à cause des niveaux d'infestations par l'anthronome qui étaient si élevés que la culture du coton n'était plus rentable. En 1999, les terres qui avaient été précédemment exclues de la production de coton à cause de l'infestation par l'anthronome ont été replantées avec du coton Bt et la production de coton au niveau de la ferme a été restaurée dans la région de la rivière Jaune (Pray et al 2002). De même, avant l'introduction du coton Bt aux USA en 1996, des régions dans les états du sud des USA avaient abandonné la culture du coton à cause de problèmes importants avec le ver rose de la capsule du cotonnier (Edge et al 2001). Il existe des régions similaires où la pression des nuisibles a empêché la production commerciale du coton dans d'autres régions productrices de coton dans le monde (Benedict 1996). Il en est de même pour les zones dans lesquelles des restrictions de pulvérisation d'insecticides se seraient appliquées à cause de la proximité de pièces d'eau (lacs, rivières) ou d'aires de loisirs (parcs) et de régions résidentielles. ReJesus et al (1997) confirme que la localisation des champs de coton et d'autres facteurs comme la distance à la ferme, le type de sol ou l'utilisation de l'irrigation, ont un impact et contrecarrent la décision du fermier en faveur du coton traditionnel qui nécessite plusieurs pulvérisations par saison. Par exemple, des sols argileux lourds ne se prêtent pas à la pulvérisation car ils sont humides et difficiles à traverser. De même, si la plante cultivée est irriguée, les conduites d'eau doivent être démontées et remontées ce qui nécessite du travail supplémentaire. Le coton Bt ne nécessite pas ou peu de pulvérisations ce qui veut dire que ces contraintes ne s'appliquent pas ou qu'elles sont moins limitantes. En résumé, le coton Bt apporte une meilleure flexibilité aux fermiers, il est soumis à moins de contraintes et ainsi il a un impact positif sur l'évolution économique future de l'industrie du coton, fournissant plus de stabilité ainsi qu'une diminution des risques de production qui ont une importance critique pour les producteurs de coton du monde entier.

9.2.5 *Augmentation des populations d'insectes utiles*

L'utilisation d'insecticides à large spectre, comme les pyréthroïdes, sur le coton ont affecté négativement et diminué les populations d'insectes non-cibles y compris les arthropodes, ennemis naturels qui peuvent fournir un contrôle efficace sur les nuisibles non-lépidoptères. Avant l'introduction du gène Cry1Ac dans le coton en 1996, en raison de la spécificité et l'efficacité des protéines Bt comme insecticide (English and Slatin 1992) utilisées dans les pulvérisations locales, la possibilité que les arthropodes ennemis naturels soient protégés, que leurs populations augmentent en nombre et qu'ils aient le potentiel d'agir comme agents de contrôle biologiques et ainsi contribuer à la gestion intégrée des nuisibles était discuté. Des études expérimentales ont confirmé que les populations d'arthropodes ennemis naturels dans les champs de coton Bt sont plus importants que dans les champs de coton non-Bt (Roof and DuRant 1997). De plus, en diminuant le nombre de pulvérisations contre le complexe Noctuelle/ Tordeuse aux USA, l'utilisation du coton Bt a aussi réduit le nombre de pulvérisation pour les autres insectes comme les thrips et les aphides, d'une ou deux (Benedict and Altman 2001). Ce serait cet effet qui serait à l'origine de l'augmentation des populations de prédateurs utiles et des insectes parasites qui sont décimées ou éliminées lors de pulvérisations d'insecticides à large spectre.

Il existe des preuves qui montrent que l'on trouve des populations significativement plus grandes de punaises, d'araignées et de fourmis dans les champs de coton Bt en comparaison avec les champs traités par les insecticides traditionnels (Head et al, In Press a). Les insectes utiles semblent être une aide pour le contrôle des nuisibles dans les champs de coton Bt lorsque les populations d'insectes utiles ne sont pas décimées par les pulvérisations d'insecticides (Smith 1997). Ces données sur les populations d'insectes utiles se prêtent toutes à soutenir la thèse selon laquelle le coton Bt peut être utilisé efficacement comme une pierre de l'édifice de la fondation d'une stratégie intégrée de gestion des nuisibles dans le coton. De plus en plus d'études comparatives sur des grandes

superficielles commerciales plantées avec du coton Bt ou du coton traditionnel dans le sud des Etats-Unis en 2000 montrent que les populations d'arthropodes ennemis naturel sont plus importantes dans les champs de coton Bt que dans les champs de coton non-Bt (Head et al, In Press a). Les résultats confirment que le coton Bt fournit un meilleur environnement pour les espèces comme *Geocoris*, *Orius*, les araignées et les fourmis qui agissent comme des agents de contrôle biologique pour les nuisibles secondaires dans les champs de coton Bt. On observe des effets similaires dans les champs de coton Bt en Chine (Xia et al, 1999) qui sont significativement moins traités avec des insecticides à large spectre. Les insectes prédateurs ont augmenté de 24 % dans les champs cultivés avec des variétés de coton Bt.

9.2.6 *Risques réduits pour la vie sauvage*

Des insecticides à large spectre sont dangereux pour la vie sauvage et les différentes espèces ne réagissent pas de la même façon aux produits spécifiques (USEPA 1998b, c). La réduction de l'utilisation des insecticides, dont beaucoup sont fortement toxiques pour la vie sauvage (USEPA 2001), va diminuer les risques pour les mammifères, les oiseaux, les abeilles, les poissons et les autres organismes. En comparant les degrés d'utilisation avant et après la commercialisation du coton Bt aux USA, on observe une diminution des deux tiers des produits les plus toxiques pour les oiseaux et les poissons et de un tiers pour les produits les plus toxiques pour les humains (USEPA 2001). L'étude détaillée de la reproduction des oiseaux d'Amérique du Nord montre une corrélation positive entre le comptage moyen des oiseaux, le choix du coton Bt et la réduction de l'utilisation des insecticides (USEPA 2001). Bien que le contact direct soit le plus risqué, les impacts négatifs indirects sur l'habitat peuvent être aussi importants et sont bien documentés pour les oiseaux (Ewald and Aebischer 1999). Beaucoup d'oiseaux dépendent des insectes pour leur nourriture et l'élimination de ces derniers via l'usage d'insecticides à large spectre prive les oiseaux de leur source alimentaire.

9.2.7 *Réduction de la consommation de combustibles et de matériaux bruts et pollution*

La culture du coton Bt a entraîné une diminution des pulvérisations d'insecticides qui a, à son tour, occasionné une réduction de l'utilisation de combustible pour les tracteurs, ce qui au bout du compte conduit à une diminution de la pollution de l'air. Edge et al (2001) notent que chaque litre de diesel produit 1,67 kg de CO₂ (Kern and Johnson 1993). En se basant sur une consommation de 0,373 litres/hectares pour appliquer une pulvérisation sur un hectare et une réduction de 2,2 pulvérisations pour le coton Bt aux USA, la libération de 638'000 kg de CO₂ dans l'environnement a été évitée.

Une analyse concernant les impacts tertiaires potentiels sur l'environnement liés à l'utilisation du coton Bt a aussi été réalisée. Pour l'année 2000, la réduction des insecticides dans les seuls états américains principaux producteurs de coton a économisé 3,46 millions de livres (1,57 millions de kg) de matériaux bruts qui auraient été nécessaires pour la fabrication des insecticides non utilisés ainsi que les quelques 4 millions de gallons de gasoil (15,1 millions de litres) qui auraient été indispensables à la fabrication, la distribution et l'application des insecticides épargnés et elle a supprimé la nécessité d'utiliser et de se débarrasser de 416'000 récipients contenant l'insecticide (Leonard and Smith 2001).

Dans la province de Hebei en Chine, où la préférence pour le coton Bt a augmenté spectaculairement depuis son introduction en 1997 pour atteindre 97 % en 2001, les fermiers ont noté une nette amélioration des niveaux de pollution chronique de l'air, du sol et de l'eau par rapport à ceux prévalent avant l'introduction du coton Bt en 1997 qui étaient la conséquence d'une pulvérisation intense du coton par des insecticides (Biotechnology Global Update 1999).

9.3 Bénéfices sociaux

La culture du coton Bt augmente de façon significative les revenus et épargne du temps aux fermiers,

procurant ainsi une opportunité d'avoir un impact sur la qualité de vie des fermiers et de leur famille. En Chine, les revenus supérieurs permettent aux familles des fermiers d'augmenter les achats et la consommation de nourriture, améliorant ainsi les standards de nutrition (Pray et al 2001). Le temps gagné pour les femmes sud-africaines leur permet de consacrer plus de temps à des activités importantes comme prendre soin des enfants et des malades et de générer des revenus supplémentaires en participant à des activités en dehors de la ferme (Ismael et al 2002a). Les enfants sud-africains qui ne doivent plus participer aux activités de traitements par pulvérisation peuvent maintenant consacrer plus de temps à l'éducation et à d'autres activités intéressantes (Ismael et al 2002a). Ce sont des exemples importants montrant quels sont les bénéfices sociaux offerts par le coton Bt ; bénéfices qui concernent plus que le champ des fermiers et s'étendent jusqu'à leur maison et leur communauté. Les petits producteurs de coton à faibles ressources, dont 50% sont des femmes en Afrique du Sud, utilisent la plupart de leur temps à transporter de l'eau que ce soit pour l'usage domestique ou pour la ferme. On estime qu'annuellement les femmes et les filles en Afrique transportent de l'eau pour l'usage domestique et agricole, y compris l'eau pour les pulvérisations des plantes cultivées comme le coton, pendant 40 milliards d'heures (Johns Hopkins University 2002). L'eau est le pivot de la vie et dans ces conditions, économiser de l'eau à une époque où les réserves mondiales deviennent de plus en plus limitées a des conséquences sociales profondes. Quelques-unes des conséquences sociales des économies d'eau en diminuant de façon significative le nombre de pulvérisations d'insecticides sont discutées ci-dessous, dans le contexte global de l'utilisation et de la disponibilité de l'eau dans les pays en voie de développement.

9.3.1 Conséquences sociales des économies d'eau dues à la réduction du nombre de pulvérisations.

L'eau est une ressource précieuse et tout doit être mis en œuvre pour sauver l'eau afin d'éviter les pénuries

mondiales critiques prévues tant dans les pays industrialisés que dans ceux en voie de développement dans un futur proche. L'importance d'économiser l'eau, par tous les moyens possibles, ne sera jamais trop mise en évidence car c'est la ressource la plus importante en agriculture. L'eau deviendra de plus en plus limitée dans le futur tant dans les pays industrialisés et en voie de développement car l'urbanisation continue et la demande d'eau en agriculture augmente sans cesse. Un récent rapport de L'Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (International Food Policy Research Institute (IFPRI)) (2002), « Perspectives mondiales de l'eau jusqu'en 2005 : une crise imminente » ("Global Water Outlook to 2025: An Impending Crisis") prédit que si la crise actuelle de l'eau continue, les contraintes actuelles vont mener à une réduction du tonnage de céréales de 350 millions de tonnes en 2025, valeur qui est supérieure à la production américaine annuelle de céréales. Cela conduira à une augmentation mondiale des prix qui pourrait s'accroître de 40% pour le riz, de 80% pour le blé et de 120% pour le maïs si la tendance actuelle des demandes continue.

Pour mettre les économies en eau résultant de la diminution des traitements insecticides dans leur contexte, il est instructif de se pencher sur les besoins minimaux en eau des peuples ainsi que les disponibilités en eau. Un besoin de base minimum de 50 litres par personne et par jour a été proposé pour satisfaire les besoins de base de boisson, d'assainissement, d'hygiène et de cuisine (Glieck 1996). Environ 55 pays totalisant une population de 1 milliard ne pouvaient pas répondre aux besoins standards minimaux en 1995. Les pays se différencient significativement dans l'utilisation de l'eau en agriculture. Par exemple, en Afrique, 88% de l'eau douce est utilisée pour l'agriculture alors que l'Asie en utilise 86% et l'Europe seulement 33%. En Afrique, la consommation d'eau par tête est de 47 litres par jour comparée avec 85 litres en Asie, 324 litres au Royaume Uni et 578 litres aux USA (Johns Hopkins University 2002). Deux tiers de la population mondiale obtient l'eau des colonnes d'alimentation, de puits ou autres sources publiques d'eau. Dans les pays en voie de développement, la plupart de l'eau doit être

transportée sur des longues distances, habituellement par les femmes et les filles.

Sur une base globale, le monde consommait 1'799 mètres cubes d'eau douce et une augmentation jusqu'à 2'081 mètres cubes est attendue pour 2025 (IFPRI 2002). L'agriculture est le principal consommateur d'eau. Elle utilise environ 70% d'eau douce tiré pour l'utilisation humaine (Engelman and Leroy 1993). Augmenter la production sur des terres irriguées est cruciale parce que même si seulement 17% des terres cultivées sont irriguées, elles produisent 30 à 40% de la production végétale mondiale. Dans le futur, l'agriculture demandera significativement plus d'eau pour l'irrigation étant donné que les superficies de terres irriguées vont augmenter de 11 % d'ici 2025 (IFPRI 2002). Étant donné que l'agriculture représente 70% de l'eau utilisée pour l'homme, il s'ensuit que les plus grandes opportunités d'économie se trouvent dans l'utilisation agricole. L'irrigation est le plus grand consommateur d'eau en agriculture et est bien sûr l'activité clef pour économiser tout en ayant une meilleure efficacité. Réduire le volume considérable d'eau utilisée pour traiter avec des pesticides, via l'utilisation des plantes cultivées comme le coton Bt, représente une nouvelle opportunité pour épargner de l'eau qui s'est matérialisé suite au choix à grande échelle des plantes cultivées GM en 1996.

Le volume d'eau utilisé pour un seul traitement d'insecticide est de l'ordre de 5 à 10 gallons (1 gallon USA = 3,785 l) par acre (1 acre = 0,1 ha) (Williams 2002c). Le calcul ci-dessous utilise une moyenne de 7,5 gallons/acre, soit 70 litres/hectare qui est modérée, si on considère que les estimations pour l'Afrique du Sud qui sont de 118 litres d'eau / hectare (Ismael et al 2002a) pour les pulvérisateurs portés à dos d'homme, qui habituellement nécessitent de plus grands volumes d'eau, que les pulvérisateurs plus gros tirés par un tracteur. Quelques insecticides sont appliqués par l'air (jusqu'à 50% aux USA) ce qui nécessite moins d'eau (2,5 gallons/acre soit 23 litres/hectare). Cependant, sur une échelle mondiale la plupart des champs de coton sont traités aux insecticides avec des pulvérisateurs tirés par des tracteurs, bien qu'un fort pourcentage de traitements impliquant des volumes importants soit fait avec des pulvérisateurs manuels ou motorisés portés

dans le dos par des petits fermiers des pays en voie de développement où 70% du coton est cultivé. Les petits fermiers des pays en voie de développement doivent transporter laborieusement l'eau nécessaire aux traitements sur de longues distances dans des conditions extrêmement difficiles gaspillant du temps et de l'énergie qui pourraient être utilisées bien plus efficacement pour des tâches familiales plus importantes qui sont souvent négligées par manque de temps. On estime que le déploiement de 4,3 millions d'hectares de coton Bt mondialement en 2001 a épargné 1,7 milliards de litres d'eau. Ceci est le résultat de l'utilisation de 10'627 tonnes d'insecticides (a.i.) en moins à 0,45 kg a.i. /hectare ce qui équivaut à 23,9 millions d'hectares pulvérisés en moins à 70 litres / hectare soit 1,7 milliards de litres d'eau. Pour les 5 millions de petits fermiers dans les pays en voie de développement qui cultivent actuellement du coton Bt, cela représente aussi un gain énorme de travail pour les hommes, femmes et enfants qui autrement auraient travaillé inutilement à transporter l'eau et auraient souffert d'effets importants supplémentaires sur la santé à cause des traitements insecticides pour contrôler les insectes nuisibles.

Les gains potentiels mondiaux en eau dus à la diminution des traitements insecticides suite au choix du coton Bt peuvent être estimés ainsi : 81'000'000 kg (a.i.) d'insecticide pour le coton utilisés mondialement à une moyenne de 0,45 kg/ha/pulvérisation en 2001 ce qui équivaut à 180 millions de pulvérisation-hectares. Ceci est cohérent avec une moyenne mondiale d'environ 5,5 pulvérisations appliquées sur 33,5 millions d'hectares (=185 millions pulvérisation-hectares). La quantité d'eau utilisée pour appliquer ces 81'000'000 kg d'a.i. est de 180 millions pulvérisation-hectares x 70 litres = 12,6 milliards de litres ou 3,3 milliards de gallons US. Les économies potentielles annuelles d'eau au niveau mondial, en partant du fait que la culture du coton Bt réduit l'utilisation d'insecticide par la moitié, sont estimées à 6,3 milliards de litres (parmi lesquels 1,7 milliards ont déjà été économisés) ou environ 1,8 milliards de gallons US. Le gain significatif de 6,3 milliards de litres est considéré comme une estimation prudente étant donné que le volume d'eau utilisé dans le calcul est de 70 litres/hectare/pulvérisations bien que les

estimations des pays en voie de développement soient plus élevées (118 litres/hectare/pulvérisation) (Ismael et al 2002a). Pour mettre ce gain dans le contexte, 6,3 milliards de litres pourraient approvisionner une ville de 1,5 millions de personnes en Afrique, avec une consommation par tête de 47 litres d'eau par jour, pour trois mois.

Pour visualiser à l'échelle humaine les bénéfices sociaux conférés par le coton Bt grâce à la diminution des besoins en eau pour les pulvérisations d'insecticides, le scénario suivant est typique pour une femme fermier cultivant du coton traditionnel dans une ferme générant des faibles revenus dans la région des Makhathini Flats en Afrique du Sud. Elle utilise un jour pour traiter un hectare de coton traditionnel. Elle a le dur labeur de transporter l'eau de la source qui est au moins à un kilomètre du champ. Pour un traitement d'un hectare, elle utilise 7 remplissages du sac à dos par hectare, chaque remplissage pesant 16 kg (36 livres) soit un total de 118 litres (31 gallons) d'eau par hectare. Qu'elle utilise un pulvérisateur dorsal manuel ou motorisé, elle marche 9 km (5 miles) / hectare traité. Et elle doit répéter le processus jusqu'à 11 fois par saison ce qui fait 11 jours de labeur ardu consommant entre 770 et 1300 litres (200 à 300 gallons) d'eau par hectare. La moyenne de la superficie cultivée en coton dans une ferme de la région des Makhathini Flats est de 1,7 hectares (Ismael et al 2002a). En conséquence, l'amplitude de l'effort demandé aux femmes et les gains correspondants, sont de 70% supérieur aux estimations ci-dessus qui étaient faites pour un hectare. Avec le coton Bt, elle peut réduire le nombre de traitements de 11 à 4 (Ismael et al 2002a), économiser 490 à 826 litres (130 à 218 gallons) d'eau par hectare de coton et n'a plus besoin de marcher 60 km (35 miles) supplémentaires. Les 7 jours par hectare gagnés en utilisant du coton Bt (ce qui équivalait à 12 jours sur la base moyenne d'une ferme avec 1,7 hectares de coton) peut être consacré plus utilement à prendre soin de ses enfants (qui doivent souvent aider avec les traitements intensifs du coton traditionnel), s'occuper des malades (le SIDA fait des ravages dans les familles sud-africaines), effectuer des autres travaux ménagers qui sont souvent négligés actuellement à cause des tâches pénibles des petits fermiers pauvres dont 50% sont des femmes en Afrique du Sud. Les gains en eau et les

bénéfices sociaux associés avec le coton Bt sont d'un intérêt prodigieux pour les producteurs de cotons du tiers-monde qui travaillent dur pour survivre et peuvent bénéficier de façon significative des multiples bénéfices que le coton Bt offre.

En résumé, pour la superficie moyenne des exploitations de coton qui est de 1,7 hectares dans la région des Makhathini Flats en Afrique du sud, une femme, dans une saison typique, est soulagée de 12 jours de labeur ardu. Elle économise plus de 1'000 litres d'eau (plus de 250 gallons US), 100 km de marche et elle souffre moins des empoisonnements par les insecticides. Parallèlement, elle augmente significativement ses revenus d'environ 85\$/saison en utilisant le coton Bt plutôt que le coton traditionnel.

9.4 Bénéfices économiques

Tout en reconnaissant que les avantages économiques du coton Bt sont liés aux taux variables d'infestation des nuisibles, tous les pays cultivant le coton Bt ont obtenu des gains économiques. Ces derniers sont documentés en détail et référencés dans les études de cas par pays dans la publication originale. En se basant sur les études détaillées du coton Bt commercial et les essais en champs à grande échelle multi-localisations sur plusieurs années, les plus grands gains économiques par hectare ont été réalisés en Chine. Le gain économique par hectare pour du coton Bt commercial en Chine a atteint 550 \$/hectare (Pray et al 2002). Des gains économiques significatifs et consistants ont été enregistrés dans les essais en champs nationaux à grande échelle en Inde, de 75 à plus de 200 \$/hectare, avec la majorité des estimations se situant en haut de la fourchette. Le Mexique a eu des gains substantiels mais variables. Des essais en champs à grande échelle et des études globales aux Etats-Unis ont révélé un gain moyen par hectare de 50 à 80 \$ voire beaucoup plus dans quelques cas. Des gains économiques pour le coton Bt en Afrique du Sud atteignent jusqu'à 50 \$/hectare et ceux de l'Australie et de l'Argentine entre 25 et 50 \$/ha.

Les expériences mondiales avec le coton Bt ont clairement démontré les avantages économiques

obtenus en utilisant cette technologie. En général, les bénéfices économiques globaux du coton Bt sont le résultat d'une augmentation des rendements et d'une diminution des coûts de contrôle des insectes qui sont partiellement contrebalancés par les prix plus élevés des semences de coton Bt, y compris les frais de technologie dans les zones où ils s'appliquent. En tenant compte de tous ces facteurs, les plus forts bénéfices économiques nationaux en 2001 ont été réalisés en Chine et aux Etats-Unis, qui cultivent respectivement 35 et 60% du coton Bt mondial. L'Australie, l'Afrique du Sud, l'Argentine, le Mexique et l'Indonésie en bénéficient aussi. L'Inde et la Colombie devraient les rejoindre en 2002. Une discussion sur les thèmes saillants liés aux gains économiques dus au coton Bt dans les différents pays suit.

9.4.1 Chine

On estime que 4 à 5 millions de petits fermiers en Chine ont rapidement adopté la technologie, augmentant les superficies cultivées de quelques milliers d'hectares en 1997 à 1,5 millions d'hectares en 2001 (Huang et al 2001, Pray et al 2002, James 2001a). Les rendements moyens en comparaison avec les variétés non Bt ont augmenté de 5 à 10% sur plusieurs années. Le coton Bt a entraîné une réduction drastique de l'utilisation d'insecticides chimiques formulés – 20'000 tonnes en 1999 ; 25'000 tonnes en 2000 et 78'000 tonnes en 2001, diminuant significativement les coûts dus aux insecticides des fermiers et le travail nécessaire pour contrôler les insectes (Huang et al 2002, Pray et al 2002). Pour la Chine, l'avantage économique global du coton Bt, en comparaison avec le coton non-Bt se situe de 357 \$/ha en 1999 à 550 \$/ha en 2001 et 502\$/ha en 2001 (Pray et al 2002) ce qui fait une moyenne de 470 \$/ha. En tenant compte des trois années, les facteurs principaux de la diminution des coûts de production et de l'augmentation de la rentabilité étaient les gains en insecticides tant en terme d'abaissement des coûts dus à une importante diminution des quantités de produit utilisé et du travail nécessaire pour les traitements insecticides qui sont rendus possible grâce à la réduction du nombre de pulvérisation par les deux tiers. L'augmentation des

rendements du coton Bt en Chine conduit à un accroissement des revenus qui est partiellement contrebalancé par le prix légèrement plus élevé des semences Bt.

En 1999, quelques voix pessimistes se souciaient du fait que l'accroissement de l'approvisionnement en coton, résultat de l'augmentation du rendement du coton Bt, n'entraîne une diminution du prix du coton qui, à son tour, aurait pour effet de créer des pertes plutôt que des bénéfices pour les fermiers chinois. En 2000, l'augmentation de l'approvisionnement en coton s'est accompagnée d'une diminution significative des prix du coton d'environ 30% entre 2000 et 2001 (4,42-4,45 yuans/kg contre 3,02-3,04 yuans/kg). Malgré cette diminution des prix, les producteurs chinois de coton Bt ont quand même augmenté leurs revenus en 2001 d'environ 500 \$/ha en comparaison avec les cultures de coton non-Bt (Pray et al 2002).

Il convient de noter que durant les trois années (1999 à 2001), les producteurs de coton non-Bt en Chine, en tenant compte des coûts du travail, perdent actuellement de l'argent dans tout le pays (de 6 \$/ha à 183 \$ puis 225 \$/hectare) alors que les producteurs de coton Bt faisaient des profits substantiels (jusqu'à 500 \$/ha) (Pray et al 2002). Pour replacer les avantages économiques du coton Bt en Chine dans leur contexte, en 1999, les producteurs de coton avec une moyenne par tête de 250 \$/an, obtenaient un revenu net de 350 \$/ha ce qui se traduit par un revenu supplémentaire actuel de 140 \$ pour la superficie moyenne de 0,4 hectare planté avec du coton Bt, c'est-à-dire une augmentation de revenus pour un petit fermier moyen de plus de 50%. Si l'on tient compte du fait que les producteurs chinois de coton sont des petits fermiers à faible revenus, l'expérience chinoise avec le coton Bt soutient la thèse du rapport sur le développement humain de l'UNDP de 2001 (UNDP 2001) selon laquelle la technologie peut contribuer à la réduction de la pauvreté.

Au niveau national, les bénéfices économiques du coton Bt en Chine en 2001, basé sur la surface de coton Bt et un revenu net /ha, étaient approximativement de 140 millions de \$ en 1999, de 495 millions de \$ en 2000 et de 750 millions de \$ en 2001. Sur ce total de

1,4 milliards de dollars sur trois ans, environ la moitié, 700 millions de dollars, peut être attribuée au coton Bt développé par le secteur public chinois qui a investi dans la recherche et le développement des fonds de l'ordre de plus de 100 millions dollars annuellement pour la biotechnologie de toutes les plantes cultivées, y compris le coton (Pray et al 2002). Ceci représente un excellent retour sur les investissements de Recherches et Développement pour le gouvernement chinois et devrait lui fournir les mesures d'incitation pour mettre en œuvre les intentions gouvernementales de quadrupler son budget annuel de Recherches et Développement dans le domaine de la biotechnologie des plantes cultivées à 450 millions de dollars en 2005.

En terme de distribution des bénéfices, les données pour la Chine montrent clairement qu'en 1999, 83% des bénéfices totaux revenaient aux fermiers avec un petit pourcentage (15%) pour le secteur privé qui a développé la technologie (Pray et al 2002, 2001). Ainsi, le coton Bt a été un excellent investissement pour les petits fermiers à faibles revenus en Chine qui ont récupéré 83 % des bénéfices totaux. Cela représente aussi un excellent investissement tant pour la Chine, comme nation, que pour les consommateurs qui ont bénéficié de prix plus abordables pour le coton et d'un environnement plus sain. Le coton Bt a eu un impact significatif sur l'économie de la culture du coton en Chine et les gains économiques spectaculaires démontrent clairement que les petits agriculteurs qui adoptent cette technologie peuvent obtenir des bénéfices économiques significatifs.

9.4.2 USA

Les avantages économiques offerts par le coton Bt ont conduit à son adoption rapide aux Etats-Unis, passant de 730'000 hectares l'année de son introduction (1996) à plus de 2 millions d'hectares en 2001, ce qui équivaut à plus des deux tiers de la superficie totale de coton aux USA (James 2001b, Edge et al. 2001). Pour 2001, les analyses économiques indiquent que le coton permet aux fermiers d'augmenter leurs revenus nets de 50 \$/ha (Gianessi et al 2002) ce qui équivaut à un gain national de 103 millions. Avec les faibles infestations de 2001, le coût total de contrôle des

insectes était de 5 \$/ha plus élevé pour le coton Bt si on tient compte des coûts en insecticides et des frais de technologie, mais une augmentation de 40 kg/ha de fibres excède largement les coûts de contrôle des insectes, entraînant ainsi un avantage économique net de 50 \$/hectare. Il convient de noter que le gain de 50 \$/ha en 2001 a été réalisé malgré le fait que les infestations du coton par des nuisibles aient été significativement plus faibles en 2001 que les années précédentes. En 1998, alors que les infestations d'insectes étaient significativement plus élevées, l'augmentation de gains se chiffrait à 84 \$/hectare (Carpenter and Gianessi 2001).

L'augmentation de rendement due à la culture de coton Bt a été confirmée par des essais en champs répétés dans plusieurs régions des USA (Carpenter et al 2002, Marra et al 2002, Fernandez-Cornejo and McBride 2000). Ces études montrent une augmentation de rendement d'au moins 10 % (Perlak et al 2001). Beaucoup d'études ont documenté la diminution du nombre de traitements nécessaires pour contrôler les lépidoptères nuisibles quand on cultive du coton Bt (Carpenter et al 2002, Edge et al 2001). Cette diminution des pulvérisations se traduit aussi dans des économies supplémentaires secondaires comme la diminution du nombre de voyage qui permet aux fermiers de gagner sur les coûts d'essence, de machines ou de travail.

Les bénéfices économiques globaux pour les fermiers producteurs de coton Bt aux USA en 1998, sont estimés à 84 \$/hectare soit un bénéfice de 92 millions de dollars au niveau national. De manière similaire pour 1999, l'avantage économique du coton Bt était de 52 \$/ha pour un bénéfice national de 99 \$ millions et de 50 \$/ha en 2001 pour un bénéfice national de 103 millions de dollars (Gianessi et al 2002, Carpenter and Gianessi 2001). Ces estimations sont du même ordre de grandeur que celles de l'EPA pour le coton Bt qui se situent entre 60 et 126 millions de dollars annuellement. D'autres estimations des bénéfices nationaux du coton Bt aux USA incluent celles de Falck-Zepeda et al (1999) qui estimaient le gain national à 134 millions de dollars en 1996 et de 213 millions de dollars en 1998. Il convient de noter que les fermiers, qui sont les principaux bénéficiaires,

obtiennent 43 à 58 % des bénéfices net. En résumé, le bénéfice économique global pour les producteurs de coton Bt aux USA était estimé entre 50 et 85 \$/ha, après la déduction des coûts additionnels liés aux semences et à la protection des insectes. Ceci se traduit à un gain national minimum de 100 millions de dollars par an aux prix mondiaux actuels du coton.

9.4.3 Inde

Bien que les données ne soient pas aussi claires en Inde que dans les pays où les variétés sont déjà cultivées sur une grande échelle dans un stade post-commercialisation, les résultats des essais en champs nous donnent des tendances intéressantes. Pour l'Inde, deux séries de données sont utilisées pour estimer l'avantage économique global du coton. La première série portait sur des essais en champs réalisés pendant les saisons 1998/99 et 2000/01 par le Département de Biotechnologie et analysé par Naik (2001). Le second était des essais en champs de l'ICAR qui s'est déroulé en 2001 (ICAR 2002). Les données de Naik (2001) montrent que l'avantage économique global du coton Bt durant la saison 1998/99 était de 236 \$/hectare, ce qui équivalait à une augmentation d'environ 77% en comparaison avec le coton conventionnel. Le montant correspondant pour les essais atypiques de 2000/01, qui ont été plantés tardivement, était de 76 \$/ha ce qui revient à un bénéfice de 25% sur le coton traditionnel. La baisse des bénéfices en 2001 étaient entièrement due à une baisse de rendement causée par des plantations tardives, les économies en insecticides étant similaires (45 \$/ha contre 42 \$/ha) à celles de la saison 1998/99. Il convient de noter que l'avantage économique de l'augmentation de rendement associé avec la culture du coton Bt en Inde est relativement plus grande que les avantages liés à la diminution des coûts de pesticides. Ainsi, en 1998/99, les bénéfices sur les coûts associés avec l'augmentation de rendement étaient de 241 \$/ha en comparaison avec les 45 \$ pour les insecticides. Ceci se reflète dans les 79% de bénéfices économiques pour le rendement du coton Bt et des 15% pour les pesticides en 1998/99. Les comparaisons entre les variétés Bt et traditionnelles, en utilisant les méthodes de culture

des fermiers, montrent un avantage économique global du coton Bt en 1998/99 estimé entre 255 \$ et 278 \$/hectare. Cette estimation se trouve en bas de la fourchette de bénéfice obtenue en Chine, qui va de 350 à 500 \$/ha.

Naik (2001) a aussi étudié les effets d'une baisse de 11 à 17 % du prix international du coton liée au fait que la culture du coton Bt augmenterait l'approvisionnement et la réduction des prix. En se plaçant dans le scénario le plus pessimiste qui prévoit une baisse maximale de 17% des prix du coton, les bénéfices du coton Bt pour les fermes seraient réduits en 1998/99 de (255 au lieu de 278 \$/hectare) à (185 au lieu de 230 \$/ha), qui fournit encore des avantages pour le producteur de coton Bt.

En se basant sur les données de l'ICAR concernant des essais en champs à grande échelle en 2001, les avantages économiques pour les trois hybrides Bt sont relativement élevés à cause de sérieuses infestations de nuisibles. Les avantages économiques globaux pour les trois hybrides Bt se situent entre 96 \$/ha (une augmentation de 29% comparativement au coton Bt) et 210 \$/ha (une augmentation de 86% par rapport au coton conventionnel). L'ampleur des avantages économiques est du même ordre de grandeur que les données de 1998/99 analysées par Naik, 2001 (236 \$/hectare). Les données des essais de l'ICAR en 2001, sont aussi cohérentes avec celles du département de biotechnologie récoltées en 1998/99, dans le fait que la principale contribution à l'avantage économique est due à l'augmentation du rendement, à opposer aux coûts de l'insecticide et du travail. Cependant, les bénéfices en terme de méthode de culture sont plus le reflet de la contribution des économies en insecticides à cause du nombre élevé de pulvérisations prophylactiques faites par les fermiers.

En résumé, les résultats des expérimentations en champs en Inde indiquent qu'en cas de fortes infestations par des insectes nuisibles, le bénéfice économique global associé à la commercialisation du coton Bt serait élevé, compris entre 75 et plus de 200 \$/ha. Les premières cultures commerciales d'environ 45'000 hectares seront plantées en Inde en 2002.

9.4.4 *Autres pays cultivant le coton Bt*

Dans les états de Coahuila and Durango au Mexique, le coton Bt génère un bénéfice économique annuel estimé à 2,7 millions de dollars en 1997 et 1998 dont une grande majorité (85%) revient directement aux fermiers (Traxler et al 2001). Au Mexique, quand les infestations de nuisibles étaient faibles en 1997, les avantages économiques globaux étaient de 44 \$/ha et de 626 \$/ha en 1998 alors que les infestations de nuisibles étaient fortes. Le rendement élevé pour le coton Bt en 1998 était le principal élément (543 \$/ha) du bénéfice économique global de 626 \$/ha. En 1998, le rendement du coton Bt est supérieur de 20% contre 3% en 1997. En 1998, les économies de coût en pesticide étaient de 139 \$/ha étaient contrebalancées par un surcoût de 56 \$/ha pour les semences, ce qui a entraîné un avantage économique global de 626 \$/ha en faveur du coton Bt.

En Afrique du Sud, Ismael et al (2002a,b) ont mené à bien une étude de 3 ans sur l'impact du coton Bt sur les petites fermes de la région des Makhathini Flats. Les avantages en rendement du coton Bt, couplés avec les gains en insecticides et en travail qui sont partiellement compensés par le surcoût des semences, entraînent un bénéfice économique global de l'ordre de 50 \$/ha pour les petits producteurs de coton Bt dans la région des Makhathini Flats (ISAAA 2002d). D'autres estimations excluant les gains de labeur (Kirsten et al 2002) indiquent un avantage économique de 35 \$/ha pour les petits fermiers et de 19 à 34 \$/ha pour les gros fermiers dans des conditions de culture sous pluie ou irriguée respectivement. Les producteurs de coton Bt en Afrique du Sud ont bénéficié de rendements supérieurs que ceux qui ne cultivent pas le coton Bt et de coûts de traitement chimique significativement plus faibles. Ces bénéfices sont plus importants que le surcoût des semences et les coûts de récolte du coton Bt, créant un excédent brut et un avantage économique net pour les producteurs de coton Bt d'environ 25 à 50 \$/ha. L'adoption du coton Bt par les petits fermiers de la région des Makhathini Flats a été très rapide, augmentant du 4 % de producteurs en 1998 à 92% en 2001. La majorité de fermiers qui ont adopté le coton Bt ont des fermes dont la taille est inférieure à 3 hectares et cultive en

moyenne 1,7 hectare en coton, démontrant une fois encore que les petits fermiers peuvent réaliser des bénéfices économiques avec le coton Bt.

En Argentine, les excédents bruts ont été modestes et variables, se situant entre 5 et 36 \$/ha (Qaim and de Janvry 2002) à 65 \$/ha (Elena 2001). Etant donné le système de production bon- marché du coton en Argentine, Qaim et de Janvry concluaient que le prix relativement élevé des semences de coton Bt (103 \$/ha) était un frein à un taux d'adoption plus élevé qui a stagné à environ 5% de la superficie nationale de coton. Une baisse du prix des semences devrait entraîner une augmentation de l'adoption du coton Bt et permettre d'augmenter les bénéfices tant des fermiers que de ceux qui ont développé la technologie.

En Australie, les bénéfices économiques globaux du coton Bt ont été faibles à modestes. Ils se situent entre 6 \$/ha en 1998/99 à 50 \$/ha en 1999/00 (Fitt 2002/In Press). Les principaux « bénéfices économiques » du coton Bt sont liés au fait que les fermiers ne doivent pas suivre un programme intensif de pulvérisation tout au long de la saison, avec son effet négatif associé à la mise en œuvre du programme IPM, auquel on associe une forte priorité. Malgré les excédents modérés du coton Bt, les fermiers ont acheté tout le quota de semences disponibles chaque année car ils sont convaincus de ses bénéfices environnementaux et du fait qu'il fournit une fondation pour une stratégie durable d'IPM. En Indonésie, les évaluations préliminaires du coton Bt indiquent que le revenu du fermier augmente grâce à des rendements plus élevés (30% en moyenne), la diminution de l'utilisation des pesticides et une meilleure productivité (ISAAA 2002e).

L'expérience positive de huit pays qui ont déjà bénéficié du coton Bt suggérerait que les fermiers des autres pays, souffrant de pertes dues aux principaux lépidoptères nuisibles du coton peuvent aussi réaliser des bénéfices économiques en cultivant du coton Bt. En résumé, les sept pays qui ont adopté le coton Bt ont réalisé des bénéfices économiques significatifs avec l'Inde probablement sur le point de réaliser des bénéfices similaires à partir de 2002. Les USA et la Chine ont été les plus grand bénéficiaires jusqu'à

Table 19. Estimation des bénéfices mondiaux liés au coton Bt de 1998 à 2001 (Millions de \$)

	Chine	USA	Autres	Total
1998	n/a	92	<1	93
1999	140	99	2	241
2000	495	n/a	>3	498
2001	750	103	5	858
Total	1'385	294	11	1'690

Source: Rassemblé par Clive James 2002, à partir des estimations de Pray et al., 2002 pour la Chine et de Gianessi et al., 2002 et Carpenter and Gianessi, 2001 pour les USA

maintenant parce qu'ils cultivaient respectivement 60% et 35% du coton Bt mondial en 2001. Les bénéfices nationaux associés avec le coton Bt en Chine ont été de loin les plus importants, augmentant de 140 millions de dollars en 1999 à 495 millions de dollars en 2000 et 750 millions de dollars en 2002, ce qui fait un total de 1'385 milliards de dollars pour les trois années (table 19). Les bénéfices nationaux associés au coton Bt aux USA étaient de 92 millions de dollars en 1998, de 99 millions de dollars en 1999 (les estimations pour les années 2000 ne sont pas disponibles) et de 103 millions de dollars en 2001 alors que l'infestation était très faible, soit un total de 294 millions de dollars pour les trois années. Les bénéfices des 5 autres pays qui ont adopté le coton Bt durant la période 1998 à 2001 sont estimés à 11 millions de dollars. La superficie cultivée avec du coton Bt dans les 6 pays est modeste mais en augmentation. Ainsi, les bénéfices globaux du coton Bt durant la période 1998-2001 sont estimés à environ 1,7 milliards de dollars (table 19) ce qui est un bénéfice important. Il est particulièrement remarquable étant donné que les trois quarts des bénéfices en 2001 ont été réalisés par plus de 5 millions de petits fermiers à faible ressource dans les pays en voie de développement, principalement en Chine, qui choisit de faire ses propres investissements dans la technologie et qui en récupère maintenant les bénéfices.

9.4.5 Distribution des surplus économiques aux dépositaires du coton Bt

Une des craintes des "entreprises" souvent reprises par les détracteurs des biotechnologies est liée à leur perception que les personnes qui ont développé les plantes transgéniques (habituellement, mais pas exclusivement les sociétés multinationales du secteur privé) sont les principaux voire les seuls bénéficiaires des plantes transgéniques. L'analyse de la distribution du surplus économique du coton Bt aux USA, au Mexique et en Chine est résumée dans la table 20. Les données de la table 20 montrent la distribution des bénéfices aux différentes parties prenantes associées au coton Bt – fermiers, personnes qui ont développé la technologie, fournisseurs de semences, consommateurs et à la société dans le sens large qui est représenté par la catégorie « reste du monde » dans la table 20.

Les sept études caractérisant le coton Bt aux USA en 1996, 1997 et 1998, au Mexique en 1997 et 1998 et en Chine en 1999 sont résumées dans la table 80. La première étude (Falck-Zepeda *et al* 2000b) indique que le surplus économique total généré par l'utilisation du coton Bt aux USA en 1996, les avantages économiques relatifs des différentes parties prenantes étaient : la plus grande part du surplus économique est allée aux fermiers américains (59%), les personnes qui ont développé la technologie (21%), les fournisseurs de

Table 20. Distribution du partage des surplus économiques des plantes transgéniques (exprimé en %) pour les différentes parties intéressées.

	Coton¹ Bt 1996 USA	Coton² Bt 1997 USA	Coton³ Bt 1998 USA	Coton⁴ Bt 1997 Mexique	Coton⁴ Bt 1998 Mexique	Coton⁵ Bt Public 1999 Chine	Coton⁵ Bt Privé 1999 Chine
Fermiers	59	42	46	61	90	83	83
Dev. Tech ⁶	21	35	34	31	8	—	12
Fourn. Semence ⁶	5	9	9	8	2	17	5
Consommateurs	9	7	7	—	—	—	—
Reste du monde (net)	6	7	4	—	—	—	—
Total	100	100	100	100	100	100	100

Sources: Rassemblé par Clive James (2001a) à partir des sources suivantes :

¹Falck-Zepeda et al., 2000b; ²Falck-Zepeda et al., 2000a; ³Falck-Zepeda et al., 1999; ⁴Traxler et al., 2001 ; ⁵Pray et al., 2001; ⁶Revenus bruts, la stratégie commerciale R &D et autres coûts non inclus

semences (5%), les consommateurs américains (9%) avec le reste (6%) pour le reste du monde. Il faut noter que le partage du surplus aux personnes qui ont développé la technologie et aux fournisseurs de semences concerne les recettes brutes, sans la déduction des coûts pour la stratégie commerciale de Recherche et Développement et autres, alors que ceux des consommateurs sont des bénéfices nets. Ceci sous-estime les gains relatifs des fermiers et des consommateurs par rapport aux personnes qui ont développé la technologie et les fournisseurs de semences.

La deuxième étude concernant les USA en 1997 (Falck-Zepeda et al 2000a) montre aussi que les fermiers sont les principaux bénéficiaires (42%) par opposition aux personnes qui ont développé la technologie (35%). De même, l'étude globale pour les USA en 1998 (Falck-Zepeda et al 1999) montre que les fermiers obtiennent 46% et les personnes qui ont développé la technologie 34%. Les deux études réalisées au Mexique en 1997 et 1998 (Traxler et al 2001) montrent aussi que les fermiers sont les principaux bénéficiaires obtenant 61 % et 90% du surplus en 1997 et 1998 par opposition avec 31 % et 8% respectivement pour les personnes qui ont développé la technologie. Dans l'étude chinoise de 1999, Pray et al (2001) fournissent des informations

sur les avantages économiques qu'ont les petits fermiers à acheter le coton Bt à deux différents groupe de personnes ayant développé la technologie : une des sources est le secteur public (CAAS) et la deuxième le secteur privé (Monsanto/Delta Pine Land). Dans le cas du coton Bt développé tant par le secteur public que par le secteur privé, le partage du surplus pour le fermier (table 20) était de 83% (Pray et al 2001).

En tenant compte des sept études de cas pour la distribution des bénéfices du coton Bt aux parties intéressées dans 3 pays, il n'y a pas de preuves (table 20) pour soutenir la perception des détracteurs de la biotechnologie selon laquelle les sociétés multinationales qui ont développé les plantes cultivées transgéniques sont les bénéficiaires principaux ou uniques des variétés transgéniques. Au contraire, le résumé du partage des surplus de bénéfices relatifs exprimés en pourcentage (cf. table 20) confirme que non seulement les fermiers sont des bénéficiaires importants dans toutes les études mais étaient toujours les principaux bénéficiaires, recevant de 49 à 90 % du surplus, dans les sept études avec une moyenne de partage des deux tiers (66%) du surplus économique. Les études jusqu'à présent indiquent que les avantages économiques ne sont pas différents du quotient de bénéfice fermier/ contribution du fournisseur qui

s'applique aux produits agricoles conventionnels et ne sont pas fortement en faveur des personnes qui ont développé les plantes transgéniques contrairement aux suggestions des détracteurs.

10 Potentiel global du coton Bt

Les économies potentielles estimées concernant la quantité d'insecticides utilisés pour le coton dans les pays producteurs de coton du top 50 sont approximativement de 34'543 tonnes de matière active (a.i.) annuellement (valeur estimée de 723 millions de dollars). Ceci est fondé sur la preuve actuelle que le coton Bt peut réduire le nombre de pulvérisations d'insecticide réalisées pour le coton conventionnel d'au moins la moitié. De plus, un taux d'adoption maximum prévu de 50% est réaliste étant donné que l'Inde et la Chine, pays qui ont l'expérience de fortes infestations de nuisibles et qui cultive 40% du coton mondial, vont probablement atteindre un taux d'adoption de plus de 50%.

Seulement pour l'année 2001, 81'200 tonnes d'insecticides d'une valeur de 1,7 millions de dollars étaient utilisées sur le coton. Cela représente environ 20 % des insecticides utilisés mondialement pour toutes les plantes cultivées. Le coton utilise plus d'insecticide qu'aucune autre plante cultivée.

Parce que l'Asie a de loin le plus grand marché d'insecticide pour le coton (961 millions de dollars US) et qu'elle abrite de grands pays producteurs de coton qui doivent faire face à des niveaux d'infestation de nuisibles élevés, elle pourrait récupérer 80% des économies potentielles estimées d'insecticides pour le coton liées à l'utilisation du coton Bt. L'Inde (8,7 millions d'hectares), la Chine (4,8 millions d'hectares), le Pakistan (3,1 millions d'hectares) et l'Australie (400'000 hectares) cultivent ensemble 50% des superficies mondiales de coton et ont des chances de retirer les plus grands bénéfices du coton Bt. Ceci se traduit en un bénéfice substantiel pour ces quatre pays producteurs de coton en Asie.

La Chine a déjà adopté le coton Bt sur plus de 51 % de sa superficie totale de coton alors que l'Inde, qui a

autorisé le coton Bt seulement en 2002, a déjà 100'000 hectares. L'Inde, cependant, est certainement sur le point de concurrencer les forts taux d'adoption de la Chine et le dernier taux d'adoption pourrait excéder celui de la Chine parce que les niveaux d'infestation y sont plus hauts et plus uniformes dans les différentes régions du pays. D'un autre côté, le Pakistan représente le seul pays avec un potentiel élevé qui n'a pas encore adopté la technologie. D'autres pays producteurs de coton en Asie du sud-est et du sud représentent des surfaces relativement petites mais néanmoins représentent des opportunités potentielles importantes si on se place dans le point de vue des programmes nationaux.

Les Amériques récupèrent 11 % des bénéfices potentiels globaux, avec les USA qui sont de loin les principaux bénéficiaires (72%) et avec un potentiel significatif non-utilisé au Brésil. Les sept autres programmes nationaux en Amérique ont tous de fortes infestations et ont des chances d'obtenir des bénéfices en utilisant le coton Bt. Le Mexique et l'Argentine ont déjà adopté le coton Bt et la Colombie a eu une plantation liminaire pour la première fois en 2002. Il reste quatre pays cultivant des superficies petites à modeste de coton en Amérique latine comme bénéficiaires potentiels.

Contrairement à l'Asie et aux Amériques, il n'y a pas de pays producteur de coton dominant en Afrique, qui récupère une quote-part globale significative des bénéfices du coton Bt. Cependant, il y a 22 programmes nationaux de plantation pour 30 à 500'000 hectares de coton, qui auraient des chances de bénéficier du coton Bt et qui récupèrent collectivement 8% de la quote-part mondiale. Dans toutes les régions d'Afrique, il existe des pays où les niveaux d'infestation par les lépidoptères nuisibles sont moyens à faibles demandant des traitements insecticides lourds pour lesquels l'adoption du coton Bt est une possibilité.

Douze de ces 22 pays sont situés en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale (Burkina Faso, Mali, Bénin, Nigeria, Tchad, Côte-d'Ivoire, Cameroun, Togo, Zambie, Ghana, Sénégal et Guinée), 9 autres en Afrique de l'Est et du sud (Zimbabwe, Mozambique, Tanzanie, Soudan, Ouganda, Ethiopie, Kenya, Madagascar et

Afrique du sud) et un en Afrique du Nord (Egypte). Bien que la production de coton dans la plupart de ces pays soit modeste à petit, c'est souvent la seule culture de rapport et elle représente une matière première importante voire la plus importante.

Le fait que la part mondiale soit relativement petite ne doit pas conduire à une sous-estimation des bénéfices potentiels importants qui peuvent échoir à l'Afrique. L'Afrique du Sud, avec une superficie de coton modeste, enregistre déjà des bénéfices significatifs du coton Bt. Les résultats des études détaillées à grande échelle des petits producteurs de coton à faible revenus en Afrique du Sud sur les trois ans ont montré que les fermiers ayant adopté le coton Bt ont récolté les bénéfices en terme de rendement plus élevé, plus faible utilisation de pesticides et moins de labour pour les traitements pesticides. L'Egypte, le Burkina Faso, le Mali, le Nigeria, le Zimbabwe, la Tanzanie, l'Ouganda, la Zambie et le Kenya ont montré un intérêt croissant pour cette technologie.

Les six pays susceptibles de tirer des bénéfices importants de la culture du coton Bt ont soit déjà adopté le coton Bt (Chine, Inde, USA et Australie) soit sont en train d'explorer son développement (Pakistan et Brésil). Le défi est de fournir une opportunité pour les pays qui cultivent des superficies de coton plus petites dans les pays en voie de développement dans lesquels plusieurs facteurs empêchent l'accès au coton Bt. Ceci inclus le manque d'encadrement réglementaire ou des coûts de transactions trop élevés pour commercialiser des superficies de coton relativement petites. Il est important cependant que ces pays avec des petites superficies cultivées avec du coton par des petits fermiers à bas revenus puissent avoir une option d'accès commercial. Ce sont trente pays en développement qui sont concernés dont 21 en Afrique, 5 en Asie et 4 en Amérique latine. Ces pays ont des infestations moyennes à fortes de lépidoptères nuisibles et peuvent donc tirer des bénéfices significatifs de la culture du coton Bt. Les expériences en Chine et en Afrique du Sud avec le coton Bt ont démontré clairement que le coton Bt peut apporter des contributions environnementales, économiques et sociales significatives et en particulier la réduction de la pauvreté et une meilleure santé des petits fermiers à bas revenus.

Des initiatives créatives doivent être développées par la communauté internationale de développement qui devra donner aux pays petits bénéficiaires potentiels la possibilité de participer à une initiative coordonnée, conçue pour donner des solutions responsables et d'un bon rapport coût-efficacité aux contraintes communes que rencontrent les petits fermiers à faibles revenus dans les petits pays en voie de développement. Un fiasco de ce projet condamnerait et désavantagerait plus les petits fermiers à faible revenu des petits pays en voie de développement par rapport avec leurs homologues tant dans les pays industrialisés qu'en voie de développement qui bénéficient déjà de la technologie Bt. Contrairement aux programmes de transfert des biotechnologies qui mettent en vedette les plantes cultivées alimentaires principales comme la patate douce ou le manioc qui ne sont pas commercialisées et ne sont pas échangées ou exportées, le coton est exporté ou échangé sur le marché international et les pays en voie de développement sont en compétition sur le marché international. De ce fait, ils doivent avoir accès aux technologies sinon ils vont souffrir d'un désavantage par rapport à ceux qui auront adopté des technologies modernes. Le coton Bt offre une opportunité unique pour les petits fermiers à faible revenu des pays en voie de développement d'obtenir des bénéfices agronomiques, environnementaux, sociaux et sur la santé significatifs. Les perceptions des détracteurs des biotechnologies ne doivent pas dissuader les plus petits pays en voie de développement intéressés à persister dans leur intention de tester en champ le coton Bt dans leur propre pays et de garder leur droit souverain de faire leurs propres décisions sur l'adoption de la technologie en se basant sur leur propre évaluation de ces technologies. Dans une présentation récente, lors de la revue des effets de la position de l'Union Européenne sur les plantes cultivées GM Robert Paarlberg (2002) disait que les « vrais perdants » étaient les fermiers de l'Asie du sud-est et du sud de l'Afrique. Paarlberg notait encore que l'autorisation et le succès du coton Bt qui va suivre dans les pays en voie de développement pourrait être la première étape vers l'acceptation des autres plantes cultivées GM dans ces pays. Les pays en voie de développement ne devraient pas être rejetés de l'accès aux nouvelles technologies par la communauté internationale des secteurs publics et privés qui a pris

l'engagement d'aider à Johannesburg et dans d'autres sommets, pour une agriculture plus durable, une meilleure qualité de vie et une réduction de la pauvreté pour les plus pauvres d'entre les pauvres ce qui inclue des millions de petits fermiers à faible revenu. Le défi pour la communauté internationale est de réussir une croissance durable qui soit équitable pour les plus pauvres parmi les pauvres des pays en voie de

développement. L'urgence est de fournir à plus de pays en voie de développement la possibilité de partager les bénéfices environnementaux, économiques, sociaux et pour la santé substantiels apportés par le coton Bt à des millions de petits fermiers à bas revenus des pays en voie de développement sur des millions d'hectares durant les six dernières années symbolise ce défi.

REFERENCES

- Benedict, J.H. 1996. Bt cotton: Opportunities and challenges. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Nashville, TN, USA. pp. 25-29.
- Benedict, J. and D.W. Altman. 2001. Commercialization of transgenic cotton expressing insecticidal crystal protein. In Jenkins, J. and S. Saha (eds). Genetic Improvement of Cotton: Emerging Technologies. Science Publications, Enfield, New Hampshire, USA. 8: 137-201.
- Betz, F., B. Hammond and R. Fuchs. 2000. Safety and advantages of *Bacillus thuringiensis*-protected plants to control insect pests. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 32: 156-173.
- Biotechnology Global Update. 1999. Bollgard® cotton expected to have record harvest in China: Insecticides reduced, cotton yield increased, growers to profit. Biotechnology Global Update. January 1. <http://biotechknowledge.com/showlibs.php3?uid=1167>
- Carpenter, J., A. Felsot, T. Goode, M. Hammig, D. Onstad and S. Sankula. 2002. Comparative environmental impacts of biotechnology-derived and traditional soybean, corn, and cotton crops. Council for Agricultural Science and Technology (CAST): Ames, Iowa, USA. pp. 189. <http://www.cast-science.org/pubs/biotechcropsbenefit.pdf>
- Carpenter, J.E. and L.P. Gianessi. 2001. Agricultural biotechnology: Updated benefit estimates. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington DC, USA. January 2001.
- Catchot, A.L. 2001. Bollgard II® cotton efficacy summary-MidSouth. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. 2: 835.
- Crickmore, N., D.R. Ziegler, J. Feitelson, E. Schnepf, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum and D.H. Dean. 1998. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 62: 807-813.
- Crop Life International. 2002. <http://www.croplife.org>
- Cullum, R.F. and S. Smith Jr. 2001. Bt cotton in Mississippi Delta management systems evaluation area: Insecticides in run-off, 1996-1999. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Oxford, MS, USA.
- Doutt, R.L. and R.F. Smith, 1971. The pesticide syndrome-diagnosis and suggested prophylaxis. In Huffaker, C.B. (ed). Biological Control. Plenum Press, New York. pp. 3-15.
- Dow AgroSciences. 2002. Personal communication.
- Edge, J.M., J.H. Benedict, J.P. Carroll and H.K. Reding. 2001. Bollgard® cotton: An assessment of global economic, environmental, and social benefits. The Journal of Cotton Science. The Cotton Foundation. 5: 121-136. <http://www.jeotsci.org>
- Elena, M.G. 2001. Economic advantage of transgenic cotton in Argentina. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. National Cotton Council, Memphis, TN, USA. 2: 1066-1068.
- Engleman, R. and P. LeRoy. 1993. Sustaining water: Population and the future of renewable water supplies. Population Action International, Washington DC, USA. pp. 6-47.
- English, L., and S.L. Slatin. 1992. Mode of action of delta-endotoxin from *Bacillus thuringiensis*: A comparison with other bacterial toxins. Insect Biochem. Molec. Biol. 22: 1-7.
- English, L., H.L. Robbins, M.A. Vontersch, C.A. Kulescza, D. Avi, D. Coyle, C.S. Jany and S.L. Slatin. 1994. Mode of action of CryIIA: A *Bacillus thuringiensis* endotoxin. Insect Biochem. Molec. Biol. 24: 1025-1035.
- Ewald, J.A. and N.J. Aebischer. 1999. Pesticide use, avian food resources, and bird densities in Sussex. JNCC Report 296. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, UK.
- Falck-Zepeda, J.B., G. Traxler, and R.G. Nelson. 2000a. Rent creation and distribution from biotechnology innovations: The case of Bt cotton and herbicide-tolerant soybeans in 1997. Agribusiness. 16(1): 21-32.
- Falck-Zepeda, J.B., G. Traxler, and R.G. Nelson. 2000b. Surplus distribution from the introduction of a biotechnology innovation. American Journal of Agricultural Economics. 82: 360-369.
- Falck-Zepeda, J.B., G. Traxler and R.G. Nelson. 1999. Rent Creation and Distribution from the First Three Years of Planting Bt Cotton. ISAAA Briefs No. 13. ISAAA: Ithaca, NY, USA. pp.18.
- Farah, J. 1994. Pesticide policies in developing countries: Do they encourage excessive use. World Bank Discussion Paper Number 238. The World Bank, Washington DC, USA.
- Fernandez-Cornejo, J. and W.D. McBride. 2000. Genetically engineered crops for pest management in U.S. agriculture: Farm level effects. Agricultural Economic Report No. 786. Resource Economics Division, Economic Research Service, USDA. <http://www.ers.usda.gov/publications/aer786/>

- Fitt, G.P. 2002. Personal communication. Deployment and impact of transgenic Bt cottons in Australia. In Kalaitzandonakes, N.G. (ed). Global Impacts of Biotechnology. Kluwer (In Press).
- Gianessi, L.P., C.S. Silvers, S. Sankula and J.E. Carpenter. 2002. Plant biotechnology: Current and potential impact for improving pest management in U.S. agriculture. An analysis of 40 case studies. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington DC, USA. pp. 75. <http://www.ncfap.org/40CaseStudies.htm>
- Gleick, P. 1996. Basic water requirements for human activities. Meeting basic needs. *International Water*. 21(2): 83-92.
- Gore, J., B.R. Leonard, and J.J. Adamczyk. 2001. Bollworm (Lepidoptera: Noctuidae) survival on 'Bollgard' and 'Bollgard II' cotton flower bud and flower components. *J. Econ. Entomol.* 94: 1445-1451.
- Gould, F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: Integrating pest genetics and ecology. *Ann. Rev. Entomol.* 43: 701-726.
- Greenplate, J.T., J.W. Mullins, S.R. Penn, A. Dahm, B.J. Reich, J.A. Osborn, P.R. Rahn, L. Ruschke and Z. Shappley. In press. Partial characterization of cotton plants expressing two toxin proteins from *Bacillus thuringiensis*: Relative toxin contribution, toxin interaction, and resistance management. *J. Appl. Entomol* (In press).
- Head, G., B. Freeman, W. Moar, J. Ruberson and S. Turnipseed. In Press a. Natural enemy abundance in commercial Bt cotton and conventional cotton fields in the USA.
- Hearn, A.B. and G.P. Fitt. 1992. Cotton cropping systems. In Pearson, C. (ed). *Field Crop Ecosystems of the World*. Elsevier Press, Amsterdam, Netherlands. pp. 85-142.
- Huang, J. 2002. Personal communication
- Huang, J., S. Rozelle, C. Pray, and Q. Wang. 2002. Plant biotechnology in China. *Science*. 295: 674-677.
- ICAC. 2002a. Cotton: Review of the world situation. Vol. 55, No. 5. International Cotton Advisory Committee, Washington DC, USA.
- ICAC. 2002b. Personal communication. International Cotton Advisory Committee, Washington DC, USA.
- ICAC. 1999. Survey of cotton production practices. International Cotton Advisory Committee, Washington DC, USA.
- ICAR 2002. Personal communication. Report on 2001 IPM trial Cost Benefit Analysis. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India.
- IFPRI. 2002. Global water outlook to 2025: An impending crisis. International Food Policy and Research Institute, Washington DC, USA. <http://www.ifpri.cgiar.org/media/water>
- ISAAA. 2002a. Bt cotton in China. <http://www.isaaa.org/kc>
- ISAAA. 2002b. Bt cotton in India. <http://www.isaaa.org/kc>
- ISAAA. 2002c. Bt cotton in Mexico. <http://www.isaaa.org/kc>
- ISAAA. 2002d. Bt cotton in South Africa. <http://www.isaaa.org/kc>
- ISAAA. 2002e. Bt cotton in Indonesia. <http://www.isaaa.org/kc>
- Ismael, Y., R. Bennett, S. Morse and T.J. Buthelezi. 2002a. Bt cotton, pesticides, labor and health. Presentation at the 6th International ICABR Conference, Ravello, Italy, 11-14 July 2002.
- Ismael, Y., R. Bennett and S. Morse. 2002b. Bt cotton, pesticides, labour and health: A case study of smallholder farmers in the Makhathini Flats, Republic of South Africa. Paper for the 6th International Conference on Agricultural Biotechnology: New Avenues for Production, Consumption and Technology Transfer, Ravello, Italy.
- Ismael, Y., R. Bennett, and S. Morse. 2002c. Do small-scale Bt cotton adopters in South Africa gain an economic advantage? 6th International ICABR Conference, Ravello, Italy, 11-14 July 2002. pp. 1-16.
- Ismael, Y., R. Bennett and S. Morse. 2001. Can farmers in the developing countries benefit from the modern technologies? Experience from Makhathini Flats, Republic of South Africa. *Crop Biotech Brief*. Vol.1, No. 5. 2001. ISAAA publication.
- Jackson, R.E., J.R. Bradley Jr., J.W. Van Duyn and A.D. Burd. 2001. Efficacy of Bollgard® and Bollgard® II cottons against bollworm *Helicoverpa zea* (Boddie) in field and greenhouse studies. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Memphis, TN, USA. National Cotton Council. 2: 815-819.
- Jackson, R.E., J.R. Bradley Jr., A.D. Burd, and J.W. Van Duyn. 2000. Field and greenhouse performance of bollworm on Bollgard II cotton genotypes. In Dugger, P. and D. Richter (eds). Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Memphis, TN, USA. National Cotton Council. pp. 1048-1051.

REFERENCES

- James, C. 2001a. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2000. ISAAA Briefs No. 23. ISAAA, Ithaca, NY. pp.110.
- James, C. 2001b. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2001. ISAAA Briefs No. 24: Preview. ISAAA: Ithaca, NY, USA. pp. 20.
- James, C. 1998. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs No.8. ISAAA: Ithaca, NY, USA. pp. 43.
- Jia, S.R. 1998. Development of resistance management strategies for commercial cultivation of Bt cotton in China. In Proceedings of 5th International Symposium. The Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms, Braunschweig, Germany, 6-10 September 1998.
- Johns Hopkins University. 2002. Population reports. <http://www.jhuccp.org/pr/m14/m14chap2>
- Kerby, T. 1996. Management considerations in cotton production with special emphasis on growing NuCOTN varieties with the Bollgard® gene. Delta and Pine Land Company, Scott, MS, USA. pp. 49.
- Kern, J.S., and M.G. Johnson. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Journal of American Society for Soil Science*. 57:200-210.
- King, A.B.S. 1994. Heliothes/Helicoverpa (Lepidoptera, Noctuidae). In Matthews, G.A and J.P. Tunstall (eds). *Insect Pests of Cotton*. UK: CAB International. pp. 39-106.
- Kirsten, J., M. Gouse and L. Jenkins. 2002. Bt cotton in South Africa: Adoption and the impact on farm incomes amongst small-scale and large-scale farmers. Presentation at the 6th International ICABR Conference, Ravello, Italy, 11-14 July 2002.
- Leonard, R. and R. Smith. 2001. IPM and environmental impacts of Bt cotton: A new era of crop protection and consumer benefits. ISBN No. 00401074.
- Lorenz, G., D. Johnson, J. Hopkins, J. Reaper, A.L. Fisher and C. Norton. 2001. Bollgard® II performance in Arkansas. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Memphis, TN, USA. National Cotton Council. 2:1116-1117.
- Marchosky, R., P.C. Ellsworth, H. Moser, and T.J. Henneberry. 2001. Bollgard® and Bollgard®II efficacy in near isogenic lines of 'DP50' upland cotton in Arizona. In Silvertooth, J.C. (ed). *Cotton, A College of Agriculture Report*. Tucson: University of Arizona College of Agriculture. <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1224/az12247c.pdf>
- Marra, M.C., G. Philip, P.G. Pardey and J.M. Alston. 2002. The payoffs to agricultural biotechnology: An assessment of the evidence. <http://www.ifpri.cgiar.org/divs/eptd/dp/eptdp87.htm>
- Matthews, G.A. 1994. Insect and mite pests: General introduction. In Matthews, G.A. and J.P. Tunstall (eds). *Insect Pests of Cotton*. CAB International, Wallingford, UK. pp. 29-37.
- Naik, G. 2001. An analysis of socio-economic impact of Bt technology on Indian cotton farmers. Centre for Management in Agriculture, Indian Institute of Management, Ahmedabad, India, April 2001.
- Norman, J.W. Jr. and A.N. Sparks Jr. 2001. Performance of Bollgard II® cotton against Lepidopterous pests in the Lower Rio Grande Valley of Texas. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Memphis, TN, USA. National Cotton Council. 2: 833-835.
- Oerke, E.C. 2002. Crop losses due to pests in major crops. In CAB International Crop Protection Compendium 2002. Economic Impact. CAB International, Wallingford, UK.
- Penn, S.R., B. Reich, J. Osborn, K. Embry and J. Greenplate. 2001. Quantification of Lepidopteran activity in a 2-gene product: A 2-year summary of Bollgard® II. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Memphis, TN, USA. National Cotton Council. 2: 830-832.
- Perlak, F.J., M. Oppenhuize, K. Gustafson, R. Voth, S. Sivasupramaniam, D. Heering, B. Carey, R.A. Ihrig and J.K. Roberts. 2001. Development and commercial use of Bollgard® cotton in the USA – Early promises versus today's reality. *The Plant Journal*. 27(6): 489-501.
- Phipps, R.H. and J.R. Park. 2002. Environmental benefits of genetically modified crops: Global and European perspectives on their ability to reduce pesticide use. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 11: 1-18.
- Pray, C., J. Huang, R. Hu and S. Rozelle. 2002. Five years of Bt cotton in China – The benefits continue. *The Plant Journal*. 31(4): 423-430.
- Pray, C., D. Ma, J. Huang and F. Qiao. 2001. Impact of Bt cotton in China. *World Development*. 29(5): 1-34.
- Qaim, M. and A. de Janvry. 2002. Bt cotton in Argentina: Analyzing adoption and farmers' willingness to pay. Presented at the Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association (AAEA), Long Beach, California, USA, 28-31 July 2002.
- Rabobank. 1996. *The International Cotton Complex*. Utrecht, Netherlands. pp. 104.

- Rahn, P.R., L. Ruschke, and Z.W. Shappley. 2001. Efficacy and agronomic performance of Bollgard® II. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Memphis, TN, USA. National Cotton Council. 2: 832.
- Rejesus, R.M., J.K. Greene, M.D. Hamming and C.E. Curtis. 1997. Farmers' expectations in the production of transgenic Bt cotton: Results from a preliminary study in South Carolina. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference, New Orleans, LA, 7-10 January 1997. National Cotton Council, Memphis, TN, USA. pp. 253-256.
- Repetto, R. and S. Baliga. 1996. Pesticides and the Immune System. The Public Health Risks. World Resources Institute, Washington DC, USA.
- Ridge, R.L., S.G. Turnipseed, and M.J. Sullivan. 2000. Field comparison of genetically-modified cottons containing one strain (Bollgard®) and two strains (Bollgard® II) of *Bacillus thuringiensis kurstaki*. In Dugger, P. and D. Richter (eds). Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. National Cotton Council, Memphis, TN, USA. pp. 1057-1058.
- Rola, A.C. and P.L. Pingali. 1993. Pesticides, rice productivity and farmers health: an economic assessment. International Rice Research Institute and World Resources Institute, Los Baños, Philippines and Washington DC, USA.
- Roof, M.E. and J.A. DuRant. 1997. On-farm experiences with Bt cotton in South Carolina. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. National Cotton Council, Memphis, TN, USA. pp. 861.
- Rother, H.A. 1998. Influence of pesticide risk perception on the health of rural South African women and children. International Conference on Pesticide Use in Developing Countries – Impact on Health and Environment, San Jose (Costa Rica). Afr. News Lett. 2: 1-10.
- Roush, R.T. 1994. Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*: Can transgenic plants be better than crop sprays? Biocontrol Sci. Technol. 4: 501-516.
- Sánchez Arellano, J. 2000. Situación actual de la campaña contra las plagas del algodón en la Región Lagunera. Draft Publication, Regional Plant Health Office, Torreón, Coahuila, Mexico.
- Smith, R.H. 1997. An extension entomologist's 1996 observations of Bollgard® (Bt) technology. Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. 2: 856-858.
- Stephens, S.G. and M.E. Mosley. 1974. Early domesticated cottons from archaeological sites in central coastal Peru. A. Antiquity. 39: 109-122.
- Syngenta. 2002. Personal communication.
- Traxler, G., S. Godoy-Avila, J. Falck-Zepeda, and J. de Jesús Espinoza-Arellano. 2001. Transgenic cotton in Mexico: Economic and environmental impacts. Paper presented at the 5th International Conference, Biotechnology, Science and Modern Agriculture: A New Industry at the Dawn of the Century, Ravello, Italy, 15-18 June 2001.
- UNDP. 2001. Human Development Report 2001. UNDP, New York. Oxford University Press.
- USDA. 2002. <http://www.usda.gov/nass>
- USEPA. 2001. Bt plant-incorporated protectants. Biopesticides Registration Action Document. 15 October 2001. http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/otherdocs/bt_brad2/5%20benefits.pdf
- USEPA. 1998b. RED facts - Thiocarb. Prevention, pesticides, and toxic substances. EPA-738-F-98-020. December 1998.
- USEPA. 1998c. RED facts - Methomyl. Prevention, pesticides, and toxic substances. EPA-738-F-98-019. December 1998.
- USEPA. 1988. Guidance for the re-registration of pesticide products containing *Bacillus thuringiensis* as the active ingredient. NTIS Publication 89-164198. National Technical Information Service, Springfield, VA, USA.
- Williams, M.R. 2002a. Cotton insect losses: 1994-2001. Proceedings of National Cotton Council, Memphis, TN, USA. <http://www.msstate.edu/Entomology/Cotton.html>
- Williams, M.R. 2002c. Personal communication.
- Williams, M.R. 1997b. Cotton insect losses – 1979-1996. In Dugger, P. and D.A. Richter (eds). Proceedings of the Crop Beltwide Cotton Conference. National Cotton Council, Memphis, TN, USA. pp. 854-858.
- Wood Mackenzie. 2002. Personal communication. Wood Mackenzie Agrochemical Services, Edinburgh, Scotland.
- Xia, J.Y., J.J. Cui, L.H. Ma, S.X. Dong, and X.F. Cui. 1999. The role of transgenic Bt cotton in integrated insect pest management. Acta Gossypii Sim. 11: 57-64.
- Yudelman, M., A. Ratta and D. Nygaard. 1998. Pest management and food production: Looking to the future. International Food Policy Research Institute. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 25. IFPRI, Washington DC, USA.