



Les cultures Bt ont dépassé leur date de péremption : Une technologie défaillante à la recherche de nouveaux marchés ?

par Dr Eva Sirinathsinghji

**Les cultures Bt ont dépassé leur date de
péremption : Une technologie défaillante à
la recherche de nouveaux marchés ?**

Dr Eva Sirinathsinghi

TWN

Third World Network
Penang, Malaisie

Les cultures Bt ont dépassé leur date de péremption : Une technologie défaillante à la recherche de nouveaux marchés ?

Publié en 2022 par
Third World Network Bhd (198701004592 (163262-P))
131 Jalan Macalister
10400 Penang
Malaisie
www.twn.my

Le contenu de cette publication peut être republié ou réutilisé gratuitement à des fins non commerciales, sauf indication contraire. Cette publication est sous licence Creative Commons Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 International.

Table des matières

Chapitre 1.	Introduction	1
Chapitre 2.	La culture des plantes Bt : État des lieux	5
Chapitre 3.	Les problèmes d'efficacité compromettent la durabilité du Bt	10
	La résistance des nuisibles	10
	La réalité de la (non-)conformité des agriculteurs aux refuges	16
	L'augmentation du nombre de nuisibles secondaires	18
	Autres défis	21
Chapitre 4.	Les cultures Bt : un assaut contre les systèmes agricoles des petits exploitants ?	24
Chapitre 5.	Remarques finales	29
	Bibliographie	31

Remerciements

Cet article est publié en collaboration avec GeneWatch UK (www.genewatch.org). Nous remercions le Dr Christoph Then de *l'Institute for Independent Impact Assessment of Biotechnology* (Testbiotech) pour ses commentaires.

Chapitre 1

Introduction

LES cultures à base d'organismes génétiquement modifiées (OGM) ont été initialement annoncées par leurs promoteurs comme l'avènement de la seconde révolution verte, destinée à améliorer la « productivité » agricole et, par conséquent, à résoudre les problèmes de la faim et à améliorer les revenus des agriculteurs. Cependant, l'adoption des cultures OGM a atteint un plateau il y a plus de dix ans, moins de 20 ans après la première plantation commerciale datant de 1996. Si certaines cultures, à savoir le soja et le maïs, ont désormais saturé le marché dans une poignée de pays ayant adopté les OGM, l'adoption plus large au niveau mondial a été plus limitée. Deux traits dominent toujours le marché des cultures génétiquement modifiées, le premier étant la tolérance aux herbicides, le second étant les cultures insecticides « Bt ». Tous deux sont conçus pour les systèmes agricoles industrialisés.

Les cultures Bt sont génétiquement modifiées pour utiliser des séquences de gènes de la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt) afin d'exprimer une ou plusieurs protéines cristallines (appelées les « toxines Cry » ou « toxines Bt ») qui sont toxiques pour certains nuisibles.

Dans les pays où les cultures Bt sont actuellement pratiquées, la technologie est confrontée à des défis quant à sa durabilité, en raison d'une résistance croissante des nuisibles, et à d'autres problèmes se traduisant déjà par des impacts économiques importants sur les agriculteurs. De tels problèmes sont illustrés par les expériences récentes dans la région indienne du Punjab, où

les infestations de nuisibles ont en 2021 impacté les agriculteurs avec des pertes de récoltes et où les nouvelles hausses de prix des semences aux alentours des 10% aggravent la souffrance économique (Singh, 2022). Aux États-Unis, l'Agence de protection de l'environnement va commencer un « retrait progressif » des variétés Bt qui ne sont plus efficaces en raison de la résistance des nuisibles, en se concentrant sur les cultures de coton et de maïs à toxine unique (United States Environmental Protection Agency, 2021). Bien que de nombreuses toxines Bt aient été ajoutées au marché, prolongeant leur efficacité jusqu'à un certain point, le nombre de toxines disponibles dans le commerce qui restent efficaces est en déclin (voir la section « La résistance des nuisibles » dans le chapitre 3).

Les toxines Bt ne peuvent cibler qu'une gamme étroite d'organismes nuisibles, ce qui limite d'autant plus l'adaptabilité future de la technologie. Le développement de nouvelles toxines Bt demeure un domaine actif, avec des entreprises comme Bayer et BASF qui ont récemment annoncé l'identification de nouvelles versions (Chen et al., 2021; Kahn et al., 2021). Cependant, celles qui sont destinées à des nuisibles cibles résistants risquent à nouveau de souffrir d'une résistance croisée avec les toxines existantes, ce qui peut nuire à leur efficacité.

Qui plus est, on peut se demander si ces développements sont effectivement conçus pour sauver une technologie à long terme. En effet, la technologie a récemment été décrite comme étant dotée d'une « obsolescence sociobiologique » intégrée qui aboutit à une dépossession des agriculteurs et des ménages marginalisés ou pauvres en ressources lorsque les cultures échouent, reproduisant ainsi les structures hégémoniques qui facilitent plus avant la redistribution de la richesse du bas vers le haut au sein du secteur agricole (Najork et al., 2022). On peut anticiper que les problèmes de résistance devraient se poursuivre, car les nuisibles évolueront probablement pour s'adapter aux dernières variétés disponibles sur le marché.

En plus des problèmes d'efficacité et d'adéquation, les préoccupations de longue date en matière de biosécurité constituent un défi supplémentaire pour tout nouveau déploiement des technologies Bt. Bien que le présent rapport se concentre sur l'efficacité et l'adéquation des cultures Bt, des études approfondies des effets sur l'environnement et la santé ont été publiées. Elles révèlent des impacts environnementaux négatifs tels que la propagation du coton Bt au Mexique (Vázquez-Barrios et al., 2021) et la contamination généralisée du maïs traditionnel au Brésil (Fernandes et al., 2022).

Qui plus est, des risques potentiels pour la santé humaine ont été soulevés (Latham et al., 2017; Then et al., 2020, 2022; Wilson, 2021) notamment l'allergénicité (Santos-Vigil et al., 2018). Ces risques ont longtemps été écartés par les concepteurs de cultures Bt, malgré l'absence de tests empiriques de routine dans les évaluations des risques afin d'apaiser les inquiétudes. De nombreuses questions restent ouvertes concernant le mode d'action des toxines Bt, les effets combinatoires des différentes toxines, la persistance dans l'intestin des nuisibles, ainsi que les impacts sur les espèces non ciblées, comme les niveaux de sensibilité à la toxicité du Bt.

Dans ce contexte de performances descendantes sur des marchés existants et saturés, l'industrie des OGM semble chercher de nouvelles voies pour les ventes de cultures Bt. Des projets financés par l'Agence américaine pour le développement international (USAID) pour développer l'aubergine Bt pour le Bangladesh et les Philippines sont en cours et le Bangladesh a commencé à cultiver cette culture. D'autres pays, dont le Nigeria et le Burkina Faso, ont récemment approuvé le niébé Bt (HOMEF & ACB, 2022), tandis que le Ghana participe à la recherche mais n'a pas encore approuvé les essais en champ. Le coton Bt est également planté au Kenya depuis 2020.

La révolution verte a été décrite comme une conversion effective de l'agriculture à des systèmes industrialisés par le biais de l'adoption massive de semences propriétaires à « haut rendement », d'engrais, de pesticides et de mécanisation intensive, entre

autres pratiques (Maingi, 2020). Ceci fut accompagné de coûts importants pour les cultures, la biodiversité au sens large et les connaissances traditionnelles des agriculteurs, ainsi que de changements dans les habitudes de consommation alimentaire et d'une augmentation des dommages environnementaux causés par les produits chimiques. L'expansion des cultures Bt dans de nouveaux pays a donc de fortes implications pour l'adoption ultérieure de ce que l'on appelle la soit-disante « deuxième révolution verte » prolongée, et l'adéquation des cultures Bt en dehors des systèmes industrialisés pour lesquels elles étaient initialement prévues.

Ce rapport résume l'état d'avancement des cultures Bt, leur efficacité et durabilité déclinantes et les considérations relatives au manque d'adéquation au sein et au-delà des monocultures dans les exploitations industrialisées, en particulier dans le contexte des pays en développement, qui semblent être de nouveau les cibles des concepteurs de cultures Bt.

Chapitre 2

La culture des plantes Bt : État des lieux

L'ADOPTION des cultures OGM a marqué le pas ces dernières années, laissant les développeurs à la recherche de nouveaux marchés. Selon l'International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), qui promeut la biotechnologie des cultures, de 1996 à 2002, 16 pays cultivaient des plantes génétiquement modifiées ; ce chiffre est passé à 25 pays en 2008, et à 29 en 2011. Les chiffres semblent toutefois avoir chuté à 26 pays cultivant des OGM en 2021 (Turnbull et al., 2021). Le total des terres consacrées aux cultures génétiquement modifiées a également atteint un plateau et était en légère baisse en 2019, dernière année de publication des rapports de l'ISAAA, des pays comme les États-Unis et l'Argentine ayant atteint la saturation du marché pour le soja, le coton et le maïs.

À ce jour, les traits développés ont été dominés par la tolérance aux herbicides, et le deuxième plus courant étant le trait insecticide des cultures Bt. La grande majorité des terres consacrées aux cultures génétiquement modifiées est également concentrée dans seulement cinq pays – les États-Unis, le Brésil, l'Argentine, le Canada et l'Inde – qui, en 2019, auraient cultivé 91 % de toutes les cultures génétiquement modifiées dans le monde (ISAAA, 2019). En 2019, les cultures Bt auraient représenté 12 % des cultures OGM plantées dans le monde, et 45 % supplémentaires ont été « combinées » avec d'autres traits, le plus souvent la tolérance aux herbicides, dans le but de maximiser les profits.

En outre, de nombreuses cultures Bt sont « pyramidées », c'est-à-dire qu'elles portent plusieurs toxines Bt afin de retarder le plus longtemps possible le développement de nuisibles résistants. Les cultures Bt restent largement concentrées aux États-Unis, au Canada, au Brésil et en Argentine, tandis que l'Inde cultive du coton Bt mais pas de cultures alimentaires Bt. L'Inde est passée de la culture de coton Bt contenant une toxine qui n'est plus efficace à des variétés contenant plusieurs toxines. La Chine aurait cultivé 100 000 hectares de coton Bt en 2018, ce qui représente 2 % des cultures OGM mondiales (ISAAA, 2018). Des variétés de riz et de maïs Bt ont été développées mais n'ont jamais été commercialisées en Chine, au moins en partie en raison de la faible acceptation des consommateurs d'OGM pour ces produits alimentaires de base (Liu et al., 2016; Wang, 2015).

Aux États-Unis, face à une résistance croissante, on observe une tendance constante contre l'utilisation des seuls traits Bt. Les taux d'adoption du maïs Bt sans autres traits étaient de 2 %, contre 87 % pour les traits combinés pour la tolérance aux herbicides/Bt en 2018, soit une légère baisse par rapport à 2017. De même, pour le coton Bt, on a constaté une baisse de 2% des cultures Bt seules plantées en 2018 par rapport à 2017, passant de 5 % à 3 %. La tendance a plutôt été d'approuver des cultures Bt combinées avec plusieurs toxines et/ou traits.

Par exemple, Smartstax Pro® de Bayer a été autorisé en 2022, combinant la tolérance au glyphosate et au dicamba, de multiples toxines Bt et une technologie d'interférence ARN plus nouvelle. L'utilisation supplémentaire d'insecticides épandus au sol pour résoudre les problèmes de résistance a également été recommandée aux agriculteurs (Pucci, 2021). Il est crucial de remarquer qu'en 2020, l'Agence de protection de l'environnement a lancé une proposition visant à éliminer progressivement de nombreuses variétés de maïs et de coton Bt au cours des 3 à 5 prochaines années (Progressive Farmer, 2020; United States Environmental Protection Agency, 2021). Il s'agit de toutes les cultures Bt qui ne portent qu'une seule toxine Bt, ainsi que de tous les produits

pyramidaux qui ne portent pas la toxine *Vip*, qui est la seule toxine à laquelle les nuisibles n'ont pas encore développé de résistance. Au Burkina Faso, le coton Bt a été largement adopté, représentant, selon les estimations, les trois quarts de l'ensemble du coton cultivé en 2015. Cependant, la culture a été progressivement abandonnée en 2016 après qu'il soit apparu que la qualité agronomique des plantes OGM était significativement dégradée ; on constata en effet une baisse substantielle de la longueur des fibres et du ratio d'égrenage. Ces changements involontaires ont limité la qualité et la quantité de coton que l'on pouvait obtenir de la plante. L'industrie cotonnière du Burkina Faso, réputée pour son coton de haute qualité, a subi des pertes de marché qui ont incité les agriculteurs à demander à Monsanto une compensation de 280 millions de dollars pour les pertes subies depuis 2010 (Dowd-Uribe & Schnurr, 2016). Après son élimination progressive, le pays a connu une augmentation de 20 % de la production de coton l'année suivante (Gongo, 2017).

Le coton Bt a également été introduit en Afrique du Sud mais a été rejeté après quelques années par la majorité des petits exploitants agricoles en raison du coût plus élevé des semences qui a aggravé les problèmes d'endettement existants. Le maïs Bt, y a cependant été plus largement adopté, l'Afrique du Sud étant le seul pays au monde à cultiver une culture alimentaire de base OGM pour la consommation (la grande majorité des cultures OGM cultivées sur le continent américain sont destinées aux ingrédients alimentaires transformés, aux aliments pour animaux et aux biocarburants). Comme c'est le cas aux États-Unis, les agriculteurs sud-africains sont confrontés à des problèmes de résistance qui ont également entraîné le passage à des cultures à double toxine à partir de la saison 2012/2013 (Tabashnik & Carrière, 2015).

Le Bangladesh est l'un des rares pays à avoir approuvé les toxines Bt pour une culture indigène, en l'occurrence l'aubergine, ou *begun* comme on l'appelle en bangla. L'aubergine, une culture importante sur le plan culturel, a été génétiquement modifiée par Mahyco, un semencier indien qui a obtenu une licence pour utiliser l'un des traits Bt de Bayer (anciennement Monsanto). L'introduction

de l'aubergine Bt a été favorisée par le financement de l'USAID pour le projet d'amélioration des aubergines d'Asie du Sud *Feed the Future*, qui a été prolongé en 2022 (McCandless, 2016). Si le site Internet de l'Alliance Cornell pour la Science fait état de succès dans le pays, les taux d'adoption semblent faibles, passant de 1 % l'année de sa première plantation, à 6 % en 2018. Selon l'ISAAA, il y a également eu une baisse de l'adoption de 2018 à 2019, avec une baisse des surfaces plantées de 2 975 à 1 931 hectares (ISAAA, 2018). Une enquête menée en 2020 par des organisations de la société civile sur les marchés alimentaires de Dhaka n'a pas permis de constater la présence de aubergines Bt, malgré l'abondance d'autres variétés cultivées localement (Akhter, 2020).

Le Nigeria, le Ghana et le Burkina Faso ont également mené des essais sur le terrain sur la variété de haricot niébé indigène, dans le cadre d'un projet mené par la *African Agricultural Technology Foundation* [Fondation africaine pour les technologies agricoles] (AATF) (largement financée par la Fondation Bill et Melinda Gates), le Centre scientifique des plantes Donald Danforth basé aux États-Unis, l'Institut de recherche agricole et l'Organisation de recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO), une agence du gouvernement australien. L'AATF a négocié un transfert libre de redevance d'un gène Bt (Cry1Ab) de Monsanto (maintenant Bayer). Le Nigeria aurait commencé à planter du niébé Bt, mais les pays voisins ne semblent pas en avoir commencé la culture.

Le Kenya, après avoir instauré une interdiction des importations d'aliments génétiquement modifiés en 2012, a autorisé la plantation de variétés de coton Bt à partir de 2020. Cependant, la production de semences par la société indienne Mahyco, chargée de fournir le matériel végétal, a connu des problèmes et la société a arrêté la distribution des semences. Cela a été récemment décrit comme un coup dur pour cette culture, tout en soulevant des inquiétudes quant au manque d'autosuffisance en matière de production de semences de coton (Andae, 2022). Le Kenya a également testé le maïs Bt et pourrait en approuver la culture de manière imminente.

Pendant ce temps, le Nigéria évalue le maïs génétiquement modifié TELA, une variété de Bayer vendue comme un moyen de lutter contre le légionnaire d'automne et de fournir prétendument une tolérance à la sécheresse. Ce trait de résistance à la sécheresse a déjà rencontré des obstacles en Afrique du Sud, où une variété combinée n'a pas donné de meilleurs résultats, et pour certains paramètres, des résultats même moins bons, que les variétés conventionnelles lors des essais sur le terrain (ACB, 2019).

Chapitre 3

Les problèmes d'efficacité compromettent la durabilité du Bt

La résistance des nuisibles

L'UNE des principales menaces à la durabilité à long terme des cultures Bt a toujours été la possibilité pour les nuisibles cibles de devenir résistants aux toxines insecticides à l'intérieur de la culture. Des stratégies de gestion telles que la plantation de « refuges » non génétiquement modifiés étaient censées réduire la pression exercée sur les nuisibles pour les empêcher de développer une résistance, mais ces politiques n'ont pas été suffisantes ou n'ont pas été mises en œuvre dans de nombreux cas (voir la section « La réalité de la (non-)conformité des agriculteurs aux refuges » ci-dessous).

Comme le résume la figure 1, les principaux nuisibles ont développé une résistance, notamment la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera virgifera*) (Gassmann, 2021; Gassmann, 2016; Gassmann et al., 2011), le ver de la capsule du coton (*Helicoverpa armigera*) aux États-Unis et au Pakistan (Alvi et al., 2012; Gunning et al., 2005; Tabashnik, 2008), le ver de la capsule rose (*Pectinophora gossypiella*) en Inde et en Chine (Dhurua & Gujar, 2011; Wan et al., 2012; Wang et al., 2022), le ver de la capsule tacheté (*Earias vittella*) (Ahmad et al., 2021), la pyrale du maïs au Canada (Field Crop News, 2019), la légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*) sur le continent américain, à Porto Rico, en Colombie et au Brésil (Fatoretto et al., 2017; Gutierrez-Moreno et al., 2020; Zhu et al., 2015), la pyrale de la canne à sucre (*Diatraea saccharalis*) en Argentine (Signorini et al., 2018), et la pyrale asiatique du maïs

(*Ostrinia furnacalis*) aux Philippines (Alviar et al., 2021). Des attaques importantes du ver de la capsule rose sont revenues en Inde l'année dernière dans plusieurs États producteurs de coton, entraînant de graves revers pour les petits exploitants (Najork et al., 2021).

Figure 1. Résumé des résistances documentées des nuisibles aux toxines Bt à l'échelle mondiale



Les premiers cas de résistance ont été documentés en 2002, et la résistance s'est accélérée au cours des deux dernières décennies. En 2013, une efficacité réduite des cultures Bt causée par une résistance évoluée sur le terrain avait été signalée pour certaines populations de cinq des 13 principales espèces de nuisibles examinées (Jin et al., 2015; Tabashnik et al., 2013; Van den Berg et al., 2013). La résistance associée aux dommages aux cultures est en augmentation, une étude ayant rapporté trois cas en 2005, contre 16 cas en 2016 (Tabashnik & Carrière, 2017).

Alors que les premiers cas de résistance ont mis en moyenne huit ans à se développer, les cas ultérieurs n'ont pris que quatre ans, ce qui suggère une accélération du développement de la résistance au fil du temps. Les auteurs ont attribué cette accélération au

développement de la résistance croisée à différentes toxines Bt, ainsi qu'à l'augmentation de la plantation de cultures Bt qui réduit les terres dédiées aux cultures non génétiquement modifiées, qui peuvent agir comme un refuge retardant la résistance. En effet, la résistance croisée a été signalée dans de nombreuses populations de terrain (Bernardi et al., 2015; A. Gassmann, 2021; Jakka et al., 2016; Ludwick et al., 2017; Machado et al., 2020; Zukoff et al., 2016).

Aux États-Unis, le problème est devenu tel que tous les produits à toxine Bt unique et toutes les toxines pyramidales qui ne portent pas la toxine Bt *Vip3Aa* ont récemment fait l'objet d'une proposition d'élimination progressive (Progressive Farmer, 2020; United States Environmental Protection Agency, 2021), avec des pertes de récolte essuyées dans de nombreux États au cours des dernières années (Gassmann et al., 2011; Ludwick et al., 2017; Wangila et al., 2015). La résistance du ver de l'épi du maïs américain (*Helicoverpa zea*), par exemple, a été récemment détectée, avec 80% des populations de terrain étant de 13 à plus de 150 fois résistantes à la toxine Cry1Ab de Bt (Niu et al., 2021).

Les agriculteurs signalent une baisse significative des performances des variétés OGM, et il ne reste plus qu'une seule toxine Bt, *Vip3Aa*, pour porter la technologie. *Vip3Aa* est la seule toxine restante à laquelle les nuisibles n'ont pas développé de résistance généralisée. Toute résistance généralisée à cette toxine pourrait avoir des conséquences négatives sur la survie de la technologie. En effet, des signes indiquant que le *Vip3Aa* pourrait perdre son emprise apparaissent aujourd'hui. Les premiers cas de résistance sur le terrain ont maintenant été documentés aux États-Unis (Yang et al., 2019, 2020, 2021) chez le ver de l'oreille du maïs, un ravageur majeur du maïs, avec des fréquences de résistance en augmentation de 2016 à 2020 (Yang et al., 2019).

Les facteurs critiques supposés pour retarder la résistance comprennent : (1) une stratégie de refuge à forte dose ; qui repose en outre sur (2) des mutations de résistance pour être récessives; (3) une faible fréquence initiale de mutations de résistance dans la population de nuisibles ; ainsi que des facteurs supplémentaires,

notamment (4) une résistance incomplète ; et (5) des coûts d'aptitude (Gould et al., 1997; Tabashnik et al., 2013). Ces stratégies ne sont évidemment pas infaillibles. Premièrement, une stratégie de refuge à haute dose repose sur l'espoir que toute mutation de résistance sera retardée par des doses de toxines Bt suffisamment élevées pour tuer les nuisibles où la mutation est récessive. L'objectif est que les mutations ne se propagent pas rapidement aux générations futures tant qu'elles peuvent se reproduire avec des nuisibles sensibles qui devraient, en théorie, être abondamment présents dans les zones de refuge. De fortes doses de cultures Bt sont censées être suffisamment létales pour tuer tout ravageur porteur d'une seule copie d'une mutation résistante. Cependant, de faibles doses de toxines Bt dans certains des premiers produits Bt ont été liées au développement de la résistance, compromettant la justification fondamentale de la stratégie de refuge à haute dose (Tabashnik & Carrière, 2015). En outre, l'expression des transgènes peut varier en fonction des conditions environnementales, des stades de croissance, de l'organe végétal et de la variété de la culture, de sorte qu'il est difficile de s'assurer que ces variables sont contrôlées pour en optimiser l'efficacité. Dans les cas où des variétés non approuvées sont croisées avec des variétés non enregistrées, cela pourrait exacerber la situation.

Deuxièmement, la stratégie de refuge à haute dose repose également sur le fait que les mutations de résistance sont récessives. En d'autres termes, pour que la résistance soit transmise à la descendance, il faut une copie d'une mutation de résistance des deux parents plutôt qu'une seule (une mutation dominante), ce qui ralentit la propagation dans la population. Or des mutations dominantes ont été documentées sur le terrain (Campagne et al., 2013; Tabashnik et al., 2009).

Troisièmement, une faible fréquence initiale de mutations résistantes au sein d'une population de nuisibles est recherchée pour en retarder la propagation. Cependant, cela ne peut être prédit ou garanti avant l'approbation d'une culture Bt, ce qui nécessite des tests moléculaires détaillés sur le terrain, et il n'est pas toujours démontré que la fréquence soit faible (par exemple, Gould et al., 1997).

Quatrièmement, la résistance incomplète, où les insectes peuvent encore terminer leur développement sur une culture Bt mais souffrent d'un désavantage qui entrave leur survie, n'est pas garantie. Des preuves de l'évolution de la résistance complète dans le champ ont également été documentées (Gassmann et al., 2020).

Cinquièmement, l'absence de coûts d'adaptation a également été documentée chez les nuisibles cibles (Garlet et al., 2022; Kruger et al., 2014). De plus, les coûts d'adaptation sont déterminés par une série de facteurs, notamment les espèces de plantes hôtes, les produits allélochimiques, les agents pathogènes et des paramètres au niveau individuel ou de la population. Cela ajoute de la complexité et de l'imprévisibilité, de sorte que les coûts d'adaptation ne peuvent pas réellement être considérés comme un facteur médiateur pour retarder la résistance (Bird & Akhurst, 2007; Chen et al., 2019; Gassmann et al., 2006; Raymond et al., 2005; Wang et al., 2016). De telles complexités remettent en question les affirmations selon lesquelles les agriculteurs disposent d'un ensemble d'outils efficaces pour gérer la résistance des cultures Bt. De tels facteurs externes échappent au contrôle des agriculteurs, ce qui a pour effet d'intervenir dans une large mesure.

La question de la résistance de la chenille légionnaire d'automne est particulièrement pertinente, compte tenu de l'éventuel recours à des cultures Bt pour combattre les infestations en Afrique et potentiellement en Asie, si le ravageur s'y établit à l'avenir. Une résistance a été détectée à toutes les toxines Bt sauf une, avec des populations résistantes apparaissant aux États-Unis, à Porto Rico, au Brésil et en Argentine, y compris une résistance croisée à plusieurs toxines (Bernardi et al., 2015). Des niveaux significatifs de résistance dans les champs de cultures américains ont été signalés à des taux compris entre 10 et 29 % dans différentes régions en 2014 (Huang et al., 2014; Vélez et al., 2013). La résistance aux toxines Bt Cry1F (Farias et al., 2014) et Cry1Ab (Omoto et al., 2016) qui s'est développée dans les champs au Brésil a entraîné des taux de survie élevés des nuisibles sur les plants de maïs et

de coton exprimant des protéines Bt pyramidales (Bernardi et al., 2015; Santos-Amaya et al., 2016).

De plus, une nouvelle étude a révélé que la résistance à deux cultures Bt porteuses de toxines Bt multiples (Cry1F/Cry1A.105/Cry2Ab2 et Cry1A.105/Cry2Ab2) entraînait une gamme d'effets sur l'adaptabilité fort complexe, avec des avantages pour l'adaptabilité du nuisible lorsque nourrit de maïs et de coton non Bt, et certains coûts pour l'adaptabilité lorsque nourrit sur certaines plantes hôtes du Bt (Garlet et al., 2022). Les auteurs ont conclu que la résistance chez la chenille légionnaire d'automne n'était donc pas liée à des coûts d'adaptabilité substantiels, et que de telles populations peuvent donc persister une fois présentes dans le champ.

La résistance est donc une menace majeure pour la longévité des technologies Bt, constituant une limitation venant compromettre la justification d'une nouvelle expansion vers de nouvelles espèces de cultures ou de nouveaux pays de culture. En dépit de l'étendue des recherches actives engagées pour comprendre les mécanismes de résistance, en vue de concevoir des stratégies pour combattre le problème, et de comprendre comment exactement les toxines Bt exercent leur toxicité en premier lieu, et comment la résistance se développe, ces deux mécanismes ne restent que partiellement compris) (Liu et al., 2021).

En outre, la tendance à se concentrer uniquement sur les mutations comme mécanisme de développement de la résistance omet d'autres complexités qui jouent un rôle dans la manière dont elle fonctionne. Une nouvelle étude, par exemple, a révélé que la propagation rapide d'un virus chez le ver de la capsule rose augmentait le taux de survie du ver de la capsule ayant ingéré du coton Bt (exprimant la toxine Cry1Ac). Le virus, qui peut se propager verticalement à la progéniture ou horizontalement aux nuisibles voisins, réduit les coûts d'adaptation associés aux mutations de résistance (Xiao et al., 2021). Le manque de compréhension autour des mécanismes de résistance est également susceptible d'avoir des conséquences sur la façon dont la résistance est détectée et surveillée, conduisant à une potentielle sous-détection.

La réalité de la (non-)conformité des agriculteurs aux refuges

L'utilisation de refuges a été un élément central de la culture de plantes Bt en tant que pratique obligatoire pour retarder le développement de la résistance. La zone refuge est plantée de cultures non Bt afin que les nuisibles qui s'y trouvent ne développent pas de résistance. L'objectif est que ces nuisibles sensibles s'accouplent avec les nuisibles résistants de la zone plantée en Bt, ralentissant ainsi le développement de nuisibles résistants aux toxines Bt des plantes OGM.

Cependant, les stratégies de refuge ont été critiquées pour leur incapacité à fournir une solution unique à tous les contextes. La modélisation trop enthousiaste de l'efficacité dans des conditions idéales a été l'un des facteurs qui ont favorisé la réduction des exigences en matière de refuge aux États-Unis, mais l'efficacité revendiquée ne s'est pas concrétisée dans les conditions réelles. Certaines complexités n'ont pas été prises en compte avec précision. Par exemple, les refuges naturels, c'est-à-dire les zones voisines où poussent des mauvaises herbes sauvages, ou les cultures non génétiquement modifiées qui peuvent servir de source de refuge pour les nuisibles, ont montré une capacité plus faible que prévu à retarder la résistance. En outre, les réductions de la durabilité des cultures à double toxine lorsque les nuisibles sont déjà résistants à l'une des toxines, ont empêché les prétentions ambitieuses de se concrétiser dans la réalité dans de nombreux cas (Tabashnik & Carrière, 2015).

Les superficies totales consacrées aux refuges varient, certains pays exigeant et d'autres recommandant cette pratique, et les exigences différant pour certaines cultures et certains nuisibles. L'Afrique du Sud, par exemple, a des exigences minimales de 5% en matière de refuges, l'Inde a des exigences de 20%, tandis que les règles américaines varient en fonction de la culture et si la culture est une variété unique ou combinée. Les entreprises d'OGM et les scientifiques ont été en désaccord au fil des ans sur les exigences en matière de refuges, les entreprises ayant par le passé demandé la suppression des exigences en matière de refuges qui entachent

les ventes totales de semences d'OGM, en privilégiant l'utilisation de refuges naturels à la place (Charles, 2020; Farm Progress, 2006).

De plus, le respect des refuges peut s'avérer difficile pour un certain nombre de raisons, en particulier dans les petites exploitations disposant d'un espace de culture limité. Le manque de conformité a été un problème général à travers les pays, y compris les États-Unis, l'Inde, l'Afrique du Sud et le Brésil, ce qui fut lié au développement ultérieur de nuisibles résistants (Dhurua & Gujar, 2011; Mohan et al., 2016; Monnerat et al., 2015; Naik et al., 2018; Storer et al., 2010).

Les agriculteurs brésiliens qui ont demandé une compensation en 2014 pour l'échec de la protection contre les nuisibles cibles se sont plaints d'un manque de disponibilité de semences non génétiquement modifiées pour la plantation de refuges (Stauffer, 2014). Au Pakistan (Alvi et al., 2012) et en Inde (Kukanur et al., 2018), il semble courant que les petits exploitants agricoles ne plantent pas de refuges. Lorsque le prix des semences est élevé, le coton peut être planté toute l'année, donnant aux populations de nuisibles une plus grande chance de développer une résistance et de la transmettre aux générations futures.

Comme le note Van den Berg (2016), en raison de la non-conformité avec les recommandations en matière de refuges en Afrique du Sud : « *Pour retarder l'évolution de la résistance, de nouvelles stratégies de GRI [gestion de la résistance des insectes] adaptées à l'agriculture à petite échelle sont nécessaires* », notamment des stratégies économiquement viables, socialement acceptables et faciles à mettre en œuvre (Van den Berg, 2016).

Au fur et à mesure que la résistance se développe, les recommandations ou les exigences ont évolué vers une augmentation de la taille des refuges. Des scientifiques sud-africains ont récemment recommandé la plantation de 50% de refuges pour le maïs GM comme moyen de retarder la résistance de la chenille légionnaire d'automne nouvellement invasive aux cultures exprimant une seule toxine Bt, et de 20% pour les variétés

combinées (Van den Berg et al., 2021). Les auteurs préviennent que la stratégie de refuge de 5 % proposée au Kenya pour les futures cultures de maïs sera probablement insuffisante. En outre, les propositions visant à utiliser des plantes sauvages comme refuges pour le maïs Bt en Afrique afin de lutter contre le foreur de tige africain ont été décrites comme inadéquates et une étude récente note que « *les stratégies actuelles de GIR et la dépendance à l'égard des plantes hôtes sauvages comme refuge dans la plupart des pays en développement [ne sont] pas appropriées aux petits systèmes de production agricole* » (Van den Berg, 2016).

Si en théorie l'utilisation robuste et à grande échelle de refuges non-Bt peut constituer une solution partielle pour retarder l'apparition de la résistance, l'expérience à ce jour suggère qu'en réalité, ces stratégies sont soit inappropriées, soit souvent hors de portée des agriculteurs sur le terrain, en particulier des petits exploitants. Les systèmes agricoles des petits exploitants adoptant généralement des pratiques plus auto-organisées telles que la conservation des semences, ainsi que d'autres pratiques telles que la culture de petites parcelles situées à proximité de champs voisins, la probabilité de résistance est d'autant plus accrue en raison du flux génétique du maïs GM vers le maïs non GM. Cela a été documenté dans des exploitations de maïs Bt en Zambie (Bøhn et al., 2016), diluant les toxines Bt et exacerbant ainsi potentiellement le développement de la résistance.

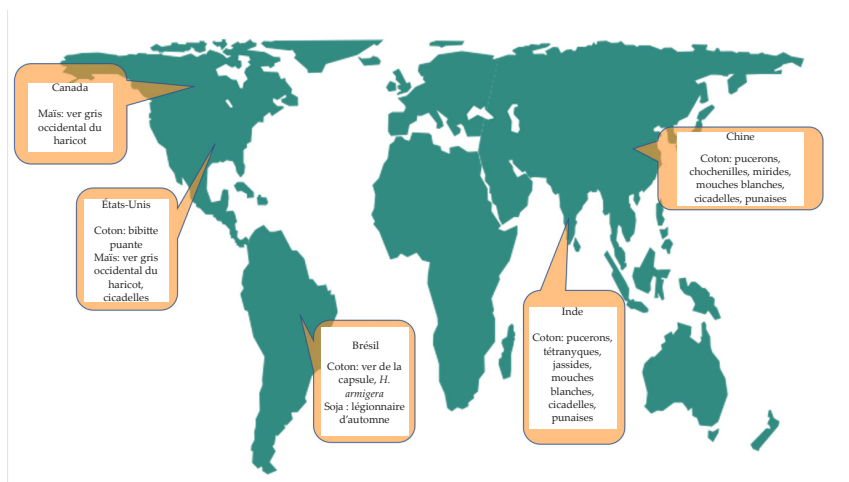
On ne peut simplement pas ignorer ces déterminants clés de l'efficacité du Bt, ni s'attendre à ce qu'ils soient transférés des systèmes industrialisés tels que ceux des États-Unis, où même les agriculteurs sont confrontés à des défis quant à leur efficacité et leur adhésion.

L'augmentation du nombre de nuisibles secondaires

Parallèlement à l'augmentation de la résistance, d'autres problèmes compromettent l'efficacité à long terme des technologies de culture Bt. Les attaques de nuisibles secondaires sont désormais un problème bien reconnu lié à l'adoption de la culture Bt, nécessitant

l'utilisation de pesticides synthétiques et augmentant ainsi les coûts des agriculteurs (voir figure 2). Les infestations de nuisibles secondaires sont l'effet indirect de l'élimination des nuisibles primaires des cultures, un problème prévisible déjà rencontré avec les pesticides synthétiques tels que le DDT il y a plusieurs dizaines d'années (Castle et al., 1996; Eveleens et al., 1973).

Figure 2. Résumé des infestations documentées de nuisibles secondaires dans les champs de cultures Bt à l'échelle mondiale



Les toxines Bt ne ciblent qu'un nombre limité de nuisibles, laissant les cultures sensibles à de nombreuses autres espèces de nuisibles potentiels. Malgré l'importance de cette question qui peut déterminer le succès ou l'échec d'une récolte, elle n'a reçu qu'une attention limitée. De nombreux problèmes ont été signalés par les agriculteurs au fil des ans. L'augmentation des nuisibles secondaires a été attribuée à un certain nombre de problèmes liés à la technologie, notamment une réduction initiale des pesticides à large spectre, une réduction des populations d'ennemis naturels et une diminution de la concurrence interspécifique entre les nuisibles cibles (Catarino et al., 2015).

En Chine et en Inde, où le coton est une culture commerciale majeure, des infestations de nuisibles secondaires ont été documentées de manière répétée depuis plus d'une décennie, avec une augmentation des nuisibles tels que les mirides (*Lygus* spp., *Neurocolpus nubilus*), les pucerons (*Aphis gossypii*), les thrips (*Thrips tabaci*), les cochenilles (*Pseudococcus corymbatus*, *Pulvinaria maxima*, et *Saissetia nigra*), les cicadelles (*Amrasca biguttula biguttula*), punaises (*Adelphocoris saturalis*, *A. fasciaticollis*, *Lygus lucorum*, etc) et les aleurodes (tels que *Trialeurodes vaporariorum* Westwood et le *Bemisia tabaci* Genn), y compris des espèces nouvelles qui n'étaient pas signalées auparavant dans la région, comme les infestations de ver de la capsule américain en Inde (Hagenbucher et al., 2013; K. R. Kranthi, 2014; Lu et al., 2010; Nagrare et al., 2009; Nair & Bhardwaj, 2015; Wang et al., 2008; Yang et al., 2005).

Les infestations secondaires de nuisibles ont érodé les affirmations selon lesquelles les technologies Bt entraînent une réduction des intrants de pesticides et donc des coûts pour les agriculteurs, ces derniers signalant l'absence d'une réduction de l'application de pesticides (Men et al., 2005). Une enquête menée en 2011 auprès de 1 000 agriculteurs chinois dans cinq provinces a révélé une augmentation de nombreux nuisibles secondaires tels que les pucerons (*Aphis gossypii*), les tétranyques (*Tetranychus cinnabarinus*), et les punaises (*Adelphocoris saturalis*, *A. fasciaticollis*, *Lygus lucorum*, etc.) (Zhao et al., 2011). De même, en Inde, les preuves recueillies il y a plus de dix ans n'ont montré aucune réduction de l'utilisation des pesticides, ce qui correspond au fait que les agriculteurs attribuent les dommages causés par les nuisibles aux pucerons et autres insectes suceurs non ciblés par les toxines Bt (Ramaswami et al., 2012). Les nuisibles secondaires et les problèmes de résistance liés à l'absence de gestion de la résistance, en particulier dans les systèmes de production des petits exploitants où il n'y a pas assez d'espace pour la plantation de refuges et moins d'infrastructures pour la coordination et la réglementation, ont fait que la baisse initiale de l'utilisation d'insecticides avec les cultures Bt n'a pas été maintenue (PAN UK, 2017).

Aux États-Unis, l'adoption du coton Bt a entraîné une augmentation des nuisibles que sont les punaises puantes (par exemple, *Euschistus servus* et *Nezara viridula*), les cicadelles (*Dalbulus maidi*) et les punaises mirides (*Lygus* spp., *Neurocolpus nubilus*) (Naranjo, 2011; Zeilinger et al., 2016). Aux États-Unis et au Canada, le ver gris occidental du haricot (*Striacosta albicosta*) est également devenu un ravageur du maïs Bt de plus en plus important (Catangui & Berg, 2006; Dorhout & Rice, 2010; Lindroth et al., 2012; Smith et al., 2018). Le Brésil a subi des infestations de ver de la capsule dans le coton (*Helicoverpa armigera*), un ravageur qui n'était auparavant pas associé aux Amériques (Tay et al., 2013). Aujourd'hui, le pays connaît aussi une augmentation du légionnaire d'automne sur les cultures de soja, une espèce qui n'était pas considérée comme un ravageur du soja jusqu'au début des années 2000. Cette situation est probablement due à l'évolution des systèmes de culture associée à un déclin des pratiques de lutte contre les insectes nuisibles, parallèlement à l'adoption généralisée de cultures génétiquement modifiées (Horikoshi et al., 2021).

Autres défis

L'apparition des cultures Bt a été promue comme une mesure progressiste sur le plan environnemental qui réduirait l'utilisation des pesticides. Néanmoins, cet argument fallacieux ignore le fait fondamental que, plutôt que de réduire l'utilisation des pesticides, les cultures Bt modifient le mode d'application des pesticides, passant d'applications externes à une production interne à la culture. Les cultures expriment donc des toxines Bt tout au long de la saison de croissance, indépendamment de la présence de nuisibles, ce qui entraîne une exposition chronique de tous les organismes qui se nourrissent de ces plantes (Hilbeck et al., 2020). Même l'allégation de réduction de l'utilisation externe de pesticides se relève fallacieuse au regard des dernières expériences en date. La toxicité globale des pesticides appliqués aux États-Unis a augmenté, sans aucune réduction de l'utilisation d'insecticides (masse) appliquée au maïs Bt par rapport au maïs non Bt de 2000 à 2016 (Schulz et al., 2021).

Les traitements de semences sont également en expansion au niveau mondial, mais ne sont pas inclus dans les enquêtes sur les applications de pesticides aux États-Unis (Douglas & Tooker, 2015). Environ 43 % de la masse totale d'insecticides appliqués sur le maïs l'ont été sous forme d'application de néonicotinoïdes sur les semences. Douglas and Tooker (2015) notent que : « *Plusieurs analyses portant sur l'influence des cultures Bt sur les tendances en matière d'utilisation des pesticides ne semblent pas avoir pris en compte les traitements de semences, et peuvent donc avoir surestimé les réductions de l'utilisation des insecticides (en particulier la « surface traitée ») associées à cette technologie.* »

Selon Mullin et al. (2005), les traitements de semences portent en effet de plus en plus sur les semences génétiquement modifiées. Leslie et al. (2009) soulignent également que : « *Toutes les variétés de maïs Bt dirigées contre la chrysomèle des racines disponibles dans le commerce contiennent des traitements de semences à base de néonicotinoïdes* », lesquelles sont décrites comme une « technologie couplée ». Comme pour les toxines Bt qui sont exprimées par les cultures Bt indépendamment de la pression exercée par les nuisibles, les semences traitées constituent également une mesure prophylactique, avec le risque de développement d'une résistance attribuable à une pression accrue en raison d'une exposition constante.

Les cultures Bt sont également « couplées », à d'autres intrants et pratiques comme l'utilisation d'engrais et l'irrigation. Pour les agriculteurs pauvres en ressources, ces intrants ne sont souvent pas disponibles. Ainsi, par exemple, la plantation de cultures Bt dans des exploitations non irriguées a-t-elle conduit à de mauvaises récoltes (Kranthi & Stone, 2020a). Les allégations de succès du coton Bt ont plutôt été attribuées aux exploitations qui sont en mesure de financer des déploiements plus importants en termes de main-d'œuvre, d'irrigation et d'intrants chimiques (Kranthi, 2016), plutôt qu'à la culture Bt elle-même.

Comme expliqué par Kranthi et Stone (2020a), l'utilisation accrue d'engrais dans les régions productrices de coton en Inde a aggravé la pression financière pesant sur les agriculteurs déjà marginalisés et pauvres en ressources. Ces derniers, au lieu de bénéficier d'améliorations agronomiques, sont maintenant davantage happés dans un modèle d'agriculture intensive qui précipite de nombreux agriculteurs dans davantage de cycles d'endettement et de détresse.

Chapitre 4

Les cultures Bt : un assaut contre les systèmes agricoles des petits exploitants ?

LES limites associées aux technologies des cultures Bt, qu'il s'agisse du développement de la résistance, de l'infestation secondaire par les nuisibles, du manque de conformité des refuges ou de l'augmentation subséquente des coûts des intrants associés aux cultures Bt, ont eu des effets fort bien documentés sur les petits exploitants des pays en développement.

La transition de l'Inde vers le coton Bt s'est faite après la Révolution verte qui avait déjà radicalement modifié les pratiques agricoles et introduit de nouvelles technologies et de nouveaux intrants, et dont les coûts ont été portés par les petits agriculteurs et les agriculteurs marginalisés (Kannuri & Jadhav, 2021). La culture de plantes Bt s'est révélée être un élément toxique supplémentaire contribuant à l'endettement des agriculteurs dans le cadre d'une crise agraire plus large en Inde. Aujourd'hui les mauvaises récoltes affectent toujours les producteurs de coton (Kumar, 2008; Nair & Bhardwaj, 2015; Singh, 2021; Singh, 2022), et les rendements ont stagné après 20 ans de culture. Ceci a mené à une augmentation de l'utilisation de pesticides et d'engrais, et à une détresse et à un endettement des agriculteurs (Gutierrez et al., 2015, 2020; Kranthi & Stone, 2020a, 2020b; Najork et al., 2021).

Les suicides d'agriculteurs ont été directement liés aux mauvaises récoltes dans les exploitations non irriguées (Gutierrez et al., 2015), la technologie étant mal adaptée aux zones d'agriculture pluviale par rapport aux variétés indigènes non-Bt. Les témoignages des familles de ceux qui ont mis fin à leurs jours révèlent la dette

financière subie par les agriculteurs qui tentent de se remettre des infestations de nuisibles et des mauvaises récoltes (Kannuri & Jadhav, 2021). Cela fait courir un plus grand risque aux agriculteurs, bien qu'ils n'aient guère d'autre choix que d'acheter du coton hybride Bt, qui a complètement envahi le marché (Siddiqi, 2020).

L'économie politique du coton Bt en Inde a récemment été décrite par Najork et al. (2021) comme une forme d'« obsolescence sociobiologique » venant systématiquement déposséder les agriculteurs et concentrant la richesse vers le haut du secteur agricole. Les limites inhérentes aux problèmes de résistance empêchent la technologie d'être une option durable pour les agriculteurs. Néanmoins, les produits sont présentés aux petits exploitants agricoles comme un moyen d'augmenter les profits.

L'introduction du coton Bt a également été présentée comme une panacée pour lutter contre les problèmes auxquels sont confrontés les petits exploitants agricoles en Afrique du Sud, fournissant ainsi des « munitions cruciales » pour la promotion des cultures GM sur le continent africain (Schnurr, 2012). Le projet soutenu par l'USAID, qui promettait d'extraire les agriculteurs hors de la pauvreté, s'est avéré de courte durée, la majorité des petits exploitants agricoles ayant mis un terme à l'adoption de la culture en raison de l'incapacité à rembourser leurs dettes. Une étude menée sur cinq ans par la société civile en Afrique du Sud a fait état de pertes de revenus essuyés par les agriculteurs (GRAIN, 2005). Avec des prix de semences deux fois plus élevés que ceux des variétés conventionnelles, aggravés par les sécheresses et les faibles prix du coton, les cultures Bt ont exacerbé plutôt qu'inversé les problèmes d'endettement des agriculteurs de la région des Makhathini Flats.

Le Burkina Faso est un autre pays qui a subi les conséquences négatives de la culture du coton Bt aux points agronomiques et économiques. Les concepteurs ont façonné un récit faisant état du succès de la dissémination de cette culture, qui fut le premier point d'entrée des cultures OGM en Afrique de l'Ouest. Cependant, des

conflits d'intérêts, des problèmes d'intégrité des données et des problèmes méthodologiques ont conduit à des rapports concluant à des rendements surenchéris et à une grande variabilité des rendements qui n'ont pas été correctement rapportés. Les problèmes de rendement ont été aggravés pour les agriculteurs les plus pauvres qui n'étaient pas en mesure d'acheter des engrais ; ils devaient également racheter les semences lorsqu'elles ne germaient pas. Ces dynamiques locales n'ont pas été prises en compte dans l'évaluation des prétendus succès par les concepteurs. Comme le décrivent Luna et Dowd-Urbe (2020), les dynamiques du pouvoir a permis aux développeurs transnationaux d'OGM de façonner les premiers récits sur le coton Bt au Burkina Faso, ce qui a finalement servi leurs résultats financiers, et c'est sur la base de projections exagérées qu'ils ont soutenu des prix élevés pour les redevances sur les semences Bt.

En réalité, la technologie a réduit la qualité agronomique de la culture, qui a subi une baisse importante de la longueur des fibres et du taux d'égrenage. L'industrie cotonnière du Burkina Faso, réputée pour son coton de haute qualité, a subi de graves conséquences économiques dues aux pertes de marché. Malgré les échecs liés au processus de développement de la technologie, les petits exploitants agricoles, plutôt que sur les développeurs, ont porté la charge de ces coûts économiques (Luna & Dowd-Urbe, 2020).

Le dernier développement en date de la culture du niébé Bt soulève des préoccupations supplémentaires en ce qui concerne l'ingénierie des plantes cultivées indigènes, en particulier au sein d'un centre de diversité. L'approbation éventuelle du niébé Bt est contestée par des organisations de la société civile dans une affaire juridique au Ghana (Food Sovereignty Ghana, 2022), sur la base du principe que ces approbations sont une menace pour les systèmes de cultures indigènes (ACB, 2015; HOMEF & ACB, 2022). Le niébé est une culture dont l'importance économique et culturelle s'étend aux communautés de la diaspora aux Amériques, dans les Antilles et en Europe.

Les approbations potentielles ont également suscité des préoccupations en matière de biosécurité liées à un manque de données sur la sécurité, ainsi que des résultats publiés par les concepteurs qui révèlent une série de problèmes en matière de biosécurité. Il s'agit notamment d'effets involontaires au niveau moléculaire (comme par exemple l'instabilité des transgènes) qui peuvent avoir un impact sur les organismes non ciblés, la réduction de la fertilité du sol, les impacts potentiels sur la santé, y compris l'augmentation des réponses immunitaires, ainsi que la contamination des variétés indigènes et sauvages non génétiquement modifiées par le biais du flux génétique (Then et al., 2022).

L'introduction des cultures Bt (et plus largement des cultures OGM) a des implications importantes pour les systèmes des petits exploitants agricoles. Comme le soulignent les exemples de résistance aux nuisibles et de mauvaises récoltes, mentionnés ci-dessus, les affirmations émanant de l'Occident quant au succès ne sont en aucun cas le reflet exact des expériences vécues. De sérieuses questions demeurent quant à la pertinence d'une technologie conçue pour les systèmes occidentaux, pour les petits exploitants agricoles (Schnurr & Dowd-Urbe, 2021).

Au-delà des problèmes d'efficacité associés à la technologie, des questions se posent également quant à son adéquation, la technologie ayant été conçue sans une connaissance suffisante des systèmes agricoles auxquels elle est destinée. Par exemple, comme l'ont noté Schnurr et Dowd-Urbe (2021), le niébé Bt est conçu pour éloigner le foreur de gousses de légumineuses, mais ce ravageur est plus répandu dans une région du Burkina Faso où le niébé est peu cultivé, ce qui remet en question l'avantage et donc la rentabilité de l'adoption de cette culture. De plus, d'autres nuisibles non ciblés par les toxines Bt sont considérés comme une menace plus généralisée pour le niébé à travers le pays. Néanmoins, des projections irréalistes en gains de rendement sont mises en avant (Schnurr & Dowd-Urbe, 2021).

Les cultures OGM les plus courantes, y compris les variétés Bt, restent des cultures de base conçues pour les systèmes industrialisés. Si les nouvelles cultures Bt comprennent certaines variétés indigènes, il est à craindre que ces projets, bien que présentés comme répondant aux besoins des petits exploitants, ne soient plutôt un mécanisme permettant de faire accepter la technologie pour les cultures commerciales et de poursuivre l'industrialisation de l'agriculture.

Les expériences menées à ce jour avec les cultures Bt soulèvent de sérieuses questions quant à la durabilité de la technologie, en particulier dans les contextes des pays en développement où les intrants agricoles supplémentaires, les besoins en refuges et d'autres pratiques intensives telles que l'irrigation n'ont pas toujours été réalistes ou réalisables. La compatibilité des cultures Bt avec les réalités de l'agriculture dans les pays en développement, où il peut être difficile de se conformer aux obligations de refuge en raison de la taille des petites exploitations, est à remettre en question.

En outre, les systèmes semenciers paysans se caractérisent par la capacité des agriculteurs à conserver, échanger et vendre librement les semences de ferme, pratiques qui fournissent la majorité des semences dans les pays en développement. La criminalisation de la conservation des semences va main dans la main avec la promotion de la culture des OGM, menaçant ces pratiques nécessaires à l'autodétermination dans la sphère agricole. Toute introduction de cultures Bt nécessite une réduction de ces pratiques afin d'éviter le développement de résistances. L'absence d'une reconnaissance de la réalité de la conservation des semences peut également compromettre l'efficacité des caractères Bt, qui peuvent être modifiés lors de la sélection.

Chapitre 5

Remarques finales

LES systèmes de culture Bt ont été conçus pour les systèmes agricoles industriels où ils ont, en partie, assuré un certain succès à court terme dans certains contextes. Cependant, même au sein des systèmes industrialisés, la technologie succombe à de graves problèmes d'efficacité qui menacent sa survie. Cela a conduit les experts agricoles à chercher des solutions pour les pays qui sont maintenant saturés de variétés de cultures Bt, créant une dépendance malsaine à l'égard de ce type de solution technique à court terme pour les problèmes éternels de gestion des nuisibles.

Au regard de la pénurie de cultures que l'industrie peut présenter aux petits exploitants agricoles, il semble que les cultures Bt soient maintenant présentées comme une solution rentable. Et ce, malgré les expériences menées jusqu'à présent dans les pays en développement, qui ont montré un succès nettement moindre et, dans certains cas, de graves échecs qui ont eu des répercussions économiques pour les agriculteurs, en particulier les petits exploitants qui ne disposent pas des intrants supplémentaires nécessaires à la culture des plantes Bt.

Si cette dernière offre de nouveaux marchés à travers le monde peut présenter de nouvelles opportunités pour l'industrie des OGM, les petits exploitants agricoles risquent de devoir à nouveau porter le fardeau de tout échec futur si les cultures Bt sont plus largement adoptées (Glover et al., 2020). L'expérience acquise jusqu'à présent montre clairement comment les cultures Bt, et plus généralement les cultures OGM, ont servi les intérêts des sociétés

internationales, qui ne peuvent que poursuivre le « dumping » de vieilles technologies partout où l'occasion se présente.

Bibliographie

- ACB. (2015). GM and seed industry eye Africa's lucrative cowpea seed markets: The political economy of cowpea in Nigeria, Burkina Faso, Ghana and Malawi. African Centre for Biodiversity. <https://www.acbio.org.za/gm-and-seed-industry-eye-africas-lucrative-cowpea-seed-markets-political-economy-cowpea-nigeria>
- ACB. (2019, October 4). Resounding no to Monsanto's "bogus" GM drought tolerant maize. <https://www.acbio.org.za/resounding-no-monsantos-bogus-gm-drought-tolerant-maize>
- Ahmad, S. F., Gulzar, A., Tariq, M., & Asad, M. J. (2021). Field Evolved Resistance in *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) From Punjab, Pakistan Against Commercial Formulations of *Bacillus thuringiensis kurstaki*. *Journal of Economic Entomology*, 114(5), 2204-2213. <https://doi.org/10.1093/jee/toab137>
- Akhter, F. (2020). Bt brinjal: Alliance for Crooked Science & Corporate Lies. UBINIG (Policy Research for Development Alternative). <https://ubinig.org/index.php/home/showArticle/234/english/Farida-Akhter/Bt-brinjal:-Alliance-for-Crooked-Science-&-Corporate-Lies>
- Alvi, A. H. K., Sayyed, A. H., Naeem, M., & Ali, M. (2012). Field Evolved Resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to *Bacillus thuringiensis* Toxin Cry1Ac in Pakistan. *PLOS ONE*, 7(10), e47309. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047309>
- Alviar, K. B., Duza, G. M., Mainem, C. A. T., & Alcalde, G. T. (2021). Resistance Mechanism Exhibited by Selected Maize Varieties to Asian Corn Borer *Ostrinia furnacalis* Guenee (Lepidoptera: Crambidae), Philippines. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 43(2). <https://doi.org/10.17503/agrivita.v43i2.2917>
- Andae, G. (2022, May 23). Cotton production hit as supplier of GM seeds pulls out. Business Daily Africa. <https://www.businessdailyafrica.com/bd/markets/commodities/cotton-production-hit-as-supplier-of-gm-seeds-pulls-out-3823786>
- Bernardi, D., Salmeron, E., Horikoshi, R. J., Bernardi, O., Dourado, P. M., Carvalho, R. A., Martinelli, S., Head, G. P., & Omoto, C. (2015). Cross-Resistance between Cry1 Proteins in Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) May Affect the Durability of Current Pyramided Bt Maize Hybrids in Brazil. *PLOS ONE*, 10(10), e0140130. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140130>
- Bird, L. J., & Akhurst, R. J. (2007). Effects of host plant species on fitness costs of Bt resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biological Control*, 40(2), 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.11.004>
- Böhn, T., Aheto, D. W., Mwangala, F. S., Fischer, K., Bones, I. L., Simoloka, C., Mbeule, I., Schmidt, G., & Breckling, B. (2016). Pollen-mediated gene flow and seed exchange in small-scale Zambian maize farming, implications for biosafety assessment. *Scientific Reports*, 6(1), 34483. <https://doi.org/10.1038/srep34483>

- Campagne, P., Kruger, M., Pasquet, R., Le Ru, B., & Van den Berg, J. (2013). Dominant inheritance of field-evolved resistance to Bt corn in *Busseola fusca*. *PLOS ONE*, 8(7), e69675. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069675>
- Castle, S. J., Henneberry, T. J., & Toscano, N. C. (1996). Suppression of Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae) infestations in cantaloupe and cotton with sprinkler irrigation. *Crop Protection*, 15(7), 657-663. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(96\)00037-3](https://doi.org/10.1016/0261-2194(96)00037-3)
- Catangui, M. A., & Berg, R. K. (2006). Western Bean Cutworm, *Striacosta albicosta* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), as a Potential Pest of Transgenic Cry1Ab *Bacillus thuringiensis* Corn Hybrids in South Dakota. *Environmental Entomology*, 35(5), 1439-1452. <https://doi.org/10.1093/ee/35.5.1439>
- Catarino, R., Ceddia, G., Areal, F. J., & Park, J. (2015). The impact of secondary pests on *Bacillus thuringiensis* (Bt) crops. *Plant Biotechnology Journal*, 13(5), 601-612. <https://doi.org/10.1111/pbi.12363>
- Charles, D. (2020, October 29). As Biotech Crops Lose Their Power, Scientists Push For New Restrictions. NPR. <https://www.npr.org/2020/10/29/927111009/as-biotech-crops-lose-their-power-scientists-push-for-new-restrictions?t=1603985075480&t=1604310408788&t=1645704521851&t=1650385971915>
- Chen, D., Moar, W. J., Jerga, A., Gowda, A., Milligan, J. S., Bretsnyder, E. C., Rydel, T. J., Baum, J. A., Semeao, A., Fu, X., Guzov, V., Gabbert, K., Head, G. P., & Haas, J. A. (2021). *Bacillus thuringiensis* chimeric proteins Cry1A.2 and Cry1B.2 to control soybean lepidopteran pests: New domain combinations enhance insecticidal spectrum of activity and novel receptor contributions. *PLOS ONE*, 16(6), e0249150. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249150>
- Chen, X., Head, G. P., Price, P., Kerns, D. L., Rice, M. E., Huang, F., Gilreath, R. T., & Yang, F. (2019). Fitness costs of Vip3A resistance in *Spodoptera frugiperda* on different hosts. *Pest Management Science*, 75(4), 1074-1080. <https://doi.org/10.1002/ps.5218>
- Dhurua, S., & Gujar, G. T. (2011). Field-evolved resistance to Bt toxin Cry1Ac in the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), from India. *Pest Management Science*, 67(8), 898-903. <https://doi.org/10.1002/ps.2127>
- Dively, G. P., Venugopal, P. D., & Finkenbinder, C. (2016). Field-Evolved Resistance in Corn Earworm to Cry Proteins Expressed by Transgenic Sweet Corn. *PLOS ONE*, 11(12), e0169115. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169115>
- Dorhout, D. L., & Rice, M. E. (2010). Intraguild competition and enhanced survival of western bean cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic Cry1Ab (MON810) *Bacillus thuringiensis* corn. *Journal of Economic Entomology*, 103(1), 54-62. <https://doi.org/10.1603/ec09247>
- Douglas, M. R., & Tooker, J. F. (2015). Large-Scale Deployment of Seed Treatments Has Driven Rapid Increase in Use of Neonicotinoid Insecticides and Preemptive Pest Management in U.S. Field Crops. *Environmental Science & Technology*, 49(8), 5088-5097. <https://doi.org/10.1021/es506141g>

- Dowd-Urbe, B., & Schnurr, M. A. (2016). Briefing: Burkina Faso's reversal on genetically modified cotton and the implications for Africa. *African Affairs*, 115(458), 161-172. <https://doi.org/10.1093/afraf/adv063>
- Eveleens, K. G., Van Den Bosch, R., & Ehler, L. E. (1973). Secondary Outbreak Induction of Beet Armyworm by Experimental Insecticide Applications in Cotton in California. *Environmental Entomology*, 2(4), 497-504. <https://doi.org/10.1093/ee/2.4.497>
- Farias, J. R., Andow, D. A., Horikoshi, R. J., Sorgatto, R. J., Fresia, P., dos Santos, A. C., & Omoto, C. (2014). Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 64, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.019>
- Farm Progress. (2006, February 6). Monsanto proposes natural refuge for Bollgard II cotton. <https://www.farmprogress.com/management/monsanto-proposes-natural-refuge-bollgard-ii-cotton>
- Fatoretto, J. C., Michel, A. P., Silva Filho, M. C., & Silva, N. (2017). Adaptive Potential of Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Limits Bt Trait Durability in Brazil. *Journal of Integrated Pest Management*, 8(1). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmx011>
- Fernandes, G. B., Silva, A. C. de L., Maronhas, M. E. S., Santos, A. da S. dos, & Lima, P. H. C. (2022). Transgene Flow: Challenges to the On-Farm Conservation of Maize Landraces in the Brazilian Semi-Arid Region. *Plants*, 11(5), 603. <https://doi.org/10.3390/plants11050603>
- Field Crop News. (2019). European Corn Borer Resistance to Bt Corn Found in Canada. <https://fieldcropnews.com/2019/05/european-corn-borer-resistance-to-bt-corn-found-in-canada/>
- Food Sovereignty Ghana. (2022). Human Rights Court Hears Ghana's First GMO Case. <http://foodsovereigntyghana.org/human-rights-court-hears-ghanas-first-gmo-case/>
- Garlet, C. G., Muraro, D. S., Godoy, D. N., Cossa, G. E., Hanich, M. R., Stacker, R. F., & Bernardi, O. (2022). Assessing fitness costs of the resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyramided Cry1 and Cry2 insecticidal proteins on different host plants. *Bulletin of Entomological Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1017/S0007485321001152>
- Gassmann, A. (2021). Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm: Effects of Pest Biology, the Pest-Crop Interaction and the Agricultural Landscape on Resistance. *Insects*, 12(2), 136. <https://doi.org/10.3390/insects12020136>
- Gassmann, A. J. (2016). Resistance to Bt maize by western corn rootworm: Insights from the laboratory and the field. *Current Opinion in Insect Science*, 15, 111-115. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.001>
- Gassmann, A. J., Petzold-Maxwell, J. L., Keweshan, R. S., & Dunbar, M. W. (2011). Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. *PLOS ONE*, 6(7), e22629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022629>
- Gassmann, A. J., Shrestha, R. B., Kropf, A. L., St Clair, C. R., & Brenizer, B. D. (2020). Field-evolved resistance by western corn rootworm to Cry34/35Ab1 and other *Bacillus thuringiensis* traits in transgenic maize. *Pest Management Science*, 76(1), 268-276. <https://doi.org/10.1002/ps.5510>

- Gassmann, A. J., Stock, S. P., Carrière, Y., & Tabashnik, B. E. (2006). Effect of entomopathogenic nematodes on the fitness cost of resistance to Bt toxin cryIac in pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(3), 920-926. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-99.3.920>
- Glover, D., Kim, S. K., & Stone, G. D. (2020). Golden Rice and technology adoption theory: A study of seed choice dynamics among rice growers in the Philippines. *Technology in Society*, 60, 101227. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101227>
- Gongo, S. (2017). Burkina Faso Sees Cotton Output Rising 20% in 2017-18 Season. *Naija247news*. <https://naija247news.com/2017/04/22/burkina-faso-sees-cotton-output-rising-20-in-2017-18-season/>
- Gould, F., Anderson, A., Jones, A., Sumerford, D., Heckel, D. G., Lopez, J., Micinski, S., Leonard, R., & Laster, M. (1997). Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(8), 3519-3523. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.8.3519>
- GRAIN. (2005, April). Bt cotton in South Africa: The case of the Makhathini farmers. <https://grain.org/article/entries/492-bt-cotton-in-south-africa-the-case-of-the-makhathini-farmers>
- Gunning, R. V., Dang, H. T., Kemp, F. C., Nicholson, I. C., & Moores, G. D. (2005). New Resistance Mechanism in *Helicoverpa armigera* Threatens Transgenic Crops Expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac Toxin. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(5), 2558-2563. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.5.2558-2563.2005>
- Gutierrez, A. P., Ponti, L., Herren, H. R., Baumgärtner, J., & Kenmore, P. E. (2015). Deconstructing Indian cotton: Weather, yields, and suicides. *Environmental Sciences Europe*, 27(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0043-8>
- Gutierrez, A. P., Ponti, L., Kranthi, K. R., Baumgärtner, J., Kenmore, Peter. E., Gilioli, G., Boggia, A., Cure, J. R., & Rodríguez, D. (2020). Bio-economics of Indian hybrid Bt cotton and farmer suicides. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 139. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00406-6>
- Gutierrez-Moreno, R., Mota-Sanchez, D., Blanco, C. A., Chandrasena, D., Difonzo, C., Conner, J., Head, G., Berman, K., & Wise, J. (2020). Susceptibility of Fall Armyworms (*Spodoptera frugiperda* J.E.) from Mexico and Puerto Rico to Bt Proteins. *Insects*, 11(12), E831. <https://doi.org/10.3390/insects11120831>
- Hagenbucher, S., Wäckers, F. L., Wettstein, F. E., Olson, D. M., Ruberson, J. R., & Romeis, J. (2013). Pest trade-offs in technology: Reduced damage by caterpillars in Bt cotton benefits aphids. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1758), 20130042. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0042>
- Hilbeck, A., Defarge, N., Lebrecht, T., & Böhn, T. (2020). Insecticidal Bt Crops – EFSA’s Risk Assessment Approach for GM Bt Plants Fails by Design. <https://www.testbiotech.org/en/content/rages-subreport-insecticidal-bt-crops> (accessed on 17 December 2021).

- HOMEF, & ACB. (2022). Coalition demands a ban of Bt cowpea in Nigeria and neighbouring West African countries. <https://www.acbio.org.za/coalition-demands-ban-bt-cowpea-nigeria-and-neighbouring-west-african-countries>
- Horikoshi, R. J., Dourado, P. M., Berger, G. U., de S. Fernandes, D., Omoto, C., Willse, A., Martinelli, S., Head, G. P., & Corrêa, A. S. (2021). Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. *Scientific Reports*, 11(1), 15956. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95483-9>
- Huang, F., Qureshi, J. A., Meagher, R. L., Reisig, D. D., Head, G. P., Andow, D. A., Ni, X., Kerns, D., Buntin, G. D., Niu, Y., Yang, F., & Dangal, V. (2014). Cry1F Resistance in Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*: Single Gene versus Pyramided Bt Maize. *PLOS ONE*, 9(11), e112958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112958>
- ISAAA. (2018). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2018: Biotech Crops Continue to Help Meet the Challenges of Increased Population and Climate Change. ISAAA. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/download/isaaa-brief-54-2018.pdf>
- ISAAA. (2019). ISAAA Brief 55-2019: Executive Summary – Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>
- Jakka, S. R. K., Shrestha, R. B., & Gassmann, A. J. (2016). Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins by western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). *Scientific Reports*, 6, 27860. <https://doi.org/10.1038/srep27860>
- Jin, L., Zhang, H., Lu, Y., Yang, Y., Wu, K., Tabashnik, B. E., & Wu, Y. (2015). Large-scale test of the natural refuge strategy for delaying insect resistance to transgenic Bt crops. *Nature Biotechnology*, 33(2), 169-174. <https://doi.org/10.1038/nbt.3100>
- Kahn, T. W., Duck, N. B., McCarville, M. T., Schouten, L. C., Schweri, K., Zaitseva, J., & Daum, J. (2021). A *Bacillus thuringiensis* Cry protein controls soybean cyst nematode in transgenic soybean plants. *Nature Communications*, 12(1), 3380. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23743-3>
- Kannuri, N. K., & Jadhav, S. (2021). Cultivating distress: Cotton, caste and farmer suicides in India. *Anthropology & Medicine*, 28(4), 558-575. <https://doi.org/10.1080/13648470.2021.1993630>
- Kranthi, K. (2016). Fertilizers Gave High Yields Bt Only Provided Cover. http://www.cicr.org.in/pdf/Kranthi_art/Fertilizers_and_Bt.pdf
- Kranthi, K. R. (2014). Cotton production systems – Need for a change in India. *Cotton Statistics*, 38, 4-7.
- Kranthi, K. R., & Stone, G. D. (2020a). Long-term impacts of Bt cotton in India. *Nature Plants*, 6(3), 188-196. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0615-5>
- Kranthi, K. R., & Stone, G. D. (2020b). Kranthi and Stone reply. *Nature Plants*, 6(11), 1321-1322. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00790-0>

- Kruger, M., Van Rensburg, J. B. J., & Van den Berg, J. (2014). No fitness costs associated with resistance of *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically modified Bt maize. *Crop Protection*, 55, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.09.004>
- Kukanur, V. S., Singh, T. V. K., Kranthi, K. R., & Andow, D. A. (2018). Cry1Ac resistance allele frequency in field populations of *Helicoverpa armigera* (Hübner) collected in Telangana and Andhra Pradesh, India. *Crop Protection*, 107, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.008>
- Kumar, S. (2008, April 8). Agrarian crisis takes centrestage in Maharashtra's suicide belt. *Tribune India*. <https://www.tribuneindia.com/news/archive/nation/agrarian-crisis-takes-centrestage-in-maharashtra-s-suicide-belt-754839>
- Latham, J. R., Love, M., & Hilbeck, A. (2017). The distinct properties of natural and GM cry insecticidal proteins. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 33(1), 62-96. <https://doi.org/10.1080/02648725.2017.1357295>
- Leslie, T. W., Biddinger, D. J., Mullin, C. A., & Fleischer, S. J. (2009). Carabidae population dynamics and temporal partitioning: Response to coupled neonicotinoid-transgenic technologies in maize. *Environmental Entomology*, 38(3), 935-943. <https://doi.org/10.1603/022.038.0348>
- Lindroth, E., Hunt, T. E., Skoda, S. R., Culy, M. D., Lee, D., & Foster, J. E. (2012). Population Genetics of the Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) Across the United States. *Annals of the Entomological Society of America*, 105(5), 685-692. <https://doi.org/10.1603/AN11084>
- Liu, L., Li, Z., Luo, X., Zhang, X., Chou, S.-H., Wang, J., & He, J. (2021). Which Is Stronger? A Continuing Battle Between Cry Toxins and Insects. *Frontiers in Microbiology*, 12, 665101. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.665101>
- Liu, Q., Hallerman, E., Peng, Y., & Li, Y. (2016). Development of Bt Rice and Bt Maize in China and Their Efficacy in Target Pest Control. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10), 1561. <https://doi.org/10.3390/ijms17101561>
- Lu, Y., Wu, K., Jiang, Y., Xia, B., Li, P., Feng, H., Wyckhuys, K. A. G., & Guo, Y. (2010). Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 328(5982), 1151-1154. <https://doi.org/10.1126/science.1187881>
- Ludwick, D. C., Meihls, L. N., Ostlie, K. R., Potter, B. D., French, L., & Hibbard, B. E. (2017). Minnesota field population of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) shows incomplete resistance to Cry34Ab1/Cry35Ab1 and Cry3Bb1. *Journal of Applied Entomology*, 141(1-2), 28-40. <https://doi.org/10.1111/jen.12377>
- Luna, J. K., & Dowd-Urbe, B. (2020). Knowledge politics and the Bt cotton success narrative in Burkina Faso. *World Development*, 136, 105127. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105127>

- Machado, E. P., dos S. Rodrigues Junior, G. L., Führ, F. M., Zago, S. L., Marques, L. H., Santos, A. C., Nowatzki, T., Dahmer, M. L., Omoto, C., & Bernardi, O. (2020). Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on Bt maize to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins in Brazil. *Scientific Reports*, 10(1), 10080. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67339-1>
- Maingi, D. (2020, May 7). How Biotechnologies are Shaping Kenya's Food Ecosystem. The Elephant. <https://www.theelephant.info/features/2021/05/07/how-biotechnologies-are-shaping-kenyas-food-ecosystem/>
- McCandless, L. (2016, March 29). \$4.8 million USAID grant to improve food security. Cornell Chronicle. <https://news.cornell.edu/stories/2016/03/48-million-usaid-grant-improve-food-security>
- Men, X., Ge, F., Edwards, C. A., & Yardim, E. N. (2005). The influence of pesticide applications on *Helicoverpa armigera* Hübner and sucking pests in transgenic Bt cotton and non-transgenic cotton in China. *Crop Protection*, 24(4), 319-324. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.08.006>
- Mohan, K. S., Ravi, K. C., Suresh, P. J., Sumerford, D., & Head, G. P. (2016). Field resistance to the *Bacillus thuringiensis* protein Cry1Ac expressed in Bollgard® hybrid cotton in pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders), populations in India. *Pest Management Science*, 72(4), 738-746. <https://doi.org/10.1002/ps.4047>
- Monnerat, R., Martins, E., Macedo, C., Queiroz, P., Praça, L., Soares, C. M., Moreira, H., Grisi, I., Silva, J., Soberon, M., & Bravo, A. (2015). Evidence of field-evolved resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt corn expressing Cry1F in Brazil that is still sensitive to modified Bt toxins. *PLOS ONE*, 10(4), e0119544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119544>
- Mullin, C. A., Saunders, M. C., Leslie, T. W., Biddinger, D. J., & Fleischer, S. J. (2005). Toxic and Behavioral Effects to Carabidae of Seed Treatments Used on Cry3Bb1- and Cry1Ab/c-Protected Corn. *Environmental Entomology*, 34(6), 1626-1636. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.6.1626>
- Nagrare, V. S., Kranthi, S., Biradar, V. K., Zade, N. N., Sangode, V., Kakde, G., Shukla, R. M., Shivare, D., Khadi, B. M., & Kranthi, K. R. (2009). Widespread infestation of the exotic mealybug species, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae), on cotton in India. *Bulletin of Entomological Research*, 99(5), 537-541. <https://doi.org/10.1017/S0007485308006573>
- Naik, V. C., Kumbhare, S., Kranthi, S., Satija, U., & Kranthi, K. R. (2018). Field-evolved resistance of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), to transgenic *Bacillus thuringiensis* (Bt) cotton expressing crystal 1Ac (Cry1Ac) and Cry2Ab in India. *Pest Management Science*, 74(11), 2544-2554. <https://doi.org/10.1002/ps.5038>
- Nair, R. J., & Bhardwaj, M. (2015, November 6). After pest attack, some Indian farmers shun GM cotton. Reuters. <https://www.reuters.com/article/india-cotton-gm-cotton-punjab-idINKCN0SV15T20151106>

- Najork, K., Friedrich, J., & Keck, M. (2022). Bt cotton, pink bollworm, and the political economy of sociobiological obsolescence: Insights from Telangana, India. *Agriculture and Human Values*. <https://doi.org/10.1007/s10460-022-10301-w>
- Najork, K., Gadela, S., Nadiminti, P., Gosikonda, S., Reddy, R., Haribabu, E., & Keck, M. (2021). The Return of Pink Bollworm in India's Bt Cotton Fields: Livelihood Vulnerabilities of Farming Households in Karimnagar District. *Progress in Development Studies*, 21(1), 68-85. <https://doi.org/10.1177/14649934211003457>
- Naranjo, S. E. (2011). Impacts of Bt Transgenic Cotton on Integrated Pest Management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(11), 5842-5851. <https://doi.org/10.1021/jf102939c>
- Niu, Y., Oyediran, I., Yu, W., Lin, S., Dimase, M., Brown, S., Reay-Jones, F. P. F., Cook, D., Reisig, D., Thrash, B., Ni, X., Paula-Moraes, S. V., Zhang, Y., Chen, J. S., Wen, Z., & Huang, F. (2021). Populations of *Helicoverpa zea* (Boddie) in the Southeastern United States are Commonly Resistant to Cry1Ab, but Still Susceptible to Vip3Aa20 Expressed in MIR 162 Corn. *Toxins*, 13(1), 63. <https://doi.org/10.3390/toxins13010063>
- Omoto, C., Bernardi, O., Salmeron, E., Sorgatto, R. J., Dourado, P. M., Crivellari, A., Carvalho, R. A., Willse, A., Martinelli, S., & Head, G. P. (2016). Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, 72(9), 1727-1736. <https://doi.org/10.1002/ps.4201>
- PAN UK. (2017). Is cotton conquering its chemical addiction? <https://www.pan-uk.org/site/wp-content/uploads/Cottons-chemical-addiction-FINAL-LOW-RES-2017.pdf>
- Progressive Farmer. (2020, September 9). Bt on the Chopping Block. <https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/crops/article/2020/09/29/epa-proposes-phasing-dozens-bt-corn>
- Pucci, J. (2021, April 14). Predictions, Advice for 2021 on Corn Rootworm, Bt Resistance. <https://www.croplife.com/crop-inputs/insecticides/predictions-advice-for-2021-on-corn-rootworm-bt-resistance/>
- Ramaswami, B., Pray, C. E., & Lalitha, N. (2012). The Spread of Illegal Transgenic Cotton Varieties in India: Biosafety Regulation, Monopoly, and Enforcement. *World Development*, 40(1), 177-188. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.04.007>
- Raymond, B., Sayyed, A. H., & Wright, D. J. (2005). Genes and environment interact to determine the fitness costs of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1571), 1519-1524. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3103>
- Santos-Amaya, O. F., Rodrigues, J. V. C., Souza, T. C., Tavares, C. S., Campos, S. O., Guedes, R. N. C., & Pereira, E. J. G. (2016). Resistance to dual-gene Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Selection, inheritance and cross-resistance to other transgenic events. *Scientific Reports*, 5(1), 18243. <https://doi.org/10.1038/srep18243>

- Santos-Vigil, K. I., Ilhuicatzí-Alvarado, D., García-Hernández, A. L., Herrera-García, J. S., & Moreno-Fierros, L. (2018). Study of the allergenic potential of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin following intra-gastric administration in a murine model of food-allergy. *International Immunopharmacology*, 61, 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2018.05.029>
- Schnurr, M. A. (2012). Inventing Makhathini: Creating a prototype for the dissemination of genetically modified crops into Africa. *Geoforum*, 43(4), 784-792. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2012.01.005>
- Schnurr, M. A., & Dowd-Urbe, B. (2021). Anticipating farmer outcomes of three genetically modified staple crops in sub-Saharan Africa: Insights from farming systems research. *Journal of Rural Studies*, 88, 377-387. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.08.001>
- Schulz, R., Bub, S., Petschick, L. L., Stehle, S., & Wolfram, J. (2021). Applied pesticide toxicity shifts toward plants and invertebrates, even in GM crops. *Science*, 372(6537), 81-84. <https://doi.org/10.1126/science.abe1148>
- Siddiqi, I. (2020, January 23). The flawed spin to India's cotton story. *The Hindu*. <https://www.thehindu.com/opinion/lead/the-flawed-spin-to-indias-cotton-story/article30627778.ece>
- Signorini, A. M., Abratti, G., Grimi, D., Machado, M., Bunge, F. F., Parody, B., Ramos, L., Cortese, P., Vesprini, F., Whelan, A., Araujo, M. P., Podworny, M., Cadile, A., & Malacarne, M. F. (2018). Management of Field-Evolved Resistance to Bt Maize in Argentina: A Multi-Institutional Approach. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6, 67. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00067>
- Singh, P. (2021, November 1). In Punjab and Haryana, Acres of Infestation Leave Cotton Farmers Devastated. *The Wire*. <https://thewire.in/agriculture/in-punjab-and-haryana-acres-of-infestation-leave-cotton-farmers-devastated>
- Singh, S. (2022, April 10). BT cotton seed price hiked, Punjab farmers miffed. *The Tribune*. <https://www.tribuneindia.com/news/punjab/bt-cotton-seed-price-hiked-farmers-miffed-384990>
- Smith, J. L., Baute, T. S., Sebright, M. M., Schaafsma, A. W., & DiFonzo, C. D. (2018). Establishment of *Striacosta albicosta* (Lepidoptera: Noctuidae) as a Primary Pest of Corn in the Great Lakes Region. *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1732-1744. <https://doi.org/10.1093/jee/toy138>
- Stauffer, C. (2014, July 28). Brazil farmers say GMO corn no longer resistant to pests. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-brazil-corn-pests-idUSKBN0FX1YG20140728>
- Storer, N. P., Babcock, J. M., Schlenz, M., Meade, T., Thompson, G. D., Bing, J. W., & Huckaba, R. M. (2010). Discovery and Characterization of Field Resistance to Bt Maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology*, 103(4), 1031-1038. <https://doi.org/10.1603/EC10040>
- Tabashnik, B. E. (2008). Delaying insect resistance to transgenic crops. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(49), 19029-19030. <https://doi.org/10.1073/pnas.0810763106>

- Tabashnik, B. E., Brévault, T., & Carrière, Y. (2013). Insect resistance to Bt crops: Lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology*, 31(6), 510-521. <https://doi.org/10.1038/nbt.2597>
- Tabashnik, B. E., & Carrière, Y. (2015). Successes and failures of transgenic Bt crops: Global patterns of field-evolved resistance. In M. Soberón, A. Gao, & A. Bravo (Eds.), *Bt resistance: Characterization and strategies for GM crops producing Bacillus thuringiensis toxins* (pp. 1-14). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780644370.0001>
- Tabashnik, B. E., & Carrière, Y. (2017). Surge in insect resistance to transgenic crops and prospects for sustainability. *Nature Biotechnology*, 35(10), 926-935. <https://doi.org/10.1038/nbt.3974>
- Tabashnik, B. E., Van Rensburg, J. B. J., & Carrière, Y. (2009). Field-evolved insect resistance to Bt crops: Definition, theory, and data. *Journal of Economic Entomology*, 102(6), 2011-2025. <https://doi.org/10.1603/029.102.0601>
- Tay, W. T., Soria, M. F., Walsh, T., Thomazoni, D., Silvie, P., Behere, G. T., Anderson, C., & Downes, S. (2013). A brave new world for an old world pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *PLOS ONE*, 8(11), e80134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080134>
- Then, C., Bauer-Panskus, A., Miyasaki, J., Cotter, J., Lebrecht, T., & Bøhn, T. (2020). Assessment of health risks associated with the consumption of products derived from genetically engineered plants with a combination of traits. https://www.testbiotech.org/sites/default/files/RAGES_report-%20combinatorial%20effects.pdf
- Then, C., Miyazaki, J., & Bauer-Panskus, A. (2022). Deficiencies in the Risk Assessment of Genetically Engineered Bt Cowpea Approved for Cultivation in Nigeria: A Critical Review. *Plants*, 11(3), 380. <https://doi.org/10.3390/plants11030380>
- Turnbull, C., Lillemo, M., & Hvoslef-Eide, T. A. K. (2021). Global Regulation of Genetically Modified Crops Amid the Gene Edited Crop Boom – A Review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 630396. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630396>
- United States Environmental Protection Agency. (2021). EPA's Response to Comments Received on the September 9, 2020 Draft Proposal to Address Resistance Risks to Lepidopteran Pests of Corn and Cotton Containing the *Bacillus thuringiensis* (Bt) Plant-Incorporated Protectant (PIP) and Revised Framework for Industry Negotiations. <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPP-2019-0682-0052>
- Van den Berg, J. (2016). Insect Resistance Management in Bt Maize: Wild Host Plants of Stem Borers Do Not Serve as Refuges in Africa. *Journal of Economic Entomology*, tow276. <https://doi.org/10.1093/jee/tow276>
- Van den Berg, J., Hilbeck, A., & Bøhn, T. (2013). Pest resistance to Cry1Ab Bt maize: Field resistance, contributing factors and lessons from South Africa. *Crop Protection*, 54, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.010>
- Van den Berg, J., Prasanna, B. M., Midega, C. A. O., Ronald, P. C., Carrière, Y., & Tabashnik, B. E. (2021). Managing Fall Armyworm in Africa: Can Bt Maize Sustainably Improve Control? *Journal of Economic Entomology*, 114(5), 1934-1949. <https://doi.org/10.1093/jee/toab161>

- Vázquez-Barrios, V., Boege, K., Sosa-Fuentes, T. G., Rojas, P., & Wegier, A. (2021). Ongoing ecological and evolutionary consequences by the presence of transgenes in a wild cotton population. *Scientific Reports*, 11(1), 1959. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81567-z>
- Vélez, A. M., Spencer, T. A., Alves, A. P., Moellenbeck, D., Meagher, R. L., Chirakkal, H., & Siegfried, B. D. (2013). Inheritance of Cry1F resistance, cross-resistance and frequency of resistant alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bulletin of Entomological Research*, 103(6), 700-713. <https://doi.org/10.1017/S0007485313000448>
- Wan, P., Huang, Y., Wu, H., Huang, M., Cong, S., Tabashnik, B. E., & Wu, K. (2012). Increased Frequency of Pink Bollworm Resistance to Bt Toxin Cry1Ac in China. *PLOS ONE*, 7(1), e29975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029975>
- Wang, L., Xu, D., Huang, Y., Zhou, H., Liu, W., Cong, S., Wang, J., Li, W., & Wan, P. (2022). Mutation in the Cadherin Gene Is a Key Factor for Pink Bollworm Resistance to Bt Cotton in China. *Toxins*, 14(1), 23. <https://doi.org/10.3390/toxins14010023>
- Wang, Q. (2015). China's scientists must engage the public on GM. *Nature*, 519(7541), 7. <https://doi.org/10.1038/519007a>
- Wang, R., Tetreau, G., & Wang, P. (2016). Effect of crop plants on fitness costs associated with resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins Cry1Ac and Cry2Ab in cabbage loopers. *Scientific Reports*, 6, 20959. <https://doi.org/10.1038/srep20959>
- Wang, S., Just, D. R., & Andersen, P. P. (2008). Bt-cotton and secondary pests. *International Journal of Biotechnology*, 10(2/3), 113. <https://doi.org/10.1504/IJBT.2008.018348>
- Wangila, D. S., Gassmann, A. J., Petzold-Maxwell, J. L., French, B. W., & Meinke, L. J. (2015). Susceptibility of Nebraska Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) Populations to Bt Corn Events. *Journal of Economic Entomology*, 108(2), 742-751. <https://doi.org/10.1093/jee/tou063>
- Wilson, A. K. (2021). Will gene-edited and other GM crops fail sustainable food systems? In *Rethinking Food and Agriculture* (pp. 247-284). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816410-5.00013-X>
- Xiao, Y., Li, W., Yang, X., Xu, P., Jin, M., Yuan, H., Zheng, W., Soberón, M., Bravo, A., Wilson, K., & Wu, K. (2021). Rapid spread of a densovirus in a major crop pest following wide-scale adoption of Bt-cotton in China. *ELife*, 10, e66913. <https://doi.org/10.7554/eLife.66913>
- Yang, F., González, J. C. S., Little, N., Reisig, D., Payne, G., Dos Santos, R. F., Jurat-Fuentes, J. L., Kurtz, R., & Kerns, D. L. (2020). First documentation of major Vip3Aa resistance alleles in field populations of *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) in Texas, USA. *Scientific Reports*, 10(1), 5867. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62748-8>
- Yang, F., González, J. C. S., Williams, J., Cook, D. C., Gilreath, R. T., & Kerns, D. L. (2019). Occurrence and Ear Damage of *Helicoverpa zea* on Transgenic *Bacillus thuringiensis* Maize in the Field in Texas, U.S. and Its Susceptibility to Vip3A Protein. *Toxins*, 11(2), 102. <https://doi.org/10.3390/toxins11020102>

- Yang, F., Kerns, D. L., Little, N. S., Santiago González, J. C., & Tabashnik, B. E. (2021). Early Warning of Resistance to Bt Toxin Vip3Aa in *Helicoverpa zea*. *Toxins*, 13(9), 618. <https://doi.org/10.3390/toxins13090618>
- Yang, P., Iles, M., Yan, S., & Jolliffe, F. (2005). Farmers' knowledge, perceptions and practices in transgenic Bt cotton in small producer systems in Northern China. *Crop Protection*, 24(3), 229-239. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.07.012>
- Zeilinger, A. R., Olson, D. M., & Andow, D. A. (2016). Competitive release and outbreaks of non-target pests associated with transgenic Bt cotton. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 26(4), 1047-1054. <https://doi.org/10.1890/15-1314>
- Zhao, J. H., Ho, P., & Azadi, H. (2011). Benefits of Bt cotton counterbalanced by secondary pests? Perceptions of ecological change in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4), 985-994. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1439-y>
- Zhu, Y. C., Blanco, C. A., Portilla, M., Adamczyk, J., Luttrell, R., & Huang, F. (2015). Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 122, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.007>
- Zukoff, S. N., Ostlie, K. R., Potter, B., Meihls, L. N., Zukoff, A. L., French, L., Ellersieck, M. R., Wade French, B., & Hibbard, B. E. (2016). Multiple Assays Indicate Varying Levels of Cross Resistance in Cry3Bb1-Selected Field Populations of the Western Corn Rootworm to mCry3A, eCry3.1Ab, and Cry34/35Ab1. *Journal of Economic Entomology*, 109(3), 1387-1398. <https://doi.org/10.1093/jee/tow073>

LES cultures génétiquement modifiées pour contenir les toxines de la bactérie *Bacillus thuringiensis* ont été présentées comme ayant une capacité intrinsèque à repousser les nuisibles. Ces cultures dites Bt sont aujourd'hui de plus en plus encouragées dans les pays en développement, malgré les inquiétudes croissantes concernant leur efficacité et leur pertinence.

Les rapports indiquent que le développement de la résistance des nuisibles ciblés par les toxines Bt est en voie d'accélération, tandis que les plantes sont également attaquées par des nuisibles secondaires non ciblés. En outre, la culture de plantes Bt nécessite souvent des intrants et des pratiques agricoles supplémentaires, ce qui remet en question sa viabilité pour les agriculteurs pauvres en ressources des pays du Sud.

Cet article met en évidence les pièges potentiels associés à la pression exercée par les partisans des cultures Bt pour faire des percées commerciales dans les pays en développement avec une technologie à l'efficacité et à la durabilité douteuses.

Le Dr Eva Sirinathsinghji est titulaire d'un doctorat en neurogénétique et est chercheuse en biosécurité, avec une formation en sciences biomédicales. Elle œuvre aux côtés de la société civile portant sur les risques posés par les technologies de génie génétique, y compris les nouvelles technologies de génie génétique. Elle a été membre du groupe d'experts techniques ad hoc sur l'évaluation et la gestion des risques établi dans le cadre du protocole de Carthagène sur la biosécurité.

LA SÉRIE BIOTECHNOLOGIE ET BIOSÉCURITÉ

est une série de documents publiés par le Third World Network (Réseau Tiers Monde). Elle vise à assurer une meilleure compréhension du public des aspects écologiques et de sécurité des nouvelles biotechnologies, en particulier du génie génétique.