

Évolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école

Pierre Ferron¹
Jean-Philippe Deguine²
Joseph Ekorong à Mouté³

¹ Institut national de la recherche agronomique (Inra),
Centre de Montpellier,
Montpellier
France

² Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad),
Cirad-Amis
TA 30/B,
Campus international de Baillarguet,
34398 Montpellier cedex 5
France
<jean-philippe.deguine@cirad.fr>

³ Atlantic Agri-Tech,
BP 702,
Douala
Cameroun
<ascamgaroua@yahoo.fr>

Résumé

La culture cotonnière, pratiquée principalement par des petits agriculteurs dans les pays du Sud, est l'objet de nombreuses bioagressions. Cette sensibilité en a fait une culture consommatrice de près du quart des pesticides chimiques produits annuellement au niveau mondial. Après un demi-siècle de telles pratiques, la culture cotonnière est en quête de solutions alternatives, plus respectueuses de l'environnement, mais aussi socio-économiquement acceptables : utilisation de pesticides biologiques, culture biologique, culture de cotonniers transgéniques. Des éléments de prospective relevant de l'agroécologie sont avancés. L'interprétation de ces données conduit à considérer la culture du cotonnier comme un cas d'école pour la protection phytosanitaire dans son ensemble.

Mots clés : coton ; ravageur des plantes ; protection des cultures ; organisme génétiquement modifié ; plante transgénique ; agroécosystème ; lutte biologique ; lutte chimique.

Thèmes : productions végétales.

Abstract

Cotton pest management: A textbook example

The size of the losses in cotton crop yields caused by pests and more particularly by insects necessitates protection against them. Traditional chemical treatment has led to ecological damage and economic and technological dead ends due mainly to the vicious circle of increased insecticide applications, appearance of resistant insect populations, and development of more expensive new insecticides. Over the past decade, the search for alternative solutions has led to the increasingly successful use of genetically modified varieties of cotton that express insect toxins. Simultaneously, measures should be taken to prevent development of resistance. These steps could reduce insecticide applications by approximately half for the same output. Use of good agronomic practices, such as focusing on strategic points in the pest life cycle rather than simply the pest at the level of the crop would help to develop a new kind of crop protection, inspired by agroecological principles. Preventing pest populations from reaching economically harmful levels and preserving the biological diversity of the agro-ecosystems through habitat management become the main objectives of a global strategy that is consistent with the principles of sustainable development and is implemented by new farming systems. Study of the development of these alternative methods of pest protection for cotton in the very diverse social and agronomic conditions in which they are used can help to adapt these new methods to other types of crops.

Key words: cotton; pests of plants; crop protection; genetically modified organisms; transgenic plants; agroecosystems; biological control; chemical control.

Subjects: vegetal productions.

« *Perhaps more than any other crop, cotton has been central to the development of IPM as a science and a philosophy* » [1]¹

Depuis près d'un siècle, le principal facteur limitant la production du coton est de nature phytosanitaire. Pour répondre à la demande croissante du marché international du coton fibre, il a donc fallu mettre au point des techniques de protection, applicables à des systèmes de culture très diversifiés, relevant tant d'une agriculture productiviste, mécanisée, voire irriguée dans les pays développés, que d'une agriculture pratiquée en culture pluviale et attelée, voire manuelle, par des petits agriculteurs dans les pays du Sud. Plus encore que pour d'autres grandes cultures, la lutte chimique fut un temps considérée comme la solution la plus appropriée. Elle a cependant le plus souvent finalement débouché sur des impasses techniques, économiques et écologiques, en raison de la manifestation de phénomènes de résistance aux matières actives toxiques appliquées et de la pollution des chaînes trophiques [2-8]. Le champ de cotonnier est, de ce fait, devenu un des lieux privilégiés d'application de solutions alternatives à la lutte chimique, au point que de nombreux auteurs s'y réfèrent pour illustrer l'évolution des concepts, méthodes et techniques phytosanitaires [9, 10]. La présente synthèse dresse le bilan d'un demi-siècle de pratiques et identifie des éléments de prospective, au moment où la filière est confrontée à de nouvelles contraintes socio-économiques [11].

Incidence économique des bioagresseurs

Le cotonnier est cultivé dans les deux hémisphères, dans des conditions très diverses. La caractéristique majeure de la production cotonnière est d'être assurée en majorité (77 %) par de petits producteurs de pays en développement, pour qui elle représente, le plus souvent, la principale, voire l'unique, source de reve-

nus [12]. Il est alors très fréquent que les exploitations soient d'une superficie réduite à quelques ares, comme dans les pays africains et asiatiques ou dans certaines régions cotonnières d'Amérique du Sud ; en revanche, elles couvrent le plus souvent plusieurs centaines, voire plusieurs milliers d'hectares, en Australie, aux États-Unis et dans certains États brésiliens [13]. Les revendications actuelles pour accéder aux conditions d'un commerce international équitable attirent l'attention sur les conséquences de ces disparités. De tels contrastes sont autant sources de conflits d'intérêts que de difficultés à donner une image représentative de situations très diverses.

Si les rendements atteignent aujourd'hui des valeurs élevées, 650 à 700 kg de coton fibre par hectare en fonction des conditions climatiques, les pertes de récolte dues aux bioagresseurs restent de l'ordre de 30 % en moyenne (arthropodes : 12 % ; agents pathogènes : 10 % ; mauvaises herbes : 7 %) en dépit des moyens mis en œuvre [14]. Dans son ensemble, la protection phytosanitaire représente d'ailleurs à elle seule de 25 à 45 % des coûts totaux de production de la culture cotonnière [15]. La faune entomologique associée au cotonnier est riche, diversifiée, relativement cosmopolite [16, 17]. Elle est composée aussi bien d'espèces monophages que sténophages, inféodées aux Malvacées et autres familles botaniques voisines du cotonnier, mais aussi et surtout polyphages. À titre d'illustration, le complexe d'espèces des Heliothines (*Heliothis* spp. et *Helicoverpa* spp.) s'attaque à de nombreuses plantes cultivées, susceptibles d'être associées au cotonnier dans divers systèmes de culture [16-18], ce qui complique son contrôle. Ces mêmes insectes colonisent d'ailleurs aussi de nombreuses plantes hôtes non cultivées, qui peuvent ainsi jouer le rôle de plantes relais, de zones refuges ou de corridors biologiques et influencer la dynamique spatio-temporelle de leurs populations [17, 19]. Divers insectes piqueurs suceurs sont responsables de la transmission de maladies bactériennes ou virales, de manifestation locale mais souvent sévère. Les maladies cryptogamiques, les plus importantes et les plus communes, sont généralement maîtrisées par le traitement systématique des semences et le choix de variétés résistantes. Faible compétiteur en phase de levée et en début de végétation, le cotonnier est aussi sensible à la concurrence des mauvaises herbes. Celles-ci représentent

d'ailleurs une contrainte majeure de la culture et sont l'objet d'un désherbage, souvent manuel en petit paysannat, généralement chimique dans les exploitations mécanisées. Certaines de ces adventices sont de plus les hôtes de maladies cryptogamiques ou virales, d'autres hébergent des insectes ravageurs ou au contraire sont des réservoirs d'auxiliaires [19]. La gestion des populations de mauvaises herbes ne peut donc être abordée indépendamment du contexte phytosanitaire dans son ensemble.

L'engrenage des pesticides

Compte tenu de la demande croissante en fibre, la culture du cotonnier a bénéficié en priorité de la commercialisation des pesticides de synthèse. Leur spectaculaire efficacité assura aussitôt une telle augmentation des rendements dans les pays américains, qu'on en fit bientôt un usage systématique et démesuré [20, 21]. Dès les années 1960, il fallut déchanter, en raison de la sélection de populations de ravageurs résistantes, au point de compromettre localement le devenir même de la culture, comme celui des équilibres écologiques [2, 3]. La substitution d'une famille chimique de pesticides à une autre, pour essayer de contourner ce problème (successivement organochlorés, organophosphorés, carbamates, pyrèthrinoides), est illustrée par l'expression « engrenage des pesticides » [22], pratique responsable de la répétition de scénarios phytosanitaires catastrophiques [23]. Au début des années 1970, un diagnostic alarmant de la situation avait pourtant déjà été dressé [20], favorisant la mise au point de programmes de lutte intégrée, caractérisés par la priorité donnée aux facteurs naturels de régulation des populations de bioagresseurs (*encadré 1*). En pratique, la plupart des pays producteurs, tels par exemple ceux d'Afrique de l'Ouest parmi d'autres [24], affichent aujourd'hui des programmes, nationaux ou concertés, de gestion de cette résistance (IRM, *insecticide resistance management*).

Le coût élevé des matières actives chimiques de dernière génération mises sur le marché et susceptibles d'être utilisées en cas de besoin comme nouvelle alternative aux pyrèthrinoides (spinosad, indoxacarb), pourrait aujourd'hui inciter

¹ « Peut-être plus qu'aucune autre culture, la culture cotonnière a été déterminante pour l'évolution du concept d'IPM* en tant que science et philosophie. »

* IPM : *integrated pest management* (gestion intégrée des bioagresseurs)

les producteurs de coton les plus démunis à rompre avec la perpétuation de cette fuite en avant [25, 26]. D'autres solutions techniques leur sont en effet offertes (pesticides d'origine naturelle, coton biologique, coton transgénique), mais il n'est pas rare qu'ils préfèrent, soit reconverter à la culture du cotonnier des zones ayant initialement d'autres destinations, soit mettre en valeur de nouvelles terres de culture. L'exemple de l'évolution des programmes de protection du cotonnier en Afrique tropicale francophone (*encadré 2*) est révélateur de la nécessité de prise en compte des difficultés de la vulgarisation de techniques raisonnées de lutte chimique [27, 28].

Dans les pays de grande culture mécanisée, la structuration de la filière cotonnière a été plus favorable à la vulgarisation des innovations techniques. Le concours de consultants privés (*private agricultural consultants* ou *pest control advisors*), eux-mêmes en contact direct, non seulement avec les services de vulga-

risation, mais également avec les établissements d'enseignement et de recherche, y facilite une gestion optimisée du risque phytosanitaire. La combinaison de modèles de développement de la culture, d'une part, et de modèles de croissance des populations de bioagresseurs d'autre part, permet en outre de définir des valeurs dynamiques de seuils d'intervention, ajustées à chaque instant aux conditions de culture [4-6, 29].

De la lutte à la protection intégrée

Cette aide informatisée à la décision prend de plus en compte des données relatives au choix des matières actives les moins dommageables pour l'environnement et à leur compatibilité, suivant les principes d'une véritable protection inté-

grée des cultures [9]. Fidèle à son principe de faire de la lutte intégrée des cultures une véritable gestion des populations de bioagresseurs (IPM ou *integrated pest management*), l'école américaine a ainsi préconisé très tôt une démarche élargie, relevant de programmes d'intervention régionaux, nationaux, voire internationaux (*encadré 3*) [30]. Cette attitude a modifié spectaculairement et significativement les pratiques traditionnelles, puisque la décision individuelle du producteur est ainsi assujettie à celle d'une collectivité responsable de l'exécution d'actions concertées. Celles-ci présentent en outre l'originalité de ne pas viser uniquement les pullulations de bioagresseurs au moment même où elles sont nuisibles au sein des cultures, mais au contraire d'abord les stades de leurs cycles de développement identifiés comme des points faibles de la dynamique de leurs populations, où et à quelque moment qu'elles se manifestent, sur des plantes cultivées ou non. On conçoit,

Encadré 1

Diagnostic de la situation phytosanitaire en culture cotonnière en 1971 [20]

1. *Phase de subsistance* : pas de système de protection des cultures.
2. *Phase d'exploitation* : des pesticides sont utilisés d'une façon intensive et prédéterminée (traitements sur calendrier), avec des résultats satisfaisants.
3. *Phase de crise* : les populations de ravageurs deviennent progressivement tolérantes aux pesticides : il faut allonger les campagnes d'intervention et augmenter la fréquence des traitements. La substitution d'une spécialité commerciale à une autre s'avère inopérante. Des insectes considérés jusqu'alors sans réelle incidence économique acquièrent le statut de véritables ravageurs.
4. *Phase de désastre* : l'augmentation des coûts de production correspondants compromet l'économie de la culture ; les exploitations marginales sont d'abord touchées et bientôt toute la zone de production est concernée.
5. *Phase de lutte intégrée* : un système structuré de protection des cultures est mis en place.
6. *Phase de détérioration* : la situation étant rétablie, la négligence ou l'ignorance de ces préconisations compromet à nouveau la situation.

Encadré 2

De la lutte chimique sur calendrier à la lutte chimique sur seuils d'intervention : étude de cas en Afrique francophone [27, 28]

1. *Traitements chimiques traditionnels à ultra-bas volume (UBV à 1 à 3 L/ha)* : 5 à 6 applications dites « sur calendrier », soit tous les 14 jours à partir de 42-45 jours de végétation, d'une association prête à l'emploi d'un insecticide pyréthriné et d'un insecticide organophosphoré.
2. *Traitements chimiques à très bas volume (TBV à 10 L/ha)* : programme d'application « sur calendrier » dit « dose x fréquence », caractérisé par une augmentation de la fréquence des traitements (tous les 7 jours) et une réduction au tiers de la dose prévue dans le programme précédent.
3. *Traitements chimiques étagés* : programme de protection « sur calendrier », où les doses de matières actives à utiliser sont déterminées d'après des observations sur les ravageurs faites au champ ; les traitements sont réalisés en TBV à 10 L/ha, les matières actives étant déterminées à l'avance pour chaque traitement.
4. *Traitements chimiques étagés et ciblés (LEC, lutte étagée ciblée)* : programme de protection « sur calendrier », où le choix des matières actives comme celui des doses est déterminé d'après des observations sur les ravageurs faites au champ ; les traitements sont réalisés tous les 14 jours en TBV à 10 L/ha, le lendemain de ces observations.
5. *Traitements chimiques en fonction de seuils d'intervention sensu stricto* : programme de protection dont les dates d'application, les matières actives et leurs doses d'application sont déterminées en fonction d'observations sur les ravageurs faites au champ.

Encadré 3 **Gestion spatialisée des populations de bioagresseurs : étude de cas aux États-Unis et au Mexique [30]**

1. *Programme national d'éradication du charançon de la capsule* *Anthonomus grandis*, Coleoptera Curculionidae :
 - cartographie des champs cotonniers et de leur environnement avec les systèmes automatisés de localisation spatiale (GPS) ;
 - détection du ravageur à l'aide de pièges à phéromones ;
 - contrôle des populations du ravageur par des techniques culturales (uniformisation des dates de semis et de récolte, destruction des plantes après récolte), par des moyens mécaniques (capture des insectes dans les pièges à phéromones) et par des moyens chimiques (un seul traitement au malathion en UBV en fonction d'un seuil d'intervention ; localement traitements hebdomadaires en fin de végétation pour détruire les formes diapausantes).
2. *Programme international d'éradication du ver rose* *Pectinophora gossypiella*, Lepidoptera Gelechiidae :
 - cartographie : localisation géographique des parcelles et identification des variétés de coton qui y sont cultivées, en particulier les variétés génétiquement modifiées ;
 - détection du ravageur à l'aide de pièges à phéromones, complétée par des contrôles visuels hebdomadaires au champ ;
 - contrôle des populations du ravageur, par des techniques culturales (uniformisation des dates de semis et de récolte, défoliation et destruction des plantes après récolte, labours traditionnels pour détruire les formes diapausantes), par confusion sexuelle à l'aide de phéromones (*attract and kill*) épanchues par voie aérienne ou terrestre, seulement dans les champs de coton traditionnels et en fonction d'un seuil d'intervention (des diffuseurs de phéromones sont recommandés dans les zones écologiquement sensibles), par le semis de variétés transgéniques (coton *Bt*), par lutte autocide (lâcher de mâles stériles à raison de 100 papillons par acre et par jour, par voie aérienne) à partir du stade végétatif à 4 feuilles et jusqu'à la défoliation, par lutte chimique, uniquement dans les parcelles infestées à plus de 5 % (traitement au chlorpyrifos).

dans ces conditions, que les traitements réalisés au niveau du champ ou de la parcelle, puissent être moins fréquents, car visant des populations de bioagresseurs sinon déjà maîtrisées du moins en partie régulées. Des inventaires de tels programmes de gestion spatialisée des populations de bioagresseurs du cotonnier aux États-Unis sont donnés par plusieurs auteurs [5, 30].

Diverses méthodes de lutte ont été éprouvées (lutte autocide, biologique, biophysique, génétique), associées ou non à des directives agronomiques visant les dates de semis et de récolte, le broyage et l'enfouissement des tiges, le traitement chimique des zones non cultivées abritant les bioagresseurs concernés (*encadré 4*). On retiendra que ces méthodes alternatives visent toutes à modifier la dynamique des populations des bioagresseurs dans un sens défavorable à leurs pullulations, condition permettant la réduction des pressions de sélection exercées par les insecticides. Leur application implique donc une connaissance accrue de la biologie et de la dynamique des populations de ces bioagresseurs, comme du fonctionnement des agroécosystèmes, mais aussi la complète adhésion des acteurs concernés.

D'un point de vue pratique, on imagine aisément les difficultés de transposition d'une telle stratégie dans des pays en développement, où la culture du cotonnier est conduite par des petits agricul-

teurs, parfois illettrés et bénéficiant d'un encadrement technique souvent très limité. Différents exemples montrent que l'adoption de l'innovation technique implique en effet non seulement une structuration de la filière et un accompagnement technique des praticiens, mais également une meilleure adaptation aux systèmes de culture locaux [31-36].

Alternatives et perspectives

Diverses alternatives animent aujourd'hui le débat au sein de la filière cotonnière, suivant des approches différentes ayant cependant en commun la remise en question des systèmes de culture et des itinéraires techniques habituellement adoptés.

Le coton transgénique

Depuis son introduction sur le marché américain en 1996, ce type de culture est déjà adopté sur 24 % des surfaces cultivées, correspondant à 35 % de la production mondiale de coton pour la campagne 2003-2004 [37]. L'innovation porte sur l'expression de gènes codant soit la synthèse d'entomotoxines issues de la bactérie *Bacillus thuringiensis* Berliner (protéines Cry et Vip), soit la tolérance à certains

herbicides (glyphosate). Des études sont en cours pour étendre l'application de la transgénèse à la résistance aux nématodes, aux maladies et à la tolérance à d'autres contraintes environnementales (température, sécheresse), mais aussi aux améliorations des qualités agroalimentaires de l'huile ou technologiques de la fibre [38].

Dans ces conditions, le risque d'une manifestation accrue de phénomènes de résistance des bioagresseurs à ces cotonniers transgéniques est de nouveau au centre des préoccupations. La stratégie recommandée (*high-dose/refuge strategy*) associe l'expression de plusieurs entomotoxines possédant des modes et des spectres d'action différents à l'aménagement de zones refuges permettant la dilution des gènes de résistance [39]. À titre de précaution et pour optimiser ce phénomène de dilution des gènes de résistance, la filière cotonnière australienne s'est cependant imposée, non seulement de limiter les emblavures de coton *Bt* de première génération (exprimant une seule toxine, Cry1Ac) à 30 % de la surface des terres consacrées à cette culture, mais aussi de respecter un guide élaboré de bonnes pratiques agronomiques. Les traitements insecticides sont ainsi réduits de moitié, à niveaux de rendements identiques et parfois supérieurs [40-42]. Une seconde génération de cotonniers transgéniques, exprimant simultanément deux entomotoxines (Cry1Ab + Cry2Ab), est

Encadré 4

Les bonnes pratiques agricoles en culture cotonnière : étude de cas en Australie [47, 48, 58]

1. Du semis à la récolte :

- prévoir l'implantation de plantes pièges, pour détruire, avec un biopesticide (NPV), les jeunes chenilles de *Helicoverpa armigera* issues des formes diapausantes, et pour contenir les populations du *Miride Creontiades dilutus* ;
- semer du cotonnier génétiquement modifié (coton *Bt*), à une date optimale fonction des conditions climatiques et risques phytosanitaires locaux (acariens, pucerons et thrips) ;
- échantillonner régulièrement les populations de ravageurs et d'auxiliaires, ainsi que les dégâts à la culture ;
- tenir compte du ratio entre populations de prédateurs indigènes et de ravageurs ; favoriser les pullulations de prédateurs par des cultures intercalaires, ou encore les attirer dans les champs de cotonnier par épandage d'une nourriture artificielle attractive ;
- moduler la notion de seuil d'intervention en fonction de la capacité du cotonnier à compenser les dégâts occasionnés par les ravageurs ;
- gérer la fumure et l'irrigation pour éviter un développement végétatif excessif du cotonnier ; en cas de nécessité, recourir aux régulateurs de croissance ;
- préférer les insecticides sélectifs (spinosad, emamectin, indoxacarb, pymétozine, diafenthiuron, methoxyfenozone), utilisés d'une façon séquentielle suivant de stricts créneaux d'application (*Windows of the Australian resistance management strategy*) et en limitant les traitements aux seules parcelles réellement à risque (*site-specific management*).

2. Après la récolte :

- détruire les formes diapausantes de *H. armigera* par un travail approprié du sol ;
- gérer les repousses de mauvaises herbes et de cotonnier, qui peuvent jouer le rôle de plante hôte pour des ravageurs comme pour des agents phytopathogènes ;
- prévoir une rotation des cultures ;
- gérer champ par champ la teneur des sols en azote ;
- choisir la variété de cotonnier à semer en fonction des caractéristiques pédoclimatiques et parasitaires locales ;
- procéder au réglage optimal des pulvérisateurs pour limiter les problèmes de dérive lors des traitements ;
- soigner la préparation du lit de semence et sélectionner les traitements de semence appropriés.

en cours de vulgarisation, sans pour autant que le niveau de ces mesures de précaution ait été réduit, du moins pour l'instant.

D'une façon générale, le risque du non-respect de ces bonnes pratiques agronomiques dans les pays en développement intéressés par cette alternative transgénique, préoccupe les promoteurs de la méthode [36]. Il est en outre reconnu que celle-ci n'est pas d'une parfaite efficacité : expression moindre des toxines en fin de végétation, pullulation de bioagresseurs secondaires tels que les punaises, suite à la réduction de la lutte chimique traditionnelle, inadaptation des variétés transgéniques commercialisées aux conditions locales [41-44]. Les conséquences environnementales de la vulgarisation de ces variétés transgéniques, sur la flore microbienne des sols cultivés ou sur la faune des organismes auxiliaires en général (parasites, prédateurs, pollinisateurs, etc.) par exemple, comme sur le fonctionnement des chaînes trophiques dans lesquelles elles sont impliquées, sont l'objet d'études encore préliminaires [45]. L'intérêt de cette innovation technologique pour les pays en développement, où les exploitations de très petite taille sont le plus souvent la règle, est en outre l'objet

de prises de position controversées, pour des raisons tant techniques que socio-économiques [42, 46]. Sans plus attendre cependant, les chercheurs australiens considèrent que les résultats déjà obtenus sont annonciateurs d'une nouvelle ère de la protection intégrée en culture cotonnière [47, 48].

Le coton biologique

L'adoption des principes de l'agriculture biologique en culture cotonnière ne date que du début des années 1990. La part de marché correspondante est encore très faible (6 000 tonnes en 2003, soit 0,03 % du marché mondial), après être passée par un maximum en 1995-1996 (environ 12 800 tonnes). Ses rendements sont généralement inférieurs à ceux de la culture conventionnelle [49, 50], mais ses produits sont vendus plus chers, visant un segment particulier du marché. Elle est aujourd'hui préconisée par certains comme une alternative d'avenir pour des petits producteurs, africains en particulier [51]. Son originalité tient à ses choix fondamentaux, le rejet des intrants de synthèse et des semences transgéniques. La protection contre les bioagresseurs est obtenue par des pratiques agronomiques

classiques limitant leurs pullulations, mais généralement consommatrices de main-d'œuvre [51]. En cas de besoin, des traitements à base de pesticides biologiques sont recommandés, mais l'arsenal correspondant est limité, voire en régression, faute d'investisseurs intéressés par un marché aussi réduit. D'une façon plus générale, l'agriculture biologique repose sur le bénéfice attendu d'une diversité végétale accrue, créant des habitats, niches et abris favorables aux populations d'organismes auxiliaires indigènes, suivant les principes de la biologie de la conservation [52, 53]. Cette méthode ne lui est cependant pas spécifique et les résultats obtenus demandent encore à être confirmés à grande échelle [54].

Le défi agroécologique

Il y a environ un demi-siècle, les promoteurs du concept de lutte intégrée illustraient volontiers leurs propos en citant en exemple la pratique des cultures intercalaires cotonnier/luzerne aux États-Unis, favorable à la maîtrise des populations de *Lygus* (*Hemiptera* : *Miridae*) [55]. Quarante années plus tard, la gestion des habitats des complexes parasitaires est placée au centre d'une nouvelle stratégie

phytosanitaire en culture cotonnière [56, 57]. Entre-temps, la ratification de la Convention internationale sur la diversité biologique (1994) a concrétisé la prise de conscience de l'impact des activités humaines sur les milieux naturels et montré le rôle déterminant de la diversité biologique dans la préservation des écosystèmes. L'exploitation durable des agroécosystèmes est ainsi envisageable grâce à l'ingénierie écologique, application d'une nouvelle discipline, l'agroécologie [53].

La dimension spatio-temporelle de cette nouvelle approche est illustrée par des systèmes de culture innovants [47, 56, 58]. Au-delà d'améliorations techniques, telles que la rotation des cultures, l'aménagement des labours, le semis direct sur couvert végétal, la réduction de l'écartement des lignes de semis (*ultra narrow row cotton*), l'utilisation de régulateurs de croissance, c'est une véritable intégration multidisciplinaire de ces itinéraires techniques qui est recommandée. Elle concerne aussi bien les cultures que les espaces incultes, tout au long de l'année, en présence ou non de plantes cultivées, qu'il s'agisse d'exploitations mécanisées ou paysannes [35]. Dans certains pays du Sud soumis à de sévères contraintes, elle est surnommée « nouvelle culture du cotonnier » (Ncc), pour souligner le virage à prendre. Cette démarche orientée implique l'actualisation des programmes de recherche et développement, faisant appel à toutes les disciplines concernées, de manière à permettre en priorité une installation rapide de la culture au champ et un raccourcissement du cycle végétatif, techniques les plus susceptibles de répondre aux contraintes climatiques et phytosanitaires [59]. À cet effet, des prototypes de systèmes de culture sont expérimentés pour validation [60] et des variétés nouvelles sont sélectionnées.

Conclusion : le « vieux roi coton », cas d'école pour la protection des cultures ?

Alors que la protection phytosanitaire du cotonnier est souvent considérée comme le mauvais exemple d'une lutte chimique

systématique aux conséquences économiques, sanitaires et environnementales néfastes, voire désastreuses, l'analyse de son évolution, au cours des cinquante dernières années, révèle qu'elle est aussi l'objet d'adaptations et de mutations fécondes, susceptibles d'intéresser la protection des cultures dans son ensemble [10]. Ce paradoxe tient sans doute à l'importance des pertes de récolte occasionnées par les bioagresseurs, chez qui la capacité d'adaptation aux pratiques phytosanitaires a contraint à explorer plus qu'ailleurs de nouvelles voies de recherche et d'application. L'extrême diversité des situations agronomiques dans lesquelles la culture du cotonnier est pratiquée, comme l'ampleur des enjeux économiques dont elle est l'objet, sont également des facteurs favorables à l'expression des innovations. Pourtant, quelles qu'elles soient, on sait qu'aucune d'entre elles ne saurait être la solution idéale. Il est remarquable cependant d'observer qu'elles conduisent, les unes comme les autres et pour des raisons différentes, à privilégier une approche agroécologique de la gestion des agroécosystèmes [61]. Sa mise en œuvre implique de reconsidérer leur fonctionnement à l'échelle spatio-temporelle des phénomènes biologiques mis en cause. Au travers d'une stratégie structurée, illustrée dans le cas particulier des insectes piqueurs suceurs du cotonnier [62], elle intègre les différentes solutions envisagées, chimiques, biologiques, génétiques, sous la réserve essentielle qu'elles préservent la diversité biologique, considérée comme le moyen d'assurer la pérennité des agroécosystèmes, suivant le concept de développement durable. À cet effet le concours des agronomes et des socioéconomistes est devenu une condition nécessaire. Qui eut cru, dans les années 1930, à l'époque où le folklore noir américain puisait son inspiration dans les douloureuses traditions cotonnières des États du Sud, sous la forme d'une complainte devenu populaire (*Ol'King Cotton*), qu'on puisse envisager un jour de faire de cette culture un cas d'école pour la protection des plantes cultivées dans son ensemble ? ■

Références

1. Frisbie RE, El-Zik KM, Wilson LT. The future of cotton IPM. In : Frisbie RE, El-Zik KM, Wilson LT, eds. *Integrated Pest Management Systems and Crop Production*. Wiley-Interscience. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1989.

2. Barducci BT. Ecological consequences of pesticides used for the control of cotton insects in Canete Valley, Peru. In : Farvar MT, Milton JP, eds. *The careless technology. Ecology and international development*. Garden City : The Natural History Press, 1972.

3. Newsom LD. Some ecological implications of two decades of use of synthetic organic insecticides for control of agricultural pests in Louisiana. In : Farvar MT, Milton JP, eds. *The careless technology. Ecology and international development*. Garden City : The Natural History Press, 1972.

4. Fitt GP. Cotton pest management. Part 3. An Australian perspective. *Annu Rev Entomol* 1994 ; 39 : 543-62.

5. Luttrell RG. Cotton pest management : Part 2. A US Perspective. *Annu Rev Entomol* 1994 ; 39 : 527-42.

6. Ramahlo FB. Cotton pest management : Part 4. A Brazilian Perspective. *Annu Rev Entomol* 1994 ; 39 : 563-78.

7. Sugonyaev ES. Cotton pest management : Part 5. A Commonwealth of Independent States perspective. *Annu Rev Entomol* 1994 ; 39 : 579-92.

8. Plapp Jr. FW, Kanga LHB, Karunarathne K. Insecticide resistance in major cotton pests world-wide : incidence, mechanisms and management. In : Constable GA, Forrester NW, eds. *Proceedings of the World Research Conference 1 : Challenging the Future*. Brisbane, Australia, February 14-17. Melbourne : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), 1995.

9. Ferron P. Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. *Cah Agric* 1999 ; 8 : 389-96.

10. Way MJ, van Emden HF. Integrated pest management in practice – pathways towards successful application. *Crop Prot* 2000 ; 19 : 81-103.

11. Baffes J. *Cotton : Market Setting, Trade Policies, and Issues*. World Bank Policy Research Working Paper 3218. Washington (DC) : World Bank, 2004.

12. Russell D. Integrated Pest Management for Insect Pests of Cotton in Less Developed Countries. In : Horowitz AR, Ishaaya I, eds. *Insect Pest Management. Field and Protected Crops*. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2004.

13. International Cotton Advisory Committee (ICAC). *Cotton Production Practices*. ICAC Proceedings of the 61st Plenary Meeting, Technical Information Section, Cairo, Egypt, 20-25 October 2002.

14. Oerke EC, Dehne HW. Safeguarding production – losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Prot* 2004 ; 23 : 275-85.

15. International Cotton Advisory Committee (ICAC). Le coût de la production du coton. *The ICAC Recorder* 1998 ; XVI : 19-24.

16. Matthews GA, Tunstall JP, eds. *Insect Pests of Cotton*. Wallingford : CAB International, 1994.

17. Smith CW, Cothren JT, eds. *Cotton : Origin, History, Technology, and Production*. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1999.

18. Vaissayre M. Ecological attributes of major cotton pests : implications for management. In : Constable GA, Forrester NW, eds. *Proceedings of the World Cotton Research Conference 1, Challenging the Future*. Brisbane, Australia, February 14-17 1994. Melbourne : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), 1995.

19. Showler AT, Greenberg SM. Effects of Weeds on Selected Arthropod Herbivore and Natural Enemy Populations, and on Cotton Growth and Yield. *J Environ Entomol* 2003 ; 32 : 39-50.
20. Doult RL, Smith RF. The pesticide syndrome – Diagnosis and suggested prophylaxis. In : Huffaker CB, ed. *Biological Control*. New York ; London : Plenum Press, 1971.
21. Bottrell DG, Adkisson PL. Cotton insect pest management. *Annu Rev Entomol* 1977 ; 22 : 451-81.
22. van den Bosch R, Aeschlimann JP. *L'engrenage des pesticides*. Question d'avenir. Lausanne : Payot, 1986.
23. Castella JC, Deguine JP. Cycles phytosanitaires et viabilité des systèmes cotonniers. *Cah Agric* 2006 ; 15 : 102-8.
24. Martin T, Ochou GO, Djihinto A, et al. Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa. *Agric Ecosyst Environ* 2005 ; 107 : 409-11.
25. Morton N, Collins MD. Managing the pyrethroid revolution in cotton. In : Green MB, de B. Lyon DJ, eds. *Pest management in cotton*. Series in Agrochemical Sciences. Chichester : Ellis Horwood Ltd, 1989.
26. Fitt GP. An Australian approach to IPM in cotton : integrating new technologies to minimise insecticide dependence. *Crop Prot* 2000 ; 19 : 793-800.
27. Cauquil J, Vaissayre M. Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. Nouvelle politique de protection et choix des pesticides. *Agric Dev* 1994 ; 3 : 13-23.
28. Vaissayre M, Deguine JP. Programmes de protection du cotonnier en Afrique francophone. 1. Évolution des aspects techniques. *Phytoma – La Défense des Végétaux* 1996 ; 489 : 26-9.
29. Sequeira RA, McKinion J, Jallas E, Cretenet M. Modélisation et gestion du coton. *The ICAC Recorder* 1996 ; XIV : 26-31.
30. Hardee DD, Henneberry TJ. Area-wide Management of Insects Infesting Cotton. In : Horowitz AR, Ishaaya I, eds. *Insect Pest Management. Field and Protected Crops*. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2004.
31. Castella JC, Jourdain D, Trebuil G, Napompeh B. A systems approach to understanding obstacles to effective implementation of IPM in Thailand : key issues for the cotton industry. *Agric Ecosyst Environ* 1999 ; 72 : 17-34.
32. Kabissa JCB. Pest control and sustainable smallholder cotton production : Progress and prospects. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
33. Mayee CD. Current approaches for management of cotton pests and diseases in India. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
34. Orr A, Ritchie JM. Learning from failure : smallholder farming systems and IPM in Malawi. *Agric Sys* 2004 ; 79 : 31-54.
35. Russell DA, Kranthi KR, Mayee CD, Banarjee SK, Raj S. Area-wide management of insecticide resistant pests of cotton in India. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
36. Wu KM, Guo YY. The Evolution of Cotton Pest Management Practices in China. *Annu Rev Entomol* 2005 ; 50 : 31-52.
37. International Cotton Advisory Committee (ICAC). *Enhancing Cotton Competitiveness*. ICAC, Proceedings of the 63rd Plenary Meeting, Mumbai, India, November 28 – December 3, 2004.
38. Hake K. Cotton biotechnology : Beyond Bt and herbicide tolerance. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
39. Carriere Y, Sisterson MS, Tabashnik BE. Resistance Management for Sustainable Use of *Bacillus thuringiensis* Crops in Integrated Pest Management. In : Horowitz AR, Ishaaya I, eds. *Insect Pest Management. Field and Protected Crops*. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2004.
40. Fitt GP. Implementation and impact of transgenic Bt cotton in Australia. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
41. Pyke BA. The performance of Bt transgenic (INGARD®) cotton in Australia over six seasons. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
42. Russell D, Deguine JP. Durabilité de la culture de cotonniers transgéniques en Chine et en Inde. *Cah Agric* 2006 ; 15 : 54-9.
43. Adamczik Jr. JJ, Hardee DD, Adams LC, Sumerford DV. Correlating differences in larval survival and development of bollworms (*Lepidoptera : Noctuidae*) and fall armyworms (*Lepidoptera : Noctuidae*) to differential expression of Cry-1Ac delta-endotoxin in various plant parts among commercial cultivars of transgenic *Bacillus thuringiensis* cotton. *J Econ Entomol* 2001 ; 94 : 284-90.
44. Kranthi KR, Kranthi S, Banerjee SK, Mayee CD. Perspectives on resistance management strategies for Bt cotton in India. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
45. O'Callaghan M, Glare TR, Burgess APJ, Malone LA. Effects of Plants Genetically Modified for Insect Resistance on Nontarget Organisms. *Annu Rev Entomol* 2005 ; 50 : 271-92.
46. Hillocks RJ. Is there a role for Bt cotton in IPM for smallholders in Africa? *Int J Pest Manage* 2005 ; 51 : 131-41.
47. Wilson LJ, Mensah RK, Fitt GP. Implementing Integrated Pest Management in Australian Cotton. In : Horowitz AR, Ishaaya I, eds. *Insect Pest Management. Field and Protected Crops*. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2004.
48. Deutscher SA, Wilson LJ, Mensah RK. *Integrated Pest Management Guidelines for Cotton Production Systems in Australia*. 2nd ed. Narrakri (Australie) : The Australian Cotton CRC, 2005. www.cotton.crc.org.au.
49. International Cotton Advisory Committee (ICAC). Perte de rendement et coût de la production de coton organique. *The ICAC Recorder* 1996 ; XIV : 16-8.
50. International Cotton Advisory Committee (ICAC). Production de coton organique IV. *The ICAC Recorder* 1998 ; XVI : 15-9.
51. Ton P. Organic cotton production and trade in sub-Saharan Africa : The need for scaling-up. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
52. In : Barbosa P, ed. *Conservation Biological Control*. San Diego : Academic Press, 1998.
53. Altieri MA, Nicholls CI. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. 2nd ed. New York : Food Products Press, 2004.
54. Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, Alexander IH, Grice PV, Evans AD. Does organic farming benefit to biodiversity? *Biol Conserv* 2005 ; 122 : 113-30.
55. Stern VM, van den Bosch R, Leigh TF. Strip cutting of alfalfa for *Lygus* bug control. *California Agriculture* 1964 ; 18 : 4-6.
56. Mensah RK, Sequeira RV. Habitat manipulation for insect pest management in cotton. In : Gurr GM, Wratten SD, Altieri MA, eds. *Ecological Engineering for Pest Management. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods*. Collingwood (Australia) ; Wallingford, (United Kingdom) : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) ; CAB International Publishing, 2004.
57. Rencken IC, Silberbauer L, Reid N, Gregg P. Importance of native vegetation to beneficial insects and its role in reducing insect pest damage in cotton. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
58. Mensah RK, Singleton A. Development of IPM in cotton in Australia : Establishment and utilization of natural enemies and integration with biological and synthetic insecticides. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
59. Deguine JP. Innovations techniques en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest : bilan et perspectives. *Cotton Outlook* 2000 ; (Special Feature) : 6-21.
60. Lancon J, Wery J, Rapidel B, et al. Prototyping crop management systems for specific cotton growing conditions. In : Swanepoel A, ed. *Proceedings of the World Cotton Conference – 3 : Cotton production for the new millennium*. Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003. Pretoria : Agricultural Research Council (ARC), Institute for Industrial Crops, 2004.
61. Ferron P, Deguine JP. Vers une conception agroécologique de la protection des cultures. In : Regnault-Roger C, ed. *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement au XXI^e siècle*. Paris : Tec & Doc Lavoisier, 2005.
62. Deguine JP, Ferron P. Gestion agroécologique des populations d'insectes piqueur-suceurs en culture cotonnière. In : Regnault-Roger C, ed. *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement au XXI^e siècle*. Paris : Tec & Doc Lavoisier, 2005.