

# Étude originale

## Durabilité écologique de la filière

### Cycles phytosanitaires et viabilité des systèmes cotonniers

Jean-Christophe Castella<sup>1</sup>  
Jean-Philippe Deguine<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de recherche  
pour le développement (IRD),  
BP 64501,  
34394 Montpellier cedex 5  
France  
<j.castella@ird.fr>

<sup>2</sup> Centre de coopération internationale  
en recherche agronomique  
pour le développement (Cirad),  
Avenue Agropolis,  
34398 Montpellier cedex 5  
France  
<jean-philippe.deguine@cirad.fr>

#### Résumé

Un modèle conceptuel d'analyse des cycles phytosanitaires est proposé comme base d'évaluation de la viabilité des systèmes cotonniers. Ce modèle se réfère aux processus interactifs entre des pratiques de protection de la culture contre les bioagresseurs et leurs dynamiques écologiques (taille des populations, composition des communautés, résistance aux produits phytosanitaires). L'approche est illustrée par une comparaison des cycles phytosanitaires de plusieurs pays cotonniers : la Thaïlande, l'Australie et le Mali. Leurs surfaces cotonnières étaient équivalentes dans les années 1980, mais elles ont ensuite évolué différemment. Au cours des deux dernières décennies, la production a chuté considérablement en Thaïlande, alors qu'elle a connu un essor sans précédent dans les deux autres pays. Nous faisons l'hypothèse que la maîtrise technique de la protection phytosanitaire est un élément majeur de ces trajectoires et que différents types d'organisation sociale de la production cotonnière peuvent contribuer à maintenir les systèmes cotonniers dans un domaine viable écologiquement et économiquement. Les études de cas présentées plaident pour une gestion intégrée de la protection phytosanitaire à l'échelle des agroécosystèmes. Elles suggèrent des modes de gouvernance adaptés à des contextes de production variés.

**Mots clés :** coton ; Thaïlande ; Australie ; Mali ; ravageur des plantes ; protection des cultures ; modèle de simulation ; gestion intégrée ; agroécosystème ; viabilité.

**Thèmes :** productions végétales.

#### Abstract

##### **Pest management cycles and sustainability of cotton production systems**

A theoretical model of pest management cycles is proposed to assess the sustainability of cotton production systems. This model is based on the interaction process between crop protection practices and ecological dynamics (pest pressure, resistance to pesticides) that influences the proportion of cotton-planted areas in a cultivated ecosystem. Adaptive cycles of cotton production are exemplified by a comparative analysis of several case studies in Thailand, Australia, and Mali, where cotton areas were similar in the 1980s, but have evolved very differently since then. Over the last two decades, cotton production fell sharply in the former country while it increased rapidly in the other two. The capacity to control pests in an integrated manner at the scale of the agroecosystem is considered as a key driving factor of the changes observed in cotton industries. The three case studies suggest that several models of social organisation of crop protection can contribute to maintain the ecological and economic viability of cotton production systems.

**Key words:** cotton; Thailand; Australia; Mali; pests of plants; crop protection; simulation models; integrated management; agroecosystems; viability.

**Subjects:** vegetal productions.

**A**u début des années 1980, les surfaces cotonnières de l'Australie, du Mali et de la Thaïlande étaient comparables et avoisinaient les 100 000 hectares (figure 1). Un quart de siècle plus tard, elles atteignaient 500 000 hectares en Australie et au Mali, alors qu'elles n'étaient plus que de 35 000 hectares en Thaïlande. Dans cet article, nous faisons l'hypothèse que ces trajectoires d'évolution divergentes peuvent être expliquées à partir d'un même modèle théorique. La maîtrise technique de la protection phytosanitaire apparaît en effet comme un facteur déterminant de l'évolution des systèmes cotonniers [1-3]. À la suite de Matthews [4], nous faisons l'hypothèse que le contrôle des ravageurs joue un rôle prépondérant parmi les nombreux facteurs qui interfèrent dans l'élaboration du rendement et dans les trajectoires d'évolution de la production à l'échelle des bassins de production cotonniers. Dans un premier temps, nous présentons un modèle conceptuel des dynamiques d'un système écologique complexe que nous cherchons à appliquer à l'évolution de systèmes cotonniers. Ce modèle est ensuite utilisé pour comparer les systèmes de production cotonnière en Australie, au Mali et en Thaïlande. Ces trois pays ont été sélectionnés pour leurs qualités illustratives des différents modes de prise en charge de la contrainte phytosanitaire pour une des cultures les plus attaquées par les insectes ravageurs [4]. Nous tirons enfin des enseignements et des éléments de prospective sur les conditions de viabilité des systèmes cotonniers.

## Cycles phytosanitaires en culture cotonnière : un modèle écologique

Dès les années 1970, des cycles cotonniers étaient identifiés et décrits comme une succession de plusieurs phases de gestion de la protection phytosanitaire : gestion écologique, exploitation, crise, désastre [5]. Ce type de représentation cyclique est commun à de nombreux systèmes écologiques [6]. Le modèle des cycles adaptatifs distingue ainsi quatre phases dans l'évolution d'un système écologique [7] : croissance rapide et exploitation (r) ; accumulation et conservation de la structure, durant laquelle la

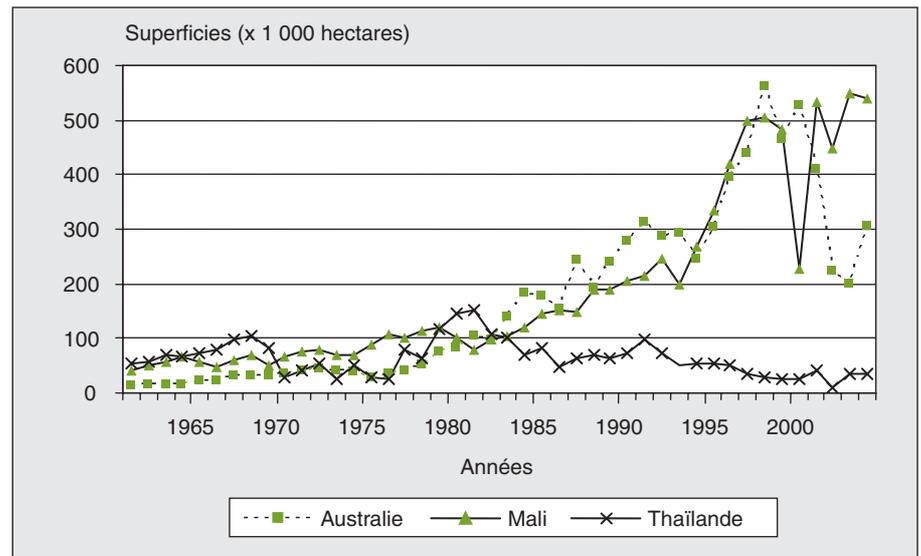


Figure 1. Évolution des superficies cotonnières en Thaïlande, en Australie et au Mali (source : FAOSTAT-Agriculture : www.fao.org).

Figure 1. Evolution of cotton-planted areas in Thailand, Australia, and Mali.

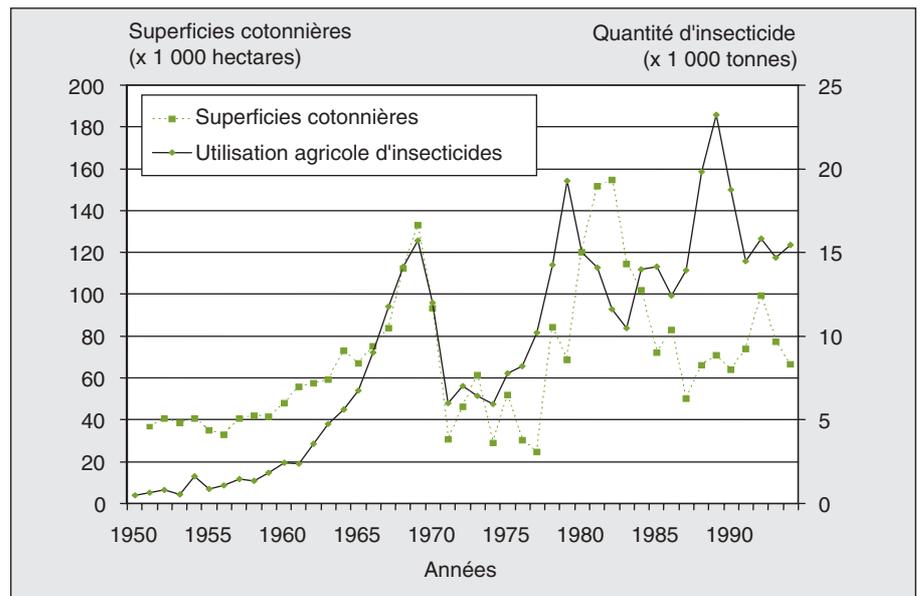
résilience tend à décliner progressivement (K) ; crise très rapide (destruction créative,  $\Omega$ ) ; renouveau et réorganisation du système au cours de laquelle émergent de nouvelles structures ( $\alpha$ ). Appliquée aux systèmes cotonniers, cette métaphore pose l'analyse des pratiques de protection phytosanitaire en termes de résilience et de capacité d'adaptation [1, 4]. Parmi les variables utilisées pour rendre compte des dynamiques observées, nous distinguons, d'une part, des variables à évolution rapide, parfois conjoncturelles, liées par exemple au marché ou aux politiques de soutien (prix du coton, compétitivité de la filière par rapport à celles d'autres pays ou d'autres productions, etc.) et, d'autre part, des variables à évolution lente, tendancielle, associées aux transformations des caractéristiques biophysiques des zones de production (pluviométrie, biodiversité). Les dynamiques d'action (r et K) et de rétroaction ( $\Omega$  et  $\alpha$ ) du cycle adaptatif correspondent respectivement à des phases d'accroissement de la production et de maintien de la viabilité du système [8]. Dans le premier cas (phases r et K), la priorité est donnée à l'investissement dans le contrôle optimal des populations de ravageurs par l'utilisation de produits insecticides. La structure établie (industrie cotonnière au sens large, du producteur jusqu'au marché) tend à se renforcer. Le système évolue grâce à une efficacité accrue de la protection phytosanitaire, mais il perd en résilience du fait de l'évo-

lution négative de variables lentes, comme par exemple la sensibilité des insectes ravageurs aux produits phytosanitaires. Dans le second cas (phases  $\Omega$  et  $\alpha$ ), le système est entièrement remis en question. Sa structure et son fonctionnement évoluent rapidement par l'introduction d'innovations, de nouvelles pratiques. Il peut rentrer dans un cercle vertueux de sortie de crise, comme dans un cercle vicieux qui peut potentiellement marquer la faillite du système cotonnier dans son ensemble.

## Histoire comparée des systèmes cotonniers

En retraçant l'histoire des systèmes cotonniers en Thaïlande puis en la comparant à celle du Mali (petits paysans en culture pluviale) et à celle de l'Australie (grands producteurs en culture irriguée), il est possible d'identifier des phases d'évolution comparables à celles décrites dans le modèle théorique ci-dessus. En Thaïlande, l'utilisation d'insecticides de la famille des organochlorés a permis d'accompagner l'expansion de la culture cotonnière sur les fronts pionniers du pourtour de la Plaine centrale dans les années 1960. Une première crise phyto-

sanitaire, survenue à la fin des années 1960, a entraîné un net recul des surfaces cultivées [9]. Les travaux de recherche ont montré que la chute brutale des rendements était directement liée à l'utilisation abusive d'insecticides (jusqu'à 20 pulvérisations par cycle de culture) qui avait contribué à la fois à la résistance des chenilles de la capsule (*Helicoverpa armigera* Hübner) aux insecticides et à des déséquilibres faunistiques, notamment apparition de ravageurs secondaires dont les populations n'avaient jusqu'alors jamais causé de dégâts sur les cotonniers [5]. La production ne s'est alors maintenue à l'échelle nationale que grâce au déplacement des zones de culture vers de nouveaux fronts pionniers. Le cotonnier était remplacé par le manioc, le maïs ou le soja dans les zones traditionnelles de production. La recherche recommandait déjà à l'époque une gestion mieux raisonnée, plus écologique, des populations de ravageurs et montrait qu'une réduction du nombre de pulvérisations insecticides était plus profitable économiquement [10]. À la fin des années 1970, la relance de la production cotonnière a été directement liée à l'apparition des insecticides de la famille des pyréthrinoides qui ont permis à nouveau de contrôler les populations de chenilles. En quelques années, les superficies cotonnières ont augmenté considérablement sous la pression commerciale des grandes compagnies agrochimiques dans ce qu'il est convenu d'appeler l'engrenage des insecticides [11], pour atteindre leur pic historique en 1982, avant de chuter à nouveau en l'espace de trois ans pour les mêmes raisons qu'au cycle précédent (figure 2) [1, 9]. Le spectre d'une relance de la culture grâce à une innovation technique, les cotonniers transgéniques, planait à nouveau sur la filière thaïlandaise à la fin des années 1990, mais l'innovation annoncée a certainement pâti des problèmes rencontrés par les petits producteurs de coton indiens et pakistanais avec ces nouvelles variétés [12]. Aujourd'hui, la Thaïlande, comme d'autres pays d'Amérique centrale et d'Afrique de l'Est, illustre la faillite des systèmes cotonniers suite à une utilisation abusive de produits phytosanitaires liée à une augmentation importante de la densité de cotonniers dans l'écosystème cultivé [4]. L'Australie, elle aussi, est passée par un épisode douloureux de crise phytosanitaire dans les années 1970. Dix ans après le développement de la culture irriguée du cotonnier dans la vallée de l'Ord,



**Figure 2.** Évolution de l'utilisation agricole d'insecticides dans l'agriculture et surfaces cotonnières en Thaïlande (source : Office of Agricultural Economics et Division of Poisonous Articles, Ministry of Agriculture and Cooperatives).

**Figure 2.** Evolution of agricultural use of insecticides and cotton-planted areas in Thailand.

située dans la zone tropicale à l'ouest du pays, les attaques d'*H. armigera* devenaient incontrôlables malgré une utilisation massive d'insecticides. Les ravageurs avaient développé une résistance au DDT, ce qui a conduit à l'abandon pur et simple de la culture dans cette région. Cet échec, qui a beaucoup marqué les esprits, a poussé l'industrie cotonnière à se réorganiser sur de nouvelles bases dans de nouvelles zones de production. On a alors assisté à une forte intégration verticale de la filière cotonnière, avec la mise en place de mécanismes de coordination entre ses principaux opérateurs (agriculteurs, vulgarisateurs, égreneurs, fileteurs, chercheurs, etc.). Des budgets importants ont été consacrés au suivi et à la gestion de la résistance des insectes ravageurs [13]. Les programmes de recherche se sont orientés vers la gestion intégrée des contraintes phytosanitaires, de sorte que l'Australie fait aujourd'hui figure de référence dans le domaine [2, 14]. Les populations de ravageurs sont gérées à l'échelle du bassin de production et non plus à celle de la parcelle, et sur l'ensemble de l'année et non pas sur les quatre mois du cycle de culture du cotonnier. Une gestion adaptative de la contrainte phytosanitaire est fondée sur un suivi régulier des populations d'insectes et un contrôle par des moyens multiples (cultures pièges, gestion des populations d'ennemis naturels, insecticides biologiques, ou chimi-

ques à spectre étroit, etc.) adaptés au complexe de ravageurs, à leur stade de croissance, niveau de résistance, et à la capacité de la culture à compenser les dommages subis. L'introduction des cotonniers transgéniques est gérée étroitement par l'ensemble des acteurs de la filière de manière à maintenir un niveau suffisant d'agrobiodiversité (surfaces de « cotonniers Bt » inférieures à 30 % des superficies cotonnières) et à limiter la pression de sélection sur les insectes résistants dans les zones refuges. Le Mali peut aussi faire figure d'histoire à succès au vu de la courbe de croissance exponentielle des surfaces cotonnières (figure 1). L'impact économique et social considérable de la production cotonnière dans ce pays comme dans plusieurs pays voisins en Afrique de l'Ouest et du Centre s'explique par deux facteurs : d'une part, un grand nombre de petites exploitations agricoles familiales (de 3 à 10 hectares) produisent le coton sur une partie de leurs champs ; d'autre part, le coton est une source importante de devises. Ce succès s'explique notamment par l'adoption d'une approche intégrée de la filière, assurant à la fois l'approvisionnement en intrants (engrais, pesticides, crédits), l'offre de services agricoles (vulgarisation, encadrement et appui aux organisations de producteurs), l'organisation de la commercialisation et, enfin, la mise en place des infrastructures économiques et socia-

les de base (routes, écoles, centres de santé). Les compagnies cotonnières africaines gèrent la protection phytosanitaire dans le cadre de relations contractuelles avec les petits producteurs [15]. En fonction des recommandations de la recherche, établies en début de campagne, les produits insecticides sont fournis à crédit aux agriculteurs par les sociétés cotonnières et les vulgarisateurs en assurent le suivi, voire le contrôle. Ce type d'organisation, hérité du passé colonial de la culture cotonnière, vise à contrôler des populations de ravageurs à large échelle à partir des interventions d'une multitude d'agriculteurs aux niveaux d'éducation et de connaissances techniques relativement faibles. Il a sans doute permis d'éviter l'engrenage d'utilisation d'insecticides qui a conduit d'autres systèmes cotonniers à leur perte. Cependant, le coton risque aujourd'hui d'être victime de son succès, du fait de la politique d'expansion des surfaces cultivées. Des zones moins favorables sont mises en culture et l'on observe une pression accrue des ravageurs liée aux densités croissantes de cotonniers dans les bassins de production. Des phénomènes de résistance des insectes sont apparus vers la fin des années 1990 et font aujourd'hui l'objet d'une surveillance accrue, s'inspirant de l'expérience australienne [3].

## Quelle viabilité pour les systèmes cotonniers ?

Le schéma de la *figure 3* fournit un cadre d'analyse des trajectoires des systèmes cotonniers en Thaïlande, qui peut aider à la comparaison avec les cas de l'Australie et du Mali. Il décrit les principales étapes d'évolution des pratiques des agriculteurs, à l'interface entre les transformations de l'environnement socio-économique et les dynamiques écologiques. On retrouve la succession de phase de gestion écologique de la protection de la culture ( $\alpha$ ), puis une phase productiviste ( $r$ ) d'exploitation de la ressource (ici, la sensibilité des insectes ravageurs aux produits phytosanitaires). La crise ( $\Omega$ ) correspond au passage d'un seuil, que nous avons qualifié de « capacité de charge individuelle ». Il s'agit d'un niveau d'artificialisation du milieu en deçà duquel la contrainte phytosanitaire peut

être durablement gérée individuellement, à l'échelle de la parcelle. Le succès économique de la production peut pousser les acteurs à étendre les surfaces cultivées et donc les densités de cotonniers au-delà de ce seuil, ce qui nécessite alors de mettre en place des formes de gestion collective de la protection phytosanitaire et de contrôle de la résistance à l'échelle de l'agroécosystème ou du bassin de production, rejoignant ainsi la notion d'*area-wide pest management* [16]. Les filières australiennes et maliennes sont parvenues, chacune à leur manière, à mettre en place de tels modes de gestion, contrairement à la filière thaïlandaise qui a été durement sanctionnée par des niveaux de résistance des ravageurs très élevés entraînant la faillite du système dans son ensemble. Les succès rencontrés par les pays qui ont passé ce premier seuil les incitent à augmenter la production et à étendre leurs surfaces cultivées dans une nouvelle phase d'exploitation ( $r, K$ ), jusqu'à atteindre un nouveau seuil d'artificialisation, que nous qualifions de « capacité de charge collective ». Au-delà de ce seuil dont les caractéristiques restent largement à préciser et à quantifier, la densité cotonnière dans l'écosystème est telle que la pression des ravageurs remet en cause les performances techniques et économiques du système quelle que soit l'organisation sociale qui la prend en charge. En effet, les limites écologiques de viabilité du système sont dépassées et l'on a affaire à une gestion minière de la ressource (sensibilité aux insecticides) qui conduit inévitablement à son déclin. L'objectif des acteurs de l'industrie cotonnière est donc de maintenir le système dans un domaine de viabilité situé en deçà de ce second seuil.

La *figure 4* propose une comparaison des profils historiques des trois systèmes cotonniers aux cours des phases successives à partir d'une série d'indicateurs décrits dans le cas de la Thaïlande par Castella *et al.* [1]. On trouve un indicateur de production (1) ; deux indicateurs de l'environnement socio-économique : les efforts de recherche et d'innovation (2) et le niveau d'intégration de la filière et de coordination entre acteurs (3) ; deux indicateurs des pratiques paysannes : le niveau de maîtrise technique individuelle de la protection (4) et la quantité d'intrants (5) ; deux indicateurs environnementaux : le niveau d'agrobiodiversité de l'écosystème (6) et le niveau de résistance des insectes ravageurs aux produits phytosanitaires (7). Les niveaux pris par

les indicateurs sont relatifs à chaque pays et sont donc difficilement comparables entre pays. En l'absence de quantification des indicateurs, le cadre de comparaison proposé n'a pas vocation à démonstration mais plutôt à illustrer nos hypothèses de travail sur le rôle majeur de la maîtrise technique de la protection phytosanitaire sur les trajectoires d'évolution des systèmes cotonniers. Ainsi, la phase d'exploitation correspond à une augmentation de la quantité d'intrants utilisée associée à une moindre maîtrise technique individuelle : traitements sur calendrier et non pas sur seuil d'intervention, insecticides à spectres larges et association de matières actives, faible prise en compte de la bioécologie des ravageurs et de leurs auxiliaires ou encore de la capacité de compensation de la plante. L'effet négatif de ces stratégies de protection (variables rapides) sur les dynamiques lentes du milieu (érosion de la biodiversité et résistance des ravageurs) entraîne le système vers sa capacité de charge individuelle. En l'absence de coordination entre acteurs de la filière pour prendre en charge collectivement la contrainte phytosanitaire, le système entre en crise, comme ce fut le cas en Thaïlande à deux reprises [1]. L'apparition d'une innovation, par exemple une nouvelle famille insecticide, a pour effet de débiter un nouveau cycle, en ramenant à minima le niveau de résistance des ravageurs. Dans le cas de l'Australie, l'abandon des zones cotonnières en crise a permis de redémarrer le système sur de nouvelles bases. En Afrique francophone, un autre modèle organisationnel s'est imposé, où la protection phytosanitaire est relativement peu déléguée au producteur. La régionalisation des recommandations a pour objectif de les rendre simples et facilement adaptables à des milieux naturels et humains diversifiés.

## Conclusions

À travers l'analyse comparée de systèmes cotonniers contrastés nous avons cherché à vérifier si le modèle théorique des cycles adaptatifs proposé par les écologues peut être adapté à l'étude des dynamiques cotonnières à l'échelle des bassins de production. En l'état, le modèle présenté n'a pas valeur de démonstration. Il a plutôt vocation à illustrer des hypothèses de travail et à orienter de nouvelles recherches qui permettront de quantifier

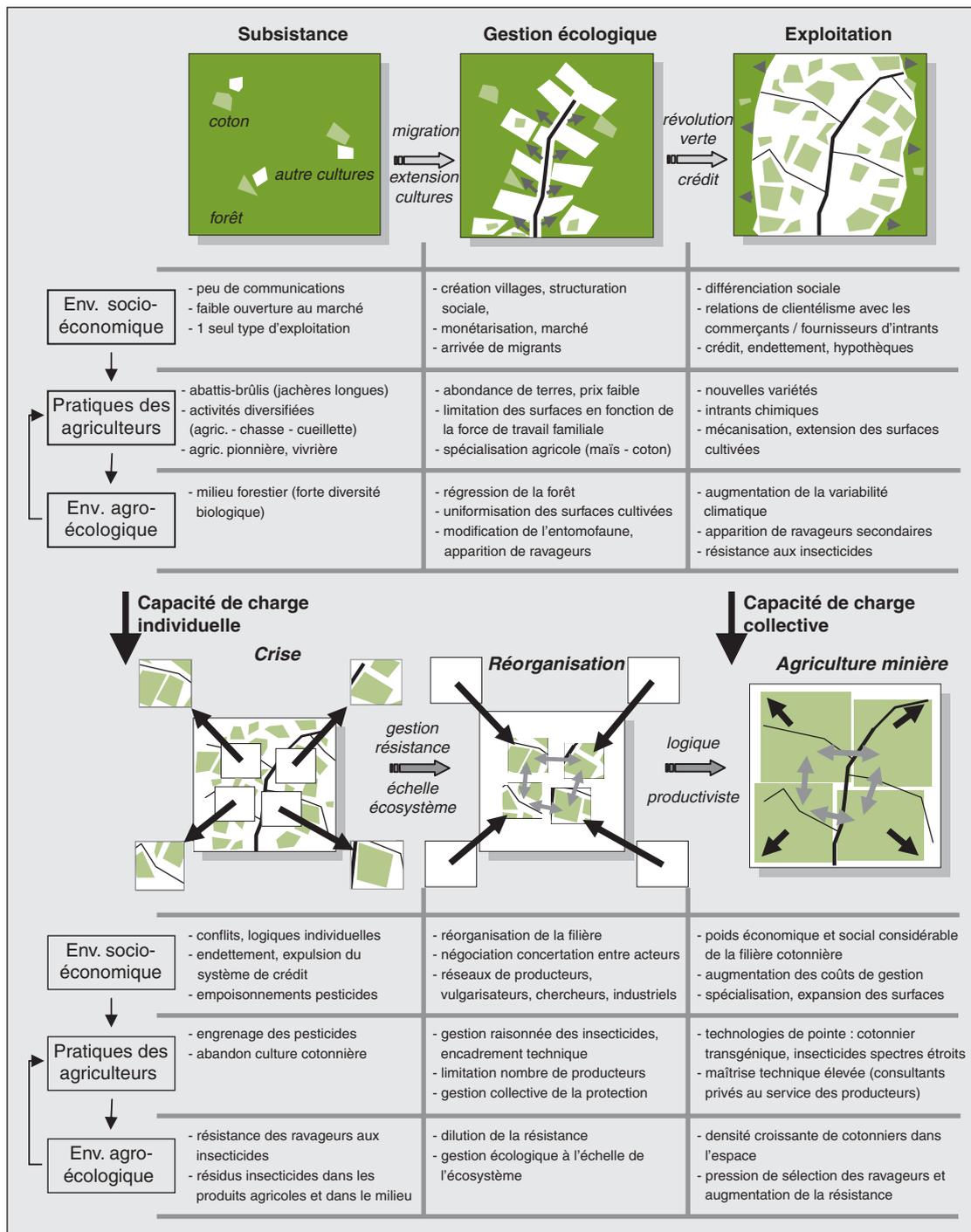


Figure 3. Modèle théorique d'évolution des systèmes cotonniers fondé sur l'étude de cas en Thaïlande.

Figure 3. Theoretical model of changes in cotton systems based on the Thailand case study.

les différents indicateurs et faire la part des nombreux facteurs qui interfèrent pour expliquer les dynamiques cotonnières. Par ailleurs, il est fort vraisemblable que la validité de cette étude soit limitée à des systèmes de culture et de production pour lesquels i) les surfaces cultivées en

une espèce dépendent essentiellement de l'espérance de rendement pour cette espèce ; ii) l'espérance de rendement est très affectée par la densité régionale de la culture. La portée du cadre d'analyse proposé doit être évaluée vis-à-vis d'autres cultures qui coexistent dans l'écosystème.

La comparaison d'études de cas souligne l'indispensable *maîtrise sociale de l'innovation technique*, sans laquelle les efforts de recherche (par exemple sur les nouvelles molécules insecticides ou les cotonniers génétiquement modifiés) peuvent être réduits à néant en quelques

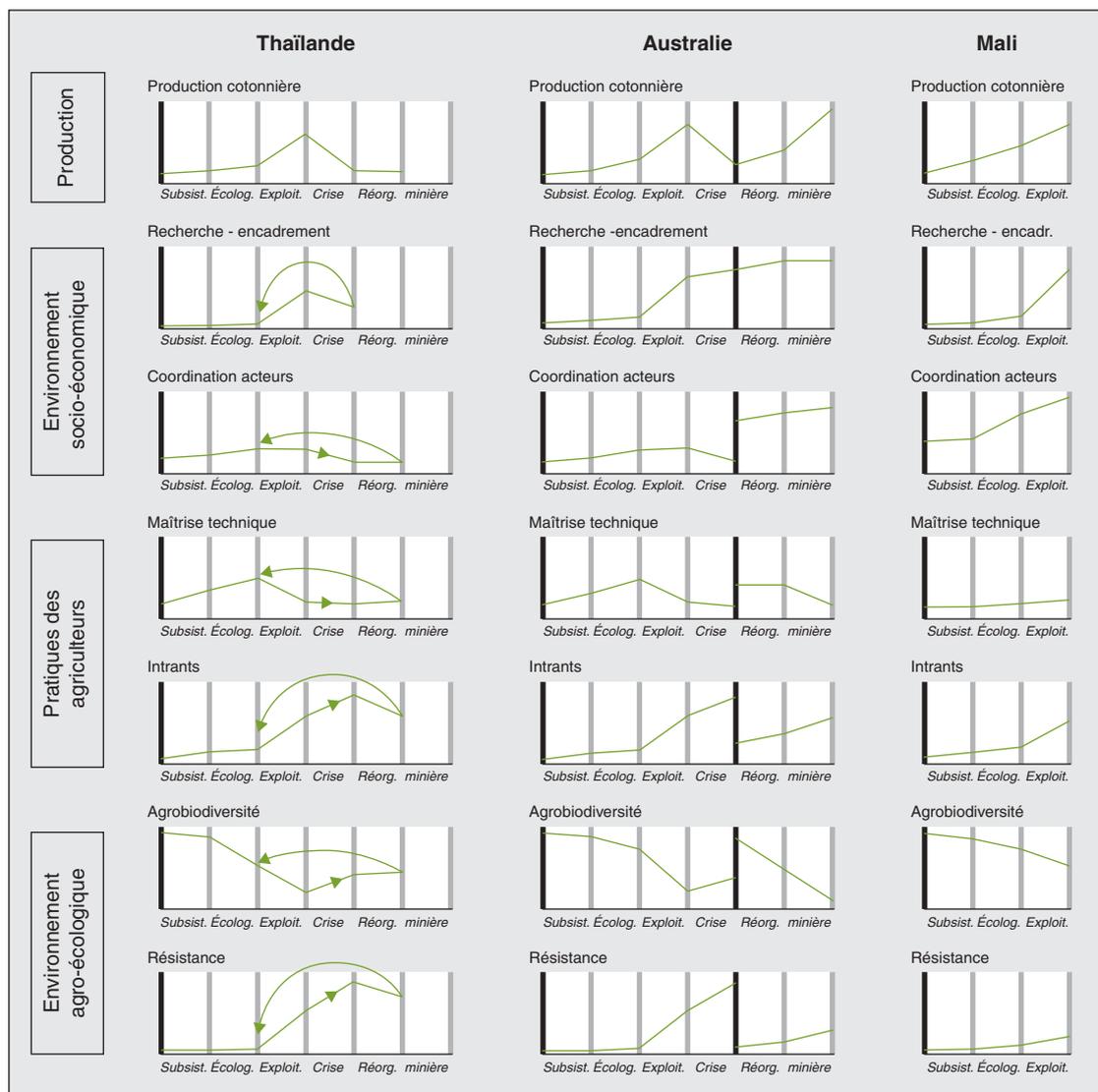


Figure 4. Cycle d'évolution des systèmes cotonniers : analyse comparée de la Thaïlande, de l'Australie et du Mali.

Figure 4. Evolutionary cycle of cotton systems: comparative analysis of Thailand, Australia, and Mali.

années seulement. L'efficacité de la protection phytosanitaire doit être évaluée autant en termes de productivité qu'en termes de résilience, c'est-à-dire la capacité du système à se remettre d'une perturbation importante (attaques d'insectes, émergence de ravageurs secondaires, chute du prix du coton, etc.). Ces deux aspects, qui conditionnent la viabilité du système, sont bien sûr liés et devraient être traités conjointement. Malheureusement, la productivité est souvent privilégiée au cours de la phase d'exploitation du système, alors que l'accent est mis sur la résilience au cours de la phase post-désastre. Est-il réellement nécessaire de passer par un épisode de catastrophe pour imaginer la transition entre une logi-

que d'exploitation et un mode de gestion écologique, c'est-à-dire pour réformer le système en se mobilisant autour d'un nouveau mode de gouvernance qui soit favorable à la mise en application des principes de cette gestion? Le cas de l'Australie a montré que la phase de désastre était sans doute nécessaire à la prise de conscience des limites du système. Espérons que la sensibilisation de l'opinion publique aux risques environnementaux et sanitaires (pour les agriculteurs et pour les consommateurs) contribuera à mobiliser l'ensemble des acteurs de la filière autour d'un nouveau modèle sociotechnique et d'une approche écologique de la protection phytosanitaire du cotonnier. ■

## Références

1. Castella JC, Jourdain D, Trébuil 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.
2. Fitt GP. Implementation and impact of transgenic Bt cottons in Australia. In : *Proceedings of the third World Cotton Research Conference, 9-13 March 2003, Cape Town, South Africa*. Pretoria : Agricultural Research Council, 2004.
3. Martin T, Ochou GO, Djihinto A, et al. Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa. *Agric Ecosyst Environ* 2005 ; 107 : 409-11.
4. Matthews GA. *Cotton insect pests and their management*. London : Longman Publishers, 1989.

5. Bottrell DG, Adkisson PL. Cotton insect pest management. *Ann Rev Entomol* 1977 ; 22 : 451-81.
6. Altieri MA, Nicholls CI. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. 2<sup>nd</sup> ed. New York : Food Products Press, 2004.
7. Carpenter SR, Gunderson LH. Coping with collapse : ecological and social dynamics in ecosystem management. *Bioscience* 2001 ; 51 : 451-7.
8. Walker B, Carpenter S, Anderies J, *et al.* Resilience management in social-ecological systems : a working hypothesis for a participatory approach. *Conserv Ecol* 2002 ; 6 : 14.
9. Castella JC, Trébuil G. La production cotonnière en Thaïlande. Histoire et leçons d'une crise. *Agric Dev* 1996 ; 10 : 18-35.
10. Deema P, Thongdeetae S, Hongtrakula T, *et al.* *Integrated control of cotton pests in Thailand*. Bangkok : Department of Agriculture, 1974.
11. Jungbluth F. *Crop protection policy in Thailand. Economic and political factors influencing pesticide use*. Publication Series No. 5. Hannover : Pesticide Policy Project, 1996.
12. Scoones I. *Regulatory manoeuvres : the Bt cotton controversy in India*. IDS Working Paper 197. Brighton : Institute of Development Studies (IDS), 2003.
13. Cox PG, Forrester NW. Economics of insecticide resistance management in *Heliothis armigera* (Lepidoptera : Noctuidae) in Australia. *J Eco Entomol* 1992 ; 85 : 1539-50.
14. Ferron P, Deguine JP, Ekorong J. Évolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école. *Cah Agric* 2006 ; 15 : 128-34.
15. Edwards M. Cotton in the franc zone. *Cotton Outlook* 2000 ; Special Issue (December) : 1-46.
16. Kogan M. Area-wide pest management. In : Pimentel D, ed. *Encyclopedia of Pest Management*. New-York : Marcel Dekker, 2002.